



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
AISLADO PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA
CASA COMUNITARIA EN COLAYA JURÍDICO”**

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del título de
ingeniería en electricidad

AUTORES:

EDY SANTIAGO CARRERA LASLUISA

MARLON ISRAEL GUANOLUISA OÑATE

TUTOR:

Ing. Msc.Edgar Roberto Salazar Achig

LATACUNGA – ECUADOR


FEBRERO 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Carrera Lasluisa Edy Santiago, con cédula de ciudadanía No. 1727142646, **Guanoluisa Oñate Marlon Israel**, con cédula de ciudadanía No. 0550636583 declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASA COMUNITARIA EN COLAYA JURÍDICO”** siendo el **Ing. Edgar Roberto Salazar Achig M.Sc.**, tutor del presente trabajo: y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, febrero de 2025



.....
Carrera Lasluisa Edy Santiago
C.C. 1727142646



.....
Guanoluisa Oñate Marlon Israel
C.C. 0550636583

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASA COMUNITARIA EN COLAYA JURÍDICO”, de Carrera Lasluisa Edy Santiago y Guanoluisa Oñate Marlon Israel, de la carrera Ingeniería en Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, febrero de 2025



.....
Ing. Edgar Roberto Salazar Achig M.Sc.
C.C: 0502847619
TUTOR DE TITULACIÓN

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de investigación acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **Carrera Lasluisa Edy Santiago y Guanoluisa Oñate Marlon Israel**, con el título del Proyecto de investigación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASA COMUNITARIA EN COLAYA JURÍDICO”** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, febrero de 2025




.....
Ing. Jiménez Diego M.Sc.
C.C. 0503493702

LECTOR 1 (PRESIDENTE)



.....
Ing. Secundino Marrero PhD.
C.C. 1757107907

LECTOR 2 (MIEMBRO)



.....
Ing. Manuel León M.Sc.
C.C. 0502041353

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza inquebrantable. Su presencia en mi vida me ha brindado la paciencia, sabiduría y la perseverancia necesaria para afrontar los retos de mi carrera como Ingeniero en Electricidad.

A mi madre, Laura Marina Oñate, le dedico un agradecimiento especial por ser el pilar fundamental quien con su amor, enseñanzas y apoyo incondicional me ha guiado en los momentos difíciles. Gracias por ser el ejemplo de fortaleza, perseverancia y dedicación por enseñarme que con esfuerzo y determinación se pueden superar obstáculos y alcanzar metas propuestas.

A mi familia, cuyo cariño y aliento ha sido un motor invaluable en el trascurso de este camino. Gracias por su apoyo incondicional y por ser una fuente de inspiración y fuerza en cada paso que he dado.

A los docentes que, con su dedicación durante mi formación académica, me han proporcionado los conocimientos necesarios para desenvolverme en este tema y llegar a este punto. Un agradecimiento especial al MSc. Edgar Roberto Salazar Achig como tutor de mi proyecto de investigación quien me ha guiado con su paciencia, y sabiduría como docente.

Marlon I. Guanoluisa O.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza inquebrantable. Su presencia en mi vida me ha brindado la paciencia, sabiduría y la perseverancia necesaria para afrontar los retos de mi carrera como Ingeniero en Electricidad.

A mis queridos padres, Víctor Carrera, María Lasluisa y mi querida hermana Emilia Carrera por el gran sacrificio que han hecho por darme lo mejor por su amor incondicional, sus consejos, sus esfuerzos permanente, sus palabras de aliento en cada etapa de mi vida y por ser siempre mi soporte y motivación para continuar cada día, sin ustedes esta meta no habría sido posible.

A mi abuelita Luz María Lasluisa y mi tía Isabel Cabrera por ese apoyo incondicional que me han apoyado dar para cumplir esta meta.

A los docentes que, con su dedicación durante mi formación académica, me han proporcionado los conocimientos necesarios para desenvolverme en este tema y llegar a este punto. Un agradecimiento especial al MSc. Edgar Roberto Salazar Achig como tutor de mi proyecto de investigación quien me ha guiado con su paciencia, y sabiduría como docente.

Edy S. Carrera L

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. Situación problemática.	2
2.2. Formulación del problema	3
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.3.1. Objeto de Investigación	3
2.3.2. Campo de acción	3
2.4. BENEFICIARIOS.....	3
2.4.1. Directos.....	3
2.4.2. Indirectos	3
2.5. JUSTIFICACIÓN	4
2.6. OBJETIVOS.	5
2.6.1. Objetivo General.....	5
2.6.2. Objetivo Especifico	5
2.7. ACTIVIDADES Y SISTEMA POR TAREAS	5
3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	7
3.1. ESTADO DEL ARTE.....	7
3.2. ANTECEDENTES	7
3.3. ENERGÍA RENOVABLE.....	9
3.3.1. Tipos de Energía Renovable.....	9
3.3.2. No convencionales.....	10
3.3.3. Energía solar	10
3.3.4. Energía fotovoltaica.....	11
3.4. SISTEMA DE GENERACION FOTOVOLTAICA	11
3.4.1. Sistemas ON-Grid y OFF-Grid.....	11
3.4.2. Conectados a la red - Sistemas Fotovoltaicos	11

3.4.3.	Sistemas fotovoltaicos aislados de la red	12
3.4.4.	Heliofanía.....	13
3.4.5.	Horas Solares Pico (HSP).....	13
3.4.6.	Radiación Solar.....	13
3.4.7.	Tipos de radiación solar.....	14
3.4.8.	Ecuador – Energía Solar Fotovoltaica.....	14
3.4.9.	Ley orgánica de competitividad energética “ley no más apagones”	15
3.4.10.	Norma NEC-11	15
3.5.	EQUIPOS Y ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO	16
3.5.1.	Panel Solar o Módulo Fotovoltaico	16
3.5.2.	Regulador de Carga	17
3.5.3.	Baterías	18
3.5.4.	Inversor.....	18
3.5.5.	Tableros Eléctricos	19
3.5.6.	Conductores o Cables	19
3.5.7.	Método Monte Carlos.....	20
3.5.8.	Software para instalaciones fotovoltaicas.....	20
3.5.9.	Software PVsyst	21
3.6.	Equipos utilizados.....	22
3.6.1.	Piranómetro Portátil Apogee	22
3.6.2.	Multímetro industrial Fluke 289.....	23
4.	HIPOTESIS	23
5.	METODOLOGÍA.....	23
5.1.	Método de investigación.....	23
5.2.	Evaluación del recurso solar	24
5.3.	Medición solar en Colaya Jurídico	24
5.3.1.	Gráfica radiación solar global diaria Colaya Jurídico	25

5.4.	Proyección de radiación solar por Monte Carlo.	26
5.5.	Colaya Jurídico radiación solar promedio	28
5.5.1.	Hora solar pico, Colaya Jurídico	29
5.6.	Cálculo de Demanda	29
5.6.1.	Consumo promedio de instalación	30
5.7.	Dimensionamiento de equipos.....	31
5.8.	Potencia fotovoltaica.....	31
5.8.1.	Calculo número de Paneles.....	32
5.8.2.	Cálculo de Angulo de inclinación	32
5.9.	Potencial del regulador	33
5.10.	Potencia del inversor.	34
5.11.	Número de baterías.....	35
5.12.	Cálculo de la eficiencia de la instalación.	37
5.13.	SIMULACIÓN DE PROGRAMAS.....	37
5.13.1.	Simulación Software PVsyst.....	37
5.13.2.	Simulación Simulink.....	39
5.13.3.	Sistema de almacenamiento	42
5.13.4.	Inversor DC/AC	44
5.13.5.	Cálculo de filtros RLC	45
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	47
6.1.	Comparación datos reales, PVgis y MC	47
6.1.1.	Margen de Error.....	48
6.2.	Análisis PVSIST	48
6.2.1.	Perdidas de Carga	49
6.3.	Evaluación de Componentes de Simulink	50
6.3.1.	Prueba de panel fotovoltaico diferente condiciones de irradiancia.	50
6.3.2.	Prueba de módulo fotovoltaico diferente condiciones de radiación.....	51

6.3.3.	Prueba de módulo fotovoltaico diferente condiciones de temperatura.....	51
6.4.	Análisis de simulación	54
6.5.	ANALISIS DE IMPLEMENTACIÓN	57
6.5.1.	Pruebas de funcionamiento del sistema.....	57
6.5.2.	Elementos para la prueba de descarga de baterías.....	57
6.6.	Autonomía del sistema.....	58
6.7.	Corriente de consumo	58
6.8.	Curva de carga de baterías	59
6.8.1.	Comparación de curva de carga de las baterías con respecto a la radiación	60
6.8.2.	Tiempo de carga de batería.....	61
6.9.	Curva de Descarga Real de baterías.....	61
6.9.1.	Cálculos de descarga de baterías	62
6.9.2.	Tiempo de descarga real	63
6.9.3.	Frecuencia del Sistema	64
6.10.	Amortización de inversión	64
7.	Conclusiones.....	65
8.	Recomendaciones	66
9.	Bibliografías	67
10.	Anexos	1

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Energía renovable.....	9
Figura 2. Clasificación de Energías Renovables	10
Figura 3. Energías no convencionales.	10
Figura 4. Clasificación de SFV Conectados a la red	12
Figura 5. Esquema de un Sistema Fotovoltaico aislado[16]	12
Figura 6. Clasificación de SFV Aislados.....	13
Figura 7. Insolación Global Promedio [23].....	15
Figura 8. Partes de panel solar [28]	16
Figura 9. Regulador de carga [31].....	18
Figura 10. Batería recargables[33]	18
Figura 11. Inversor[34].....	18
Figura 12. Tablero de distribución eléctrico [36].....	19
Figura 13. Conductor eléctrico[37]	20
Figura 14. PVsyst [39].....	22
Figura 15. Piranómetro Portátil Apogee.....	22
Figura 16. Multímetro Fluke 289	23
Figura 17. Diagrama de bloques del desarrollo del proyecto	24
Figura 18 Ubicación de evaluación del recurso solar.....	24
Figura 19. Instalación piranómetro Colaya Jurídico.	25
Figura 20. Radiación solar global promedio Colaya Jurídico	25
Figura 21. Radiación solar global octubre.....	26
Figura 22. Radiación solar global noviembre.....	26
Figura 23:Proyección por Monte Carlo 2024	27
Figura 24: Proyección septiembre 2024 MC.....	28
Figura 25. Histograma Septiembre 12:00h.....	28
Figura 26. Ubicación Geográfica PVsyst	37
Figura 27. Orientación de los Paneles	38
Figura 28. Definición de Consumo PVsyst	38
Figura 29. Horas de uso	39
Figura 30. Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico en Simulink	39
Figura 31. Simulink módulo fotovoltaico - PV Array.....	40
Figura 32. Curvas de Corriente y Potencia a diferente radiación, panel de 565W Simulink.	41

Figura 33. Fuente de Almacenamiento-Batería Simulink.	43
Figura 34 Curvas de descarga de batería Simulink	44
Figura 35 Inversor DC/AC Simulink.....	45
Figura 36.. Datos de radiación PVgis vs reales	48
Figura 37. Producción normalizada por kWp instalado.	49
Figura 38. Índice de rendimiento (PR)	50
Figura 39. Prueba de panel 565W Simulink.....	50
Figura 40 Sistema fotovoltaico con radiación de 537 W/m ² y temperatura de 12°C.....	52
Figura 41. Sistema Fotovoltaico en Simulink.	54
Figura 42. Onda de Voltaje de Salida.....	55
Figura 43. Onda de Corriente de Salida.	55
Figura 44. Onda de Potencia de Salida.....	56
Figura 45. Lámparas led	58
Figura 46. Curva de Carga de la Batería en 24H.....	59
Figura 47 Radiación solar.....	60
Figura 48. Curvas de comparación.....	61
Figura 49. Descarga de Baterías.	62
Figura 50 Medición de corriente consumida en AC.....	62
Figura 51 Voltaje de salida del inversor.....	63
Figura 52. Frecuencia del sistema Fotovoltaico	64

INDICE TABLAS

Tabla 1 Sistema de tareas	5
Tabla 2 Tipos de radiación solar[21].....	14
Tabla 3 Tipos de paneles fotovoltaicos	17
Tabla 4 Rendimiento del inversor	19
Tabla 5 Programas.....	21
Tabla 6 Calculo de la demanda.....	30
Tabla 7 Equipos del sistema fotovoltaico.....	31
Tabla 8 Panel Solar NERM360-8360.....	33
Tabla 9 Controlador PWM 40 A	34
Tabla 10 Inversor de 2000 w	35
Tabla 11. Datos banco de baterías.....	36
Tabla 12. Datos técnicos batería FLG 121500	36
Tabla 13. Características panel 565W Simulink	40
Tabla 14 Característica batería 120Ah Simulink.....	43
Tabla 15 Características Inversor 1000W Simulink.....	45
Tabla 16 Aproximaciones Q y k por diversos modelos matemáticos.	46
Tabla 17 Comparación de datos reales y PVgis	47
Tabla 18. Margen de error	48
Tabla 19 Evaluación de módulos fotovoltaicos a diferente radiación.....	51
Tabla 20 Evaluación de módulos fotovoltaicos a diferente temperatura.....	51
Tabla 21 Parámetros del módulo.	52
Tabla 22 Radiación en función del % de carga de la batería.....	56
Tabla 23 Valores de Generación a diferente carga.....	57
Tabla 24 Tiempo real de descarga de las baterías.	63
Tabla 25 Amortización de inversión	64

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASA COMUNITARIA EN COLAYA JURÍDICO”

Autores:

Carrera Lasluisa Edy Santiago

Guanoluisa Oñate Marlon Israel

RESUMEN

En la siguiente tesis se analizó el dimensionamiento e implementación de equipos de un sistema fotovoltaico aislado de la red en la Sede del sector rural de Colaya Jurídico – Latacunga, con la finalidad de suplir con fuentes de energía renovable la demanda energética existente, siendo una solución a los problemas que causan los cortes de energía debido a la crisis energética del país. Partiendo del análisis del consumo eléctrico del lugar mediante el levantamiento de cargas y datos reales de las condiciones de radiación solar de $537W/m^2$, que posteriormente se incorporaron en PVsyst y Simulink. PVsyst permitiendo estimar el comportamiento del sistema en relación con la radiación solar presenta la producción de energía, pérdidas y autonomía del mismo, mientras tanto Simulink facilitó el modelado dinámico de los equipos en el cual se evaluó el comportamiento del sistema mediante la variación de radiación y temperatura de ingreso en el módulo fotovoltaico, obteniendo valores de 118VAC y 505W de potencia de salida a plena carga de baterías, suficientes para cubrir la demanda 398.75W. Para finalizar, se implementó un sistema de fotovoltaico, con un módulo de 565W como generador, para el almacenamiento de la energía producida este se compone de dos baterías de 120 Ah en paralelo manteniendo un voltaje de 12V para asegurar la autonomía del sistema en condiciones de baja radiación solar, la implementación incluye un regulador y un inversor que gestionan de forma adecuada el almacenamiento de energía y la transformación de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) para alimentar las cargas.

Palabra clave. – Sistema fotovoltaico, modulo, inversor, controlador, demanda, PVsyst.

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASA COMUNITARIA EN COLAYA JURÍDICO”

Autores:

Carrera Lasluisa Edy Santiago

Guanoluisa Oñate Marlon Israel

Abstract

The present thesis analyzed the sizing and implementation of equipment for a photovoltaic system isolated from the grid at the headquarters of the rural area of Colaya Jurídico-Latacunga, to supply renewable power sources the existing energy demand, being a solution to the problems caused by power outages due to the energy crisis in the country, starting from the analysis of the electrical consumption of the location through the survey of loads and authentic data of the solar radiation conditions of 537 W/m^2 , which were subsequently incorporated into PVsyst and Simulink. PVsyst allowed estimating the behavior of the system about solar radiation, presenting energy production, losses, and autonomy. On the other hand, Simulink facilitated the dynamic modeling of the equipment in which the behavior of the system was evaluated by varying radiation and inlet temperature in the photovoltaic module, obtaining values of 118VAC and 505W of output power at full battery load, sufficient to cover the demand of 398.75W. Finally, a photovoltaic system was implemented, with a 565W module as a generator, for the storage of the power produced. It is composed of two 120 Ah batteries in parallel to maintain a voltage of 12V to ensure the autonomy of the system in conditions of low solar radiation. The implementation included a regulator and an inverter that adequately managed the energy storage and the transformation from direct current (DC) to alternating current (AC) to feed the loads.

Keywords: Photovoltaic system, module, inverter, controller, demand, PVsyst.

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

Edy Santiago Carrera Lasluisa – Marlon Israel Guanoluisa Oñate

AVAL DE TRADUCCIÓN – Profesional Externo

Conie Masiel Nieto Toapanta con cédula de identidad número 1723245450 Licenciada en Ciencias de la Educación. Mención Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-2023-2744825; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASA COMUNITARIA EN COLAYA JURÍDICO”** de: **Carrera Lasluisa Edy Santiago y Guanoluisa Oñate Marlon Israel**, egresados de la carrera de **Ingeniería en Electricidad**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas**.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, Febrero 2025.


.....
Lic. Conie Masiel Nieto Toapanta.
CI: 1723245450.

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para el abastecimiento energético de la casa comunitaria en Colaya jurídico.

Modalidad de Titulación:

Propuesta Tecnológica

Proyecto de Investigación

Fecha de inicio:

Abril 2024

Fecha de finalización:

Febrero 2024

Lugar de ejecución:

Provincia de Cotopaxi, Cantón de Latacunga, Parroquia José Guango Bajo, Barrio Colaya Jurídico

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería en Electricidad

Proyecto de investigación vinculado:

Energía Solar Fotovoltaica

Sistemas fotovoltaicos: solución energética en las comunidades aisladas

Sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energía eléctrica de una vivienda

Equipo de Trabajo:

Tutor de Titulación: Ing. Ms.C Edgar Roberto Salazar Achig

Estudiantes: Carrera Lasluisa Edy Santiago

Guanoluisa Oñate Marlon Israel

Área de Conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713

Electricidad y Energía.

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

Sub líneas de investigación de la Carrera: Conversión y uso racional de la energía eléctrica.

Explotación y diseño de sistemas eléctricos renovables

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la necesidad del uso de energías alternativas (renovables) se ha convertido en una industria cada vez más amplia, la búsqueda de desarrollo de tecnologías capaces de ser amigables con el medio ambiente que nos rodea provoca que la demanda e implementación de dichas tecnologías aumente con el pasar del tiempo.

Existe varios tipos de energías renovables el cual este proyecto se enfocará en la energía solar que se deriva del sol, nuestra principal fuente de luz y calor. Cada hora, la Tierra recibe suficiente energía solar para satisfacer las necesidades de energía de la humanidad durante un año entero. Este recurso ilimitado y gratuito ofrece un potencial significativo para satisfacer nuestras demandas energéticas de manera limpia y sostenible.

La captura de la energía solar se logra mediante el uso de tecnologías como los paneles solares fotovoltaicos, en donde los paneles solares fotovoltaicos convierten la luz solar directamente en electricidad. Una de las principales ventajas de la energía solar es su capacidad para ser desplegada en una amplia variedad de escalas, desde pequeños sistemas domésticos hasta grandes plantas solares a escala de servicios públicos.

La sierra ecuatoriana presenta ventajas para la utilización de la energía solar, por la regularidad de incidencia de la radiación durante los diferentes días del año debido a su posición geográfica, alcanzando valores altos de radiación media efectiva, de alrededor de los $520 W/m^2$ y 10 horas de luz solar efectivas, por la altitud respecto al nivel del mar y la ubicación geográfica

2.1. Situación problémica.

El crecimiento económico, la expansión demográfica y los avances tecnológicos han incrementado la demanda energética mundial. El potencial solar presenta una alternativa ideal en satisfacer las necesidades en zonas remotas, debido a su carácter renovable, limpio y de bajo impacto ambiental, prescindiendo de la red eléctrica convencional, cuya extensión a estas zonas puede resultar costosa.

En la localidad de Colaya, ubicada en la ciudad de Latacunga, existen habitantes y familias que carecen del servicio de energía eléctrica en su sede comunitaria debido a la dificultad de acceso de la empresa eléctrica. Esta situación afecta su vida social al privarlos de iluminación nocturna en el lugar de reunión común. En consecuencia, enfrentan problemas de seguridad, limitaciones para encuentros nocturnos y acceso a tecnología, entre otros retos, particularmente en el sector de José Guango Bajo.

Dado que la compañía eléctrica no puede prestar el servicio desde hace varios años por circunstancias específicas, se ha optado por fuentes alternativas de electricidad renovable y limpia para garantizar el suministro, siendo los paneles solares la solución propuesta.

2.2. Formulación del problema

¿Sería beneficioso instalar un sistema fotovoltaico en la Casa Comunal Colaya Jurídico-Latacunga, dada la ausencia de electricidad de la red convencional por los altos costos asociados, lo que afecta la economía local? La falta de acceso fiable a la electricidad complica el correcto desarrollo de las actividades comunitarias y las relaciones entre los habitantes. ¿Podría mejorarse esta situación adoptando esta alternativa de energía renovable?

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de Investigación

Simulación del sistema fotovoltaico, Radiación solar.

2.3.2. Campo de acción

330000 ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.99 Otras (Energías alternativas y renovables)

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Directos

Los residentes de la comunidad de Colaya Jurídico serán los principales beneficiarios de este proyecto de implantación, ya que recibirán un suministro eléctrico continuo en la Sede Comunitaria a un coste económico reducido y con una menor huella de contaminación.

2.4.2. Indirectos

Entre los beneficiarios secundarios figuran estudiantes de ingeniería, profesores y entidades públicas o privadas, como el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador, comprometidas con el avance y la aplicación de las energías renovables.

2.5.JUSTIFICACIÓN

La elevada demanda en los sistemas de distribución eléctrica ha provocado un consumo excesivo de energía. Los frecuentes cortes de electricidad debidos a caudales bajos han impulsado la adopción de energías alternativas. En estos sistemas, no todas las cargas son lineales, lo que se suma el incremento de demanda de energía a la creciente presencia de dispositivos electrónicos de potencia. La actual escasez de energía, provocada por las prolongadas sequías en la región oriental de Ecuador, donde se encuentran las principales centrales hidroeléctricas, impulsando el uso de implementar tecnologías alternas como la energía fotovoltaica. Esta última aprovecha la radiación solar del país, proporcionando una fuente de energía estable y fiable, especialmente durante las sequías severas.

Según el artículo 15 de la Constitución ecuatoriana, el Estado tiene la responsabilidad de promover la utilización de métodos ecológicos y energías renovables que no contaminen ni tengan un impacto negativo significativo en el medio ambiente, ya sea en el ámbito del sector privado como el público. Es esencial resaltar que la búsqueda de la independencia energética nunca debe comprometer la seguridad alimentaria ni limitar el acceso al agua [4]. Todo individuo tiene derecho fundamental de habitar en un entorno que garantice su bienestar y esté en equilibrio con el ecosistema. Este objetivo se promueve fomentando el avance y la aplicación de prácticas tecnológicas sanas y respetuosas con el medio ambiente. También se busca promover el uso de energías alternativas que sean renovables, no contaminantes, diversificadas y con bajo impacto en el entorno natural.

Una opción viable para hacer frente a esta situación es la implantación de tecnologías fotovoltaicas independientes que garantice el suministro eléctrico continuo en la sede de la Comunidad. Esto proporcionaría una solución sostenible y fiable al problema de la falta de electricidad. Desde una perspectiva social, las instalaciones autónomas de energía solar fotovoltaica son un componente crucial en el desarrollo de sectores aledaños que carecen de acceso a la red eléctrica. El Comité de Castilla y León [5], destaca que la energía solar fotovoltaica ofrece numerosos beneficios medioambientales, como ser un recurso energético gratuito, renovable e inagotable. Aporta a la disminución del uso de combustibles fósiles, propiciando una producción de energía más limpia.

2.6.OBJETIVOS.

2.6.1. Objetivo General.

Implementar un Sistema Fotovoltaico aislado para Abastecimiento Energético en la casa Comunitaria en Colaya Jurídico.

2.6.2. Objetivo Especifico

- Realizar un estudio las necesidades energéticas en la casa comunitaria en Colaya Jurídico, incluyendo el análisis de la demanda eléctrica actual y futura.
- Dimensionar los equipos y elementos del sistema fotovoltaico, considerando las condiciones climáticas y de ubicación específicas del lugar.
- Realizar simulaciones en el software PVsyst y Simulink para verificar el rendimiento esperado en el sistema fotovoltaico en diferentes situaciones de carga y climáticas.
- Instalar el sistema fotovoltaico, garantizando su correcto funcionamiento y cumplimiento de los estándares de seguridad

2.7.ACTIVIDADES Y SISTEMA POR TAREAS

Tabla 1 Sistema de tareas

Objetivos específicos.	Actividades (tareas)	Resultados esperados.	Técnicas, Medios e Instrumentos.
Realizar un estudio las necesidades energéticas en la casa comunitaria en Colaya Jurídico, incluyendo el análisis de la demanda eléctrica actual y futura.	Recopilación datos, entrevistas con los miembros de la comunidad	Adquisición de información detallada sobre las necesidades de la sede Comunitaria, para la planificación.	Entrevistas, Formularios Digitales
	Inventario de equipos utilizados en la sede y Registro de Potencia y tiempo de uso de cada dispositivo Comunitaria de Colaya Jurídico.	Identificación precisa de la demanda y consumo eléctrico actual	Equipos de Registro de datos, Excel, Word, etc.
	Análisis detallado de las condiciones	Conocimiento con precisión la cantidad de incidencia	Técnicas de medición y registro de datos.

Dimensionar los equipos y elementos del sistema fotovoltaico, considerando las condiciones climáticas y de ubicación específicas del lugar.	climatológicas, incidencia solar durante determinado tiempo.	solar disponible y sus variaciones.	
	Estudio de la ubicación del lugar considerando aspectos de inclinación, orientación y obstáculos (sombra) del terreno	Identificación del lugar para la instalación de paneles.	Consulta de datos históricos
	Cálculo de producción de energía esperada del sistema fotovoltaico en función de lugar y condiciones climáticas.	Obtención de datos precisos para el adecuado dimensionamiento de los componentes del sistema	Equipos de medición Solar.
Realizar simulaciones en el software PVsyst y Simulink para verificar el rendimiento esperado en el sistema fotovoltaico en diferentes situaciones de carga y climáticas.	Realización pruebas de rendimiento a equipos del sistema fotovoltaico de producción de energía eléctrica	Identificación de posibles problemas de funcionamiento o deficiencias en el sistema fotovoltaico.	Monitoreo en Tiempo real.
	Simulación sistema fotovoltaico bajo varias condiciones climatológicas y de cargas, para identificar posibles áreas de mejora o ajuste antes de su implementación.	Obtención de datos sobre el funcionamiento del sistema fotovoltaico en diferentes condiciones, lo que servirá para su diseño, operación y mantenimiento futuro.	Software de Simulación PVsyst.
Instalar el sistema fotovoltaico, garantizando su correcto	Montaje de elementos del sistema fotovoltaico.	Instalación correcta de acuerdo a especificaciones técnicas y normativas de seguridad	Técnicas de Montaje, Herramientas de montaje, Equipos de Medición

funcionamiento y cumplimiento de los estándares de seguridad.	Implementación de acciones preventivas de seguridad	Medidas, seguridades efectivas que protegen tanto el sistema como a los usuarios de la casa comunitaria	Equipos de seguridad, Identificación de riesgos
---	---	---	---

3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

3.1. ESTADO DEL ARTE

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), con sede en Ginebra, es ampliamente reconocida como la entidad responsable de establecer y mantener normas de calidad en el ámbito eléctrico. Esta organización tiene elaborado una secuencia de normas, conocidas como Normas de Compatibilidad Electromagnética (CEM), con el fin de resolver desafíos relacionados con la calidad energética.[1]

La energía fotovoltaica procedente del sol se destaca por aprovechar una fuente inagotable como la radiación solar, lo que le permite desplegar su potencial en cualquier parte del mundo. Esta capacidad de generar energía limpia la convierte en una opción principal a nivel global, especialmente en regiones aisladas sin acceso a infraestructura de red convencional. Estas áreas se conocen como Zonas No Interconectadas (ZNI), según lo estipulado en la Ley 855 de 2003 artículo 1. Generalmente, estas zonas incluyen consejos, resguardos autóctonos, distritos, veredas y aldeas que están aislados del Sistema Interconectado Nacional (SIN).[1]

3.2. ANTECEDENTES

Chochos D, Veloz J [2], Implementación de un sistema solar para el calentamiento de agua en uso doméstico”, el investigador enfoca su estudio en examinar cómo la energía solar no es aprovechada adecuadamente en la parroquia de San Buenaventura. A lo largo de su investigación, se destaca la importancia de esta fuente de energía renovable y cómo su subutilización representa una oportunidad desperdiciada para mejorar la eficiencia energética en los hogares de la comunidad., así como en la selección de un sistema solar para su aprovechamiento. Para la problemática, se ha dimensionado e implementado un sistema de calentamiento de agua para uso doméstico que reemplace al convencional, en el selecciona un colector solar cilíndrico parabólico (CCP) y un colector solar de tubos de vacío (heat pipe) los mismo que son económicos proporcionan seguridad, larga vida y fácil

mantenimiento. Se obtuvieron valores promedios y picos de radiación para dimensionar los colectores solares que alcanzan una temperatura promedio superior a 26°C en un tiempo mínimo, con una eficiencia del 35%, a una altura de 2750 msnm, durante el mes de febrero. Cuenca A, Oña C, Suquillo I, Miniguano H [3], En su estudio, se destaca la importancia de las tecnologías renovables por ser limpias y de bajo impacto ambiental. En zonas rurales de Ecuador con acceso limitado a la electricidad, estas tecnologías se presentan como una opción viable para la producción de energía, contribuyendo al desarrollo de estas áreas. Utilizando el entorno Simulink de Matlab, se han desarrollado sistemas fotovoltaicos aislados que incluyen módulos fotovoltaicos, inversores monofásicos, controladores de carga y sistemas de almacenamiento.

Rakesh P, Revankar P [4], Este exhaustivo estudio examina el potencial de generación solar fotovoltaica en la región de Hubballi, en Karnataka (India), concretamente en una vivienda residencial a pequeña escala. Detalla el área de investigación, los métodos utilizados para recopilar datos y la configuración de simulación empleada mediante el software PVsyst. Además, examina los elementos que influyen en la generación de energía eficiente en Hubballi. Este estudio reside en su capacidad para poner el relieve de potencia de energía fotovoltaica en Hubballi, proporcionar una comprensión profunda de su viabilidad en entornos residenciales.

Villao M, Consuegra E [5] En el proyecto de “Dimensionamiento Optimo de un Sistema Fotovoltaico a través de Herramientas Computacionales en Zonas Aisladas” busca mejorar las condiciones de vida en comunidades rurales que no tienen acceso a la electricidad debido a su ubicación remota y terrenos complicados. Se dirige a aquellas zonas donde las personas dependen de generadores para tener luz y cargar sus celulares. En particular, el trabajo se realizó en la comunidad Masa 2, en el Golfo de Guayaquil, donde se diseñó un sistema solar independiente para una vivienda. Este sistema, que incluye paneles solares, baterías, reguladores e inversores, fue dimensionado y verificado con la ayuda de herramientas digitales especializadas.

Cajilema K, Salazar R, Jiménez D, [6]analiza cómo la variación de la radiación solar y la temperatura afecta la generación de energía eléctrica en un sistema fotovoltaico conectado a la red, siguiendo la normativa NEC-11 vigente en el país. Para ello, se utilizan datos reales del cantón Ventanas, en la provincia de Los Ríos, Ecuador, y se aplica el método de Monte Carlo para completar la información faltante de los instrumentos de medición de radiación

y temperatura. Posteriormente, se lleva a cabo una simulación en MATLAB Simulink que incorpora la función de máxima transferencia de potencia, seguida de otra simulación en PVsyst para evaluar la capacidad de producción energética del sistema. Los resultados indican que la red eléctrica cubre el 60.44 % de la demanda, mientras que el sistema fotovoltaico aporta el 39.56 %. Finalmente, al comparar la generación de energía considerando datos fluctuantes de radiación solar y temperatura con valores constantes de estos parámetros, se observa un incremento del 0.79 % en la producción del sistema fotovoltaico.

3.3.ENERGÍA RENOVABLE

La energía renovable se diferencia de la no renovable en que procede de fuentes naturales que pueden regenerarse en poco tiempo y su disponibilidad es prácticamente ilimitada, dependiendo de los cambios o ciclos meteorológicos. Esta forma de energía se considera sostenible en un lapso extenso de tiempo. Su relevancia se refleja con la Figura 1 y, con el tiempo, ha aumentado su importancia como opción fundamental o complementaria en la producción de energía.[7]



Figura 1. Energía renovable.

3.3.1. Tipos de Energía Renovable

Las energías renovables pueden clasificarse en convencionales, que tienen un alto potencial de generación y representan una parte importante del suministro eléctrico, y no convencionales, que constituyen sólo una fracción mínima del suministro eléctrico, como muestra la Figura 2.[8]

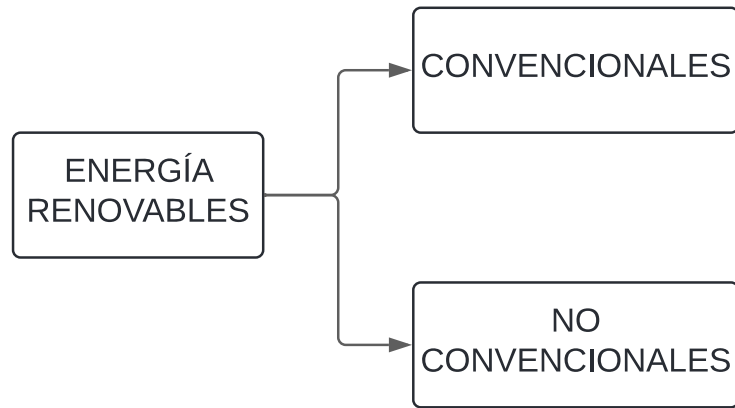


Figura 2. Clasificación de Energías Renovables

3.3.2. No convencionales

Se refiere a aquellas formas de producir energía que no son muy comunes en el mundo. Su uso es limitado debido a los altos costos de producción y a la dificultad para recibirlas y transformarlas en energía eléctrica, como se muestra en la Figura 3. [9]

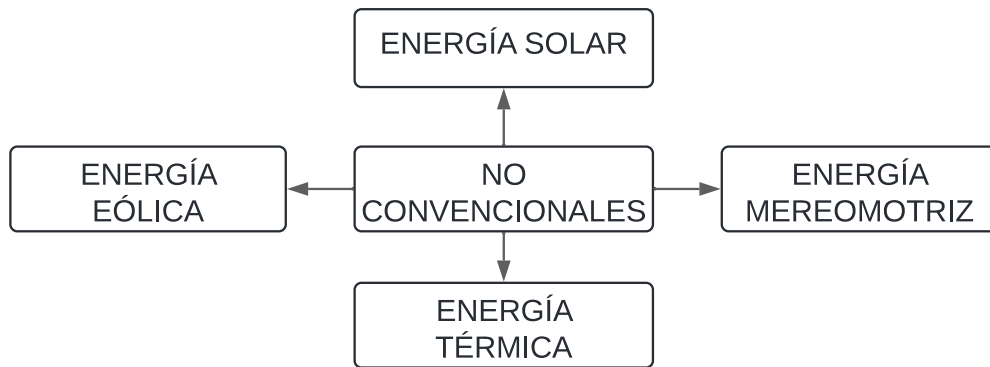


Figura 3. Energías no convencionales.

3.3.3. Energía solar

La energía solar proviene del Sol como radiación electromagnética, que abarca principalmente luz, calor y rayos ultravioleta. Es una fuente de energía renovable que se obtiene directamente del Sol. Se considera renovable porque el Sol es una fuente natural e inagotable.[10]

Sancho y Toalongo [11] La energía solar se obtiene aprovechando la luz y el calor del sol. Este recurso es renovable e inagotable, lo que significa que siempre está disponible para uso humano. Además, se considera una energía verde o limpia por su bajo impacto medioambiental. Sin embargo, hay quien sostiene que los paneles solares pueden causar problemas medioambientales si no se eliminan adecuadamente. A pesar de este problema,

la energía fotovoltaica sigue considerándose la mejor opción para generar electricidad, ya que proporciona una fuente de energía limpia y sostenible.

3.3.4. Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica aprovecha la luz solar para producir electricidad mediante paneles solares. Estos paneles están formados por células solares que convierten la luz solar, es decir, los fotones, en electricidad, generando electrones. Esta tecnología consiste en la generación directa en electricidad a partir de la radiación solar. Se consigue instalando paneles solares fotovoltaicos, que contienen células de silicio capaces de transformar la radiación solar y el calor en electricidad. Estos paneles pueden instalarse tanto en edificios y viviendas como en grandes instalaciones.[12]

3.4.SISTEMA DE GENERACION FOTOVOLTAICA

3.4.1. Sistemas ON-Grid y OFF-Grid

Los sistemas fotovoltaicos se pueden instalar de dos maneras principales: conectados al suministro eléctrico, utilizando la red pública para suministrar energía cuando no existe suficiente radiación solar o cuando la demanda es alta, y sistemas totalmente aislados de la red eléctrica local (off-grid), que sirve exclusivamente de la producción de energía solar. Este artículo se enfoca en los sistemas off-grid, ya que son instalados en comunidades que no están conectadas a la red eléctrica nacional y dependen completamente de la generación solar para satisfacer sus necesidades energéticas.[13]

3.4.2. Conectados a la red - Sistemas Fotovoltaicos

La conexión a la red del sistema fotovoltaico son los que funcionan simultáneamente a la conexión de la red. Se considera como una tecnología dual, ya que cuenta con un generador fotovoltaico y está conectado conjuntamente a una red eléctrica tradicional, que sirve de respaldo. Estos sistemas suelen incluir módulos fotovoltaicos, el inversor y el contador de energía.[14]

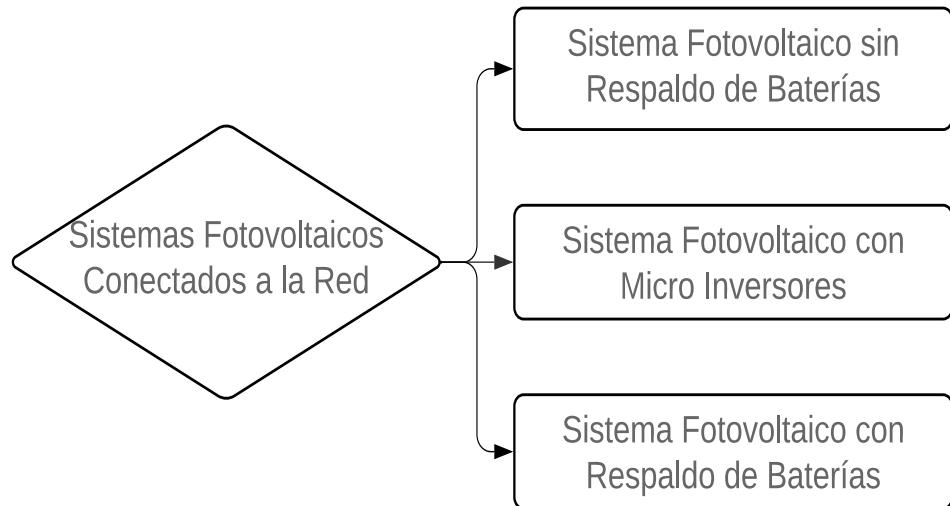


Figura 4. Clasificación de SFV Conectados a la red

3.4.3. Sistemas fotovoltaicos aislados de la red

Los sistemas aislados de la red, son conocidos como sistemas independientes que utilizan la energía solar para la generación de electricidad. Consiste en un conjunto interconectado de componentes que se alimentan exclusivamente de energía fotovoltaica sin acceso a la red eléctrica convencional. Estos sistemas están compuestos por un generador solar, un conjunto de baterías, un controlador de carga y un inversor. Son especialmente valiosos para producir electricidad en áreas remotas o de difícil acceso, donde no hay conexión a la red eléctrica tradicional.[15]

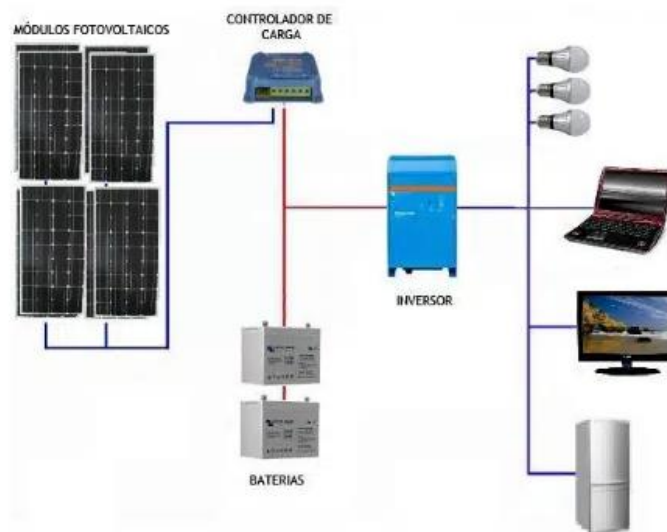


Figura 5. Esquema de un Sistema Fotovoltaico aislado[16]

Estos sistemas son instalados principalmente en viviendas aisladas en áreas rurales y en establecimientos agrícolas los cual necesitan dispositivos eléctricos como bombas

hidráulicas, entre otros equipos. Se emplean cuando se requiere electricidad en regiones remotas y poco desarrolladas. En cuanto a costos y viabilidad, representan la opción más práctica para proporcionar electricidad en estas zonas rurales.

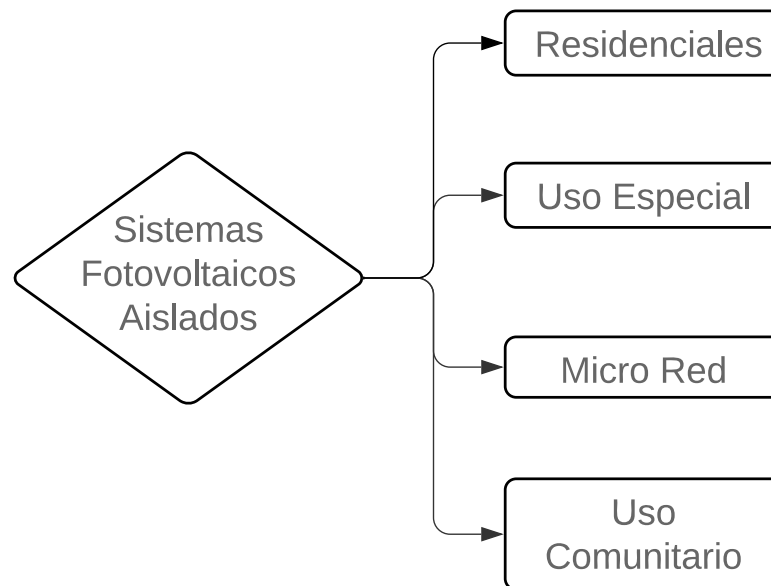


Figura 6. Clasificación de SFV Aislados

3.4.4. Heliofanía.

La heliofanía se refiere al tiempo que se mide en horas, durante el cual el sol presenta un brillo solar que se conoce como insolación. Según Cedeño y García [19], el instrumento utilizado es el heliofanógrafo, cuya función es registrar el tiempo en que se recibe radiación solar directa a lo largo de un día.[17]

3.4.5. Horas Solares Pico (HSP)

Las horas solares pico (HSP) son la unidad utilizada para medir la irradiación solar, que es crucial para estimar la generación de energía en un sistema solar fotovoltaico. Desde otra perspectiva, las horas solares pico se definen como la cantidad de horas diarias en las que la insolación alcanza los 1000 W/m^2 en un metro cuadrado de área durante un día.[18]


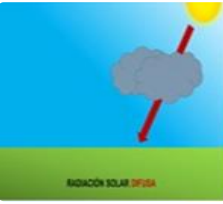

3.4.6. Radiación Solar

La radiación solar es aquella energía que emana el Sol alcanzando cualquier tipo de superficie, siempre y cuando no exista algún material que impida su absorción[19]. Esta radiación solar engloba una gran variedad de ondas electromagnéticas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no toda la radiación que proviene del Sol impacta en la Tierra de forma uniforme[20]

3.4.7. Tipos de radiación solar

Existe diversos tipos en función de su incidencia sobre la superficie terrestre. En la Tabla 2 se detallan los tipos y sus características.

Tabla 2 Tipos de radiación solar[21]

Tipos	Características	Gráficos
Radiación Directa	Rayos que impactan directamente a la superficie terrestre sin intervención alguna.	
Radiación Difusa	Los rayos solares se dispersan en diferentes direcciones por la interacción con materiales o sustancias. Por ejemplo: nubes.	
Radiación Albedo o Reflejada	Los rayos solares se reflejan o rebota después de haber impactado en la superficie de la tierra, siendo albedo la cantidad de radiación que es reflejada sobre la incidencia total de radiación.	

3.4.8. Ecuador – Energía Solar Fotovoltaica.

Ecuador se posiciona como uno de los países con capacidad energético en implementación de proyectos de energías renovables no convencionales, particularmente sistemas fotovoltaicos, gracias a sus condiciones geográficas. Los niveles de radiación solar en el país facilitan la producción eléctrica a partir de la energía proveniente del sol.[22]

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) destaca que en los últimos años Ecuador ha impulsado diversas iniciativas para instalar sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales con acceso limitado a la electricidad. El país ha sido pionero en proyectos de microrredes con sistemas fotovoltaicos aislados.

Estos proyectos se han desarrollado en ocho provincias ecuatorianas, incluyendo Manabí, Guayas, Pichincha y Cotopaxi.[23]

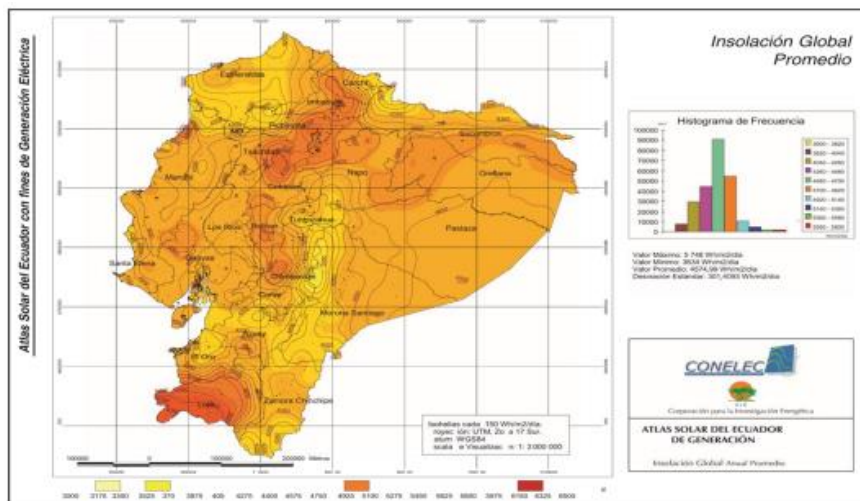


Figura 7. Insolación Global Promedio [23]

3.4.9. Ley orgánica de competitividad energética “ley no más apagones”

Según la reforma del artículo 10 de la Ley de Régimen Tributario Interno, se permite deducir un 100% adicional en las depreciaciones y amortizaciones de la compra de maquinaria, equipos y tecnologías para sistemas de generación distribuida que utilizan energías renovables no convencionales [24]. Esto incluye también la implementación de tecnologías de producción más limpia y la generación de energía a partir de fuentes renovables como la solar y la eólica, así como la reducción del impacto ambiental y de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, estas adquisiciones no deben ser indispensables para cumplir con los requisitos ambientales ni para obtener las licencias necesarias. Es imprescindible contar con la aprobación de la autoridad competente[25].

3.4.10. Norma NEC-11

El reglamento de construcción NEC 11 establece las directrices y requisitos técnicos para la energía solar fotovoltaicos (SFV) empleados en Ecuador. También define las prestaciones que los proveedores ofrecer para asegurar la fiabilidad, invulnerabilidad y durabilidad de los equipos del sistema, conforme a las especificaciones de las fichas técnicas. Este reglamento abarca tanto los SFV independientes de la red eléctrica, sin importar su capacidad, como aquellos conectados a la red con una potencia nominal de hasta 100 kW, determinada por la capacidad del inversor. [26]

Este reglamento establece las condiciones técnicas mínimas para la producción y el montaje de sistemas solares térmicos (SST) destinados a calentar agua en aplicaciones que no superen los 100 °C. Abarca los aspectos técnicos, la clasificación, la descripción, el diseño,

los componentes, las pruebas de certificación y el etiquetado. También detalla la información que los fabricantes deben incluir con sus productos y las precauciones de seguridad que deben seguir los usuarios de SST.[26]

3.5.EQUIPOS Y ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.5.1. Panel Solar o Módulo Fotovoltaico

Un panel solar es un dispositivo que utiliza semiconductores para convertir la energía solar en energía eléctrica continua. Cuando incide la radiación al semiconductor del interior de la célula fotovoltaica, se liberan electrones, lo que genera una corriente eléctrica. En el diseño de sistemas fotovoltaicos se suelen utilizar conjuntos de paneles solares. Estos sistemas suelen instalarse en módulos interconectados, lo que permite añadir o retirar paneles en función de las necesidades energéticas del sistema. A continuación, se muestra un ejemplo de panel fotovoltaico en la Figura 8. [27]



Figura 8. Partes de panel solar [28]

3.5.1.1. Tipos de paneles solares

En el mercado, existen dos tipos principales de paneles fotovoltaicos disponibles:

Tabla 3 Tipos de paneles fotovoltaicos

	<p style="text-align: center;">Celdas Solares de silicio Mono cristalino</p> <p>Están compuestas por un único cristal de silicio puro, lo que les confiere una alta eficiencia debido a la pureza del material</p>
	<p style="text-align: center;">Celdas Solares De Silicio Poli cristalino</p> <p>Las celdas policristalinas están compuestas por múltiples cristales de silicio, la eficiencia de estas células suele oscilar entre el 13% y el 16%, y suelen tener un característico color azul intenso. [26].</p>

3.5.1.2. Paneles solares – ubicación y ángulo

La ubicación y ángulo de los paneles solares son decisivas para optimizar la eficiencia del sistema fotovoltaico. Es crucial que los paneles se coloquen de forma que reciban la máxima radiación solar disponible. Suelen instalarse en lugares altos, como tejados o zonas sin obstáculos, para evitar interferencias en su funcionamiento. Los sistemas de paneles fijos suelen estar orientados al este e inclinados unos 20 grados para aprovechar al máximo la radiación solar. [29]

3.5.2. Regulador de Carga

El controlador es un dispositivo el cual se encarga de controlar y gestionar la carga y descarga de las baterías optimizando la eficiencia del sistema y seguridad de los equipos. Estos equipos se dividen en dos tipos PWM (Pulse Width Modulation) este regula la carga con la variación del ancho de pulsos controlando la cantidad de energía suministrada, MPPT (Maximun Power Point Tracking) este optimiza la cantidad de energía emanada por los módulos para operar en el punto máximo de potencia incluso en condiciones climatológicas de menor radiación.[30]



Figura 9. Regulador de carga [31]

3.5.3. Baterías

Las baterías en los sistemas fotovoltaicos independientes permiten la acumulación de energía para su uso posterior. Estos dispositivos tienen la capacidad de convertir la energía durante el proceso de carga, para luego invertir este proceso y generar electricidad cuando sea necesario. Normalmente, las pilas constan de electrodos (positivo y negativo) y electrolitos que facilitan el intercambio de iones durante las fases de carga y descarga. [32]



Figura 10. Batería recargables[33]

3.5.4. Inversor



Figura 11. Inversor[34]

Un inversor solar es un dispositivo especializado que convierte la energía generada por los paneles fotovoltaicos de corriente continua a corriente alterna. Esta conversión es esencial para que la energía sea compatible con los requisitos eléctricos de los dispositivos conectados al sistema. Los inversores son componentes electrónicos cruciales en los sistemas fotovoltaicos, ya que su función principal es transformar la corriente continua en corriente alterna. En los sistemas fotovoltaicos aislados, los inversores suelen estar acoplados a una batería para asegurar el suministro constante de energía, incluso cuando no hay luz solar directa. [35]

Tabla 4 Rendimiento del inversor

Tipo de inversor	<i>Rendimiento al 20% de la potencia nominal</i>	<i>Rendimiento a Potencia nominal</i>
Inversor con onda senoidal	> 80%	>70%
	>85%	>80%
Inversor sin onda senoidal	>85%	>80%

3.5.5. Tableros Eléctricos

Los cuadros eléctricos, también conocidos como paneles de control o cuadros eléctricos, son estructuras que albergan diversos dispositivos eléctricos, como interruptores, disyuntores, fusibles y contadores. Se manejan en una extensa gama de sectores, como el residencial, el comercial y el industrial. Estos componentes son esenciales para la distribución, protección y control eficaces de la energía eléctrica dentro de un sistema.[36]



Figura 12. Tablero de distribución eléctrico [36]

3.5.6. Conductores o Cables

La elección de los cables o conductores eléctricos correctos es fundamental en cualquier sistema eléctrico, ya que son los encargados de transportar la corriente de manera segura y eficiente. Es importante que los cables cuenten con propiedades que faciliten el desplazamiento de los electrones entre los puntos de conexión. La forma en que están

construidos debe reducir al mínimo la resistencia eléctrica, permitiendo así un flujo constante de electricidad.

Además, los cables necesitan ser suficientemente flexibles para adaptarse a diversas configuraciones y situaciones de instalación sin perder su capacidad de funcionar correctamente. Otro factor esencial es la presencia de una capa aislante que recubra los cables, protegiéndolos de posibles cortocircuitos, sobrecargas y otros riesgos eléctricos. Esta capa no solo asegura la seguridad general del sistema, sino que también evita la pérdida de energía y preserva la estructura interna de los cables a lo largo del tiempo.[37]

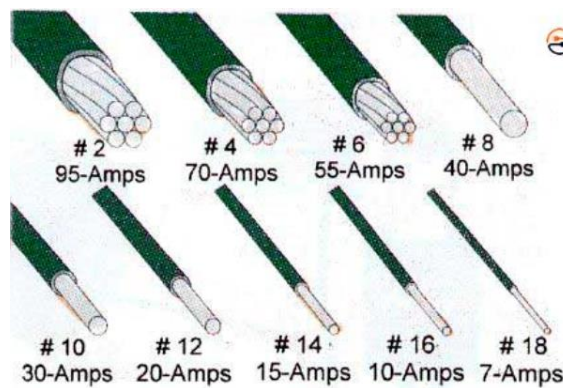


Figura 13. Conductor eléctrico[37]

3.5.7. Método Monte Carlo



El método de Monte Carlo o conocida también como simulación de probabilidad múltiple es una técnica matemática que se emplea para calcular posibles eventos con un alto grado de incertidumbre arrojando valores aleatorios, a diferencia de otros modelos de proyección Monte Carlo estima valores basándose en un conjunto de datos muestras de entrada, desarrolla posibles resultados con una distribución normal o uniforme de probabilidad, calculando los valores resultantes en un ciclo evaluando los números en un rango mínimo y máximo identificando patrones que permiten proyectar resultados con mayor precisión a comparación de métodos tradicionales. [38]

3.5.8. Software para instalaciones fotovoltaicas

Para proceder con la instalación de un sistema fotovoltaico, es esencial realizar un diseño adecuado. Actualmente, este diseño se lleva a cabo utilizando alguno de los diversos programas de software para instalaciones fotovoltaicas que han estado disponibles en el mercado durante los últimos años.

A continuación, se va hablar de los dos softwares:

Tabla 5 Programas

Homer Pro	
	<p>Homer Pro nos ayuda para optimizar el diseño de microrredes en diversos sectores, desde áreas rurales y servicios públicos en islas hasta campus universitarios y bases militares conectadas a la red.</p>
Pv syst	
	<p>PVGIS es una herramienta sencilla, pero muy precisa para estimar el rendimiento de una instalación fotovoltaica. Proporciona datos detallados sobre la radiación solar en el lugar de la instalación, así como información específica sobre el clima y la altitud de la zona indicada.</p>

En la Tabla 5 se compara los softwares para instalación fotovoltaicas se puede identificar que el software PVsyst es el óptimo para el desarrollo del proyecto de instalación de paneles solares aislados por el motivo que nos ayuda con datos precisos e información específica.

3.5.9. Software PVsyst

PVsyst destaca por su capacidad para considerar diversas variables ambientales y de diseño, como la inclinación y orientación de los paneles solares, el perfil climático local y la presencia de elementos de sombreado. Esto permite a los usuarios realizar análisis en profundidad y tomar decisiones informadas para optimizar el rendimiento y la rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos. En resumen, PVsyst es una herramienta indispensable para el diseño, el análisis y la optimización de sistemas de energía solar fotovoltaica. Proporciona a los profesionales del sector las herramientas necesarias para llevar a cabo proyectos eficientes y sostenibles. [39]



Figura 14. PVsyst [39]

3.6. Equipos utilizados

3.6.1. Piranómetro Portátil Apogee

El piranómetro es un dispositivo que permite la adquisición de datos tanto manual como automática de radiación solar que recae en una zona, utilizado para el monitoreo climatológico. Cuenta con una memoria de almacenamiento de 99 datos y su pantalla muestra la radiación instantánea en W/m^2 . [40]



Figura 15. Piranómetro Portátil Apogee

3.6.2. Multímetro industrial Fluke 289

Multímetro Fluke 289 es un dispositivo de una alta precisión utilizado en mantenimiento y diagnóstico de fallas eléctricas e industriales permite la medición de señales en un lapso de tiempo con el programa TrendCapture almacena hasta 15000 datos para diversas pruebas sin necesidad de dispositivos externos. [41]



Figura 16. Multímetro Fluke 289

4. HIPOTESIS

Mediante el diseño y la simulación de un sistema fotovoltaico, que afianzará la implementación del sistema fotovoltaico, el cual proveerá de energía eléctrica a sectores rurales apartados siendo una solución a los cortes programados de energía aportando con una fuente autosuficiente y renovable a la matriz energética del país.

5. METODOLOGÍA

5.1. Método de investigación

El diagrama de bloques ilustra la metodología seguida para el desarrollo del proyecto. En primer lugar, se estima el recurso solar disponible en la ubicación seleccionada, con el objetivo de determinar la cantidad de energía utilizable para el funcionamiento del proyecto. En segundo lugar, se diseña el sistema fotovoltaico a partir del análisis de las cargas del proyecto y del dimensionamiento de los componentes necesarios para su futura implementación. Finalmente, se lleva a cabo la simulación del sistema fotovoltaico utilizando el software Simulink, en el cual se construye el modelo del sistema con base en

los elementos previamente dimensionados y se evalúa su desempeño utilizando los datos de entrada del recurso solar previamente establecido.

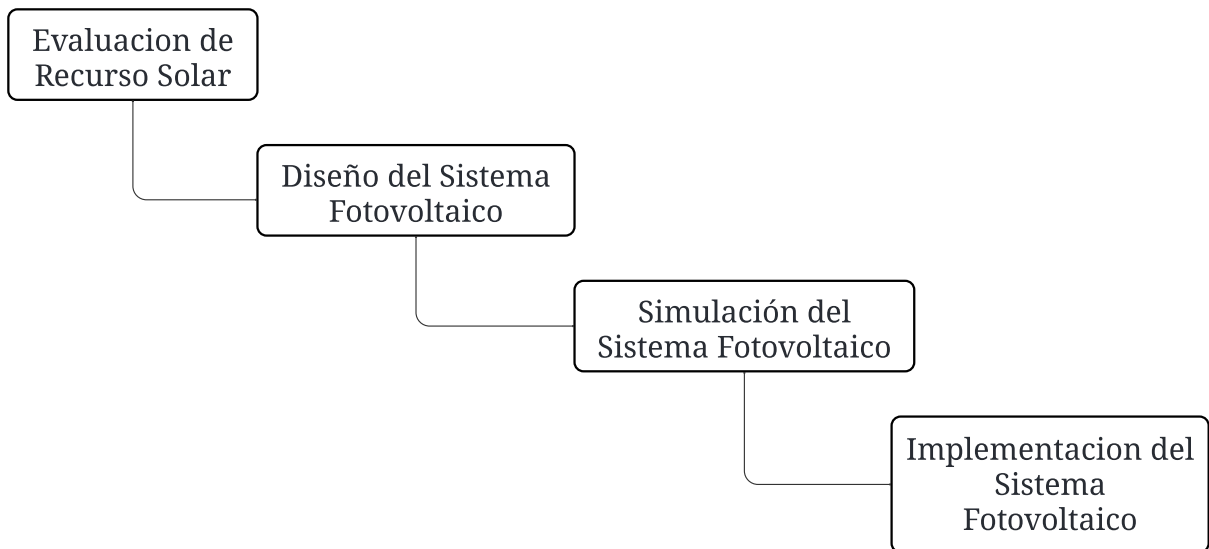


Figura 17. Diagrama de bloques del desarrollo del proyecto

5.2. Evaluación del recurso solar

La evaluación del recurso solar para el suministro de energía se desarrollará en la Sede de la Comunidad Colaya Jurídico que se encuentra ubicado en la Provincia de Cotopaxi al norte del cantón Latacunga con una latitud de -0.838760 , longitud de -78.595648 y altitud con respecto al nivel mar de 2.939 metros.

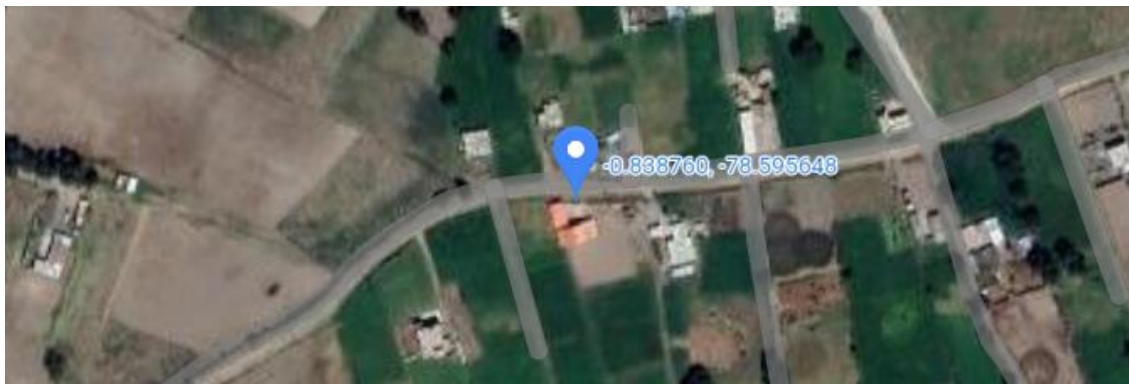


Figura 18 Ubicación de evaluación del recurso solar

5.3. Medición solar en Colaya Jurídico

La instalación del equipo de medición de radiación solar se llevó a cabo en la terraza de una vivienda, a una altura de 6 metros, dentro de la comunidad donde se implementará el proyecto. El piranómetro utilizado es un modelo Apogee MP-200, diseñado para medir con

precisión el índice de radiación solar global hemisférica, que incluye componentes directas, difusas y reflejadas sobre una superficie horizontal. Este equipo proporciona datos en unidades de W/m^2 , los cuales son esenciales para determinar la incidencia solar en la zona y garantizar una evaluación adecuada para el desarrollo del proyecto.



Figura 19. Instalación piranómetro Colaya Jurídico.

5.3.1. Gráfica radiación solar global diaria Colaya Jurídico

Con los datos obtenidos durante un lapso de tiempo de 30 días del mes de septiembre en la Comunidad de Colaya Jurídico los cuales facilitaran los cálculos. En la Figura 20, se observa las distintas variaciones de la radiación solar incidente en la superficie de la zona aumentando su valor continuamente hasta llegar a un pico máximo, este variando entre las 06:00h y 18:00h siendo estas ideales en el rendimiento de los paneles, teniendo un promedio de radiación solar en el mes de $710.4 W/m^2$.

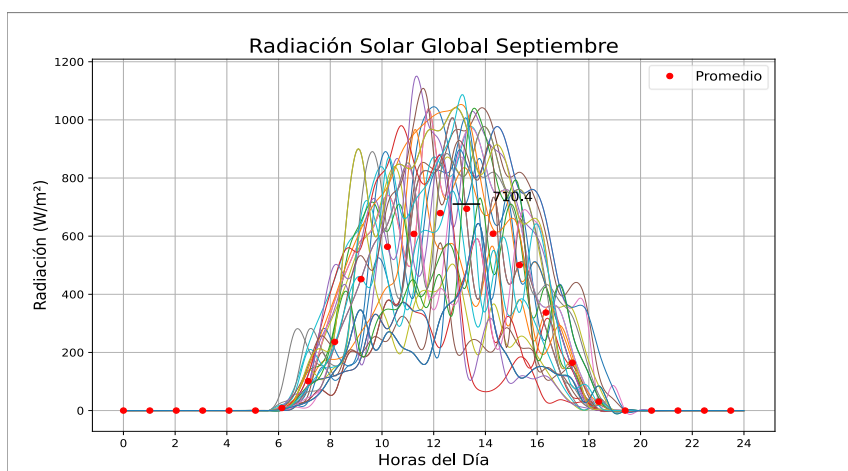


Figura 20. Radiación solar global promedio Colaya Jurídico

Por consiguiente, se obtienen los datos del siguiente mes de octubre el cual se muestra en la Figura 21, presenta las diversas variaciones de radiación de entre las 06:00h a 18:00h que impacta en la zona con un punto máximo promedio en el mes de 804.8 W/m^2 .

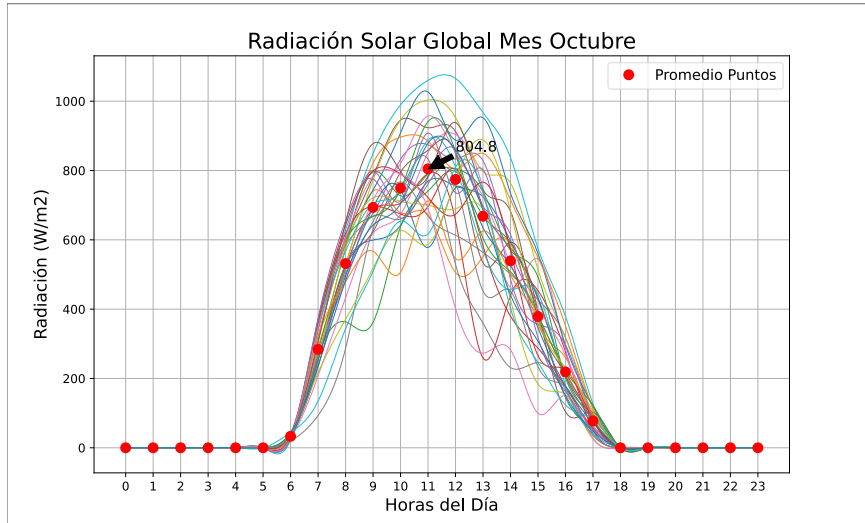


Figura 21. Radiación solar global octubre.

Finalmente, en la Figura 22, se observa las distintas variaciones de radiación solar incidente en la superficie del mes de noviembre de entre las 06:00h a 18:00h con un punto máximo promedio de radiación solar en el mes de 729.8 W/m^2 .

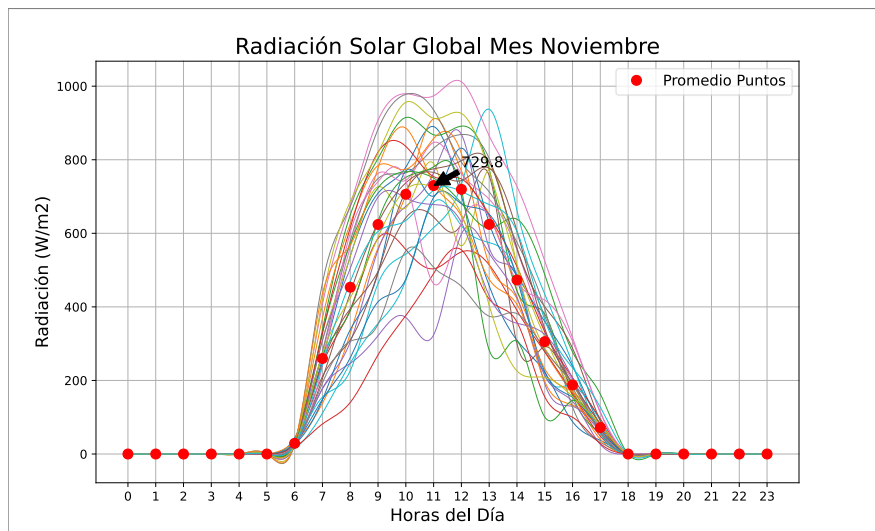


Figura 22. Radiación solar global noviembre.

5.4. Proyección de radiación solar por Monte Carlo.

Con datos bases de irradiación solar del mes de septiembre del 2024, y datos históricos de varios años atrás se procede al desarrollo de series sintéticas por el método Monte Carlo para proyección mediante el uso de una distribución normal, este por sus valores de entrada limitara

su proyección dentro de un rango máximo y mínimo generando escenarios dentro de estos límites. La proyección por Monte Carlo mostrada en la Figura 23 una proyección de 2024 un año natural, en el cual se presenta valores altos de radiación mensual entre las 10:00 a.m. hasta las 15:00 p.m. teniendo un promedio entre estos de 537 W/m^2 suficiente para la adecuada generación de energía de los módulos.

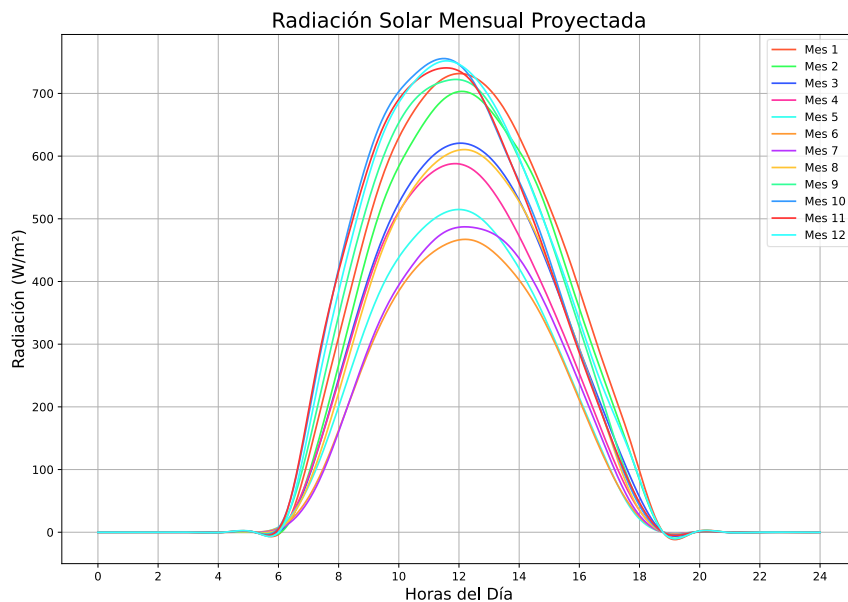


Figura 23:Proyección por Monte Carlo 2024

La proyección de Monte Carlo para el mes de septiembre de 2024 se muestra en la Figura 24 en la cual se visualiza la curva de proyección que esta toma y la parte sombreada proporciona el rango percentil del 5% y 95%, es decir que los valores inferiores al 695.65 W/m^2 y el otro 95% esta debajo de 750 W/m^2 .

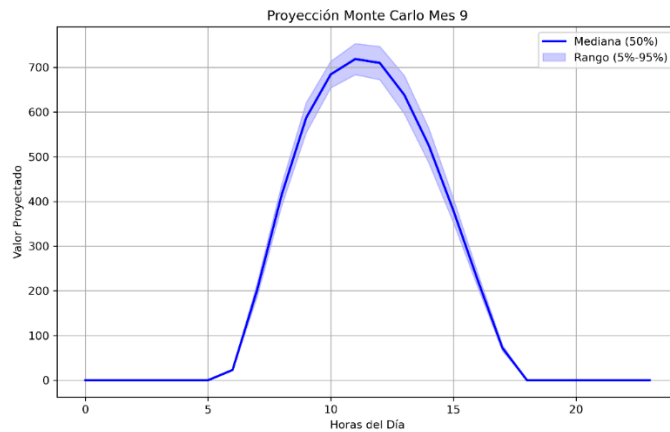


Figura 24: Proyección septiembre 2024 MC.

A continuación, en la Figura 25 se presenta el histograma que es la representación de la distribución de los datos generados por Monte Carlo de forma aleatoria, en la cual se observa una cantidad de 10000 valores generados para septiembre en la que se toma como muestra las 12:00h del medio día, en esta se detalla la frecuencia con la cual los valores se repiten y el rango que estas alcanzan.

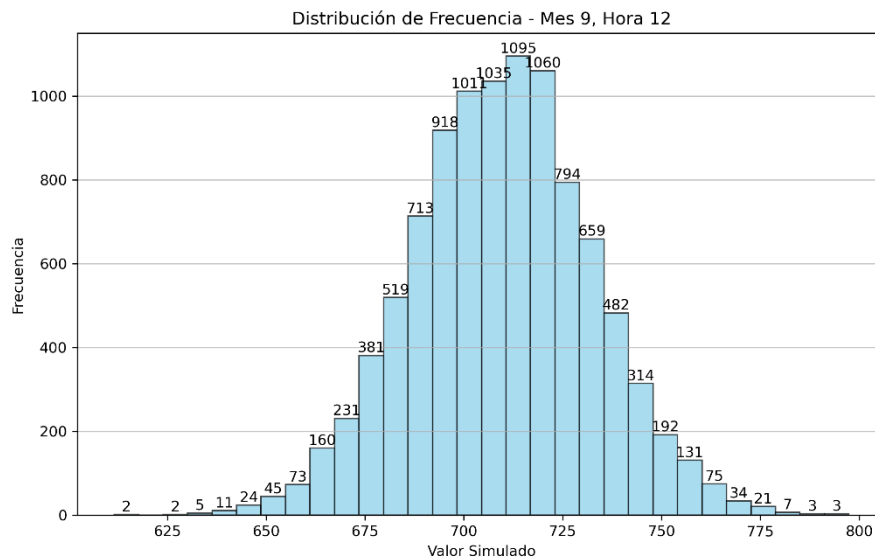


Figura 25. Histograma Septiembre 12:00h

5.5.Colaya Jurídico radiación solar promedio

La radiación global promedio total es la cantidad de energía solar que cae sobre la comunidad en determinado tiempo, este valor es necesario para conocer la cantidad de

energía que pueden producir los paneles solares, a mayor radiación será mayor la energía que produzcan.

$$\textit{Promedio total} = 531.91 \text{ W/m}^2$$

5.5.1. Hora solar pico, Colaya Jurídico

Es una medida que expresa la cantidad de horas al día que la irradiancia del sol tiene un valor de 1000 W/m^2 en la zona de estudio, este calculo facilita conocer la fluctuación de la radiación solar y consta de la siguiente ecuación (V.I)

$$HSP = \bar{H}_T / 1000 \left[\frac{\frac{W}{h} m^2 dia}{\frac{W}{m^2}} \right] \quad (V.I)$$

- 1000 W/m^2 cantidad de irradiación solar.
- HSP cantidad de horas de sol día.

El cálculo toma en cuenta el valor promedio medidos en el lapso de un día en el cual se toma un valor desfavorable para que el sistema pueda funcionar correctamente aun en los días de menor radiación solar, al resolver la ecuación (V.I) obtenemos un valor de 3.75 HSP mostrados en Anexo B.

$$HSP = 3.75 \text{ HSP}$$

5.6. Cálculo de Demanda

La demanda energética hace referencia a la energía total que el usuario requiere en un periodo determinado para satisfacer sus necesidades en consumo de energía, como se muestra en la Tabla 6 el levantamiento de cargas considera todos los equipos de uso durante varias horas, este cálculo nos permite comprender la demanda del usuario para la optimización del dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Tabla 6 Calculo de la demanda

Equipos	Cantidad	Potencia Unitaria	Potencia Total	Horas De Uso Diaria	Energía Diaria (Wh Día)
Foco Sylvania Led 9w	3	9	27	5	135
Reflector Sylvania Led 100w	1	100	100	5	500
Sylvania Panel Led 12w Redondo	16	12	192	5	960
		121	319		1195
	25%	151.25	398.75		1993.75

Considerando un 25% de carga futura el consumo de energía diaria su total haciende a 1993.75 Wh/día. Con una carga instalada de 398.75W para el dimensionamiento de los componentes del sistema.

5.6.1. Consumo promedio de instalación

El promedio de consumo para el diseño del sistema a instalar toma como referencia los cálculos los planteados por Bayod ecuación (V.2)

$$Energíadiaria = \frac{P.H}{1000} \left(\frac{KWh}{dia} \right) \quad (V.2)$$

Dónde:

P = Potencia en Watios (W)

H = Horas/día de funcionamiento

Mediante la resolución de la ecuación (V.2) del consumo promedio de la instalación muestra la cantidad que será utilizada por los dispositivos que se encuentran conectados en un tiempo previsto, cálculos mostrados en el Anexo D.

$$Energíadiaria = 1.99 \left(\frac{KWh}{dia} \right)$$

Para el calculó del consumo de energía mensual (30 días del mes) utilizando la ecuación (V.3) propuesta por Bayod, a continuación, se describen dichas fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de energia mensual} &= \left(\frac{KWh}{mes} \right) \\ &= \text{Energia diaria} * 30 \text{ dias} \end{aligned} \quad (V.3)$$

Con la aplicación de la ecuación (V.3) nos permite estimar la cantidad de energía que se necesitará en el periodo de un mes dando como resultado el valor de cálculo en el Anexo E

$$\text{Consumo de energía mensual} = 59.81 \left(\frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \right)$$

5.7. Dimensionamiento de equipos

El dimensionamiento de equipos fotovoltaicos necesarios en la implementación implica calcular la capacidad que requerirá el sistema para funcionar sin interrupciones, considerando las características de cada uno, mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7 Equipos del sistema fotovoltaico

Equipos Del Sistema	Cantidad
Paneles Solares	1
Inversor	1
Controlador	1
Batería Ciclo Profundo	2
Braker Térmico Dc	2
Braker Térmico Ac	1
Caja De Transferencia	1

5.8. Potencia fotovoltaica

Teniendo como base la ecuación (V.4) sugerida por Acevedo [13] se determina la potencia solar fotovoltaica:

$$PSFV = \frac{Ediaria}{HSP} * 1000 \quad (V.4)$$

Donde:

PSFV Potencia fotovoltaica

HSP Hora solar pico

Ediaria Consumo máximo de la instalación

La potencia fotovoltaica se refiere a la cantidad de energía que un panel solar puede producir dependiendo de la radiación que impacte en el sistema, mediante la aplicación de la ecuación (V.4) de potencia fotovoltaica dando un resultado, cálculos Anexo F.

$$PSFV = 530.66 W$$

5.8.1. Cálculo número de Paneles

Para determinar el número de módulos se llevó a cabo considerando la cantidad necesaria para cubrir el consumo energético diario de una casa en el campo, junto con el potencial de instalación y capacidad de cada módulo, ecuación (V.5)

$$N_{ipaneles} = \frac{P_{SFV}}{P_p} \quad (V.5)$$

Donde:

$PSFV$ = Potencia solar fotovoltaica

PP = Potencia del panel

Mediante la resolución de la ecuación (V.5) se determinó la necesidad de 1 panel solar de 565W para cubrir la demanda energética, cálculos mostrados en el Anexo G.

$$N_{ipaneles} = 1$$

5.8.2. Cálculo de Angulo de inclinación

Se utilizó la ecuación (V.6) para calcular el ángulo de inclinación con el propósito de maximizar la exposición al sol en el colector solar estático. La estimación se fundamentó en el estudio estadístico de irradiación solar en un área con diferentes ángulos, considerando varias latitudes geográficas, para determinar el ángulo más adecuado según la latitud del sitio.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |\varnothing| \quad (V.6)$$

Donde:

β Ángulo inclinación ideal (grados)

$|\varnothing|$: Latitud localización, sin signo (grados)

Lat: -0.838760, **Long:** -78.595648

Mediante el cálculo del ángulo ideal de inclinación presentados en el Anexo M, la cual debe tomar en cuenta la instalación es de 4.28°, considerando el mantenimiento y acumulación de polvo en los paneles se opta por una inclinación de 25°.

$$\beta_{opt} = 4.28^\circ$$

Con los resultados obtenidos del cálculo de paneles se ha optados por equipos con las siguientes características, mostradas en la Tabla 8

Tabla 8 Panel Solar NERM360-8360



Potencia máxima (Pmax)	Voltaje de circuito abierto (Voc)	Corriente de cortocircuito (Isc)	Voltaje en potencia máxima (Vmp)	Corriente potencia máxima (Imp)	Eficiencia
565 W	49.77VDC	14.31A	41.68VDC	13.56A	21.4%

5.9.Potencial del regulador

La ecuación (V.7) empleada en cálculo de la capacidad del regulador se utilizó la ecuación propuesta en el trabajo de Velásquez y Zambrano.

$$I_{reg} = I_{tp} * (1 + Fs) \tag{V.7}$$

Dónde:

I_{reg} Intensidad regulador (A)

I_{tp} Intensidad total de los módulos

F_s Factor de Seguridad 20%

En el apartado de “Numero de Paneles” se obtuvo un resultado de 1 panel por lo cual para obtener ***I_{tp}*** se multiplica la ***I_{sc}*** que es la intensidad de cortocircuito del panel, al realizar el cálculo presente en el Anexo H, se obtiene:

$$I_{reg} = 17.17 A$$

Con los resultados obtenidos del cálculo del controlador se ha optados por el equipo con las siguientes características, mostradas en la Tabla 9 Controlador PWM 40 A Tabla 9.

Tabla 9 Controlador PWM 40 A



Potencia máxima (Pmax)	Voltaje de circuito abierto (Voc)	Corriente de cortocircuito (Isc)	Voltaje en potencia máxima (Vmp)	Corriente potencia máxima (Imp)	Eficiencia
600 W	55 VDC	40A	55 V	40 A	75%

5.10. Potencia del inversor.

La ecuación (V.8) utilizada para determinar la potencia del inversor se presenta a continuación.

$$P_{inversor} = P_{total} * Fs \tag{V.8}$$

P_{total} = Potencia total de consumo

F_s = Factor de seguridad 20%

La potencia del inversor calculada en el Anexo I y que requiere el sistema para cubrir la conversión de energía es de:

$$P_{inversor} = 478.5 W$$

Con los resultados obtenidos del cálculo del controlador e inversor se ha optados por equipos con las siguientes características, mostradas en la Tabla 10.

Tabla 10 Inversor de 2000 w



Potencia máxima (Pmax)	Voltaje de circuito abierto (Voc)	Corriente de cortocircuito (Isc)	Voltaje en potencia máxima (Vmp)	Corriente potencia máxima (Imp)	Eficiencia
2000 W	110VAC	22.7 A	110VAC	22.7 A	90%

5.11. Número de baterías

Para determinar el número de baterías necesarias, se considera el consumo de energía estimado en el transcurso del día, su autonomía, porcentaje de descarga de las baterías e intensidad de estas con la ecuación (V.9).

$$I_{consumo} = \frac{Potencia\ Total * Fs}{Voltaje\ Sistema} \quad (V.9)$$

Con la ecuación (V.9) se calcula la corriente que consume el sistema por hora para posteriormente obtener la capacidad del banco de baterías con la ecuación (V.10) los cálculos mostrados en el Anexo K.

$$C_{BANCO} = I_{consumo} * Horas\ de\ Uso \quad (V.10)$$

La intensidad de consumo del sistema en una hora es de 39.88 Ah con una capacidad del banco de baterías necesaria de 199.38 Ah en un periodo de 5 horas.

El número de baterías necesarias del sistema se calcula con la ecuación (V.11)

$$\text{Número de baterías paralelo} = \frac{C_{BANCO}}{\text{Capacidad de la Batería}} \quad (\text{V.11})$$

Con la resolución de la ecuación (V.11) desarrollada en el Anexo K, se optaría por 2 baterías en paralelo.

$$\text{Numero de baterias en paralelo} = 2$$

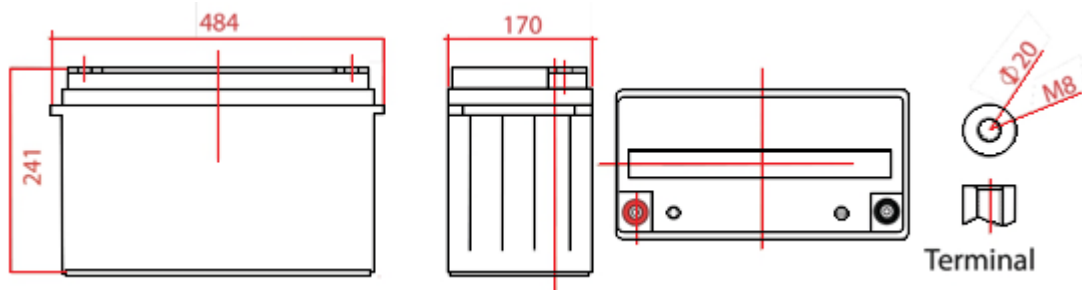
Para satisfacer la demanda en los cálculos anteriormente realizada, se utilizará una conexión de dos baterías en paralelo de 12V/120 Ah.

Tabla 11. Datos banco de baterías.

Valores Requeridos Del Banco De Baterías	
Magnitud	Valor
Energía Diaria	1.99 KWh/día
Voltaje Sistema	12 V
Intensidad Por Hora	39.88 Ah
Intensidad Por Dia	199.38 Ah
Número De Baterías	2

Las especificaciones individuales de cada una de las baterías a utilizarse marca UTL modelo FLG 121500 se presentan a continuación, Tabla 12

Tabla 12. Datos técnicos batería FLG 121500



Potencia máxima (Pmax)	Voltaje de circuito abierto (Voc)	Corriente de cortocircuito (Isc)	Voltaje en potencia máxima (Vmp)	Corriente potencia máxima (Imp)	Eficiencia
1000 W	110VAC	9 A	120VAC	9 A	85%

5.12. Cálculo de la eficiencia de la instalación.

Para determinar la eficiencia de la instalación, se multiplicaron las eficiencias de los dispositivos aplicados, como la batería, el inversor y el regulador.

Se estimó esta eficiencia utilizando la ecuación (V.12)

$$n = nr * na * ni \quad (V.12)$$

Donde:

n = Eficiencia instalación

nr = Eficiencia regulador

na = Eficiencia batería

ni = Eficiencia inversor

Esto refleja la cantidad de energía que se genera se convierte en energía utilizable, la eficiencia depende de cada uno de los equipos utilizados, al aplicar la ecuación (V.12) nos muestra la eficiencia de nuestro sistema, cálculos Anexo L.

$$n = 57.37 \%$$

5.13. SIMULACIÓN DE PROGRAMAS

5.13.1. Simulación Software PVsyst.

Mediante el uso del Software PVsyst para la simulación de nuestro sistema fotovoltaico nos facilitará evaluar la viabilidad de la implementación del proyecto optimizando nuestro diseño, y afianzando los resultados de cada uno de los cálculos presentados en el Anexo N Es importante ingresar la ubicación geográfica donde se realizará la instalación para obtener datos aproximados de la simulación bajo condiciones reales.

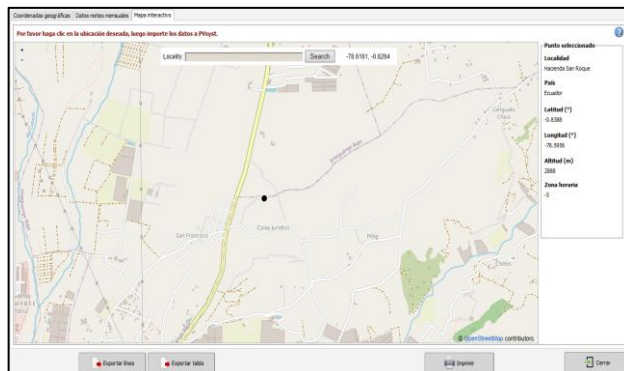


Figura 26. Ubicación Geográfica PVsyst

El software de PVsyst considera el Angulo de inclinación sea fijo o variable en nuestro caso el ángulo fijo será de 30° y azimut de 0° ya que muestra una pérdida mínima con respecto al óptimo de -0.4% calculando una opción óptima para el sistema mostrados en la Figura 27.

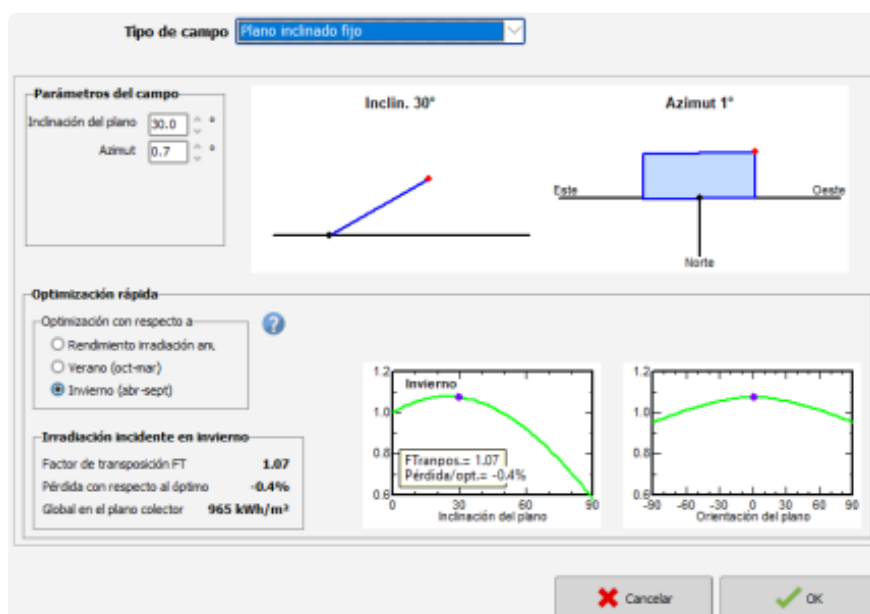


Figura 27. Orientación de los Paneles

Modelar cada uno de los datos de los equipos que representa la demanda energética requerida por el sistema, tanto el valor de potencia y las horas de uso.



Figura 28. Definición de Consumo PVsyst

Ingresado los datos necesarios en el software como se muestra en la Figura 28 la energía total diaria es de 1994 Wh/día y el valor de la energía mensual siendo esta de 59.8 KWh/mes, también estipulando un consumo activo en las horas de la noche siendo alrededor de las 19h00 a 22h00 de uso en las instalaciones de la Sede Comunitaria en Colaya Jurídico como se observa en la Figura 29.

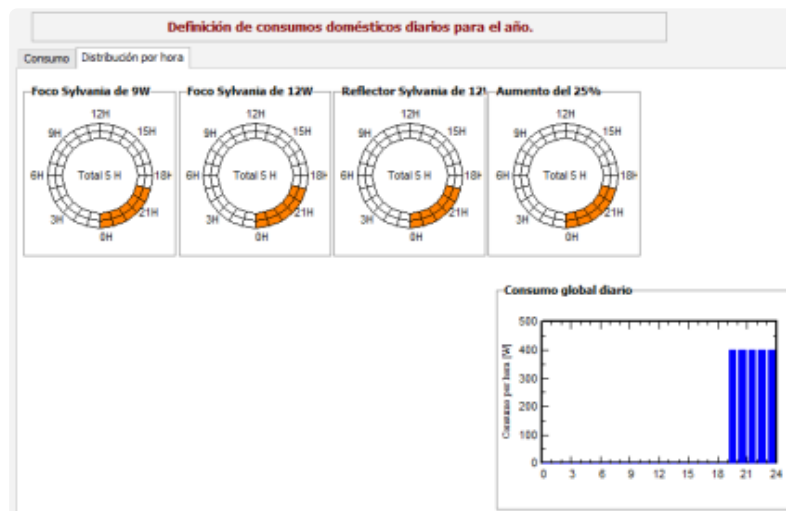


Figura 29. Horas de uso

5.13.2. Simulación Simulink

La simulación del sistema fotovoltaico mediante el software Simulink, que se basa en diagramas de bloques proporcionado en el entorno de Matlab, el sistema a simular está constituido por un módulo fotovoltaico, dos baterías, un inversor DC/AC y una carga los cuales se presentan en la Figura 30 estos se registrarán por las características técnicas de equipos existentes en el mercado para un resultado próximo a la realidad.

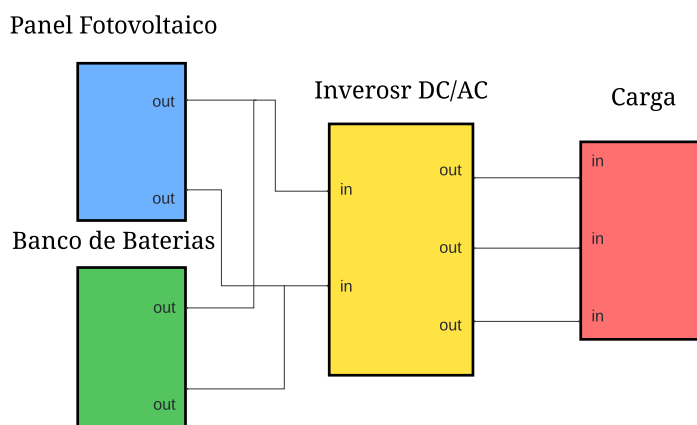


Figura 30. Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico en Simulink

Por consiguiente, se muestra el módulo fotovoltaico en la Figura 31 el que está presente en la biblioteca de Simulink – Simscape – Electrical - Specialized Power Systems – Renewables el cual se encontrará con el nombre PV Array este bloque permitirá modelar características del panel como es la configuración de parámetros de irradiación, temperatura, corriente y voltaje para ajustar la potencia necesaria de nuestro sistema.

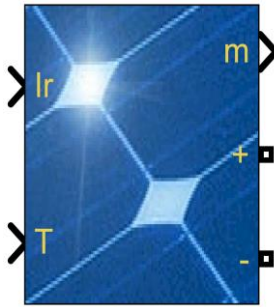


Figura 31. Simulink módulo fotovoltaico - PV Array

Para el diseño del módulo fotovoltaico de 565W se utiliza las características mostradas en la Tabla 13. Características panel 565W Simulink

Tabla 13. Características panel 565W Simulink

Marca:	User - defined
Potencia:	565 W
Voltaje circuito abierto Voc	49.77 V
Voltaje máximo Vmp	41.68 V
Corriente de cortocircuito Isc	14.31
Corriente máxima Imp	13.56
Número de celdas por módulo	60 celdas
Coefficiente de Temperatura Voc	-0.36 %/deg. C
Coefficiente de Temperatura Isc	0.102%/deg. C

La potencia que se produce depende directamente de la temperatura y radiación, ya que esta disminuye si la radiación disminuye afectando la potencia, caso contrario lo que sucede en la temperatura la potencia aumenta si esta disminuye como se muestra en la Figura 32

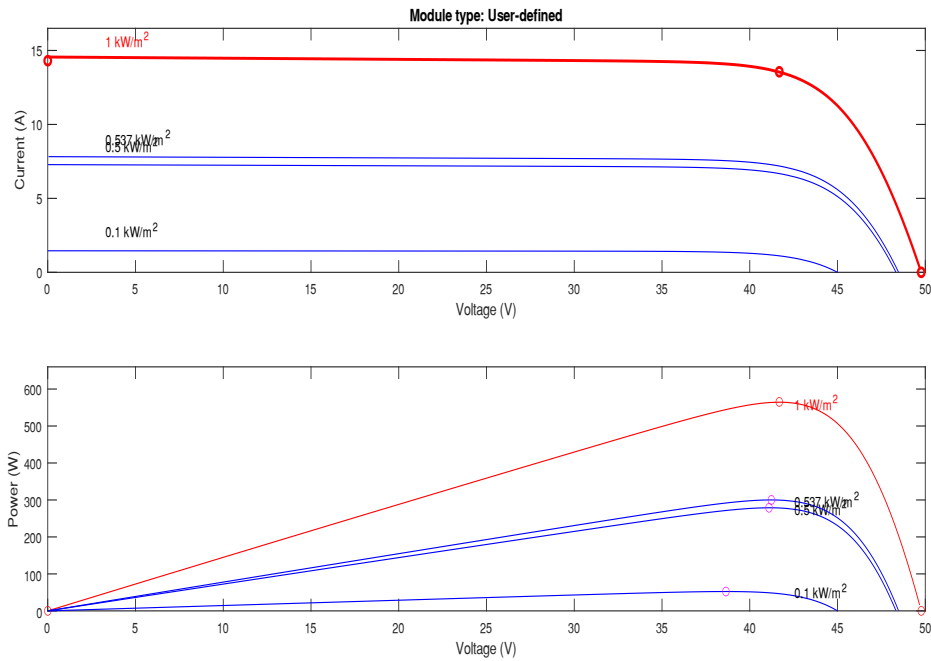


Figura 32. Curvas de Corriente y Potencia a diferente radiación, panel de 565W Simulik.

Las ecuaciones que analizan el comportamiento eléctrico de las celdas del panel fotovoltaico considerando los valores de radiación solar y temperatura, con la ecuación (V.13) siguiente se calcula la tensión en circuito abierto, cuando existe ausencia de corriente $V_{oc} = 0$.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (V.13)$$

La ecuación considera las corrientes de saturación de diodo y fotogenerada, estas guardan estrecha relación con el voltaje nominal, radiación y temperatura la cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$V_{OCnom} = \text{Voltaje nominal del módulo}$$

n = Factor ideal de celda por material (1 – 2)

k_b = Constante de Boltzmann ($1.381 * 10^{-23}$)

T = Temperatura de entrada

q = carga del electrón ($1.602 * 10^{-19}$)

G = irradiancia W/m^2

$$V_{OC(G)} = V_{OCnom} + \frac{nk_bT}{q} \ln \left(\frac{G_p}{G_{nom}} \right) \quad (V.14)$$

Para conocer la corriente de cortocircuito $I_{sc(Gm)}$ se da mediante la ecuación (V.14).

I_{nom} = Corriente nominal del módulo

G_p = Radiación promedio

G_{nom} = Radiación nominal 1000 W/m²

$$I_{SC(G)} = I_{nom} * \frac{G_m}{G_{nom}} \quad (V.15)$$

El factor de llenado o factor de forma define la relación de la desviación de la curva ideal con el producto entre $V_{OC(G)}$ e $I_{SC(G)}$, se calcula con la ecuación (V.15).

P_{nom} = Potencia de nominal del módulo

$$ff = \frac{P_{nom}}{I_{SC(G)} * V_{OC(G)}} \quad (V.16)$$

Para conocer la potencia de salida del módulo se considera la ecuación (V.16).

$$P_{out} = ff * I_{SC} * V_{OC}$$

Para conocer la resistencia del panel fotovoltaico se implementa la ecuación (V.17), por ley de Ohm.

$$R = \frac{V_{OC}}{I_{SC}} \quad (V.17)$$

5.13.3. Sistema de almacenamiento

Para el sistema se ha considerado como fuente de almacenamiento baterías de ion de litio que se presenta en la Figura 33 estas se conectan en paralelo a la salida del módulo fotovoltaico para mantener el voltaje de 12 VDC del sistema con una capacidad de 120 Ah cada una.

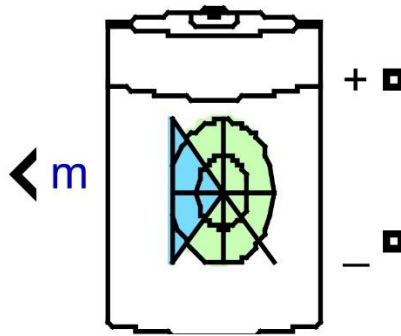


Figura 33. Fuente de Almacenamiento-Batería Simulink.

Para el funcionamiento correcto del sistema las baterías al ser de 12 VDC se debe contemplar equipos que aporten el mismo voltaje tales sean controladores e inversores para no provocar el envejecimiento o daño de las baterías, por lo cual se muestra en la Tabla 14 las características del equipo de almacenamiento utilizado.

Tabla 14 Característica batería 120Ah Simulink

Tipo	Lithium-Ion
Voltaje nominal	12 V
Capacidad nominal	120 Ah
Estado de inicio de carga	100%
Voltaje carga completa	13.97 V

A continuación, se presenta las curvas características de descarga de la batería con una capacidad de 100Ah la cual indica la descarga en función del tiempo con el área nominal en la que el voltaje se mantiene óptimo para su funcionamiento. Sin embargo, se puede observar que el voltaje es proporcional a la corriente ya que a el aumento de corriente hace que el voltaje decaiga de forma significativa como se muestra en la Figura 34.

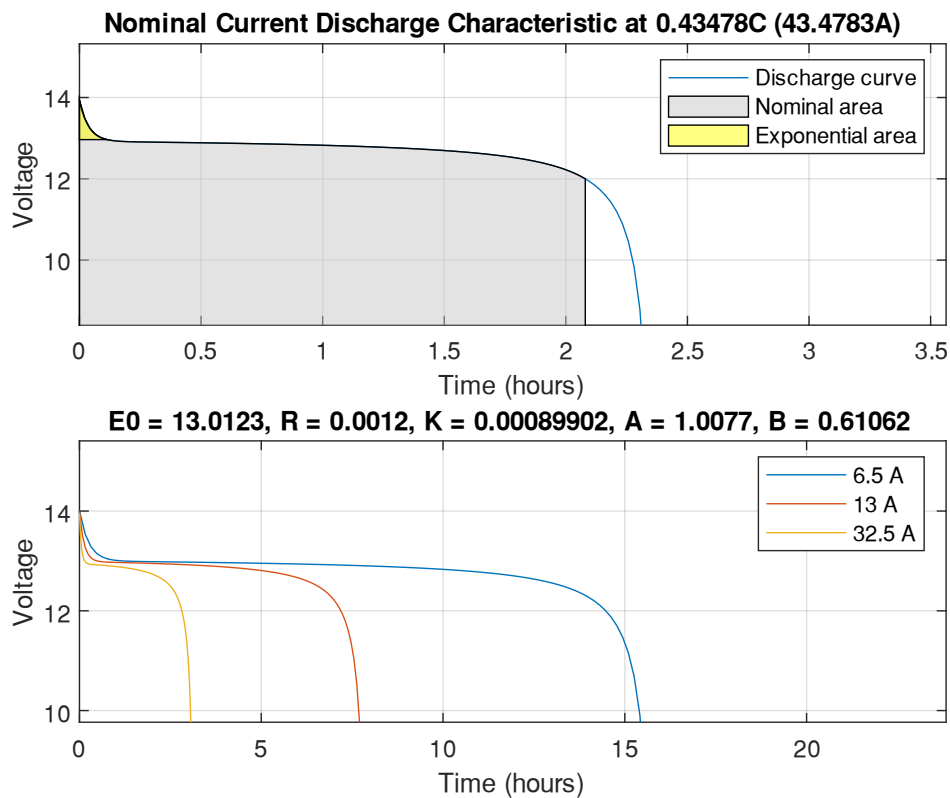


Figura 34 Curvas de descarga de batería Simulink

5.13.4. Inversor DC/AC

El inversor DC/AC que se incluye en el sistema el cual ayuda a la conversión de voltaje continuo en voltaje alterno, se acopla al suministro de almacenamiento para transformar el voltaje que será necesario para que los equipos puedan funcionar de manera correcta. Este sistema está conformado a la entrada por un filtro LC el cual se encarga de suavizar y reducir variaciones el voltaje, un transistor de potencia IGBT (Transistor Bipolar de Puerta Aislada) controla el flujo de energía, un controlador de pulso, un Diodo que protege contra corrientes inversas y recuperación rápida, un Generador PWM (Pulse Width Modulation) genera señales CA a partir de señales en DC, un Puente Universal (Universal Bridge) que se encarga de la conversión de DC a AC y en la salida un LC que suaviza la onda AC antes de que esta llegue a la carga como se puede muestra en la Figura 35.

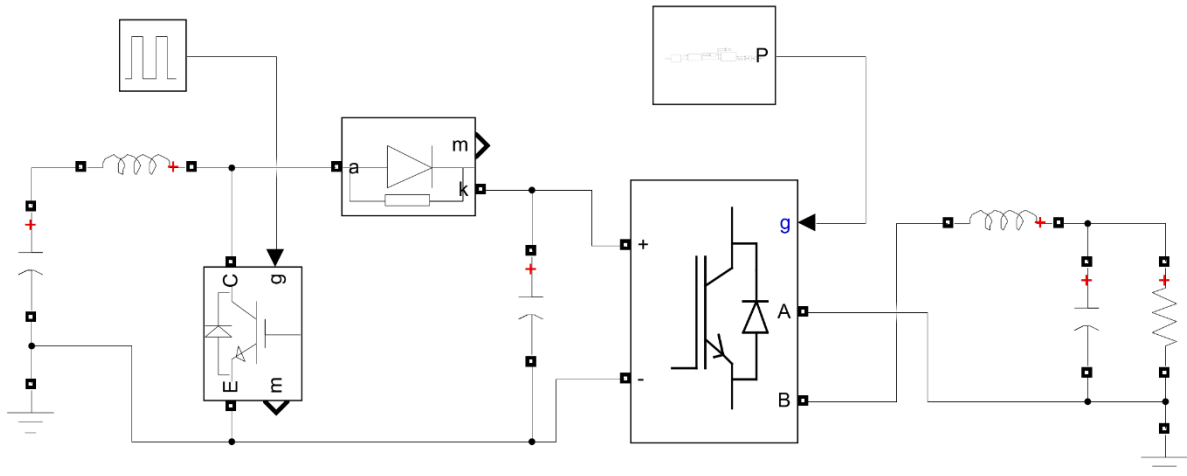


Figura 35 Inversor DC/AC Simulink

En la Tabla 15 se muestra las características del inversor y los niveles de voltaje de transformación con las cuales este trabaja.

Tabla 15 Características Inversor 1000W Simulink

Tipo	Características
Potencia Nominal	1000 W
Frecuencia	60 Hz
Voltaje Primario	12 VDC
Voltaje Secundario	120C

5.13.5. Cálculo de filtros RLC

Para el cálculo de filtros pasa bajos RLC a utilizar en el inversor se realiza el uso de las ecuaciones (V.18), (V.19), las cuales permite la eliminación de componentes de alta frecuencia que no se desea, como son el ruido o armónicos que se puede generar en el inversor limpiando y suavizando la señal de las fluctuaciones rápidas o picos abruptos que ocurre en la conversión de energía DC/AC.

Para el cálculo de la capacitancia e inductancia se utilizan las ecuaciones (V.18), donde:

$$C = \frac{Q}{2\pi * k * f_c * R} \quad (V.18)$$

$Q =$ Factor de calidad

$k =$ constante aproximación

$f_c = \text{Frecuencia de corte}$

$R = \text{Resistencia}$

$$L = \frac{R}{\pi * k * f_c} \quad (\text{V.19})$$

Mediante la Tabla 16 proporcionada por el autor presenta diversas aproximaciones de filtros mediante diversos modelos matemáticos para filtros los que consideran Q el factor de calidad y la constante k parámetros necesarios para el diseño de filtros activos y pasivos que se muestran en la siguiente Tabla 16.

Tabla 16 Aproximaciones Q y k por diversos modelos matemáticos.

Aproximación	Factor de calidad Q	Constante k
Butterworth	0.7071	1
Chebyshev (pico 0.01db)	0.7247	0.9774
Chebyshev (pico 0.1db)	0.7673	0.9368
Chebyshev (pico 0.25db)	0.8093	0.9098
Chebyshev (pico 0.5db)	0.8683	0.8860
Chebyshev (pico 1db)	0.9564	0.8623
Bessel	0.5771	1.2754

Con los valores del método matemático de Butterworth que constan en la Tabla 16, siendo estos Q de 0.7071 y k de 1, considerando una frecuencia de corte de 69 hz siendo superior a los 60 hz del sistema y una R de 3.074Ω se procede a calcular la Capacitancia mediante la ecuación (V.18)

$$C = \frac{0.7071}{2\pi * 1 * 69 * 3.074}$$

$$C = 531 \mu F$$

Con los valores anteriores de la constante k, la frecuencia de corte f_c y la R se determina el valor de la inductancia mediante la ecuación (V.19)

$$L = \frac{3.074}{\pi * 1 * 69}$$

$$L = 14 \text{ mH}$$

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Comparación datos reales, PVgis y MC

En la siguiente Tabla 17 se muestra los valores promedio de irradiación solar del programa PVgis y datos recolectados del mes de septiembre.

Tabla 17 Comparación de datos reales y PVgis

	Pvgis	Error (%)	Datos Reales	MC	Error (%)
Tiempo	G(i)		G(i)	G(i)	
00:30	0	0	0	0	0
01:30	0	0	0	0	0
02:30	0	0	0	0	0
03:30	0	0	0	0	0
04:30	0	0	0	0	0
05:30	0	100	4.47	0	100
06:30	22.87	67.63	70.65	23.1	67.3
07:30	188.93	7.03	203.21	201.9	0.64
08:30	402.61	0.1	402.21	414.5	3.06
09:30	572.8	6.76	536.52	587.3	9.46
10:30	660.54	13.41	582.42	684.1	17.46
11:30	696.67	5.67	659.29	718.5	8.98
12:30	690.92	1.62	702.3	710.1	1.11
13:30	613.18	2.07	626.17	638.6	1.99
14:30	498.9	4.48	522.31	525.4	0.59
15:30	355.63	4.38	371.92	380.1	2.2
16:30	209.19	3.43	202.25	222.7	10.11
17:30	69.08	15.29	59.92	72.1	20.33
18:30	0	100	2.66	0	100
19:30	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0
21:30	0	0	0	0	0
22:30	0	0	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0

En la Tabla 17 se observa que los valores obtenidos de PVgis y datos recolectados tienen una similitud del 90%, siendo un buen indicador para el dimensionamiento del sistema que se propone a instalar.

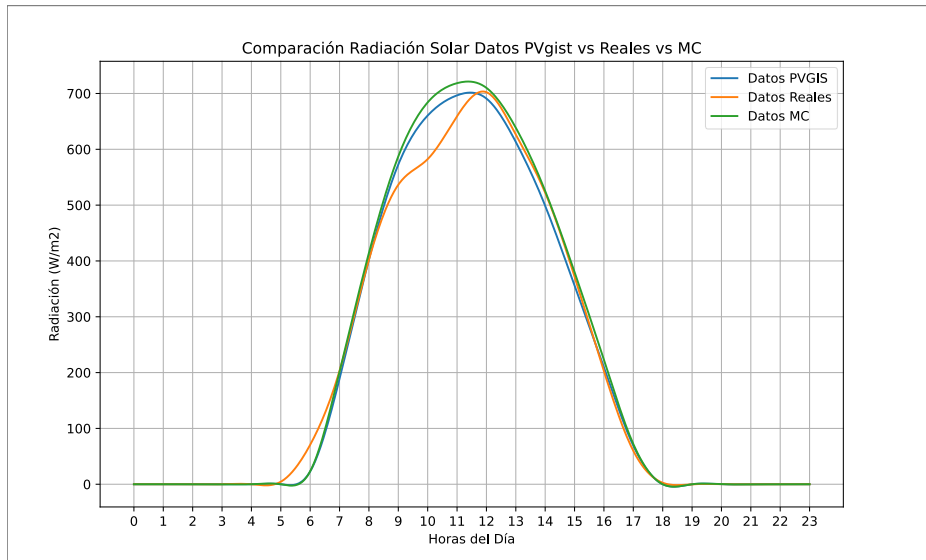


Figura 36.. Datos de radiación PVgis vs reales

6.1.1. Margen de Error

En la Tabla 18 se proporciona el error que existe entre cada uno de los datos adquiridos mediante el error medio cuadrático, se presenta un error porcentual mínimo en cada uno referente a los datos reales.

Tabla 18. Margen de error

Datos reales	Datos Pvgis	Datos reales	Datos MC
Error Medio Cuadrático (MSE): 898.14		Error Medio Cuadrático (MSE):1408.75	
Error Porcentual Promedio: 23.71%		Error Porcentual Promedio: 24.52%	

6.2.Análisis PVSIST

En el Anexo N, se observa los resultados como lo son:

Producción del Sistema (System Production): 547.47 kWh/year es la energía generada mediante radiación solar, esta es aprovechada por el sistema para cubrir la demanda.

Energía solar disponible (Available solar energy): 810.82 kWh/year valor neto que los paneles pueden generar bajo las condiciones de irradiación solar que impactan en el lugar.

Exceso (Excess): 193.87 kWh/year es la energía no utilizada este valor depende de la capacidad límite de las baterías, representa las pérdidas por falta de uso de energía.

6.2.1. Pérdidas de Carga

Tiempo (Time Fraction): 0.5 % es el porcentaje de tiempo en el cual el sistema no pudo abastecer la demanda, esto muestra la confiabilidad del sistema para proporcionar energía en todo momento.

Perdida de energía (Missing Energy): 180.25 kWh/year presenta el valor de la energía que falta para cubrir la demanda en su totalidad, por diversos factores ya sean climáticos o de almacenamiento.

Producción normalizada por kWp instalado, valores mostrados en la Figura 37 detalla la energía que se distribuye en el sistema repartido por diversos componentes por cada kWp instalado en el periodo de un año.

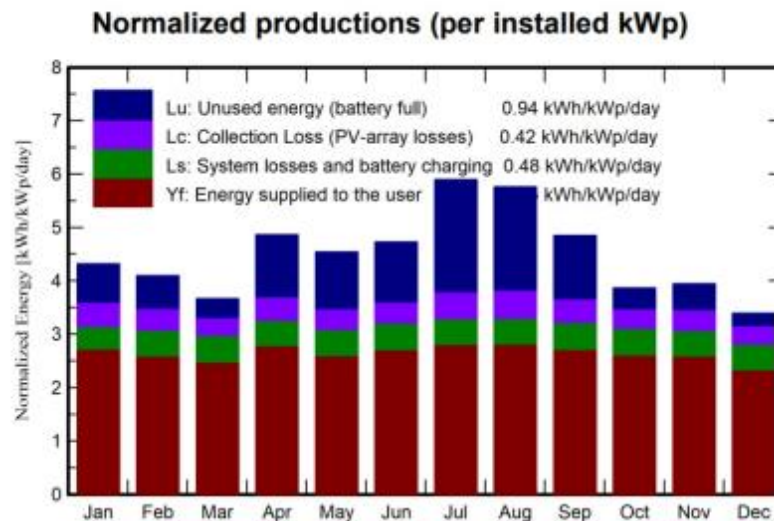


Figura 37. Producción normalizada por kWp instalado.

El índice de rendimiento (PR) muestra el desempeño del sistema fotovoltaico, estos resultados presentan la relación de la energía teórica en condiciones ideales en comparación de la energía real generada.

En la Figura 38 se puede observar los valores del índice de rendimiento (PR) 0.591 que indica que el sistema genera el 59.1% de energía, debido a condiciones ambientales o pérdidas del sistema. Sin embargo, la fracción solar (SF) es de 0.753 que indica un 75.3% en que el sistema cubra la demanda con energía solar.

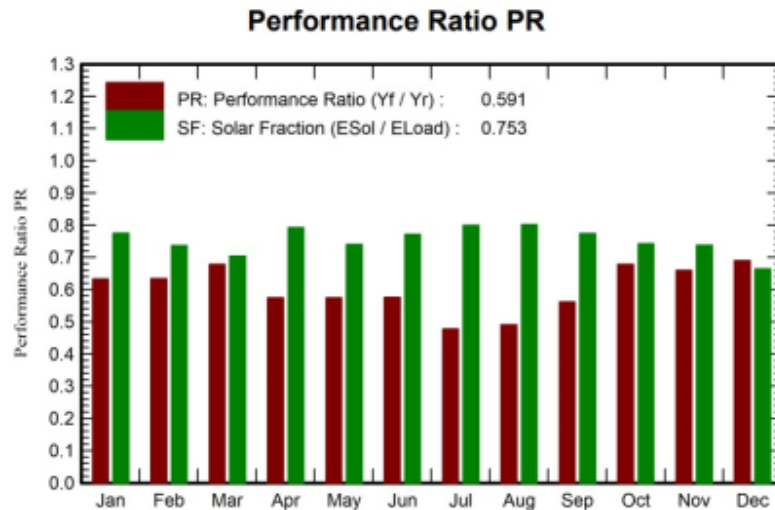


Figura 38. Índice de rendimiento (PR)

6.3. Evaluación de Componentes de Simulink

6.3.1. Prueba de panel fotovoltaico diferentes condiciones de irradiancia.

En la Figura 39, se presenta la simulación del panel utilizado con dos constantes de entrada que son radiación solar de 1000 W/m² y la temperatura 25° para el funcionamiento en condiciones ideales que arrojará la potencia máxima de 564.4W, corriente de 13.55A y voltaje de 41.65V las cuales están especificada en la ficha técnica del fabricante.

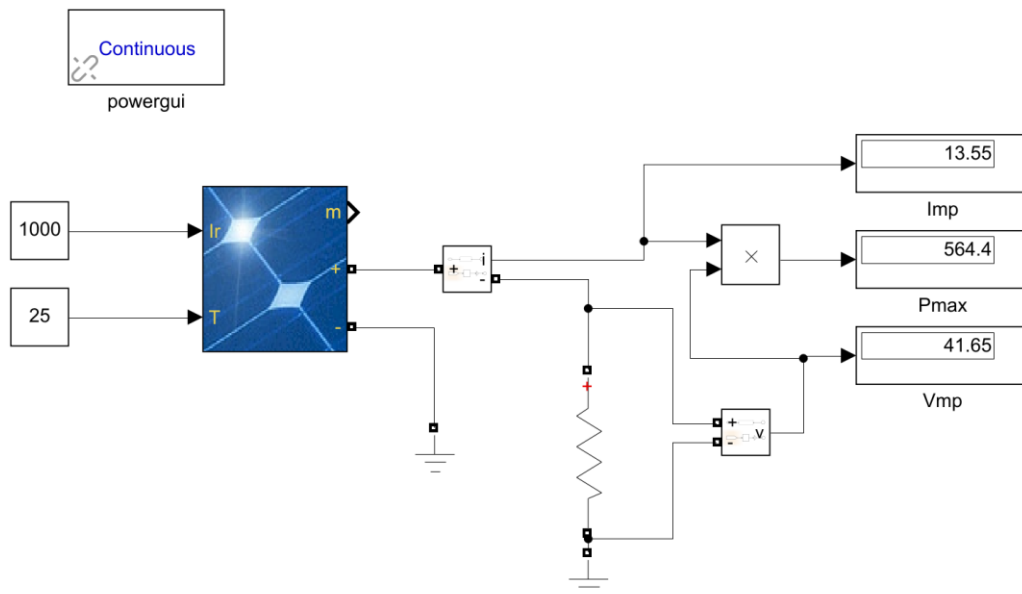


Figura 39. Prueba de panel 565W Simulink

El valor de la resistencia utilizada en la Figura 39 se calcula con la ecuación (V. 20), mediante ley de Ohm con datos proporcionados por el fabricante.

$$R = \frac{V}{I} \quad (V. 20)$$

$$R = \frac{41,68 \text{ Vmp}}{13.56 \text{ Imp}}$$

$$R = 3.074 \Omega$$

6.3.2. Prueba de módulo fotovoltaico diferente condiciones de radiación.

El módulo fotovoltaico muestra la potencia máxima en condiciones ideales, la radiación en estas condiciones es de 1000 W/m^2 , en esta evaluación se tomará en cuenta diferentes niveles de radiación incluyendo el valor de 557 W/m^2 que se encuentra en la sección 3.5.7 con una temperatura estándar de 25°C para poder observar el comportamiento de los módulos en diferentes escenarios, como se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19 Evaluación de módulos fotovoltaicos a diferente radiación.

Prueba Panel Diferente Radiación			
Radiación (W)	Potencia (W)	Corriente (I)	Voltaje (V)
1000	564.4	13.55	41.65
800	399.7	11.4	35.05
600	228	8.613	26.48
537	183.3	7.721	23.73
400	102.4	5.771	17.74

6.3.3. Prueba de módulo fotovoltaico diferente condiciones de temperatura.

Mediante la simulación en el software Simulink se presenta los resultados en la siguiente Tabla 20, en la que se observa las variaciones de temperatura utilizadas para las diferentes pruebas y se considera la temperatura promedio de la ciudad de Latacunga que cuenta con 12°C promedio. El incremento de la temperatura en el panel provoca que su potencia y voltaje disminuyan mientras que la disminución de temperatura hace que estas aumenten debido a el material de silicio que generalmente están constituido los paneles.

Tabla 20 Evaluación de módulos fotovoltaicos a diferente temperatura

Prueba Panel Diferente Temperatura			
Temperatura	Potencia (W)	Corriente (I)	Voltaje (V)

5	585.8	13.8	42.43
12	583.3	13.78	42.35
15	580.6	13.74	42.24
25	564.4	13.55	41.65
35	540.1	13.26	40.75
50	494.7	12.69	39

A continuación, en la Figura 40 se muestra el comportamiento del módulo fotovoltaico estableciendo un valor de radiación solar de 537 W/m^2 presente en la sección 3.5.7 considerando una temperatura de 12°C presentes en el lugar obteniendo los siguientes valores: potencia de 178.5 W , corriente de 7.621 A y un voltaje de 23.43 V .

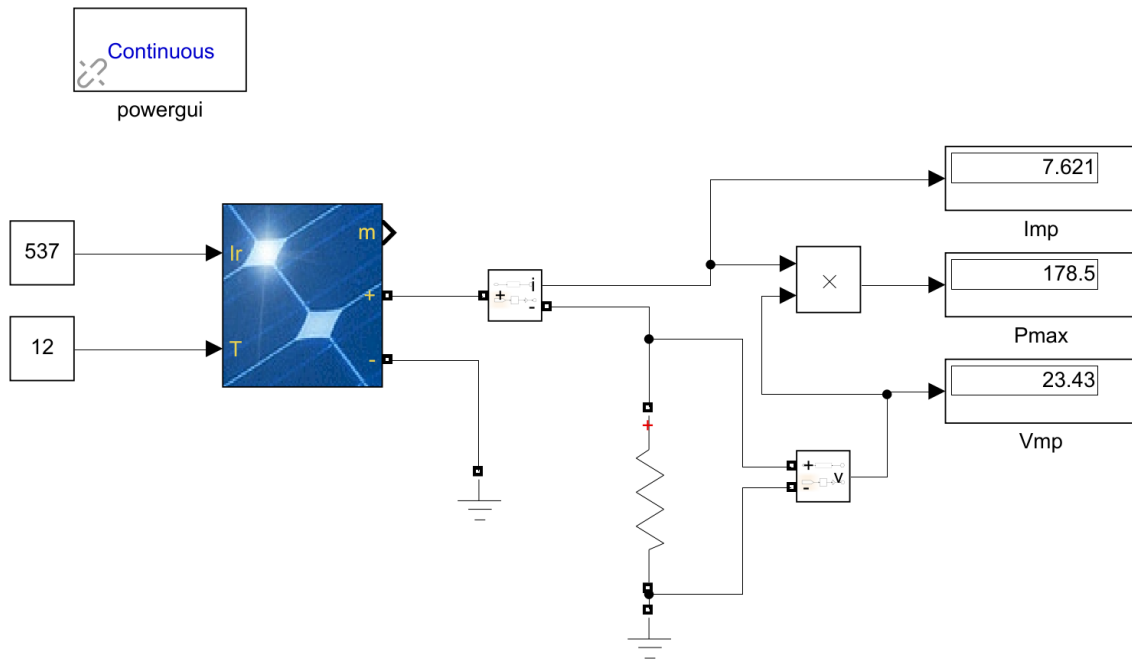


Figura 40 Sistema fotovoltaico con radiación de 537 W/m^2 y temperatura de 12°C .

Para la comprobación del resultado del sistema simulado tomando en cuenta la radiación solar y temperatura mostradas en la Figura 40 mediante el uso de las ecuaciones que se muestran en la sección (5.13.5). Datos especificados en la Tabla 21 los cuales se integran en las ecuaciones.

Tabla 21 Parámetros del módulo.

Temperatura	T	12°C
Factor ideal por material	n	1

Constante de Boltzmann	K_b	$1.381e^{-23}$
Carga del electrón	q	$1.602e^{-19}$
Radiación nominal	G_{nom}	$1000 W/m^2$

En el cálculo de voltaje en circuito abierto $V_{OC(G)}$ considerando la radiación de estudio de radiación de $537 W/m^2$ y el voltaje nominal del módulo, aplicando la ecuación (V. 21) se obtiene el nuevo valor de voltaje en circuito abierto.

$$V_{OC(G)} = 49.77 + \frac{1 * 1.381e^{-23} * 12}{1,602^{-19}} \ln \left(\frac{537}{1000} W/m^2 \right) \quad (V. 21)$$

$$V_{OC(G)} = 49.77 V$$

Por consiguiente, se necesita el valor de la corriente en cortocircuito $I_{SC(G)}$ se calcula mediante la ecuación (V.22), considerando la corriente nominal I_{SC} del módulo.

$$I_{SC(G)} = 14.31 * \frac{537}{1000} W/m^2 \quad (V.22)$$

$$I_{SC(G)} = 7.684 A$$

Para calcular el factor de forma se implementa la ecuación (23) , el cual mide el desempeño real de la celda para convertir energía en potencia funcional entre este alcance la unidad su eficiencia es ideal.

$$ff = \frac{178,5}{49.77 * 7.684} \quad (23)$$

$$ff = 0.47$$

Se obtiene la potencia de salida del panel mediante la ecuación (24).

$$P_{out} = 0.47 * 49,65 * 7,684 \quad (24)$$

$$P_{out} = 179.31 W$$

Considerando los valores calculados se obtendrá los valores de resistencia requeridos del módulo con la ecuación (25).

$$R = \frac{49.65}{7.684} \quad (25)$$

$$R = 6,46 \Omega$$

6.4. Análisis de simulación

Mediante los valores presentes en la sección 6.3.2, para la simulación del sistema fotovoltaico se tomó en cuenta los parámetros de radiación solar promedio de 537 W/m^2 que utiliza el módulo fotovoltaico y temperatura respectiva del sector de $12 \text{ }^\circ\text{C}$ con los cuales se procede a simular el sistema para tener un enfoque de mayor precisión en el comportamiento del mismo.

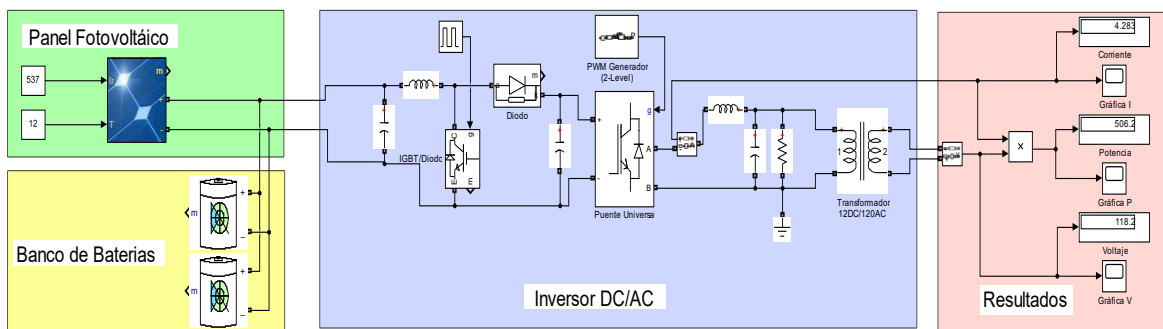


Figura 41. Sistema Fotovoltaico en Simulink.

Para comprobar el comportamiento mediante el análisis de las ondas que se produce en la salida del sistema en voltaje, corriente y potencia se realiza con la incorporación de un scope (osciloscopio) presente en Simulink. Como se observa en la Figura 42, que es una onda sinusoidal de 120 VAC la cual es indispensable en el funcionamiento de los equipos los cuales se conectaran al sistema. Sin embargo, la gráfica nos muestra un comportamiento inicial creciente en el rango de los 0.035s que toma para estabilizarse en un régimen permanente, esto debido a efectos transitorios en el circuito eléctrico por la constitución del inversor que está compuesto por inductores que se oponen a variaciones de voltaje brusco y capacitores que se oponen a variaciones de corriente bruscas.

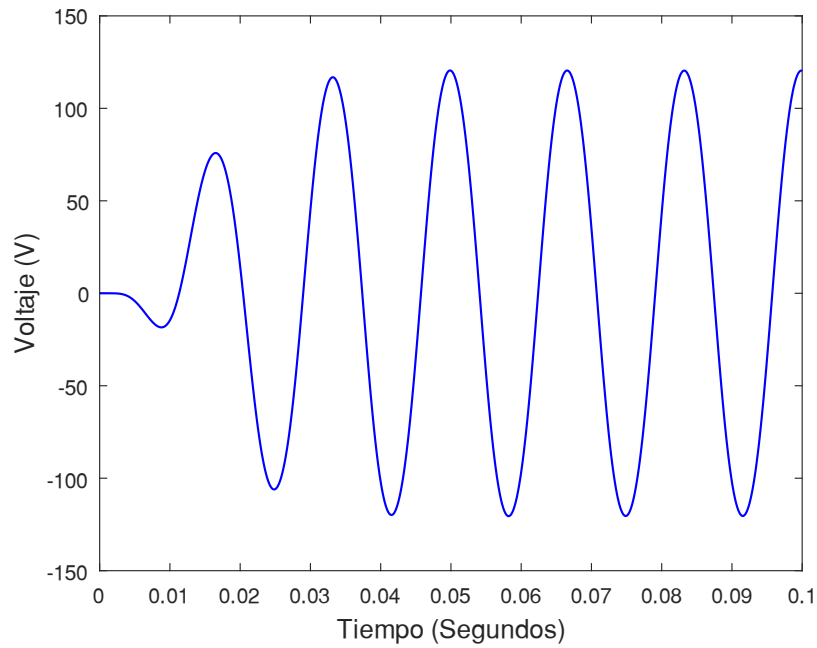


Figura 42. Onda de Voltaje de Salida

La siguiente Figura 43 muestra el comportamiento de la corriente de salida, la cual tiene un comienzo transitorio característicos en sistemas que incluyen componentes RLC, con oscilaciones amortiguadas de 0.03s hasta estabilizarse alcanzando un valor máximo de 4.4 A.

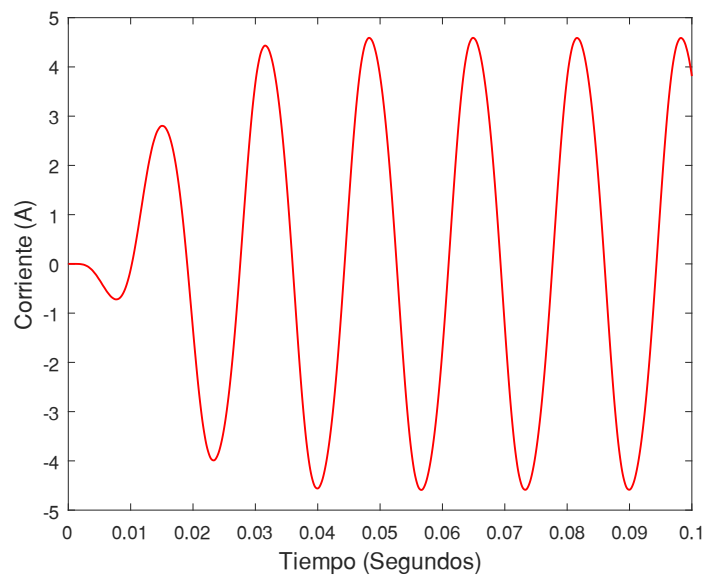


Figura 43. Onda de Corriente de Salida.

En la Figura 44, se observa la onda de potencia de salida con los datos ingresados en el sistema simulado, el cual cuenta con un valor de 505 W, potencia suficiente para cubrir la demanda de la carga.

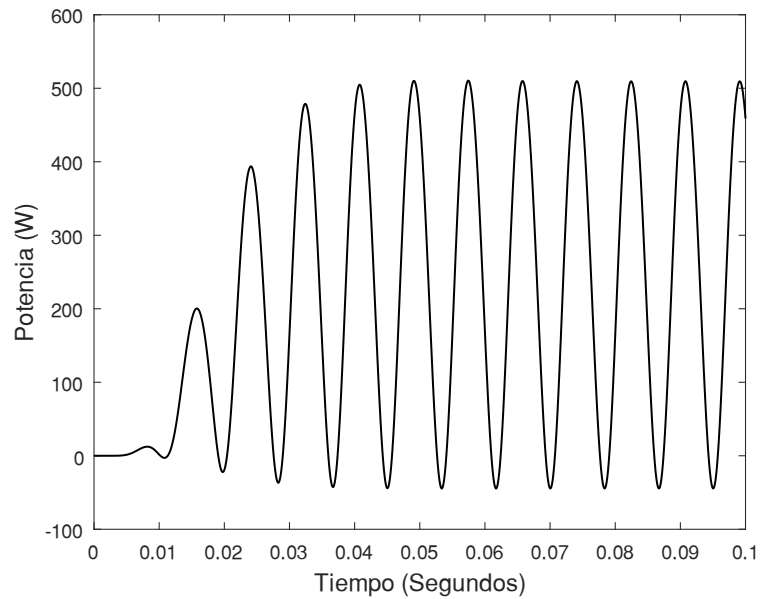


Figura 44. Onda de Potencia de Salida.

Los resultados obtenidos de irradiación con relación a la carga de la batería que se muestra en la Tabla 22, en la cual constan diferentes niveles porcentuales de carga de la batería. Con carga mínima del 20% la irradiancia solar es de 107.4 W/m^2 , constatemente la carga vaya aumentado al 60% la irradiancia solar es de 322.3 W/m^2 , hasta llegar a una carga total del 100% con una irradiancia solar de 537 W/m^2 , esto considera que a mayor irradiancia solar recibida por el módulo este tiene la capacidad de generar más energía permitiendo que la carga de las baterías sea mucho más rápida.

Tabla 22 Radiación en función del % de carga de la batería.

Batería carga (%)	Irradiación W/m^2
20	107.4
40	214.8
60	322.2
80	429.6
100	537

Al analizar las diferentes variables que se evidencian en la Tabla 23, los efectos de carga y descarga de la batería que recae en el sistema varía los valores de salida en potencia, voltaje

y corriente. La relación entre estas variables hace que mediante una carga progresiva del 20% al 80% aumenten de forma mínima, mientras entre el porcentaje de 80% a 100% mantiene un incremento significativo ya que la batería requiere mayor voltaje y corriente para alcanzar la carga en su totalidad.

Tabla 23 Valores de Generación a diferente carga

Carga de la batería (%)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
20	105.6	3.827	404
40	107.4	3.892	417.9
60	108	3.916	423.1
80	108.4	3.928	425.8
100	118.2	4.283	506.2

6.5. ANALISIS DE IMPLEMENTACIÓN

6.5.1. Pruebas de funcionamiento del sistema

Para la comprobación de la autonomía y funcionamiento del sistema fotovoltaico implementado se realiza evaluaciones de descarga de las baterías realizadas a continuación.

6.5.2. Elementos para la prueba de descarga de baterías.

Considerando una potencia de 270W para esta prueba, que corresponde a la potencia de varios aparatos de iluminación conectados como se muestra en la Figura 45, se comprueba la autonomía de las baterías al 100% de almacenamiento con un voltaje de 12V en los bornes de salida, mediante el tiempo en el que las baterías puedan abastecer a la carga sin interrupción alguna.



Figura 45. Lámparas led

6.6. Autonomía del sistema

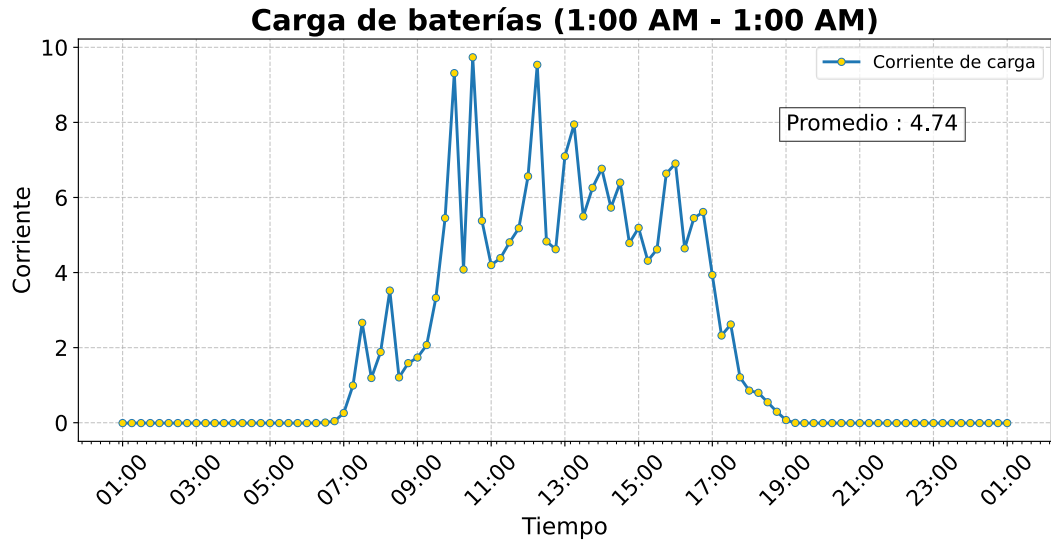
El sistema está diseñado para soportar 5 horas de autonomía en las cuales se ha considerado un 25% de aumento de la demanda a futuro para que el sistema pueda funcionar en el lapso de tiempo previsto sin ninguna inconveniente, por lo cual se requiere conocer los valores de tiempo de carga y descarga de las baterías del sistema.

6.7. Corriente de consumo

El valor de la corriente de consumo del sistema fotovoltaico de 12V considerando la potencia total y su factor de seguridad que se requiere haciende a 478.5W, con el cálculo efectuado en el Anexo N se obtiene:

$$I_{consumo} = 39.88 A$$

6.8. Curva de carga de baterías



En la

Figura 46, mediante la obtención de datos de carga del banco de baterías en el transcurso de un día, se muestra el comportamiento de irradiación que impacta en el panel y la corriente que este entrega en un periodo de 24 horas en la que se considera una carga activa en las baterías en el transcurso del día de 8:00h a 18:00h en las que se provee corriente la que determina el tiempo que estas necesitan para llegar a su carga completa, mostrando picos de corriente de hasta 9A en un lapso de tiempo de 9:00h a 12h:00 con un promedio de corriente de 4.63A.

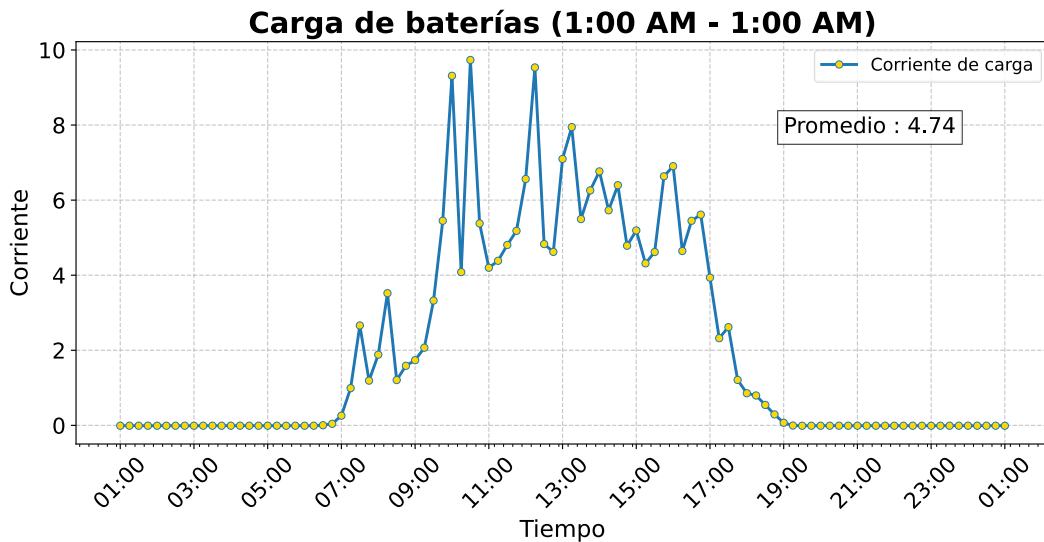


Figura 46. Curva de Carga de la Batería en 24H

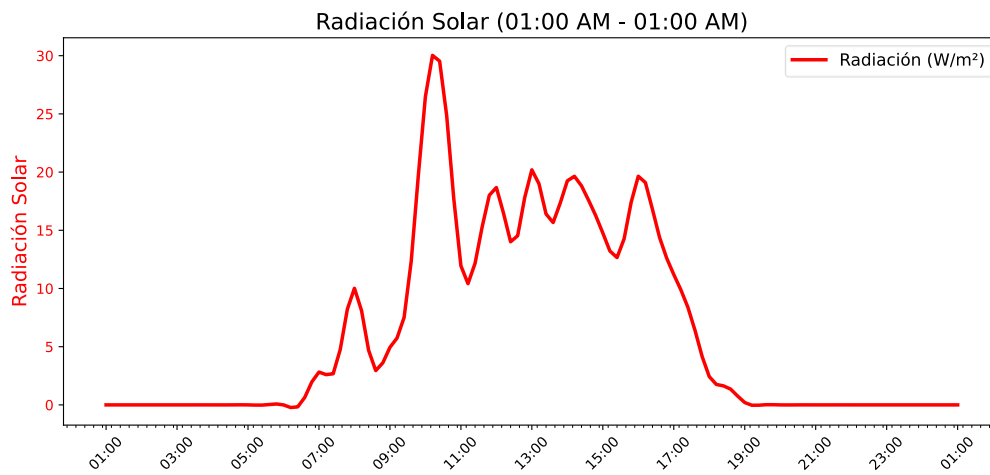


Figura 47 Radiación solar

6.8.1. Comparación de curva de carga de las baterías con respecto a la radiación

En la Figura 48, ilustra la relación entre la carga de las baterías y la irradiación solar durante un periodo que va de las 08:00 AM a las 08:00 AM del día siguiente. Se observa que la curva de irradiación solar comienza a aumentar gradualmente desde las 08:00 AM, alcanzando su punto máximo alrededor del mediodía, lo que indica la intensidad más alta de radiación solar disponible, fundamental para la generación de energía. La carga de las baterías se comporta de manera directamente relacionada con la irradiación solar; conforme la radiación aumenta, la carga de las baterías también lo hace. A las 18:00 pm, la carga de las baterías comienza a disminuir, mostrando su función de abastecer energía durante las horas sin luz solar. Esta comparación nos ayuda a que el sistema es eficiente en la captura y almacenamiento de energía solar, permitiendo que las baterías se carguen para cubrir la demanda de la casa barrial.

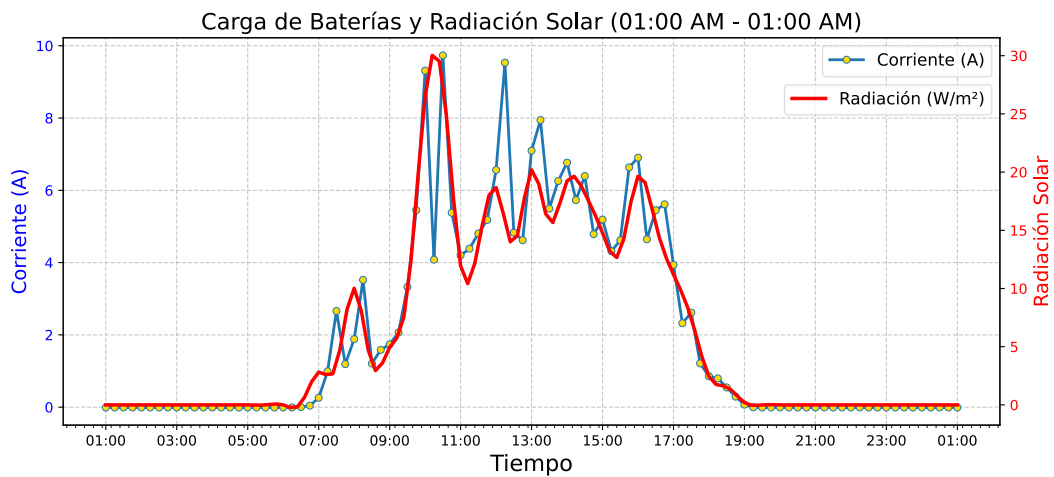


Figura 48. Curvas de comparación

6.8.2. Tiempo de carga de batería

Para calcular el tiempo que toma en cargarse la batería del 50% en su totalidad se aplica la ecuación (26), se toma en cuenta las características de la batería como eficiencia (85%), capacidad total (240 Ah), así obteniendo el tiempo necesario para completar su carga.

$$T_{carga} = \%bateria * \frac{C_{bateria} * \eta}{I_{carga}} \quad (26)$$

$$T_{carga} = 100\% * \frac{240Ah * 85\%}{4.63}$$

$$T_{carga} = 44h$$

6.9. Curva de Descarga Real de baterías

Mediante la adquisición de datos obtenidos por las pruebas de descarga de batería de un día continuo, se puede observar en la Figura 49 el periodo real de autonomía de las baterías que es de 8.15 horas establecidas en un rango de 15:30h hasta las 23:15h siendo este tiempo factible, ya que cubre las horas de autonomía propuesta en el diseño que es de 5 horas.

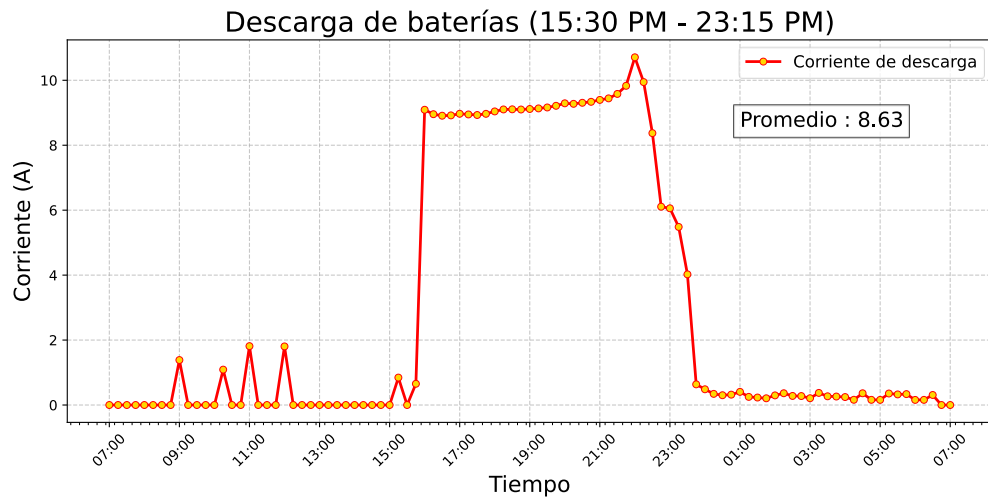


Figura 49. Descarga de Baterías.

6.9.1. Cálculos de descarga de baterías

En la Figura 50, muestra el valor obtenido de corriente en AC es de 2.471 A el que consume la carga el que se incluirá en los cálculos siguiente, necesarios para conocer la potencia que el sistema está consumiendo.



Figura 50 Medición de corriente consumida en AC

Para conocer la potencia que se consume se debe conocer el voltaje de salida del sistema mediante su medición como se muestra en la Figura 51



Figura 51 Voltaje de salida del inversor

Con los valores anteriores se puede calcular la potencia que está absorbiendo el sistema mediante la ecuación (27).

$$P_{consumida} = 110V * 2.471 A \quad (27)$$

$$P_{consumida} = 271.81 W$$

Por consiguiente, se calcula la corriente que está consumiendo mediante la ecuación (28), con el voltaje que provee las baterías y el resultado de la potencia con el cual se obtiene:

$$I_{consumida} = \frac{271.81W}{12V} \quad (28)$$

$$I_{consumida} = 22.65 A$$

Después de haber obtenido estos valores en corriente y potencia se procede a calcular el tiempo en que las baterías pueden abastecer la carga con la ecuación (29).

$$T_{descarga} = \frac{12V * 240Ah}{12V * 15.75A} * 100\% \quad (29)$$

$$T_{descarga} = 10.596 h$$

6.9.2. Tiempo de descarga real

Se presenta la evaluación del tiempo real en la que las baterías dejan de abastecer la demanda en la Tabla 24

Tabla 24 Tiempo real de descarga de las baterías.

TIEMPO DE AUTONOMÍA DE BATERÍAS		
Detalles	Día	Hora
Inicio de la prueba 100%	28/01/2025	15:30
Fin de la prueba 20%	29/01/2025	15:30

6.9.3. Frecuencia del Sistema

La frecuencia a la que está trabajando el sistema es a 60 Hz como se muestra en la Figura 52.



Figura 52. Frecuencia del sistema Fotovoltaico

6.10. Amortización de inversión

En la Tabla 25 se presenta la amortización de inversión, el costo de implementación de 1300 \$ tomando en cuenta la energía consumida al mes de 2 kWh y el costo del kWh presente en Ecuador es de 0.09 ctvs/Kwh, lo cual el tiempo de amortización es relativamente alta constando de 14,75 año periodo resulta prolongado debido al bajo gasto mensual.

Tabla 25 Amortización de inversión

Costo	0.092	kWh
Energía Mensual	2	kWh
Planilla		
Costo Total	0.18	USD
Comercialización	1.41	USD
Subsidio Cruzado Solidario	-1.00	USD
Valor Basura	4.50	USD
Valor Bomberos	2.25	USD

Alumbrado Público	4.01	USD
Total	7.34	USD
Costo Implementación	1300	USD
Costo de Planilla	7.34	USD
Tiempo de Amortización (Mes)	177.02	
Tiempo de Amortización (Años)	14.75	

7. Conclusiones

- A partir del análisis del potencial energético en la casa comunitaria de Colaya Jurídico, se logró definir que el proyecto es factible de llevar a cabo en el lugar establecido, debido a que al realizar las mediciones reales en tres meses del recurso solar el valor mínimo es 531.91 W/m^2 , luego de extraer los datos del PVgis de todo el año 2024 se aplica el método Monte Carlo lo cual se logró identificar que el promedio mensual del recurso en el lugar corresponde a 537 W/m^2 valores suficientes para continuar con el diseño y simulación del proyecto.
- El dimensionamiento de los equipos y elementos del sistema fotovoltaico se llevó a cabo considerando las condiciones climáticas y la ubicación específica del lugar, lo cual la demanda máxima de la casa barrial es 398.75 W a partir de esa carga se logró determinar las características técnicas que deben tener cada elemento del sistema tanto en la etapa de generación solar, conversión e inversión de energía y por último el almacenamiento de energía sola a través de baterías para el abastecimiento de la demanda de la casa barrial.
- La simulación en Simulink permitió identificar que el sistema suministra la demanda prevista de 398.75 W al variar la radiación solar de 537 W/m^2 , el sistema genera un voltaje de salida de $118,2 \text{ VCA}$, con una corriente de $4,28 \text{ A}$ y una potencia de $506,2 \text{ W}$. Estos resultados demuestran que todos los componentes del sistema

fotovoltaico operan de manera adecuada, validando su viabilidad tecnológica para el suministro de energía en zonas rurales.

- A partir de análisis potencial energético de la casa comunitaria de Colaya Jurídico se logró identificar que el proyecto es factible debido al realizar las mediciones reales por tres meses el recurso energético promedio es de $537\text{W}/\text{m}^2$ lo cual al realizar los cálculos y simulaciones se puede generar $530\text{ W}/\text{m}^2$ con el cual cubre la demanda de 398.75 W .

8. Recomendaciones

- Se recomienda, repotenciar considerando el aumento de un módulo fotovoltaico para mejorar la carga de forma eficiente del banco de baterías.
- Se recomienda realizar una inspección periódica de los circuitos eléctricos de la casa barrial. Esto permitirá detectar posibles fallas, evitar sobrecargas y asegurar que las instalaciones cumplan con las normativas vigentes.

9. Bibliografías

- [1] “Qué es la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) Explicado en 4 pasos - Solarama Paneles solares México”. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://solarama.mx/blog/iec/>
- [2] Y. A. Gallego Landera, R. Arias García, L. Casas Fernández, y R. Sosa Plasencia, “Análisis de la implementación de un parque fotovoltaico en la Universidad Central de las Villas”, *Ing. Energética*, vol. 39, núm. 2, pp. 82–90, ago. 2018.
- [3] A. Cuenca, C. Oña, I. Suquillo, y H. Miniguano, “Design Methodology of Off-Grid PV Solar Powered Systems for Rural Areas in Ecuador”, *Rev. Téc. Energ.*, vol. 20, núm. 1, Art. núm. 1, jul. 2023, doi: 10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.537.
- [4] R. P. Tapaskar y P. P. Revankar, “Exploring the Feasibility of Solar Photovoltaic Generation for Residential Applications in Hubballi, Karnataka: A Simulation and Analysis Approach”, *J. Electr. Syst.*, vol. 20, núm. 3s, Art. núm. 3s, abr. 2024, doi: 10.52783/jes.1417.
- [5] V. Miranda y O. Joshua, “Dimensionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico a través de herramientas computacionales en zonas aisladas”, 2021.
- [6] C. Veloz, D. L. J. J, V. C. A. B, y R. S. Achig, “Evaluación de un modelo de optimización no lineal para el despacho económico de microrredes aisladas”, *Ingenius*, núm. 31, Art. núm. 31, may 2024, doi: 10.17163/ings.n31.2024.03.
- [7] U. Nations, “¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas”, United Nations. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- [8] “Tipos de energías renovables y por qué son importantes”, REPSOL. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/desarrollo-energias-renovables/tipos-energia-renovable/index.cshtml>

[9] L. Milla, “Evolución de la Energía Convencional y No Convencional”, Biblioteca Central UNMSN. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v05_n2/evol_ener.htm

[10] M. Hilcu, “¿Conoces todo lo que te puede aportar la Energía Solar?”, Otovo Blog. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.otovo.es/blog/energia/que-es-la-energia-solar/>

[11] S. Taday y J. Andres, “Análisis de la producción de energía fotovoltaica mediante el uso de espejos en configuración dinámica”.

[12] C. A. CCAMA, “UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO”, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, PUNO, PERÚ, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/6773/Carlos_Alberto_Ccama_Polanco.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[13] V. Mosquera y F. Daniel, “Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias: caso de estudio Unidad educativa Dr. Francisco Falquéz Ampuero”, Universidad Técnica Salesiana, Guayaquil, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18646/4/UPS-GT002920.pdf>

[14] Y. A. Gallego Landera, R. Arias García, L. Casas Fernández, y R. Sosa Plasencia, “Análisis de la implementación de un parque fotovoltaico en la Universidad Central de las Villas”, *Ing. Energética*, vol. 39, núm. 2, pp. 82–90, ago. 2018.

[15] C. R. Musuña Chugchilán y F. H. Veintimilla Calvopiña, “Diseño e implementación de un módulo didáctico para la visualización de las curvas de eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos”, Universidad Técnica de Cotopaxi, 2018. Consultado: el

17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en:
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5409>

[16] “Sistemas Fotovoltaicos – Riovalle | Energía solar, proyectos e instalaciones”. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://www.riovalle.cl/sistemas-fotovoltaicos-autonomos/>

[17] IsaacQuetzal, “Reparto de horas de Luz en el mundo”. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.quezalingenieria.es/descubre-como-estan-repartidas-las-horas-de-sol-en-el-mundo/>

[18] M. A. Ponce Jara, C. Velásquez Figueroa, D. Tonato Peralta, y G. Paredes Morillo, “Diseño de una estación meteorológica automática para registrar las variables solar y eólica”, *Rev. Arbitr. Interdiscip. Koinonía*, vol. 5, núm. 10 (Julio-Diciembre 2020), pp. 937–957, 2020.

[19] K. Cajilema, R. Salazar-Achig, y D. L. Jiménez J., “Analysis of the impact of solar radiation and temperature variations on grid-connected photovoltaic power generation”, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1434, núm. 1, p. 012012, dic. 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1434/1/012012.

[20] J. J. S. Acosta y M. R. Gámez, “Sistema fotovoltaico conectado a red para disminuir la demanda energética en horario diurno en una vivienda de la comunidad Cañales”, *Dominio Las Cienc.*, vol. 7, núm. 6, Art. núm. 6, oct. 2021, doi: 10.23857/dc.v7i6.2321.

[21] R. Tadeo y S. Castro, “Radiación Solar | PPT”, slideshare. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/radiacin-solar/14828415>

- [22] J. T. Iza, E. Pazmiño, C. Quinatoa, y R. Salazar, “Evaluation of Solar Panel Integration in Power Control Distribution Networks”, *Rev. Politécnica*, vol. 54, núm. 3, Art. núm. 3, dic. 2024, doi: 10.33333/rp.vol54n3.07.
- [23] Ecuador. Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) y Ecuador. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Eds., *Atlas del sector eléctrico ecuatoriano 2014*. Quito: ARCONEL, 2015.
- [24] L. Tucumbi, J. Guano, R. Salazar-Achig, y D. L. Jiménez J., “Solar Radiation Prediction Using Decision Tree and Random Forest Models in Open-Source Software”, *E3S Web Conf.*, vol. 601, p. 00051, 2025, doi: 10.1051/e3sconf/202560100051.
- [25] F. de J. Acevedo Garcés, “Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios”, *InstnameUniversidad Nac. Abierta Distancia*, dic. 2016, Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/11352>
- [26] Ministerio, “NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-11 - NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-11 CAPÍTULO”, Studocu. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-ute/disenio-luminico/norma-ecuatoriana-de-la-construccion-nec-11/4922267>
- [27] M. Gonzales, “Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son?”, Celsia. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/>
- [28] “Energía Solar Aragón, instalador y distribuidor aragonés de material para aplicaciones solares”. Consultado: el 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.energiasolararagon.com/>

- [29] desarrollsidn, “Orientación e inclinación óptimas de los paneles solares”, Quantica Renovables. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.quanticarenovables.com/blog/orientacion-inclinacion-paneles-solares/>
- [30] SotySolar, “Inversores solares: ¿qué son?, ¿qué tipos hay? SotySolar”, <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>
- [31] “Energía Solar Aragón, instalador y distribuidor aragonés de material para aplicaciones solares”. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.energiasolararagon.com/>
- [32] Administrador, “¿Sabes cómo funcionan los acumuladores de energía fotovoltaica en los hogares?”, Recicla tus Pilas Andalucía. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.reciclatuspilas.com/sabes-como-funcionan-los-acumuladores-de-energia-fotovoltaica-en-los-hogares/>
- [33] “Baterías de Gel”, Misitio. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.durapower.com.ec/copia-de-baterias-de-%C3%A1cido>
- [34] “Inversor de corriente 12v - 110v -1000w”, Imcobaza. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.imcobaza.com/producto/inversor-de-corriente-12v-110v-1000w/>
- [35] A. Perez Sancho, “Inversor solar | Isla Solar”. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://islasolar.com/blog/inversor-solar/>
- [36] I. ECUADOR, “Tableros eléctricos uso y aplicaciones”, Inducom Ecuador. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://inducom-ec.com/tableros-electricos-uso-y-aplicaciones/>

- [37] admin, “Importancia de elegir los cables correctos para el transporte de energía eléctrica”, Grupo SUMELEX. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sumelex.com/importancia-de-elegir-los-cables-correctos-para-el-transporte-de-energia-electrica/>
- [38] “¿Qué es la simulación de Montecarlo? | IBM”. Consultado: el 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/monte-carlo-simulation>
- [39] “PVsyst”. Consultado: el 19 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pvsyst.com/>
- [40] “¿Qué es un piranómetro y cómo mide la irradiancia?”, Seven Sensor. Consultado: el 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sevensensor.com/es/que-es-un-piranometro-y-como-mide-la-irradiancia>
- [41] “Multímetro RMS con registro de datos industriales Fluke 289”. Consultado: el 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [http://ecm.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/fluke-289](http://ecm.fluke.com/es-es/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/fluke-289)