

**Diseño de un sistema solar fotovoltaico para residencias en el Municipio de Galapa,  
Atlántico**

Javier Ferney Ardila Silva

Lineydi Karina Flórez Martínez

Asesor

Erik Miguel Barrios Montes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI  
Ingeniería de Telecomunicaciones

2025

## **Dedicatoria**

Con profunda gratitud, a todos aquellos que siempre estuvieron ahí, contra viento y marea...

### **Agradecimientos**

Primero que todo, a Dios, por permitir la culminación exitosa de este trabajo. A la familia, fuente de apoyo incondicional. Al Ingeniero Erik Miguel Barrios Montes, quien siempre estuvo presto a colaborar, desde su amplia experiencia y conocimiento. A todas las personas que participaron en las entrevistas y encuestas, cuya contribución fue invaluable. Y, por último, pero no menos importante, a todas las fuentes de información, tanto primarias como secundarias, que han enriquecido este trabajo académico.

## Resumen

Se diseñó un prototipo de sistema solar fotovoltaico el cual optimiza el consumo energético residencial en una vivienda en la urbanización de Villa Olímpica ubicada en el municipio de Galapa – Atlántico, en la manzana 62<sup>a</sup>. El trabajo fue desarrollado entre enero y junio del 2024. Previo establecimiento de necesidades energéticas y posibles ineficiencias de consumo, se diseñó y construye un prototipo a escala menor de un sistema de energía renovable a base de paneles solares y se evaluó el empleo de tecnologías eficientes de los equipos que conforman un sistema energético fotovoltaico, frente al uso tradicional, en relación con el consumo de energía. El diseño se ajustó a la clasificación aceptada en el área de investigación energética. Se utilizó un enfoque de investigación cuantitativa, con una muestra representativa para llevar a cabo las diferentes actividades del proyecto. Los resultados se proporcionaron en forma narrativa y se llevó a cabo un análisis y socialización con la comunidad, una vez finalizado el proyecto. El prototipo demostró que evidentemente, los sistemas energéticos inteligentes basados en energía solar pueden ser una solución viable y efectiva para residencias en zonas como Galapa. Su implementación no sólo aporta al bienestar de los residentes, reduciendo los costos energéticos, sino también a la sostenibilidad ambiental del municipio, apoyando la transición hacia un modelo de energía limpia y renovable.

***Palabras clave:*** Energía eléctrica renovable, paneles solares, software, sostenibilidad.

## **Abstract**

A prototype of a photovoltaic solar system was designed to optimize residential energy consumption in a home located in Villa Olímpica urbanization, in the municipality of Galapa – Atlántico, specifically in block 62A. The work was developed between January and June 2024. After identifying energy needs and potential consumption inefficiencies, a small-scale prototype of a renewable energy system based on solar panels was designed and built. The project evaluated the use of energy-efficient technologies for the components of a photovoltaic energy system compared to traditional energy use in relation to energy consumption. The design adhered to the classifications accepted in the field of energy research. A quantitative research approach was used, with a representative sample to carry out the various project activities. The results were presented in a narrative format, and an analysis and subsequent socialization with the community were conducted upon the project's completion. The prototype demonstrated that intelligent energy systems based on solar energy can indeed be a viable and effective solution for residences in areas like Galapa. Their implementation not only contributes to the well-being of residents by reducing energy costs but it also enhances the municipality's commitment to environmental sustainability., supporting the transition to a model of clean and renewable energy.

***Keywords:*** Renewable electric energy, solar panels, software, sustainability.

## Tabla de Contenido

|  |    |
|--|----|
| Introducción .....                                     | 11 |
| Justificación .....                                    | 12 |
| Objetivos.....   | 13 |
| Planteamiento del Problema .....                       | 14 |
| Marco de Referencia .....                              | 15 |
| Marco Conceptual.....                                  | 15 |
| Energías Renovables.....                               | 15 |
| Energía Solar.....                                     | 15 |
| Consumo Energético.....                                | 15 |
| Gestión Energética y Eficiencia.....                   | 16 |
| Almacenamiento de Energía.....                         | 16 |
| Tecnologías Limpias.....                               | 16 |
| Smart Grids (Redes Eléctricas Inteligentes) .....      | 17 |
| Paneles Solares Inteligentes.....                      | 17 |
| Acimut y Ángulos de Inclinación Óptimos .....          | 18 |
| Sistemas Energéticos Inteligentes.....                 | 19 |
| LabVIEW .....  | 19 |
| MATLAB.....  | 20 |
| Proteus.....   | 20 |
| PVsyst .....   | 22 |
| Regulaciones y Políticas Energéticas en Colombia ..... | 22 |
| Irradiación.....                                       | 23 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Horas de Sol Pico o HSP [horas] ..... | 23 |
| Contexto Local.....                   | 24 |
| Marco Teórico.....                    | 24 |
| Metodología .....                     | 30 |
| Procedimiento .....                   | 30 |
| Etapas .....                          | 30 |
| Enfoque.....                          | 31 |
| Diseño de Estudio .....               | 31 |
| Modelo de Estadística.....            | 31 |
| Método de Análisis .....              | 31 |
| Diseño de la Solución .....           | 32 |
| Módulos Fotovoltaicos.....            | 32 |
| Implementación y Resultados .....     | 50 |
| Conclusiones.....                     | 61 |
| Recomendaciones .....                 | 62 |
| Referencias Bibliográficas .....      | 63 |

## Lista de Tablas

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Ubicación municipio de Galapa, Atlántico</i> .....                                      | 32 |
| <b>Tabla 2</b> <i>Consumo teórico de la instalación fotovoltaica</i> .....                                | 33 |
| <b>Tabla 3</b> <i>Voltaje de operación del sistema fotovoltaico basado en la potencia necesaria</i> ..... | 35 |
| <b>Tabla 4</b> <i>Especificaciones del inversor seleccionado</i> .....                                    | 40 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Programa de optimización a corto plazo del sistema fotovoltaico (1 año)</i> .....       | 53 |
| <b>Tabla 6</b> <i>Programa de optimización en un plazo medio (24 meses)</i> .....                         | 54 |
| <b>Tabla 7</b> <i>Acciones correctivas instalación fotovoltaica</i> .....                                 | 56 |
| <b>Tabla 8</b> <i>Acciones predictivas instalación fotovoltaica</i> .....                                 | 56 |
| <b>Tabla 9</b> <i>Acciones preventivas instalación fotovoltaica</i> .....                                 | 57 |
| <b>Tabla 10</b> <i>Costos de cotización con instalación y puesta en funcionamiento</i> .....              | 59 |

## Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Ángulo de inclinación</i> .....  | 18 |
| <b>Figura 2</b> <i>Proceso para construir equipos electrónicos, sin Proteus</i> .....           | 21 |
| <b>Figura 3</b> <i>Utilizando Proteus para construir un equipo electrónico</i> .....            | 21 |
| <b>Figura 4</b> <i>Ubicación geográfica municipio de Galapa, Atlántico</i> .....                | 32 |
| <b>Figura 5</b> <i>Cantidad promedio de energía solar sobre una superficie horizontal</i> ..... | 36 |
| <b>Figura 6</b> <i>Panel fotovoltaico REC250PE 60 celdas</i> .....                              | 37 |
| <b>Figura 7</b> <i>Configuración de los sistemas energéticos solares</i> .....                  | 38 |
| <b>Figura 8</b> <i>Descripción especificaciones controlador de carga PC1500B</i> .....          | 39 |
| <b>Figura 9</b> <i>Especificaciones técnicas de una batería</i> .....                           | 41 |
| <b>Figura 10</b> <i>Vista previa PVsyst 7.4</i> .....   | 43 |
| <b>Figura 11</b> <i>Ubicación casa Galapa, Atlántico</i> .....                                  | 43 |
| <b>Figura 12</b> <i>Tabla valores de radiación solar anual en las coordenadas</i> .....         | 44 |
| <b>Figura 13</b> <i>Diagrama trayectoria solar según puntos seleccionados</i> .....             | 44 |
| <b>Figura 14</b> <i>Determinación consumo diario</i> .....                                      | 45 |
| <b>Figura 15</b> <i>Elección componentes de la estructura</i> .....                             | 45 |
| <b>Figura 16</b> <i>Elección variables a simular</i> .....                                      | 46 |
| <b>Figura 17</b> <i>Conclusiones posteriores a la simulación</i> .....                          | 46 |
| <b>Figura 18</b> <i>Producción energética diaria de la estructura</i> .....                     | 47 |
| <b>Figura 19</b> <i>Modelo panel fotovoltaico</i> .....   | 47 |
| <b>Figura 20</b> <i>Distribución celdas solares</i> .....                                       | 48 |
| <b>Figura 21</b> <i>Modelado de un arreglo fotovoltaico en el software de Matlab</i> .....      | 48 |
| <b>Figura 22</b> <i>Parámetros seleccionados en Simulink</i> .....                              | 49 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 23</b> <i>Esquematación de un sistema fotovoltaico con un diagrama de bloques</i> ..... | 49 |
| <b>Figura 24</b> <i>Maqueta con paneles solares</i> .....   | 50 |
| <b>Figura 25</b> <i>Controlador carga solar</i> .....   | 50 |
| <b>Figura 26</b> <i>Inversor</i> .....  | 51 |
| <b>Figura 27</b> <i>Batería</i> .....   | 51 |
| <b>Figura 28</b> <i>Prototipo funcionando en horas no pico solares</i> .....                      | 52 |
| <b>Figura 29</b> <i>Prototipo funcionando en horas pico solares</i> .....                         | 52 |
| <b>Figura 30</b> <i>Costos de servicios públicos</i> .....  | 59 |

## Introducción

En la última década, La integración de fuentes de energía renovables ha cobrado una relevancia significativa a nivel mundial, esto a razón de la creciente inquietud por el cambio climático y la necesidad de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. En Colombia, y específicamente en el Municipio de Galapa, Atlántico, esta tendencia no ha sido la excepción. El diseño y la puesta en marcha de un sistema solar fotovoltaico para residencias en esta región representa una oportunidad crucial para animar el desarrollo sostenible y mejorar el bienestar social de vida de sus habitantes (Minenergía, 2023).

El Municipio de Galapa, situado en el departamento del Atlántico, se identifica por recibir una alta irradiación solar a lo largo del año, por este motivo es un lugar ideal para la instalación de sistemas fotovoltaicos (IDEAM, 2022). Estos sistemas permiten la convertir la energía solar en electricidad, proporcionando una fuente de energía limpia y renovable que puede reducir significativamente costos energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero (García, J. & Hernández, L., 2021).

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de un sistema solar fotovoltaico que sea técnicamente viable y económicamente accesible para las residencias del Municipio de Galapa. Para ello, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las condiciones climáticas, la demanda energética y la infraestructura existente en la región.

En síntesis, este proyecto busca establecer las bases para un sistema energético fotovoltaico que no solo brinde condiciones de vida más dignas a los habitantes de Galapa, sino que también genere un impacto positivo en la sostenibilidad energética. Durante su desarrollo, se considerarán aspectos técnicos, económicos y sociales con el fin de lograr un diseño integral, funcional y replicable.

## **Justificación**

El Municipio de Galapa, Atlántico, goza de un potencial solar excepcional, ofreciendo una oportunidad inmejorable para la explotación de energía renovable y sostenible. Sin embargo, la dependencia actual de fuentes de energía convencionales, como los combustibles fósiles, conlleva altos costos económicos y ambientales. La implementación de sistemas solares fotovoltaicos en las residencias de Galapa puede abordar estos desafíos de manera efectiva.

La importancia de este proyecto radica en varios aspectos claves como el económico, ya que la adopción de sistemas solares fotovoltaicos puede reducir significativamente las facturas de electricidad para los residentes, proporcionando un alivio económico a largo plazo. Asimismo, los gastos de implementación y mantenimiento de estos sistemas se han disminuido considerablemente en los últimos años, lo que los convierte en una opción más asequible; ambiental, dado que la energía solar es una fuente de energía sostenible y ecológica que no genera emisiones de gases de efecto invernadero durante su funcionamiento. Al disminuir la necesidad de recursos fósiles, este proyecto contribuirá a la disminución de la huella de carbono del municipio, promoviendo un medio ambiente más saludable; social, puesto que la accesibilidad a una energía más segura y duradera puede mejorar la calidad de vida de los residentes. Además, la implementación de sistemas solares puede generar empleo local, durante la fase de instalación, así como en la fase de mantenimiento y operación de los sistemas. Y tecnológico, ya que la tecnología fotovoltaica ha avanzado considerablemente, ofreciendo soluciones eficientes y duraderas. Este proyecto no solo aprovechará estos avances, sino que también servirá como un modelo replicable para otras comunidades en Colombia y regiones con condiciones similares. En síntesis, el proyecto es viable, para promover el desarrollo sostenible, reducir costos energéticos y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Construir un prototipo funcional de un sistema solar fotovoltaico, que logre optimizar el consumo energético residencial en la urbanización Villa Olímpica, ubicada en Galapa – Atlántico.

### **Objetivos Específicos**

Establecer las necesidades energéticas específicas de las residencias en la urbanización Villa Olímpica, manzana 62A del municipio de Galapa, a través del análisis detallado de las áreas de mayor consumo energético, identificando patrones de demanda y posibles ineficiencias en el uso de la energía.

Diseñar un sistema solar fotovoltaico que permita generar energía renovable, con la capacidad del sostenimiento de fluido eléctrico en las residencias del municipio de Galapa Atlántico.

Determinar el impacto de un sistema solar fotovoltaico en cuanto a la eficiencia energética, analizando el ahorro de energía y los beneficios económicos.

## **Planteamiento del Problema**

A pesar del avance global en la adopción de energías renovables, muchas regiones en Colombia son dependientes de fuentes de energía convencionales, como los combustibles fósiles. Esta dependencia no solo conlleva altos costos económicos, sino también repercusiones ambientales considerables debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. El Municipio de Galapa, Atlántico, sigue la misma tendencia que esta realidad.

Galapa percibe una alta cantidad de irradiación solar anualmente, razón por la cual es un candidato ideal para la instalación de sistemas de energía solar. Sin embargo, La carencia de una infraestructura adecuada, la falta de conocimiento sobre los beneficios de las energías renovables y los obstáculos económicos han limitado el uso de las tecnologías fotovoltaicas en la región. Esto ha llevado a que las residencias sigan utilizando fuentes de energía menos sostenibles y más costosas a largo plazo.

Este proyecto busca dar respuesta al requerimiento de diseñar un sistema solar fotovoltaico que sea técnica y económicamente viable para las residencias del Municipio de Galapa. Al abordar este problema, se espera no solo reducir los costos energéticos para los residentes, sino también minimizar las emisiones de carbono de la región y fomentar un modelo de desarrollo sostenible.

Con base a lo anterior, se plantea el siguiente cuestionamiento: ¿La implementación de este sistema solar fotovoltaico, permitirá generar y optimizar el consumo del fluido eléctrico en la urbanización Villa Olímpica, Manzana 62<sup>a</sup>?

## **Marco de Referencia**

### **Marco Conceptual**

#### ***Energías Renovables***

Se encuentran de forma natural y están disponibles de manera continua o cíclica. Cada fuente requiere intervención tecnológica a fin de ser transformada en una forma aprovechable. Es común considerar energía alternativa cualquier tecnología cuya implementación no se ha dado en forma masiva. Entre las más importantes se encuentran aquellas provenientes del sol, agua, aire, entre otras (AMVA, 2024).

#### ***Energía Solar***

Se posiciona como la más importante en cuanto a fuentes lumínicas y caloríficas del planeta, por lo que encaja dentro las renovables. Se obtiene a través del flujo energético emitido por el sol, empleando elementos fotovoltaicos. Es de carácter gratuito, no contamina, ni genera ruido y a diferencia de otras, puede integrarse fácilmente en zona urbana. Al ser articulada, permite su uso en diferentes escalas y es ideal para zona rural o sin conexión a la red nacional. Para la región colombiana, debido a su ubicación en el trópico, es viable la instalación prácticamente en su totalidad territorial y gracias a las estaciones meteorológicas e investigadores, es posible disponer de un gran historial de datos, con su respectivo mapa, permitiendo tomar una decisión más acertada, además de agilizar y optimizar el proceso (AMVA, 2024).

#### ***Consumo Energético***

Cuantía energética que utilizan los sistemas, dispositivos, hogares, industrias, países, entre otros, en un lapso determinado. Para calcularlo se divide el requerimiento energético entre la utilidad media de los sistemas. Mejorar el ahorro energético podría reducir las cantidades

energéticas consumidas, al ser posible lograr efectos similares e inclusive superiores, con menores cantidades (Alcobendas, 2022).

### ***Gestión Energética y Eficiencia***

Esta comprende una serie de hechos y procedimientos que buscan hacer más eficiente la utilización energética. Es esencial para empresas y particulares, ya que permite reducir costos y CO<sub>2</sub> que se emite. Para implementar estos sistemas hay que adaptarse de manera particular, según el contexto. Dentro de sus propósitos, se incluye reducir gasto energético, mejorar la eficiencia, ahorrar costos, disminuir el nivel de CO<sub>2</sub> que es expulsado, minimizar el impacto medioambiental y cumplir normatividad correspondiente (UNIR, 2021).

### ***Almacenamiento de Energía***

Este implica guardar la energía generada para liberarla cuando se necesite, especialmente en momentos de baja producción. En el pasado, almacenar energía renovable era complicado y costoso, pero actualmente se cuenta con sistemas capaces de separar generación de energía y requerimiento eléctrico. Los principales métodos de almacenamiento incluyen batería Li-Ion, bombas de agua, compresión de aire, H y técnica para almacenar energía termoeléctrica a partir de diferentes tipos de sal fundida (BMS, 2024).

### ***Tecnologías Limpias***

Este tipo de tecnologías comprenden cualquier tipo de proceso, producto o servicio diseñado para mitigar significativamente el impacto ambiental negativo a través del ahorro energético, utilización racional del capital natural, cuidado del medio ambiente, entre otros. Incluyen aspectos como manejo de los residuos aprovechables, energía renovable, TI, transportes ecológicos, motor(es) eléctrico(s), química verde, alumbrado inteligente, tratamiento y reutilización del agua usada, entre otros (Medium, 2023).

En el sector energético, se busca reemplazar la energía convencional (nuclear, fósil) con fuentes renovables, a fin de contribuir a la sostenibilidad socioeconómica y ambiental (Medium, 2023).

### ***Smart Grids (Redes Eléctricas Inteligentes)***

Estas combinan ingeniería eléctrica con TIC para optimizar la distribución de energía. A diferencia de las redes tradicionales, las smart grids permiten una comunicación bidireccional, donde los usuarios pueden consumir y producir electricidad. Estas redes incorporan sistemas informáticos que responden a fluctuaciones en la producción y demanda de energía, permitiendo a los usuarios monitorear y gestionar su consumo (REPSOL, 2024).

Las smart grids son cruciales para la transición energética, ofreciendo mayor eficiencia, reducción de pérdidas y mejor calidad del suministro. Su implementación aporta beneficios ambientales, como la capacidad para integrar fuentes renovables de energía y la disminución del dióxido de carbono liberado a la atmósfera, económicos, entre los cuales se tienen, menores costos operativos y mejor control de reparaciones, y sociales, como mayor seguridad y participación activa del usuario. Dos puntos clave de su funcionamiento son la telegestión y los centros de operaciones, que permiten una gestión eficiente de la energía (REPSOL, 2024).

### ***Paneles Solares Inteligentes***

Cada vez más personas están optando por energías limpias para sus hogares, destacándose los paneles solares fotovoltaicos, con capacidad convertora. Estos paneles no solo reducen las facturas energéticas, sino que también tienen grandes beneficios ambientales. La optimización de la energía solar puede cambiar la economía y disminuir la dependencia de recursos no renovables. Los paneles solares han reducido su precio en un 80%, lo que ha hecho más rápido recuperar la inversión, impulsado por adelantos en la tecnología, reducción en el

precio y nuevas políticas (Klimafrío, 2023).

Este tipo de paneles, controlables de forma remota, aumentan el ahorro energético. Utilizan inteligencia artificial para ajustar su posición según la luz solar y evitar daños por sobrecalentamiento. Estos sistemas permiten a los usuarios controlar remotamente la posición, el encendido y el uso de la energía generada. Los paneles solares inteligentes también ofrecen autolimpieza, alertas de mantenimiento y aumentan la eficiencia energética hasta un 5% (Klimafrío, 2023).

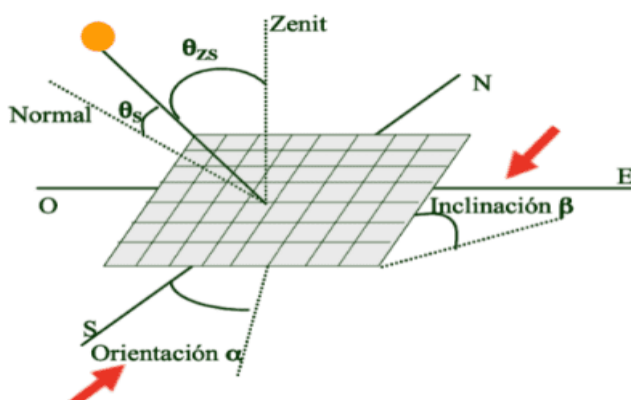
El flujo energético obtenido del sol, a través del uso de instalaciones fotovoltaicas podría tener grandes oportunidades, representando un plus hacia la sostenibilidad, ya que además de ser amigable con el medio ambiente, requiere pocos cuidados y brinda muchas ventajas, teniendo como principales: menor emisión de gases nocivos y ahorro energético (Klimafrío, 2023).

### *Acimut y Ángulos de Inclinación Óptimos*

Los ángulos de inclinación son los ángulos formados en medio de las superficies donde se colocan los paneles solares y las superficies horizontales del terreno. En otras palabras, es la inclinación que se le da a los paneles para que reciban los mayores niveles de radiación posibles. El gráfico (fig. 3), lo representa como beta (Cordero, 2024).

### **Figura 1**

#### *Ángulo de inclinación*



*Nota.* Posicionamiento y ángulo de un panel solar. *Fuente.* Cordero (2024)

Los azimuts se definen como los ángulos horizontales formados en medio de las direcciones de Norte geográfico y las proyecciones sobre las superficies terrestres de las posiciones de los objetos celestes. Es medida en grados, con un rango de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , tomando como referencia el Norte y avanzando en sentido horario (Clima, 2024).

En Colombia, debido a su ubicación geográfica por debajo de la línea ecuatorial, pero cercana a la misma, es recomendable que el panel solar esté orientado con dirección sur. A fin de obtener una mayor eficiencia al momento de captar la radiación, se sugiere una inclinación de entre  $0^\circ$  y  $30^\circ$ , lo que permite una mejor exposición a la radiación solar durante todo el año (Autosolar, 2024).

### ***Sistemas Energéticos Inteligentes***

Sus inicios datan de 2012. Estos sistemas son más flexibles, especialmente al transformar la energía (Heliox, 2021).

Grosso modo, se podría decir que hacen referencia al uso de instrumentos capaces de optimizar el consumo energético. Tienen como base las energías alternativas, de gran potencia y amigables con el medio ambiente, que no solo favorecen los recursos naturales, sino que también minimizan costos (Heliox, 2021).

### ***LabVIEW***

Es una herramienta de graficación por computadora, la cual posibilita la creación de programas informáticos en poco tiempo y con un bajo nivel de complejidad, según Lajara y Pelegrí (2011).

Este software, inicialmente diseñado para controlar equipamiento electrónico de estructuras instrumentales, guarda cada programa que se crea, en archivos conocidos como vi-

virtual instrument (Lajara y Pelegrí, 2011).

### ***MATLAB***

Este software matemático, es de gran utilidad tanto en el campo ingenieril, como científico, por su capacidad para solucionar tareas numéricas con mayor facilidad que si se recurriera a un HLPL (Ortega, 2015).

Se puede simular tanto un sistema mecatrónico como un robot manipulador, siendo crucial si se carece de un campo de experimentación apropiado. No obstante, el ejercicio de simular está supeditado al arquetipo numérico preciso que permita la reproducción veraz del comportamiento en condiciones reales y la identificación de falencias al diseñar el prototipo.

Tras depurar el modelado, el simular hace que sea más fácil analizar y comprender la naturaleza de la estructura, siendo esencial al diseñar un algoritmo controlador. Una modelación matemática completa permite que el proceso simulador actúe como un entorno digital de la verdadera estructura (Reyes, 2012).

### ***Proteus***

Es empleado en electrónica para diseñar y se basa en simular el circuito, ya sea de modo analógico, digitalizado ó mixto, permitiendo que se interactúe con sus componentes. Permite simular su proceder en TR. Tiene 2 formas para simular, cuyas particularidades potencian su utilidad al momento de diseñar cualquier proyecto electrónico (Guallán, 2022).

Cuando no se utiliza este software, la construcción de los equipos electrónicos que tienen como base los microprocesadores, está conformada por 5 pasos. La detección de fallas sólo es posible una vez finalizado y, por consiguiente, ante el menor inconveniente se hace necesaria nuevamente la ejecución completa del proceso:

## Figura 2

*Proceso para construir equipos electrónicos, sin Proteus*



*Nota.* Vista proceso para construir equipos electrónicos sin Proteus. *Fuente.* Hubor (s.f)

El depurar fallas a menudo implica un trabajo arduo tanto en materia temporal como económica, incrementando su costo. No obstante, si se emplea este software, el ciclo resulta de la siguiente manera:

## Figura 3

*Utilizando Proteus para construir un equipo electrónico*



*Nota.* Vista proceso de construcción de un equipo electrónico con Proteus. *Fuente.* Hubor (s.f)

Proteus es una herramienta que destaca por su capacidad de ahorrar costos y tiempo en las fases de prueba, ya que no requiere construir nuevos prototipos. Los módulos de Proteus se pueden adquirir de manera independiente, lo que permite ampliar su funcionalidad conforme crecen los requerimientos a la hora de desarrollar. También se puede realizar la simulación de distintos grupos de microprocesadores por separado, permitiendo una inversión gradual en nuevas características y aprovechando al máximo la herramienta (Hubor, s.f.).

En el ámbito educativo, este software es muy útil porque permite a los estudiantes realizar modificaciones en los circuitos y programas, comprobando los resultados de inmediato y aprendiendo de manera práctica sin el riesgo de dañar materiales costosos. Para quienes necesitan realizar la simulación del funcionamiento de circuitos electrónicos, programas de microprocesadores, construir placas de circuitos impresos, adelantar la documentación del ciclo completo y lograr visualizaciones 3D, este software proporciona una solución completa y competitiva (Hubor, s.f.).

### ***PVsyst***

Es un potente software, que se utiliza para diseñar, simular y analizar instalaciones fotovoltaicas. Este programa se basa en el análisis de datos meteorológicos para crear modelos precisos de la producción de energía solar, puede ser empleado tanto por arquitectos, ingenieros e investigadores, como por docentes (Avilés y Pichardo, 2022).

### ***Regulaciones y Políticas Energéticas en Colombia***

A través de la Ley 1665 de 2013, el estado colombiano, aprobó al IRENA y asumió compromisos relacionados con las fuentes de energía alternativas y ahorro energético, al igual que la mitigación de los GEI emitidos a la atmósfera. Así mismo, el CONPES 3934 dictaminó la política de crecimiento verde, a la par que varios decretos definieron el conjunto de lineamientos

promulgados en la Ley 1715, acelera la implementación de tecnologías renovables para un desarrollo económico verde y responsable. Esta ley también establece incentivos para la investigación y desarrollo de energías limpias, autoriza entregar el excedente energético a la red e igualmente regula el proceso de autogeneración. Mientras que la Ley 2099 de 2021 busca modernizar la legislación para la transición energética y fortalecer los servicios públicos de energía y gas (AMVA, 2024).

La Resolución 174 del 2021 regula actividades de autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en Colombia, este documento establece los criterios y procedimientos para la conexión de estos sistemas al Sistema Interconectado Nacional (SIN), así como las condiciones para la venta de remanentes de energía, como definiciones y clasificaciones de los auto generadores y generadores distribuidos, procedimientos de conexión al operador de la red, esquemas de medición bidireccional para la entrega y reconocimiento de excedentes de energía, remuneración de los excedentes generados por los auto generadores de pequeña escala que utilizan fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) (Minenergía, 2023).

### ***Irradiación***

Es la suma del flujo energético del sol que incide sobre un área durante un periodo específico. En otras palabras, mide el valor de energía que se recibe en unidades de tiempo/superficie. Es expresada en vatios-hora por metro cuadrado ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ), o si se considera un día completo, en  $\text{Wh}/\text{m}^2/\text{día}$  (Alonso, 2024).

### ***Horas de Sol Pico o HSP [horas]***

Este valor representa el valor numérico expresado en horas en que la instalación fotovoltaica está expuesta a una irradiación solar constante de mil vatios por metro cuadrado ( $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ ) en cada uno de los paneles. En otras palabras, es una medida hipotética que

considera la cantidad de tiempo en que la energía solar disponible sería máxima.

### ***Contexto Local***

La Costa Caribe colombiana enfrenta una crisis energética caracterizada por el cobro desmesurado en el precio de la energía, riesgo de racionamiento eléctrico, cobros hormiga en las facturas y polémica entre la compañía Air-e y los generadores de energía. Algunos de los factores que contribuyen a esta crisis son la dependencia de las islas del Caribe de las importaciones de energía, la falta de infraestructura, el historial de pobreza de las islas del Caribe y la presunta deuda millonaria del Gobierno a empresas de energía.

En Colombia, el 63.7% de la energía generada se origina de fuentes hídricas y el 31,5% de fuentes térmicas. En un esfuerzo por diversificar la matriz de generación eléctrica, el gobierno está promoviendo la instalación de nuevas plantas de energía hidroeléctrica, solar y eólica (Minergía, 2023).

Dentro de la Región Caribe, se encuentra Galapa, uno de los municipios pertenecientes al Área metropolitana de Barranquilla, departamento del Atlántico. Limita con los municipios de Baranoa, Barranquilla, Tubará y Soledad. Posee un área total de 98 Km<sup>2</sup>, 20 Km<sup>2</sup> de casco urbano y 78 Km<sup>2</sup> rurales. Con una altura de 83 m.s.n.m., en su cabecera municipal. Temperatura media: 28°C. Distancia de referencia: 8 Km Vía Cordialidad (Alcaldía de Galapa, 2023).

### **Marco Teórico**

Las tecnologías emergentes, como la energía fotovoltaica, eólica y otras renovables, están revolucionando el sector energético. Estas tecnologías son esenciales para la creación de sistemas energéticos sostenibles y eficientes.

Para que una ciudad logre aprovechar de manera óptima las fuentes energéticas fotovoltaicas, es imprescindible tener en cuenta aspectos como nivel de irradiación,

disponibilidad de recursos económicos, respaldo institucional y tecnológico, grado de aceptación social y obstáculos o restricciones arquitectónicas. Hay que ser muy meticuloso en la selección del lugar de instalación (Barragán, 2019).

De otra parte, se propuso considerarla punto de partida, para el uso de dichos espacios, en un ámbito general. La energía que proporcionan estos sistemas fotovoltaicos se encuentra directamente ligada al área dispuesta para ubicar las placas. La discontinuidad propia de la energía proveniente del sol, junto con el bajo cubrimiento en cableado eléctrico con corriente de doble dirección, al igual que centros distribuidores acondicionados, representa la mayor limitante en su expansión, tal como lo afirman Barragán et al. (2019).

En investigación posterior, Pensantez (2021), enfatiza en el valor de la energía renovable, al ser un recurso energético y encontrarse ampliamente disponible de forma natural. La energía proveniente del sol ostenta el mayor potencial renovable. Pero, no obstante, el comportamiento de la radiación presenta intermitencia en las horas diurnas y nulidad en las nocturnas. Por consiguiente, para superar este factor adverso en la producción energética, surge la idea de desarrollar un sistema híbrido alimentado por el sol y el aire, que tenga capacidad para almacenar y asegure así un suministro de energía eléctrica de manera fiable y continua a las distintas cargas durante un lapso determinado. Proporcionando así un incremento significativo en el nivel de confianza de este tipo de instalaciones.

En consonancia con Pensantez et al. (2021), el suministro energético de los sistemas fotovoltaicos es más fiable que el de los eólicos. De igual forma, el incluir baterías de almacenamiento hace que se incremente de manera significativa el suministro eléctrico, permitiendo así suministrar fluido eléctrico en jornada nocturna, logrando cubrir inclusive casi 100% de la demanda total, en contraste con un 54%, proporcionado un sistema sin baterías.

De acuerdo con Polo (2021), este tipo de tecnologías (generador fotovoltaico con su respectiva conexión), podrían beneficiar notablemente el proceso, según su naturaleza, modo operativo de la red distribuidora y forma en que se ubiquen internamente. Se destacan por suavizar las altas demandas al ser coexistentes la cantidad producida con la consumida, menguar el calor del conjunto distribuidor, reducir la pérdida al momento de transmitir y distribuir, servir como soporte a la tensión eléctrica en conductores, compensar el poder reactivo del conductor, entre otros.

Los paneles o módulos fotovoltaicos en un lapso determinado, independientemente de la época del año experimentan siempre una variación superior en la  $t_s$  (temperatura de la superficie del panel), en comparación con la  $t_a$  (temperatura ambiente). De acuerdo con el promedio mensual, dicha  $t_a$  corresponde a 28,7 °C la máxima y 17,4 °C la mínima, teniendo para los módulos una temperatura con un valor máximo de 42,9 °C y un mínimo de 28,6°C (Messina, citado por Polo, 2021).

Como ya se mencionó, la energía solar encabeza la lista de las energías renovables disponibles de forma natural, originada por ciertos procesos que se produce al interior del sol (Pereira, 2018).

Lo que caracteriza a los sistemas fotovoltaicos, según Pereira et al. (2018), es el alto grado de confiabilidad y el bajo nivel de mantenimiento. El bajo costo operacional, a menudo compensa el elevado costo inicial. Las células solares que contienen los paneles son las encargadas de realizar la conversión energética de forma directa, mediante efecto PV.

Los elementos fundamentales de los sistemas fotovoltaicos son las células fotovoltaicas, compuestas por una bicapa semiconductor. Estas franjas, "N" & "P", que poseen superávit y carencia, respectivamente, de partículas subatómicas con carga eléctrica negativas, al unirse,

forman el acoplamiento P-N. Al incidir las partículas de luz, generadas por el sol, las partículas negativas se cargan positivamente, haciendo que estas migren y se da lugar a una corriente eléctrica. Tanto las partículas negativas, como los huecos mantienen retenidos tras este obstáculo, siempre y cuando no haya incidencia solar sobre la célula (Pereira et al., 2021).

El mismo autor señala que, al industrializar, estas unidades básicas, son interconectadas como serie paralelo para formar de esta manera, los módulos PV. Dentro de los cuales, los que más se utilizan son los policristalinos o monocristalinos. No obstante, últimamente, han cobrado popularidad películas finas, principalmente para instalaciones de gran envergadura (Pereira et al., 2018).

Según Pereira et al. (2018), por lo general, en este tipo de instalaciones, la distribución modular se realiza progresivamente, para obtener el flujo de corriente continua necesario. Si se quiere volver más potente, basta con conectar en forma paralela más de una cadena. Dado este comportamiento, es necesario rastrear hasta hallar la posición con mayor P, a fin de asegurar la extracción de la MP de los paneles.

El país posee superioridad en el ámbito de la energía, debido tanto a su localización estratégica como a su diversidad climática y ecosistémica, lo cual le favorece para generar energías amigables con el medio ambiente, como lo son la eólica y solar, entre otras. Sin embargo, si se pretende cubrir el total demandado, bajo criterios de sostenibilidad, es necesario racionar el consumo energético y propender por una transición energética (Giraldo, 2018).

Como principal reto, se tiene lograr que los diferentes entes involucrados se comprometan seriamente, a fin de obtener mejores resultados en la adopción de dichas tecnologías, en materia sostenible y sustentable. Por el momento, aún no ha tenido mucha acogida la incorporación de dicha tecnología (Magoja, 2022).

En lo referente a riesgos, existe en primera instancia, la probabilidad que la relación socioeconómica se vuelva más inequitativa e injusta, por partida doble. En lo referente a la parte productiva, el crecimiento energético renovable bajo el poder de la minoría, más la posible extinción de más de un sector, propiciaría la concentración monetaria en un pequeño grupo, impactando adversamente en la población. Es evidente que no todos podrían acceder a ellas, de modo que la solución no resultaría tan efectiva. Aún hay muchos aspectos por considerar/mejorar (Magoja, 2022).

Hayat (2016), afirma que los sistemas energéticos inteligentes son uno de los elementos centrales de la infraestructura en smart cities. Aparte del monitoreo continuo, estos sistemas suelen incluir una red inteligente que proporciona una combinación de sistemas de energía descentralizados y centralizados. Los sistemas de energía inteligente también presentan un camino para reducir la variabilidad climática. En un estudio posterior, se analizaron los beneficios al utilizar las TIC para descarbonizar el sistema energético (Hunter et al., 2018). Los autores argumentaron que la mayor eficiencia de los sistemas de energía inteligente basados en las TIC combinada con la capacidad de proporcionar información de consumo más específica conducirá a un menor uso de energía y, por tanto, a una menor huella de carbono. Parks (2019) descubrió que las redes inteligentes podrían ayudar a impulsar la integración de energías limpias y mejorar su eficiencia. En un estudio similar, Drysdale et al. (2019) argumentaron que la tecnología por sí sola no hace que dichos SEI sean "inteligentes". Mientras que, centrarse tanto en descarbonización como en sostenibilidad, además de la implementación de las TIC, resulta clave.

Las mejoras en la eficiencia y una mayor inclusión de fuentes de energía renovables ayudarán a los esfuerzos actuales de mitigación del cambio climático, lo que

demuestra un beneficio de implementar aplicaciones de ciudades inteligentes en lo concerniente al campo de la energía. Otra ventaja en dichos SEI podría ser la resiliencia a los desastres, como huracanes u olas de calor, que a menudo afectan negativamente a la tecnología de generación de electricidad. Investigaciones recientes han demostrado que la naturaleza descentralizada de los sistemas de energía inteligente mejora la resiliencia al proporcionar generación de electricidad local durante desastres, como huracanes o tormentas, cuando las plantas de energía centralizadas se ven afectadas (Hayat, 2016). La cogeneración de electricidad también reduce la carga en los generadores centralizados, lo que podría aliviar parte del estrés que se ejerce sobre el sistema eléctrico durante las olas de calor (Hayat, 2016). Dado que es probable que el cambio climático conduzca a desastres más frecuentes, como olas de calor (Dosio et al., 2018), un componente crucial de la adaptación es disminuir el impacto en la tecnología de generación de electricidad. Esta recopilación demuestra los avances obtenidos dentro de las aplicaciones de ciudades inteligentes para ayudar en la reducción de la variabilidad climática y facilitar el proceso adaptativo, a la misma. A modo de síntesis, estos sistemas energéticos inteligentes siguen siendo una opción viable para reducir las emisiones de carbono no sólo por su mayor eficiencia, modulación de carga y mayor integración de energías renovables, sino también porque ofrecen una resiliencia más descentralizada ante las alteraciones climáticas.

El implementar sistemas energéticos fotovoltaico, basados en energía renovable, tiene un impacto significativo en la población local, mejorando la calidad de vida y reduciendo costos energéticos.

Tanto en Latinoamérica como en la zona caribeña, se están poniendo en marcha iniciativas para modernizar las redes eléctricas y promover el uso de energías renovables.

## Metodología

### Procedimiento

El proyecto se llevó a cabo mediante una investigación descriptiva, práctica e inductiva. Se utilizaron métodos cualitativos y cuantitativos en conjunto, para lograr una comprensión más completa del tema. El proceso de investigación se segmentó en etapas, que se explican a continuación:

### *Etapas*

**Etapas 1: Diagnóstico.** Se identificó el contexto y problemática actual, mediante encuestas realizadas a nivel local, las cuales fueron distribuidas de manera virtual, para su respectivo diligenciamiento y posterior análisis de datos.

**Etapas 2: Planeación y Ejecución.** Una vez diagnosticado el área de estudio, se procedió a planear y ejecutar. Esto incluyó en primer lugar, diseñar cada circuito empleando el software indicado y la validación de funcionalidad previo a medir y convertir de manera virtual, permitiendo conocer los valores reales estimados para una implementación a escala residencial. Posterior a ello, se procedió a adquirir los elementos a menor escala para ensamblar el prototipo, realizando en el ensamble y muestra en una maqueta, conociendo de esta manera los datos de generación de energía, los datos de consumo y generando una acción sencilla, con la energía obtenida.

**Etapas 3: Evaluación.** Por último, se realizaron los test necesarios, evaluando y analizando el resultado. Una vez listo esto, se ajustó el documento y se procedió a socializarlo. La investigación tuvo lugar en la urbanización Villa Olímpica, manzana 62<sup>a</sup>, ubicada en el municipio de Galapa, Atlántico. El desplazamiento se realizó a pie, en su mayor parte.

### ***Enfoque***

Este proyecto se abordó de manera interdisciplinaria, integrando los diferentes sistemas tecnológicos que permiten la generación de energía y su empleabilidad en el uso diario residencial.

### ***Diseño de Estudio***

Se empleó un estudio exploratorio y descriptivo, para el diagnóstico y un diseño experimental, implementando un prototipo en una escala menor y logrando la evaluación del sistema.

### ***Modelo de Estadística***

Análisis descriptivo de datos para determinar el consumo energético promedio en la Urbanización Villa Olímpica y comprender los patrones de uso.

Análisis para determinar el grado de dominio que presentan cada variable respecto al consumo energético, mediante técnicas de regresión.

### ***Método de Análisis***

Estudio de las necesidades energéticas de las viviendas en la urbanización de Villa Olímpica, a través de la investigación cualitativa.

Evaluación de la eficiencia y eficacia del sistema energético fotovoltaico prototipado mediante análisis de datos.

## Diseño de la Solución

### Módulos Fotovoltaicos

**Tabla 1**

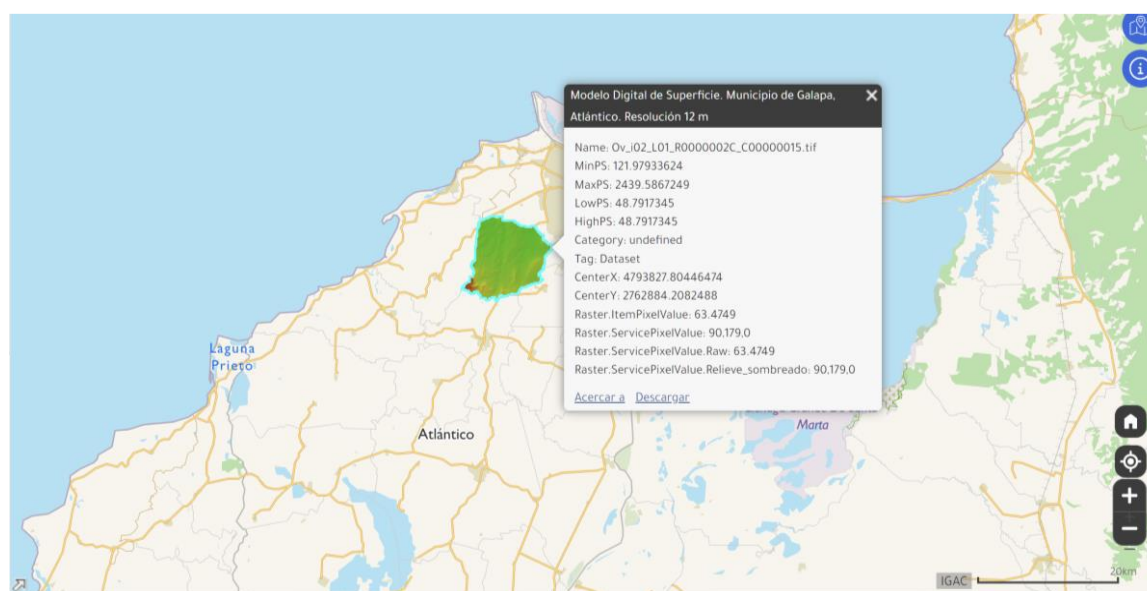
*Ubicación municipio de Galapa, Atlántico*

| Sistema                                  | Coordenadas            |
|--|------------------------|
| Grados Decimales                         | Latitud: 10.8968600°   |
|  | Longitud: -74.8860000° |
| Galapa en grados y minutos decimales DMS | Latitud: 10°53.8116' N |
|  | Longitud: 74°53.16' O  |
| UTM                                      | Zona UTM: 18P          |
|  | X: 512458.11523676     |
|  | Y: 1204577.576725      |

*Nota.* Sistema de coordenadas del municipio de Galapa, Atlántico. *Fuente.* Latitude (2024)

**Figura 4**

*Ubicación geográfica municipio de Galapa, Atlántico*



*Nota.* Localización del municipio de Galapa en el país. *Fuente.* Colombiaenmapas (s.f)

**Consumo Teórico de la Instalación Fotovoltaica.** La energía que se necesita para alimentar nuestros dispositivos en la instalación se conoce como consumo teórico. Sin embargo, el consumo real que debe cubrir nuestro generador fotovoltaico es mayor, ya que debemos tener en cuenta las pérdidas y el consumo de los componentes de la instalación (Areatecnología, 2024).

**Tabla 2**

*Consumo teórico de la instalación fotovoltaica*

| <i>Dispositivo</i>   | <i>Unidades</i> | <i>Uso diario<br/>(horas)</i> | <i>Potencia<br/>(W)</i> | <i>Consumo Energético<br/>en Wh</i> | <i>Potencia Pico(W)</i> |
|----------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Televisión           | 01              | 04                            | 180                     | 720                                 | 180                     |
| Refrigerador (AC)    | 01              | 24                            | 30                      | 720                                 | 800                     |
| Licuada              | 01              | 0.5                           | 150                     | 75                                  | 100                     |
| Lavarropa            | 01              | 01                            | 175                     | 175                                 | 175                     |
| Computador           | 01              | 08                            | 22                      | 176                                 | 22                      |
| Horno Microondas     | 01              | 01                            | 600                     | 600                                 | 600                     |
| Iluminación          | 04              | 05                            | 12                      | 240                                 | 48                      |
| Módem                | 01              | 24                            | 4.5                     | 108                                 | 4.5                     |
| Ventilador           | 02              | 07                            | 40                      | 560                                 | 80                      |
| Máquina para café    | 01              | 0.5                           | 600                     | 300                                 | 600                     |
| Cargador de teléfono | 02              | 02                            | 20                      | 80                                  | 40                      |
|                      |                 |                               | TOTAL                   | 3754                                | 2649.5                  |

*Nota.* Se muestran las especificaciones de consumo, según el dispositivo. *Fuente.* Autoría Propia

Para calcular el consumo energético diario de cada dispositivo, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Energía-Equipo[Whd]} = \text{Potencia UNITARIA[w]} * \text{Numero de horas de uso diario}$$

\*Se mide en Whd (Wattios hora día).

**Estimación del Consumo Diario.** Para comenzar, se necesita recopilar el historial de datos sobre la cantidad consumida en Watts para cada dispositivo hallado en la casa seleccionada. Posteriormente, Se aumenta la cantidad en un 30% como margen de seguridad para obtener una estimación más precisa del consumo energético diario.

*Consumo energético diario: 3749 Wh*

*Factor de seguridad = 20%*

*Consumo ajustado = 3754Wh \* 1.2*

*Consumo energetico final = 4498.8 Wh*

**Factor de Seguridad.** Es un margen de seguridad que se aplica a las estructuras para garantizar que no fallen bajo condiciones de carga inesperadas o adversas. Se determina dividiendo la resistencia máxima de la estructura entre la carga máxima que se espera que soporte en condiciones normales (0metros<sup>2</sup>, 2023).

### **Consumo Real de la Instalación Fotovoltaica.**

*Consumo = Energía (wh/día)*

*Potencia = Carga*

Los componentes del sistema fotovoltaico (generador, regulador, baterías e inversor) consumen energía para funcionar y presentan pérdidas entre la entrada y la salida. La eficiencia del sistema se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L_{md} = \frac{L_{md,AC} + \frac{L_{md,AC}}{n_{inv}}}{n_{bat} * n_{con}}$$

$L_{md}$  = Consumo diario de energía.

$L_{md,DC}$  = Consumo energético diario de las cargas DC(720)

$L_{md,AC}$  = Consumo diario promedio de las cargas AC

$n_{bat}$  = Rendimiento de baterías (95% = 0.95)

$n_{con}$  = Rendimiento de los conductores(100% = 1

$n_{Inv}$  = Rendimiento del inversor (95% = 0.95))

$$L_{md} = \frac{720 + \frac{3778.8}{0.95}}{0.95 * 1}$$

$$L_{md} = \frac{720 + 3977.6}{0.95}$$

$L_{md} = 4945 \text{ Wh/día}$  Valor para considerar.

**Cálculo de la Potencia Prevista para el Generador.** Para obtener la potencia total de la instalación, se suman los vatios (W) de cada equipo y se multiplica por un factor de simultaneidad, que representa la probabilidad de que todos los equipos estén encendidos al mismo tiempo. En este caso se puede usar un factor de 0.8 u 0.7 para los cálculos.

De acuerdo con la tabla de consumo, se tiene:

Potencia prevista en continua = 800w (Paylesspower, 2024)

Potencia prevista en alterna = 1899.5 W

Potencia prevista total = 2699.5 W

### **Selección de Tensión del Sistema Fotovoltaico.**

**Tabla 3**

*Voltaje de operación del sistema fotovoltaico basado en la potencia necesaria*

| <i>Consumo diario Wh/día</i> | <i>Voltaje del sistema Fotovoltaico en V</i> |
|------------------------------|--|
| < 1500 (menor)               | 12   |
| 1500 < x < 5000              | 24-48  |
| > a 5000 (mayor)             | 120-300                                      |

*Nota.* Se muestra el voltaje requerido, según la potencia. *Fuente.* Autoría Propia

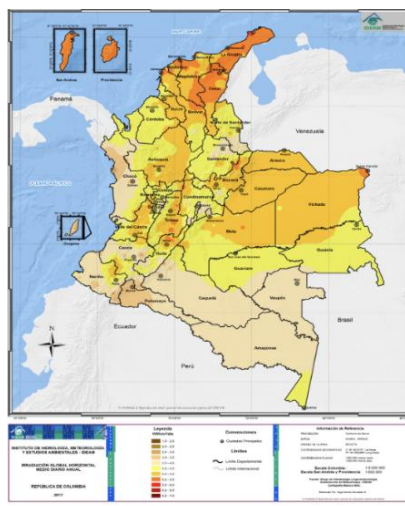
Dado que el consumo diario no es muy elevado, se ha elegido un nivel de tensión de 48

voltios para el sistema.

**Estimación Módulo Fotovoltaico.** La cuantificación del número adecuado de módulos fotovoltaicos requiere conocer el nivel de radiación solar disponible en la ubicación geográfica seleccionada.

### Figura 5

*Cantidad promedio de energía solar sobre una superficie horizontal*



*Nota.* Nivel medio de radiación solar diaria sobre una superficie horizontal, valor promediado para el año, en kilovatio hora por metro cuadrado por día. *Fuente.* IDEAM (s.f)

En Galapa, la irradiación solar promedio diaria se estima entre 5 y 5.5 kWh/m<sup>2</sup>. Para los cálculos, se utilizará el valor mínimo de 5 kWh/m<sup>2</sup>, mientras la irradiancia: Potencia recibida en un instante. Es decir, mide el grado de fuerza al incidir la energía lumínica del sol sobre un área específica. Se expresa en W/m<sup>2</sup>, lo que indica la potencia que recibe cada metro cuadrado de la superficie.

$$HSP = \frac{\text{Irradiación}}{\text{Irradiancia}}$$

$$HSP = \frac{5000 \text{ W/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$HSP = 5 \text{ horas}$$

Se estima que la ubicación del proyecto tiene 5 horas de sol pico (HSP) en promedio, basándose en los datos del año anterior.

### Cálculo de Potencia Pico de Banco.

$$P = \frac{\text{Consumo del día}}{HPS}$$

$$P = \frac{4945 \text{ Wh/día}}{5}$$

$$P = 989 \text{ Wp}$$

### Cálculo de Número de Paneles Solares.

$$\text{Panel} = \frac{\text{Potencia Pico}}{\text{Potencia panel}}$$

## Figura 6

Panel fotovoltaico REC250PE 60 celdas

| PARÁMETROS ELÉCTRICOS @ STC                 | REC240PE | REC245PE | REC250PE | REC255PE | REC260PE | REC265PE |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Potencia nominal - $P_{MPP}$ (Wp)           | 240      | 245      | 250      | 255      | 260      | 265      |
| Clasificación de la clase de potencia - (W) | 0/+5     | 0/+5     | 0/+5     | 0/+5     | 0/+5     | 0/+5     |
| Tensión nominal - $V_{MPP}$ (V)             | 29,7     | 30,1     | 30,2     | 30,5     | 30,7     | 30,9     |
| Corriente nominal - $I_{MPP}$ (A)           | 8,17     | 8,23     | 8,30     | 8,42     | 8,50     | 8,58     |
| Tensión a circuito abierto - $V_{OC}$ (V)   | 36,8     | 37,1     | 37,4     | 37,6     | 37,8     | 38,1     |
| Corriente corto circuito - $I_{SC}$ (A)     | 8,75     | 8,80     | 8,86     | 8,95     | 9,01     | 9,08     |
| Eficiencia del módulo (%)                   | 14,5     | 14,8     | 15,1     | 15,5     | 15,8     | 16,1     |

Los datos analizados demuestran que el 99,7% de los módulos tienen una tolerancia de corriente y tensión del  $\pm 3\%$  respecto al valor nominal. Valores en condiciones estándares de medida STC (masa de aire AM1,5, irradiancia 1000W/m<sup>2</sup>, temperatura de la célula 25°C). En bajas irradiancias de 200W/m<sup>2</sup> y condiciones STC (1,5AMy Temperatura de célula de 25°C) es posible obtener, al menos el 97% de la eficiencia.

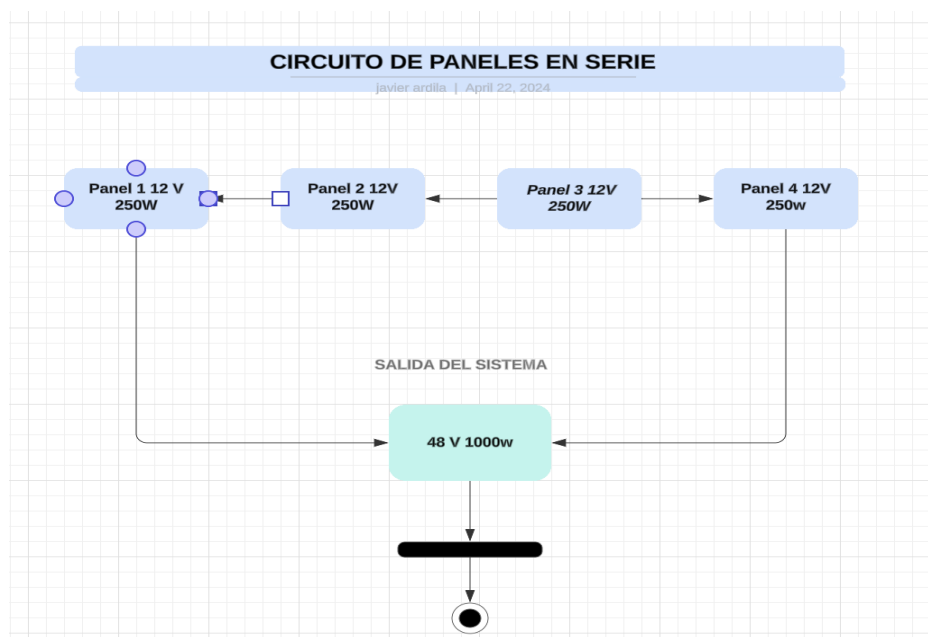
Nota. Especificaciones del Panel Solar POLY330-350w. Fuente. Monsolar (s.f)

$$\text{Paneles} = \frac{989 \text{ Wp}}{250 \text{ Wp}}$$

$$\text{Paneles} = 3.956 \approx 4 \text{ Paneles}$$

## Figura 7

### Configuración de los sistemas energéticos solares



*Nota.* Configuración de los sistemas energéticos solares. *Fuente.* Autoría Propia

**Selección del Controlador.** Cuando se va a hallar la “P” del controlador que porta la carga, se requiere dividir la potencia total de los paneles (4 kW en este caso) entre el voltaje del sistema (48 voltios).

$$\text{Controlador} = \frac{4 * 250Wp}{48V}$$

$$\text{Controlador} = 20.8 A$$

Se requiere un controlador de carga con una capacidad superior a 21 Amperios y una tensión de funcionamiento de 48 voltios. En este caso específico, se ha seleccionado el controlador de carga PWM de 50 Amperios y 48 voltios (Autosolar, 2024).

## Figura 8

### Descripción especificaciones Controlador de carga PC1500B

| Modelo              |                                    | PC1500B-10-20  |                   | PC1500B-30-40                         |                    | PC1500B-50-60    |                    | PC1500B-6048D |                    |
|---------------------|------------------------------------|--|-------------------|---------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------|--------------------|
| Entrada             | Voltaje FV                         | ≤50V   |                   |                                       |                    |                  |                    | ≤100V         |                    |
|                     | Intensidad nominal                 | 10A  | 20A               | 30A                                   | 40A                | 50A              | 60A                | 50A           | 60A                |
| Salida              | Voltaje sistema                    | 12/24V Auto  |                   |                                       |                    |                  |                    | 48V           |                    |
|                     | Desconexión por alto voltaje       | 16.00V x 1/ x 2/ x 3/ x 4 ( 0.5V )                     |                   |                                       |                    |                  |                    |               |                    |
|                     | Intensidad descarga nominal        | 10A  | 20A               | 30A                                   | 40A                | 50A              | 60A                | 50A           | 60A                |
|                     | Autoconsumo                        | ≤13mA  |                   |                                       |                    |                  |                    | ≤25mA         |                    |
|                     | Caída de tensión circuito carga    | ≤0.24V   |                   |                                       |                    |                  |                    | ≤0.25V        |                    |
|                     | Caída de tensión circuito descarga | ≤0.10V   |                   |                                       |                    |                  |                    | ≤0.10V        |                    |
|                     | Modo de carga                      | PWM 4-etapas carga, absorción, flotación, ecualización |                   |                                       |                    |                  |                    |               |                    |
|                     | Voltaje Carga Flotación            | 13.8V (13V~15V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4                    |                   |                                       |                    |                  |                    |               |                    |
|                     | Voltaje Carga Absorción            | 2 horas duración                                       |                   | 14.4V (13V~15V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4   |                    |                  |                    |               |                    |
|                     | Voltaje Carga Ecualización         |  |                   | 14.6V (13V~15.5V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4 |                    |                  |                    |               |                    |
|                     | Protección Bajo Voltaje            | 10.7V (10V~14V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4                    |                   |                                       |                    |                  |                    |               |                    |
|                     | Reconexión Bajo Voltaje            | 12.6V (10V~14V ) x 1/ x 2/ x 3/ x 4                    |                   |                                       |                    |                  |                    |               |                    |
|                     | Salida USB                         | 5V, 1A x2  |                   |                                       |                    | No tiene         |                    |               |                    |
|                     | Características físicas            | Sección cableado                                       | ≤6mm <sup>2</sup> |                                       | ≤16mm <sup>2</sup> |                  | ≤16mm <sup>2</sup> |               | ≤16mm <sup>2</sup> |
| Temperatura trabajo |                                    | -20°C~55°C   |                   |                                       |                    |                  |                    |               |                    |
| Tamaño (L x W x H)  |                                    | 188 x 95 x 46.5mm                                      |                   |                                       |                    | 196 x 111 x 54mm |                    |               |                    |
| Peso neto           |                                    | 355g   |                   |                                       |                    | 407g             |                    |               |                    |

*Nota.* Características técnicas del controlador de carga PC1500B-50-60, este controlador de carga incorpora funciones avanzadas. Estas funciones avanzadas, como detectar automáticamente la cantidad de voltios de los sistemas, los algoritmos para cargas inteligentes (PWM), el recompensar de modo automático por temperatura y la interrupción en la conexión en baterías debido a la baja cantidad de voltios, trabajan en conjunto para optimizar el rendimiento del sistema, prolongar el periodo de utilidad que tienen las baterías, así como garantizar seguridad para el dispositivo. *Fuente.* Solar System (s.f)

#### Selección del Inversor Solar.

*Voltaje del sistema: 48 voltios*

*Potencia total pico = 2699.5Wp*

Para asegurar un funcionamiento óptimo, se recomienda utilizar un inversor con el doble

de la potencia total del sistema, es decir, 5399 Wp. Por lo tanto, se seleccionará un inversor híbrido de onda sinusoidal pura de 6000Watt, 48 Voltios, con salida a 120 Voltios, como la versión PV3300 Fase Dividida TLV de Must (Nexosolar, 2024).

#### **Tabla 4**

##### *Especificaciones del inversor seleccionado*

---

|   |
|---|
| Nombre: Inversor Híbrido 48V 6.000W   |
| Ficha técnica:  |
| Punto de salida sinusoidal sin distorsión, trifásica (HOT1 + N + HOT2)                  |
| Optimización de la carga de la batería en 3 etapas para mayor eficiencia.               |
| Pantalla LCD intuitiva para fácil control y monitorización                              |
| Sistema de protección contra sobrecargas y cortocircuitos para mayor seguridad          |
| Ajustes de voltaje y corriente de carga personalizables                                 |
| Desconexión automática de la batería a 10/10.5/11 voltios para evitar descarga profunda |
| Selección de fuente de energía: prioridad de la de la batería o la red eléctrica        |
| El voltaje es configurable entre los valores de 100/110/120/50/60 Hz                    |
| Sistema de carga MPPT incorporado con “80” amperios para máxima eficiencia              |

---

*Nota.* Se muestran las especificaciones del inversor seleccionado. *Fuente.* Autoría Propia

#### **Dimensionamiento de Sistemas de Baterías.**

Características del sistema:

Voltaje del sistema: 48 voltios

Consumo diario: 4945 vatios – hora (Wh)

Baterías: 250 amperios – hora (Ah) a 12 voltios

#### ***Cálculo de la Potencia.***

*Potencia de las baterías: 12 voltios x 250 Ah = 3000 Wh*

Las baterías AGM y gel se utilizan al 50% de su capacidad, lo que da una disponibilidad de 1500Wh para su uso, en este caso (Atersa, 2024).

$$\text{Baterías} = \frac{4945Wh}{1500Wh}$$

$$\text{Baterías} = 3.29 \approx 4$$

Para obtener una tensión de 48V, se necesitan cuatro baterías de 12V, cada una con una capacidad de 1500Wh, lo que da un total de 6000Wh.

## Figura 9

### Especificaciones técnicas de una batería

|  |   |                     |                       |                      |
|--|---|---------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>MODELO DE BATERÍA</b>                             | Voltaje nominal   |                     | 12V                   |                      |
|  | Capacidad nominal (100 Tasa Hora)                         |                     | 250Ah                 |                      |
|  | Células por batería                                       |                     | 6                     |                      |
| <b>DIMENSIONES</b>                                   | Longitud  | Ancho               | Altura                | Altura total         |
|  | 522 mm  | 240 mm              | 218 mm                | 224 mm               |
| <b>PESO APROXIMADO</b>                               | 57.0 kg ± 3%  |                     |                       |                      |
| <b>CAPACIDAD@ 25°C</b>                               | <b>10 C ( 20.0A)</b>                                      | <b>5 C ( 34.6A)</b> | <b>3 C ( 52.4A)</b>   | <b>1 C ( 122.8A)</b> |
|  | 200.0 Ah  | 173.0 Ah            | 157.2 Ah              | 122.8 Ah             |
| <b>CORRIENTE DE DESCARGA MÁX</b>                     | 2000 A (5 seg.)   |                     |                       |                      |
| <b>RESISTENCIA INTERNA</b>                           | Cargado por completo Vat 25°C: Aprox. 2.1mΩ               |                     |                       |                      |
| <b>CAPACIDAD AFECTADA POR LA TEMPERATURA (10 HR)</b> | <b>40°C</b>   | <b>25°C</b>         | <b>0°C</b>            |                      |
|  | 103%  | 100%                | 86%                   |                      |
| <b>MÉTODO DE CARGA @25°C</b>                         | <b>Ciclo de uso</b>                                       |                     | <b>Modo de espera</b> |                      |
|  | 14.1-14.4V<br>(Corriente de carga inicial inferior a 27A) |                     | 13.50-13.80V          |                      |

*Nota.* Características técnicas: La batería GEL 12-250 está diseñada con un sello de seguridad y ofrece una alta densidad de potencia. *Fuente.* Autosolar (s.f)

### Definir Tramos por Caída de Tensión.

$$\Delta U = \frac{2 * I * \rho * L}{S}$$

En corriente continua, la caída de voltaje debe ser máximo del 1.5%

Donde:

2: Es la cantidad de conductores activos del circuito

I: Corriente Nominal (Imp).

$\rho$ : Resistencia del cobre (0.01724)

L: Largo en metros

S: Sección del cable escogido en  $\text{mm}^2$  (Ilumin, 2024).

Se emplea la resistividad del cobre de 1/58 exactamente  $0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ . También se debe corregir la resistividad teniendo en cuenta la temperatura, la caída de tensión se incrementa a medida que la temperatura aumenta.

$$\rho_T^{Cu} = \rho_{T=20^\circ C}^{Cu} * [1 + \alpha(T - 20)]$$

$$\rho_T^{Cu} = \frac{1}{58} [1 + 0.0093(T - 20)]$$

Para el caso de estudio, se tiene una longitud de 10 metros, un valor de 8.3 V por panel y una tensión nominal de 30.2 V, con 4mm la sección del cable a analizar. Se procede de la siguiente forma:

#### **Calcular Sección de Conductores por Cada Tramo.**

$$\Delta U = \frac{2 * 8.3 * 0.01839 * 10}{4}$$

$$\Delta U = 0.76V$$

La tensión disminuirá  $0.76V$  al final del circuito.

#### **Caída en Tensión en Porcentaje.**

$$\% \Delta U = \frac{\Delta U}{V_{mp}} * 100$$

$$\% \Delta U = \frac{0.76V}{120.8} * 100$$

$$\% \Delta U = 0.63\%$$

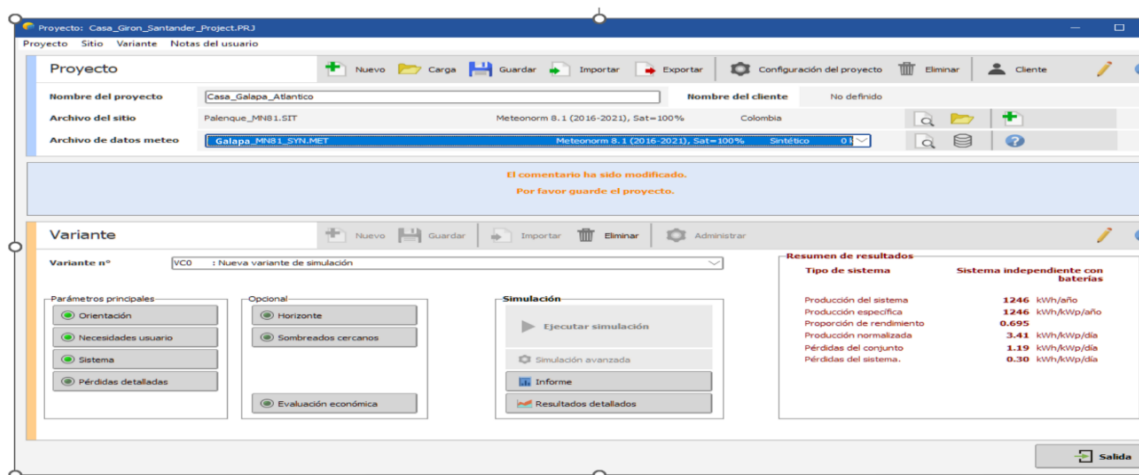
La tensión que entrega el arreglo fotovoltaico es de 120.8 V, pero al final de la línea, producto de la resistividad del cobre, solo se tendrá  $(120.8 \text{ V} - 0.76 \text{ V})$ , un total de 120.4V con una pérdida de 0.63% según Enel (2024), “es necesario calcular una caída de tensión que no

supere el 2% o el 3% del voltaje nominal por conductor”.

### Cálculo por Software Especializado.

**Figura 10**

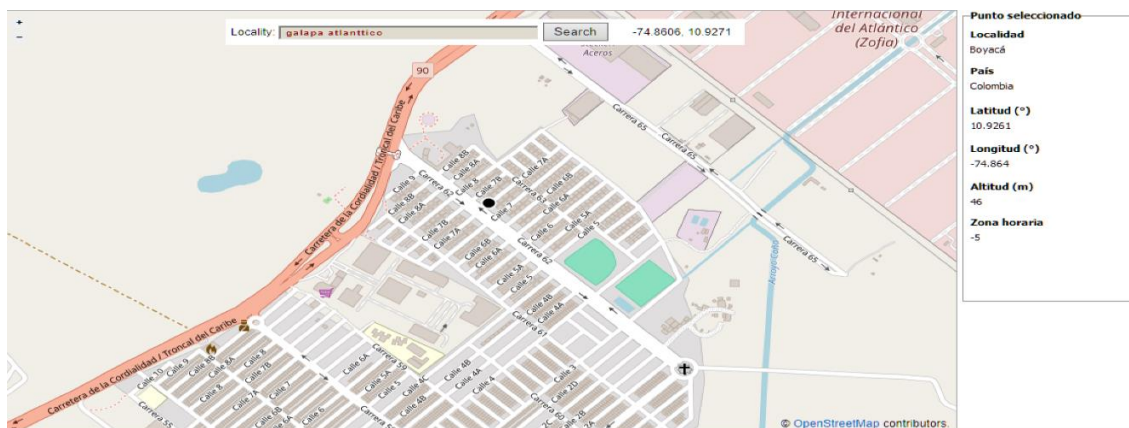
*Vista previa PVsyst 7.4*



*Nota.* Aplicación software profesional PVsyst 7.4. Vista inicio proyecto. *Fuente.* Autoría Propia

**Figura 11**

*Ubicación casa Galapa, Atlántico*



*Nota.* Aplicación de software profesional PVsyst 7.4. Entrada de coordenadas. *Fuente.* Autor

Figura 12

Tabla valores de radiación solar anual en las coordenadas

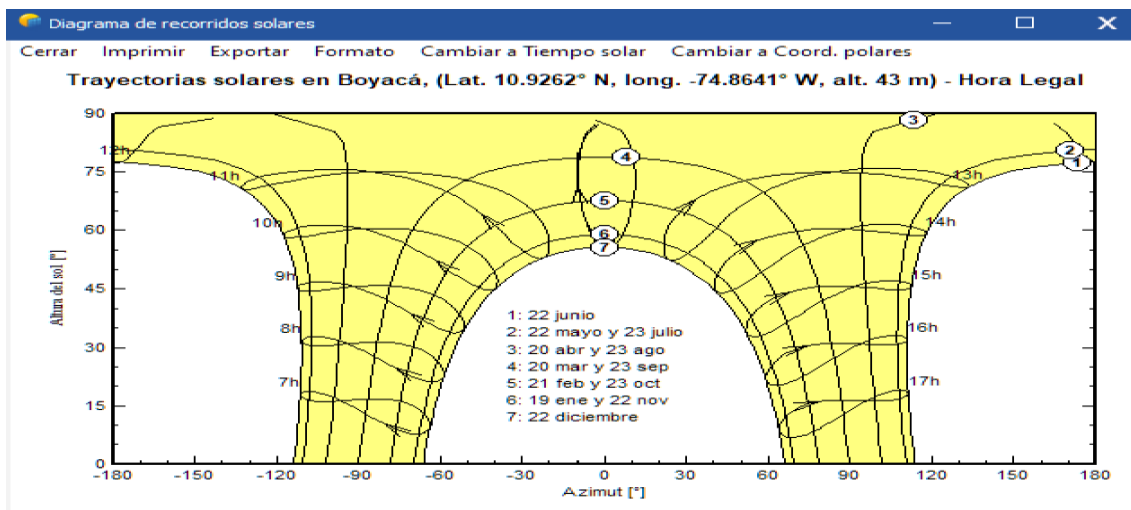
|            | Irradiación horizontal global<br>kWh/m <sup>2</sup> /día | Irradiación difusa horizontal<br>kWh/m <sup>2</sup> /día | Temperatura<br>°C | Velocidad del viento<br>m/s | Turbidez Linke<br>[-] | Humedad relativa<br>% |
|------------|--|--|-------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Enero      | 5.52   | 1.73   | 27.1              | 5.10                        | 3.484                 | 78.5                  |
| Febrero    | 5.80   | 2.31   | 27.2              | 5.50                        | 3.908                 | 77.2                  |
| Marzo      | 6.21   | 2.41   | 27.6              | 5.40                        | 4.314                 | 77.7                  |
| Abril      | 6.05   | 2.77   | 27.9              | 4.60                        | 4.871                 | 80.4                  |
| Mayo       | 6.00   | 2.60   | 28.5              | 3.20                        | 4.076                 | 82.0                  |
| Junio      | 5.95   | 2.47   | 28.2              | 2.99                        | 3.829                 | 83.6                  |
| Julio      | 5.90   | 2.55   | 28.5              | 3.29                        | 3.791                 | 80.5                  |
| Agosto     | 5.78   | 2.65   | 28.5              | 3.19                        | 3.787                 | 82.1                  |
| Septiembre | 5.26   | 2.29   | 27.8              | 2.59                        | 3.711                 | 86.0                  |
| Octubre    | 4.92   | 2.36   | 27.8              | 2.50                        | 3.454                 | 85.9                  |
| Noviembre  | 5.09   | 1.88   | 27.4              | 2.80                        | 3.367                 | 85.9                  |
| Diciembre  | 5.21   | 1.76   | 27.8              | 4.00                        | 3.446                 | 79.9                  |
| <b>Año</b> | <b>5.64</b>  | <b>2.31</b>  | <b>27.9</b>       | <b>3.8</b>                  | <b>3.837</b>          | <b>81.6</b>           |

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 9.9%

Nota. Uso de software profesional PVsyst 7.4. Vista tabla de radiación diaria, según todos los meses del año. Fuente. Autoría Propia

Figura 13

Diagrama trayectoria solar según puntos seleccionados



Nota. Aplicación de software profesional PVsyst 7.4. Diagrama de recorridos solares, coordenadas ingresadas. Fuente. Autoría Propia

Figura 14

## Determinación consumo diario

**Definición de consumos domésticos diarios para el año.**

Consumo | Distribución por hora

| Número                      | Aparato                       | Potencia     | Uso diario | Distrib. por hora | Daily energy         |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------|------------|-------------------|----------------------|
| 6                           | Lámparas (LED o fluo)         | 12 W/lámpara | 3.0 h/día  | OK                | 216 Wh               |
| 1                           | TV                            | 120 W/apar.  | 3.0 h/día  | OK                | 360 Wh               |
| 1                           | Electrodomésticos             | 700 W/apar.  | 2.0 h/día  | OK                | 1400 Wh              |
| 1                           | Nevera / congelación profunda | 0.75 kWh/día | 24.0 h/día | OK                | 750 Wh               |
| 1                           | Lavaplatos y lavadora         | 175.0 W prom | 2.0 h/día  | OK                | 350 Wh               |
| 1                           | Portátil                      | 22 W/apar.   | 6.0 h/día  | OK                | 132 Wh               |
| 1                           | Otros usos                    | 200 W/apar.  | 2.5 h/día  | OK                | 500 Wh               |
| Consumidores en espera      |                               | 1 W tot      | 24 h/día   |                   | 24 Wh                |
| <b>Energía diaria total</b> |                               |              |            |                   | <b>3732 Wh/día</b>   |
| <b>Energía mensual</b>      |                               |              |            |                   | <b>112.0 kWh/mes</b> |

**Info aparatos**

**Definición de consumo por**  
 Año  
 Estaciones  
 Meses

**Fin de semana o uso semanal**  
 Usar solo durante  
 7 días en una semana

Nota. Aplicación de software profesional PVsyst 7.4. Determinación consumo diario. Fuente.

Autoría Propia

Figura 15

## Elección componentes de la estructura

Necesidades diarias prom. Ingrese PLOL aceptado 5.0 %  
 3.7 kWh/día Autonomía solicitada 4.0 día(s)  
 Voltaje de la batería (usuario) 26 V  
 Capacidad sugerida 686 Ah  
 Potencia FV sugerida 860 Wp (nom.)

Almacenamiento | Generador FV | Respaldo | Esquema Simplificado

Nombre y orientación del subconjunto  
 Nombre: Generador FV  
 Inclinación 10°  
 Oriente: Plano inclinado fijo Azimut 0°

**Ayuda de pre-dimensionamiento**  
 Sin dimensionar Ingrese potencia planeada 1.0 kWp  
 Redimens. ... o área disponible 0 m<sup>2</sup>

**Seleccione el módulo FV**  
 Todos los módulos Ordenar módulos: Potencia Tecnología  
 \_Genérico 250 Wp 26V Si-mono Mono 250 Wp 60 cells Desde 201  
 Dimensiones, voltaje: Vmpp (60°C) 26.2 V  
 Voc (-10°C) 41.7 V

**Seleccione el modo de control y el controlador**  
 Controlador universal \_Genérico Convertidor de potencia MPPT  
 Modo operativo: Acoplamiento directo MPPT 1000 W 51 V 21 A 7 A Universal controller with MPPT conv  
 Convertidor MPPT Los parámetros de funcionamiento del controlador universal se ajustará automáticamente de acuerdo con las propiedades del sistema.  
 Convertidor CC-CC

**Diseño generador FV**  
 Número de módulos y cadenas debe ser/estar: 4 Mód. en serie Sin restricciones  
 Núm. cadenas 1 entre 1 y 2  
 Núm. de módulos 4 Área 7 m<sup>2</sup>  
 Condiciones de operación:  
 Vmpp (60°C) 105 V  
 Vmpp (20°C) 125 V  
 Voc (-10°C) 167 V  
 Irradia. plano 1000 W/m<sup>2</sup>  
 Imp (60°C) 8.2 A  
 Isc (60°C) 8.8 A  
 Isc (en STC) 8.7 A  
 Potencia de funcionamiento máx. (a irrad. máx. y 50°C) 0.90 kW  
 Potencia nom. conjunto (STC) 1.00 kWp

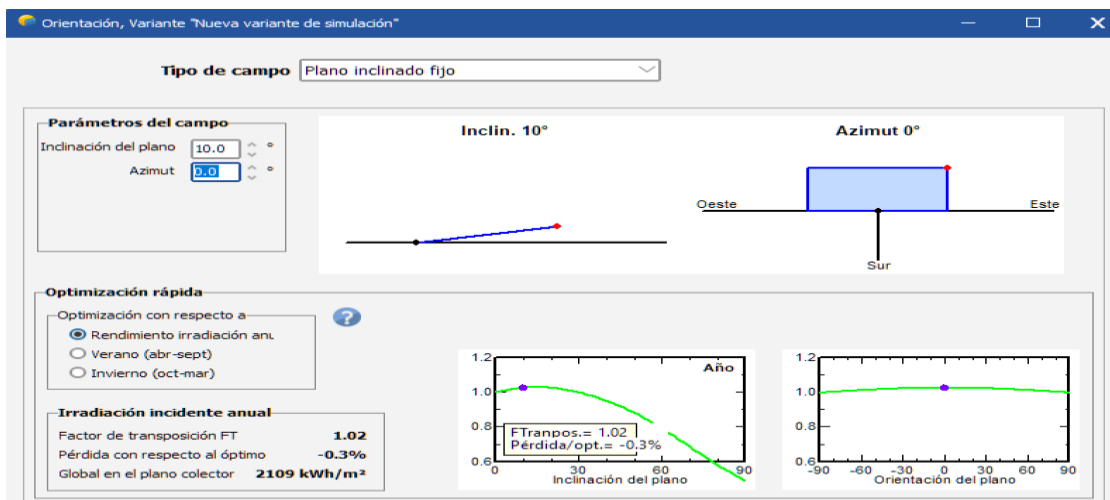
**Necesid. usuario**  
 Hogar Potencia prom. 156 W  
 Proporción nocturna 50.3% Energía día 3.73 kWh  
**Paquete de baterías** 1 en paralelo, 51 V Capacidad 103 Ah  
 Autonomía 1.3 día Energía almacenada 4.75 kWh  
**Generador FV** 1 cadena(s) de 4 módulos Potencia nom. 1000 Wp  
 P<sub>V,PLoad</sub> 6.4 Energía prom. día 4.04 kWh  
**Controlador** MPPT Universal Potencia nom. 870 W  
 P<sub>V,PCConv</sub> 1.15 Umbrales según SOC

Nota. Aplicación de software profesional PVsyst 7.4. Elección componentes de la estructura.

Fuente. Autoría Propia

Figura 16

Elección variables a simular

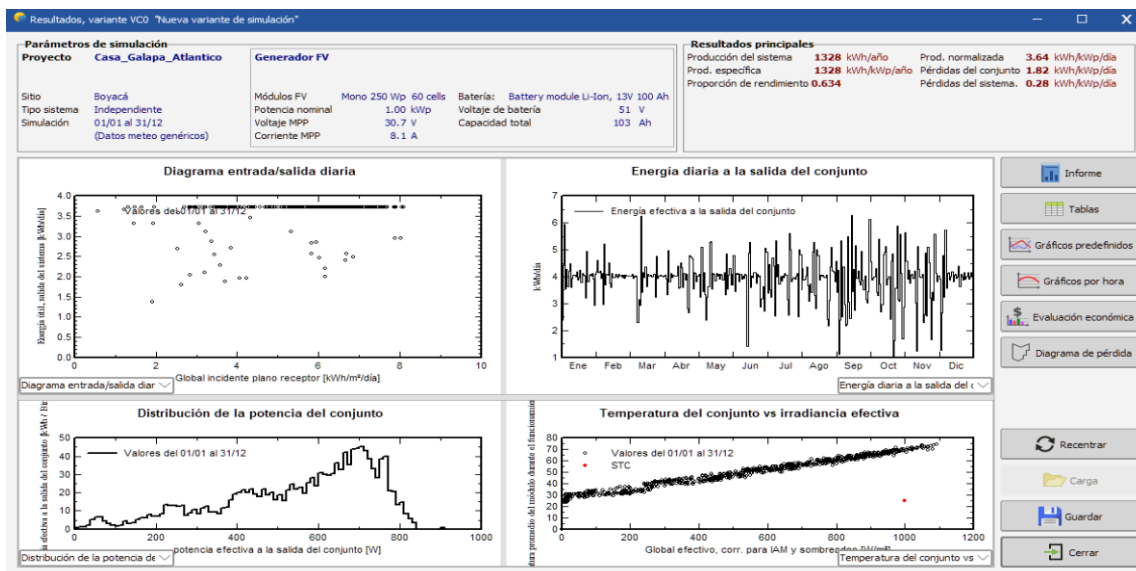


Nota. Aplicación de software profesional PVsyst 7.4. Selección de variables a simular. Fuente.

Autoría Propia

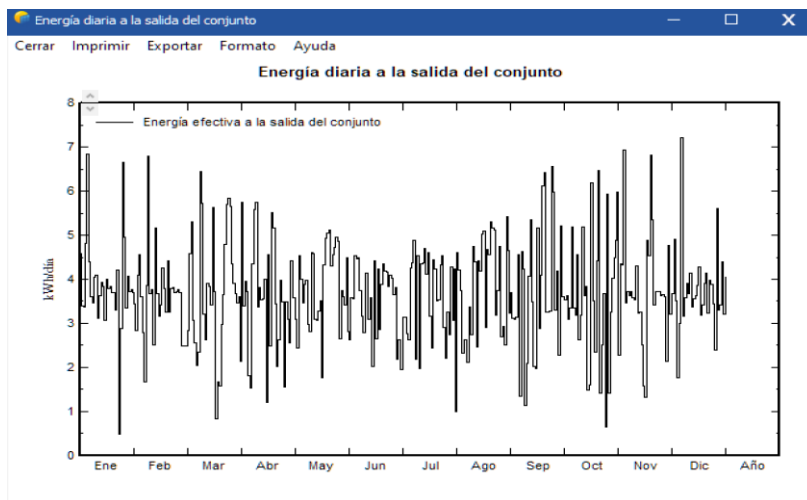
Figura 17

Conclusiones posteriores a la simulación



Nota. Aplicación de software profesional PVsyst 7.4. Conclusiones posteriores a la simulación.

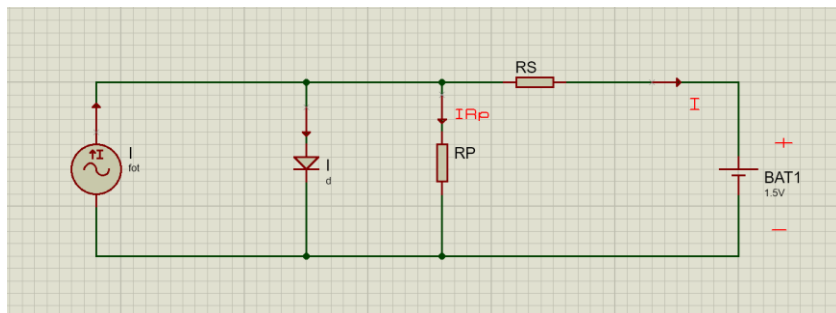
Fuente. Autoría Propia

**Figura 18***Producción energética diaria de la estructura*

*Nota.* Aplicación de software profesional PVsyst 7.4. Producción energética diaria del sistema.

*Fuente.* Autoría Propia

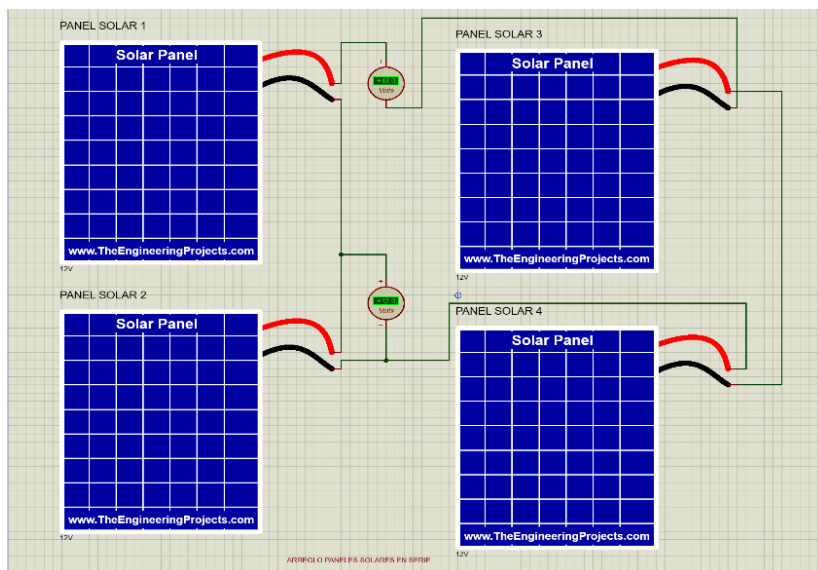
### Planos.

**Figura 19***Modelo panel fotovoltaico*

*Nota.* En el diseño del sistema, se consideran las variables  $I$  y  $V$ , que representan la intensidad de corriente y el voltaje generados, respectivamente. Además, se incluyen las resistencias  $R_p$  y  $R_s$ , que corresponden a las resistencias en paralelo y en serie de la celda, respectivamente. Por último, la variable  $I_{fot}$  representa la corriente fotogenerada, es decir, la corriente producida por el efecto fotovoltaico. *Fuente.* Baethge et al (2011)

**Figura 20**

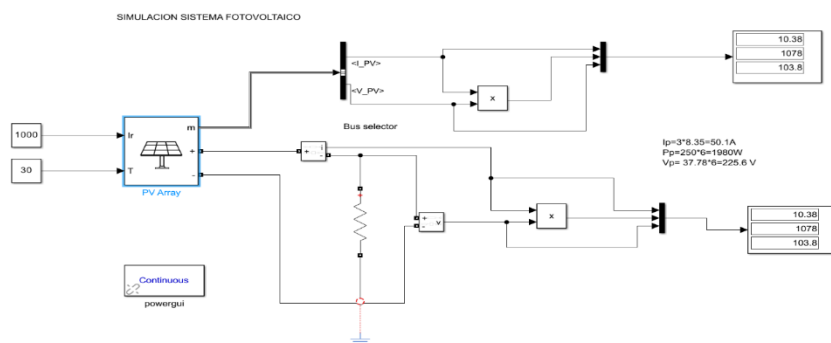
*Distribución celdas solares*



*Nota.* configuración de paneles solares en serie, diseñada para generar una tensión de salida de 48 voltios. Esta configuración utiliza cuatro paneles solares conectados uno tras otro, cada uno con una tensión nominal de 12 voltios, para alcanzar la tensión total deseada. *Fuente.* Autoría Propia

**Figura 21**

*Modelado de un arreglo fotovoltaico en el software de Matlab*

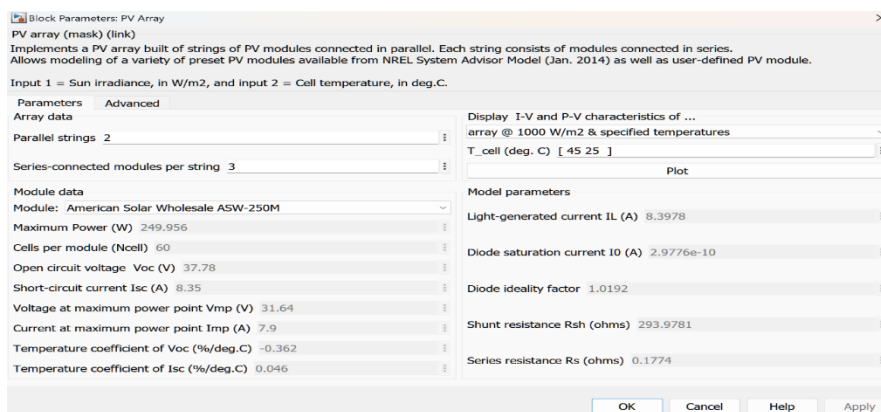


*Nota.* Modelo de un sistema fotovoltaico con Simscape en la aplicación Simulink. *Fuente.*

Autoría Propia

## Figura 22

### Parámetros seleccionados en Simulink



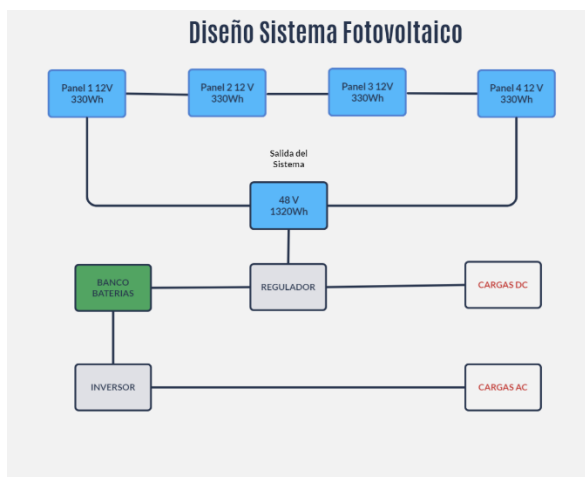
*Nota.* Introducción de variables al sistema de paneles solares. Adaptado en Matlab-Simulink.

*Fuente.* Autoría Propia

## Representación Gráfica del Sistema.

## Figura 23

### Esquematación de un sistema fotovoltaico con un diagrama de bloques



*Nota.* Representación gráfica de un arreglo fotovoltaico de 4 paneles solares conectados en serie, con una tensión de salida de 48 V y una potencia de 1320 Watts/hora mediante un diagrama de bloques. *Fuente.* Autoría Propia

## *Implementación y Resultados*

**Figura 24**

*Maqueta con paneles solares*



*Nota.* Modelo en miniatura de una casa, realizado en madera, equipado con dos paneles solares policristalinos de 12V 200mA, con un tamaño de 9 x 11cm en sus dimensiones. *Fuente.* Autor

**Figura 25**

*Controlador carga solar*



*Nota.* Controlador solar de 10A PWM 12/24V con pantalla LCD, permitiendo visualizar y monitorear los parámetros del diseño. *Fuente.* Autoría Propia

**Figura 26***Inversor*

*Nota.* Inversor de onda modificada de 200 Watt 12V DC a 110V AC eficiencia de salida 90%.

*Fuente.* Autoría Propia.

**Figura 27***Batería*

*Nota.* Batería de 12V 1.2 AH, con capacidad de 20 Horas. *Fuente.* Autoría Propia

**Figura 28**

*Prototipo funcionando en horas no pico solares*



*Nota.* Prototipo de un sistema fotovoltaico, el cual se encuentra simulando luz solar baja, por lo cual el bombillo está encendido a través del inversor. *Fuente.* Autoría Propia

**Figura 29**

*Prototipo funcionando en horas pico solares*



*Nota.* Prototipo de un sistema fotovoltaico, el cual se encuentra en un horario pico, por lo cual el bombillo está encendido a través del inversor, y el otro bombillo toma la energía del panel solar a

través del regulador. *Fuente.* Autoría Propia

## Plan de Mejoras.

### *Programa de Optimización a Corto Plazo.*

**Tabla 5**

*Programa de optimización a corto plazo del sistema fotovoltaico (1 año)*

| Meta                       | Tarea   | Encargado                            | Indicador     | Inicio     | Fin        |
|----------------------------|---|--------------------------------------|---------------|------------|------------|
| Supervisión en tiempo real | Poner en marcha un sistema de seguimiento continuo para garantizar la eficiencia del sistema y detectar fallos potenciales.         | Javier Ardila<br>& Lineydi<br>Flórez | Progreso en % | 01/01/2025 | 01/10/2025 |
| Gestión de consumo         | Analizar los hábitos de consumo energético y ajustar el uso de la electricidad para aprovechar al máximo la energía solar generada. | Javier Ardila<br>& Lineydi<br>Flórez | Avance en %   | 01/12/2024 | 01/12/2025 |
| Entrenamiento del Personal | Formar al personal de mantenimiento para que puedan identificar y resolver problemas menores de manera efectiva                     | Javier Ardila<br>& Lineydi<br>Flórez | Horas         | 01/12/2024 | 01/01/2025 |
| Modernización Tecnológica  | Explorar opciones para modernizar el sistema con tecnologías o componentes más avanzados.   | Javier Ardila<br>& Lineydi<br>Flórez | Avance en %   | 01/12/2024 | 01/12/2025 |
| Mantenimiento de Historial | Mantener un historial detallado de mantenimiento, inspecciones y cualquier mejora   | Javier Ardila<br>& Lineydi<br>Flórez | Horas         | 01/12/2024 | 01/07/2025 |

implementada en el sistema  
fotovoltaico.

*Nota.* Plan de optimización a corto plazo del sistema fotovoltaico (1 año). *Fuente.* Autoría Propia

***Programa de Optimización a Mediano Plazo.***

**Tabla 6**

*Programa de optimización en un plazo medio (24 meses)*

| Meta                                      | Tarea   | Encargado                      | Indicador   | Inicio     | Fin        |
|---|---|--------------------------------|-------------|------------|------------|
| Escalabilidad                             | Analizar la viabilidad de aumentar la potencia del sistema fotovoltaico para cubrir un mayor requerimiento energético o para alimentar equipos eléctricos adicionales   | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Avance en % | 01/12/2024 | 01/10/2026 |
| Implementación de Almacenamiento Avanzado | Para optimizar el ahorro energético, resulta fundamental integrar para el almacenamiento sistemas energéticos de última generación. Estos sistemas, basados en baterías de gran capacidad y larga duración, permitirán una mayor eficiencia energética. | Lineydi Flórez & Javier Ardila | Avance en % | 01/12/2024 | 01/12/2027 |
| Integración de Sistemas Inteligentes      | Implementar modelos energéticos inteligentes para monitorear y controlar con  | Lineydi Flórez                 | Avance en % | 01/12/2024 | 01/08/2027 |

|                                 |   |                                |               |            |            |
|---------------------------------|---|--------------------------------|---------------|------------|------------|
|                                 | <p>mayor nivel de detalle tanto la energía consumida, como producida.</p> <p>Analizar si es viable la conexión entre sistemas fotovoltaicos y redes inteligentes, con el objetivo de inyectar el excedente de energía generado y optimizar su distribución.</p> | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Progreso en % | 01/06/2024 | 01/01/2027 |
| Soporte con Smart Grids         |   |                                |               |            |            |
| Formación Permanente            | <p>Brindar capacitación continua al personal técnico para mantenerlos actualizados sobre las últimas tendencias y tecnologías en energía solar fotovoltaica.</p>  | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Horas         | 01/12/2024 | 01/07/2026 |
| Certificaciones y Normativas    | <p>Garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos, cumpliendo con las normas y certificaciones vigentes</p>   | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Avance en %   | 01/12/2024 | 01/01/2026 |
| Evaluación de Impacto Ambiental | <p>Monitorear continuamente el impacto ambiental del sistema fotovoltaico y tomar medidas para mitigar cualquier efecto negativo</p>  | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Avance en %   | 01/12/2024 | 01/01/2026 |

---

*Nota.* Plan de optimización a mediano plazo (24 meses). *Fuente.* Autoría Propia

### **Plan de Mantenimiento.**

#### ***Acciones Correctivas.***

**Tabla 7**

#### *Acciones correctivas instalación fotovoltaica*

| Meta                   | Tarea   | Encargado                      | Indicador        | Inicio     | Fin        |
|------------------------|---|--------------------------------|------------------|------------|------------|
| Regulación estructural | Corrección tanto del declive como de la posición en los paneles solares | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Logró<br>Sí o no | 01/12/2024 | 01/07/2025 |

*Nota.* Medidas correctivas instalación fotovoltaica. *Fuente.* Autoría Propia

#### ***Acciones Predictivas.***

**Tabla 8**

#### *Acciones predictivas instalación fotovoltaica*

| Meta                  | Tarea  | Encargado                      | Indicador        | Inicio         | Fin            |
|-----------------------|--|--------------------------------|------------------|----------------|----------------|
| Supervisión constante | Implementar un sistema de telemetría para el seguimiento constante del desempeño del sistema fotovoltaico.   | Lineydi Flórez                 | Logró<br>Sí o no | 01/12/2024     | 01/07/2026     |
| Revisión de datos     | Analizar los datos de producción de energía, voltajes, corrientes y temperaturas para determinar el rendimiento del sistema y detectar cualquier problema. | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Progreso en %    | 01/12/2024     | 01/07/2026     |
| Inspección térmica y  | Analizar los paneles solares con cámaras termográficas y realizar  | Javier Ardila & Lineydi        | Pr<br>ogreso en  | 01/1<br>2/2024 | 01/0<br>7/2026 |

|                          |  |                                |                  |            |            |
|--------------------------|--|--------------------------------|------------------|------------|------------|
| visual                   | inspecciones visuales periódicas para detectar puntos calientes que puedan indicar problemas de funcionamiento.                  | Flórez                         | %                |            |            |
| Monitoreo de vibraciones | Realizar un diagnóstico de vibraciones en los seguidores solares para detectar posibles fallos en sus mecanismos de seguimiento. | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Logró<br>Sí o no | 01/12/2024 | 01/07/2026 |

*Nota.* Medidas predictivas instalación fotovoltaica. *Fuente.* Autoría Propia

### ***Acciones Preventivas.***

***Tabla 9***

#### *Acciones preventivas instalación fotovoltaica*

| Meta                                       | Tarea   | Encargado                      | Indicador     | Inicio     | Fin        |
|--|---|--------------------------------|---------------|------------|------------|
|  | Inspeccionar de forma regular cada una de las partes del sistema fotovoltaico, incluyendo inversores paneles solares, cables y conexiones.  | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Progreso en % | 01/01/2025 | 01/07/2026 |
| Cuidado y Mantenimiento de Paneles Solares | Trazar un plan de limpieza regular que elimine la suciedad y el polvo, así como cualquier residuo que se pueda acumular sobre los paneles, y que pueden afectar negativamente la eficiencia de la generación de energía | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Progreso en % | 01/12/2024 | 01/07/2026 |
| Inspección de                              | Asegurarse de que las   | Javier Ardila                  | Progreso      | 01/01/2025 | 01/12/2026 |

|   |   |                                |                  |            |            |
|---|---|--------------------------------|------------------|------------|------------|
| Conexiones Eléctricas                       | uniones eléctricas estén en perfecto estado para garantizar que la corriente fluya sin problemas y evitar que se produzcan resistencias que puedan afectar el funcionamiento del sistema. | & Lineydi Flórez               | en %             |            |            |
| Medidas de Protección contra Sobretensiones | Equipar el sistema fotovoltaico con dispositivos de protección contra sobretensiones para prevenir daños por descargas eléctricas.  | Lineydi Flórez                 | Logró<br>Sí o no | 01/12/2024 | 01/07/2026 |
| Revisión de Estructuras de Montaje          | Inspeccionar los soportes de montaje para garantizar solidez y resistencia a climas extremos.   | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Logró<br>Sí o no | 01/12/2024 | 01/07/2026 |
| Ajuste de Precisión de Equipos de Medición  | Ajustar periódicamente los sensores y dispositivos de medición para asegurar la precisión en el seguimiento del rendimiento del sistema fotovoltaico.                                     | Javier Ardila & Lineydi Flórez | Logró<br>Sí o no | 01/12/2024 | 01/07/2026 |
| Documentación y Seguimiento                 | Documentar detalladamente cada tarea de mantenimiento preventivo, que incluya la fecha de realización, tareas realizadas y resultado obtenido.  | Lineydi Flórez                 | Logró<br>Sí o no | 01/12/2024 | 01/07/2026 |

---

*Nota.* Medidas preventivas instalación fotovoltaica. *Fuente.* Autoría Propia

Según los cálculos, un sistema real tiene una producción diaria de  $1,400 \text{ W} \times 5 \text{ horas} = 7,000 \text{ Wh}$ . (7 kWh), con lo cual se obtiene una energía total generada en 6 meses de 1260 kWh.

Ahora, considerando pérdidas por el inversor, cableado y sistema de almacenamiento se tendría una eficiencia en el sistema del 85%.

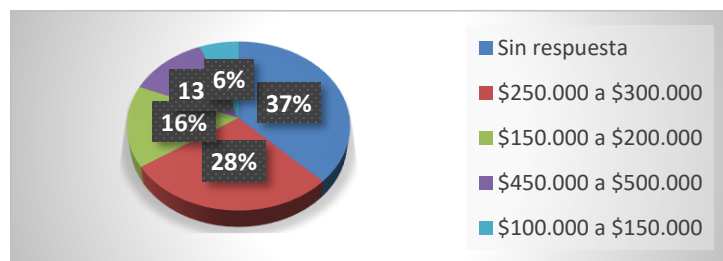
En este mismo lapso se tiene un consumo de 676.32 kWh ( $3,754 \text{ Wh/día} \times 180 \text{ días}$ ), según la Tabla 2, por lo cual se tendría un excedente de energía de 394.68 kWh disponibles, que pueden ser utilizados para otros fines o almacenados.

Por consiguiente, los resultados del prototipo del sistema fotovoltaico fueron favorables. La producción de energía superó las necesidades diarias de la vivienda, reduciendo significativamente el precio del consumo eléctrico. A pesar de la limitación de paneles, el sistema demostró ser eficiente y robusto.

Según las encuestas realizadas (Encuesta en línea), los residentes de la localidad de Villa Olímpica suelen pagar entre \$100,000 y \$500,000 mensuales por su servicio de energía eléctrica. Esto se traduce en un gasto anual de entre \$1,200,000 y \$6,000,000. Comparando estos montos con la inversión necesaria para su implementación, El proyecto genera un retorno de la inversión en un plazo de cuatro años, lo que asegura la viabilidad económica a largo plazo.

### Figura 30

#### *Costos de servicios públicos*



*Nota.* Resultados encuesta Preliminar, donde cada persona paga un promedio aproximado de \$63700 en el recibo de energía. (Encuesta en línea). *Fuente.* Autoría Propia

### Tabla 10

*Costos de cotización con instalación y puesta en funcionamiento*

| Descripción                   | Referencia    | Cantidad | Valor Unitario | Valor Total   |
|-------------------------------|---------------|----------|----------------|---------------|
| Paneles solares               | 12V a 330W    | 4        | \$ 720.000     | \$ 2.880.000  |
| Baterías Gel Tensite          | 12V a 250 AH  | 4        | \$ 1.727.048   | \$ 6.908.192  |
| Controlador                   | PC1500B       | 1        | \$ 666.224     | \$ 666.224    |
| Inversor Híbrido              | 48V a 6000W   | 1        | \$ 3.980.000   | \$ 3.980.000  |
| Estructura de techo 4 paneles | Panel HK915   | 1        | \$ 520.191     | \$ 520.191    |
| Gabinete de 7U                |               | 1        | \$ 1.004.955   | \$ 1.004.955  |
| Tablero Eléctrico             |               | 2        | \$ 720.000     | \$ 720.000    |
| Tubería EMT                   | Tubo EMT 1/2" | 30       | \$15.900       | \$ 477.000    |
| Accesorios y Cajas            | GLB           | 30       |                | \$ 400.000    |
| Mano de obra                  | GLB           | GLB      |                | \$3.000.000   |
| Total                         |               |          |                | \$ 20.556.562 |

*Nota.* La tabla presenta los costos de la instalación. *Fuente.* Autoría Propia

La inversión en energía solar para hogares es una opción altamente rentable, pues permite recuperar rápidamente el capital invertido, proporcionando un suministro eléctrico estable y sostenible. Sumado a esto, impacta positivamente en la economía familiar y contribuye a proteger la casa común, al generar menor cantidad de GEI.

## Conclusiones

El aprendizaje del prototipo de panel solar de 12V y 1W demuestra que, al expandir el sistema, es posible satisfacer diversas demandas energéticas. Esta capacidad de escalabilidad es clave para adaptar el sistema a aplicaciones versátiles, que abarcan desde la iluminación básica hasta procesos industriales complejos.

La investigación previa y el conocimiento de las normas subrayan la importancia de la investigación aplicada para desarrollar soluciones efectivas. En el diseño fotovoltaico, es esencial considerar las regulaciones ambientales y de calidad, garantizando así la viabilidad del sistema. Un diseño óptimo debe basarse en cálculos precisos que aseguren que todos los componentes trabajen de manera sinérgica.

La estimación del retorno de la inversión, acompañado con la atenuación del impacto ambiental, posiciona al sistema fotovoltaico como una solución sostenible y económicamente viable convirtiéndolo en una opción atractiva para su implementación en diversas comunidades y sectores. La adhesión a las normas actuales, garantizando tanto su legalidad como aceptación social.

El análisis teórico y práctico revela que los proyectos de energía solar ofrecen contribuciones relevantes a la sostenibilidad, desarrollo humano y crecimiento económico. En la costa caribe colombiana, donde el costo de la energía es uno de los más altos, la implementación de sistemas solares fotovoltaicos representa una solución viable y sostenible a largo plazo, especialmente en una región donde las altas temperaturas incrementan el consumo energético.

El prototipo demuestra que los sistemas energéticos fotovoltaicos basados en energía solar pueden ser una solución viable y efectiva para residencias como en el municipio de Galapa.

## **Recomendaciones**

Para optimizar el rendimiento del sistema, se recomienda ajustar su funcionamiento en tiempo real, tomando en cuenta la variabilidad climática. La instalación de sensores de temperatura, humedad y velocidad del viento Optimizará la utilización de la energía solar.

Según la radiación solar promedio del municipio de Galapa realizar un estudio de radiación solar más detallado para dimensionar adecuadamente el sistema de captación solar, garantizando su eficiencia durante las diferentes épocas del año.

Considerar baterías de litio o tecnologías avanzadas de almacenamiento para garantizar un mayor rendimiento y vida útil del sistema, especialmente durante las noches o días nublados.

Implementar estrategias de carga y descarga eficientes que prolonguen el periodo de longevidad en la batería y evitar sobrecargas, mejorando el grado de capacidad del sistema para satisfacer las demandas energéticas de la residencia.

Realizar capacitaciones y campañas de concienciación para los residentes en cuanto al uso eficiente de energía y la importancia de adoptar tecnologías limpias. Esto ayudará a que los usuarios se familiaricen con el sistema y adopten mejores prácticas para reducir su consumo energético.

## Referencias Bibliográficas

- Alcobendas, P. (2022). *Análisis de la sostenibilidad en el campo de la edificación. Estudio de caso práctico* [tesis de pregrado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional Universitat Politècnica de València]. <https://goo.su/yJirf>
- Alonso, J. A. (2024, 04 de septiembre). *Instalación fotovoltaica aislada: qué es, esquema y cálculo*. SunFields. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-sistema-fotovoltaico-aislado/>
- AMVA. (s.f). *Energías renovables*. Recuperado el 30 de octubre 2024. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/paginas/consumo-sostenible/energias-renovables.aspx>
- Atersa. (s.f). *¿Cuánto tiempo duran las baterías solares?* Recuperado el 03 de mayo 2024. <https://atersa.shop/cuanto-tiempo-duran-las-baterias-solares/>
- Autosolar. (s.f). *Controlador Carga 50A PWM 48V*. Recuperado el 03 de febrero 2024. <https://autosolar.co/controladores-de-carga-pwm/controlador-carga-50a-pwm-48v>
- Autosolar. (s.f). *Paneles solares*. Recuperado el 14 de febrero 2024. <https://surl.li/nzbhhu>
- Autosolar. (s.f). *Batería-GEL-12-250*. Recuperado el 04 de marzo 2024. <https://lc.cx/rxcq0->
- Avilés, J. y Pichardo, J. (2022). *Diseñar e implementar un sistema de energías renovables (fotovoltaico) para moradores de zona rural en golfo de Guayaquil* [tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23208>
- Baethge, E., Berzoy, A., Guzmán, V., Giménez, M.I. (2011). Nuevo sistema de control para el seguimiento del punto de máxima potencia en paneles solares basado en el control predictivo de corriente de convertidores cc-cc. *Universidad, Ciencia y Tecnología*,

- 15(60). <https://lc.cx/Bo4hcm>
- Barragán-Escandón, E., Zalamea-León, E., Terrados-Cepeda, J., Vanegas-Peralta, P. (2019). Factores que influyen en la selección de energías renovables en la ciudad. *EURE (Santiago)*, 45(134). <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612019000100259>
- BMS. (2024, 05 de octubre). *Almacenamiento de energía: en qué consiste y por qué es tan importante*. BMS. <http://surl.li/vuxvyb>
- Clima. (s.f). *Azimut*. Recuperado el 30 de enero 2024. <https://www.clima.com/meteopedia/azimut> 91
- Colombiaenmapas. (s.f.). *Colombia en mapas: Galapa, Atlántico*. Recuperado el 30 de junio 2024. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/#>
- Cordero, R. G. (2024, 23 de marzo). *Orientación e inclinación de placas solares*. SunFields. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/#Orientacion-e-Inclinacion-de-las-placas-solares>
- Dosio, A., Mentaschi, L., Fischer, E., Wyser, K. (2018). Extreme heat waves under 1.5° C and 2° C global warming. *Environmental Research Letters*, 13(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab827>
- Drysdale, D., Mathiesen, B., Lund, H. (2019). From carbon calculators to energy system analysis in cities. *Energies*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/en12122307>
- Enel. (2024, 10 de junio). *Acometidas eléctricas*. Enel. <https://acortar.link/GLNQJf>
- Guallán, M. (2022, 18 de noviembre). *Software Proteus y su incidencia en el aprendizaje de Circuitos Eléctricos en los estudiantes de segundo de Bachillerato General Unificado*. UNACH. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9875>
- Hayat, P. (2016). Smart cities: A global perspective. *India Quarterly*, 72(2).

- <https://doi.org/10.1177/0974928416637930>
- Heliox. (2021, 20 de septiembre). *Energía inteligente: cómo la recarga de vehículos eléctricos permite una gestión inteligente de la energía*. Heliox. <https://lc.cx/daMu3c>
- Hubor. (s.f.). *¿Qué es Proteus?* Recuperado el 30 de marzo 2024. <https://lc.cx/uxLwGT>
- Hunter, G., Vettorato, D., Sagoe, G. (2018). Creating smart energy cities for sustainability through project implementation: A case study of Bolzano, Italy. *Sustainability*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072167>
- IDEAM (s.f). *Atlas Radiación Solar UV y Ozono de Colombia*. Recuperado el 07 de enero 2024. <https://lc.cx/GbLT8y>
- Ilumin. (2022, 24 de septiembre). *¿Cómo Calcular la Caída de Tensión en el Conductor del Sistema Fotovoltaico?* Ilumin. <https://ilumin.online/como-calcular-la-caida-de-tension-en-el-conductor-del-sistema-fotovoltaico/>
- Klimafrio. (2023, 27 de noviembre). *Paneles solares inteligentes*. Klimafrio. <https://www.klimafrio.com/paneles-solares-inteligentes/>
- Lajara, J., Pelegrí, J. (2011). *LabVIEW: Entorno gráfico de programación*. Alfaomega. 2ª ed.
- Latitude. (s.f). *Latitude and longitude of Galapa*. Latitude. Recuperado el 30 de junio 2024. <https://latitude.to/map/co/colombia/cities/galapa>
- Magoja, E. (2022). El camino de la justicia energética en Argentina: desafíos y riesgos de las energías renovables en el desarrollo de la sustentabilidad ambiental, económica y social. *Revista de la Facultad de Derecho*, (53). <https://surl.li/sjnylo>
- Medium. (2023, 31 de julio). *¿Qué son las Tecnologías Limpias?: Definición y Ejemplos*. Medium. <https://medium.com/@reporteambiental/qu%C3%A9-son-las-tecnolog%C3%ADas-limpas-definici%C3%B3n-y-ejemplos-bcd2e9c94410>

Minenergía (2023, 8 de febrero). *Colombia apuesta a la aplicación de un estándar mundial de sostenibilidad con el apoyo de la Cooperación Económica y Desarrollo (SECO) de Suiza y la Asociación Internacional de Energía hidroeléctrica (IHA)*. Minenergía.

<https://acortar.link/qbMtbB>.

Monsolar. (s.f). *Módulos solares de alto rendimiento REC Peak Energy Series*. Recuperado el 03 de marzo 2024. <https://lc.cx/25bLzc>

Nexosolar. (s.f). *Inversor Híbrido off grid 48V 6.000W Must Solar PV3300 TLV Series*.

Recuperado el 05 de marzo 2024. <https://nexosolar.co/producto/inversor-hibrido-off-grid-48v-6-000w-must-solar-pv3300-tlv-series/>

Ortega, M. (2015). *MATLAB Aplicado a Telecomunicaciones*. Alfaomega.

Parks, D. (2019). Energy efficiency left behind? Policy assemblages in Sweden's most climate-smart city. *European Planning Studies*, 27(2), 318–335. <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1455807>

Paylesspower. (s.f). *¿Cuántos watts usa un refrigerador?* Recuperado el 05 de junio 2024. <https://surl.li/lnctjx>

Pensantez, J.P., Ríos-Villacorta, A., González-Redrován, J. (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). <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n2.01>

Pereira-Micena, R., Llenera-P, O., De Queiróz-Lamas, W. Silveira, J. (12 de 2018). Estudio Técnico del Uso de Energía Solar y Biogás en Vehículos Eléctricos en Ilhabela-Brasil. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (20). [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-)

860X2018000200058

Polo-Bravo, C., Cohaila-Mayta, Y., Torres-Muro, H., De La Gala-Contreras, A. (2021).

Caracterización Térmica-Energética de un Sistema Fotovoltaico de 3,3 Kwp

Interconectado a la Red Eléctrica: 2015-2019. *Tecnia*, 31(1), 67-73.

<https://doi.org/10.21754/tecnica.v21i1.1315>

REPSOL. (s.f). *Las redes inteligentes, pieza clave para la descarbonización*. Recuperado el 28 de octubre 2024. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/tecnologia-innovacion/smart-grids/index.cshtml>

Reyes, F. (2012). *MATLAB Aplicado a Robótica y Mecatrónica*. Alfaomega.

Solar System. (s.f). *Solar System: PWM Solar Charge Contoller*. Recuperado el 03 de marzo 2024. <https://lc.cx/Rfr0KW>

UNIR. (2021, 23 de diciembre). *¿Qué es la gestión energética? Estos son sus beneficios*. UNIR. <http://surl.li/uvhfwp>

Ometros<sup>2</sup>. (2023, 26 de septiembre). El factor de seguridad en estructuras para placas solares. Ometros<sup>2</sup>. <https://www.cerometros cuadrados.com/blog/factor-de-seguridad-en-estructuras-para-placas-solares/>