

Desarrollo De Un Software Didáctico Para El Análisis Del Recurso Energético Solar En Pequeña Escala

Elkin Nicolas Sanabria

Jasson Andrés Pabón Muñoz

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Eléctrica
Bogotá D.C., Colombia
2023

Desarrollo De Un Software Didáctico Para El Análisis Del Recurso Energético Solar En Pequeña Escala

Elkin Nicolas Sanabria

Jasson Andrés Pabón Muñoz

Proyecto de grado para optar por el título de:
Ingeniero Eléctrico

Director:
Prof. Diego Julián Rodríguez Patarroyo PhD

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Eléctrica
Bogotá D.C., Colombia
2023

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud a mi familia por su apoyo y comprensión durante mi proceso educativo. Aprecio sus consejos, sugerencias y su constante respaldo en cada éxito y fracaso experimentado durante este período.

En segundo lugar, agradezco a nuestro asesor de proyecto, quien nos brindó orientación y dirección de manera pertinente. Su valiosa retroalimentación hizo que este proceso académico fuese agradable y enriquecedor.

Finalmente, mi agradecimiento se extiende a la universidad, a mis profesores, compañeros y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a mi desarrollo profesional y personal. Sus apoyos fueron fundamentales para mi crecimiento.

Elkin Nicolas Sanabria Salazar

En primer lugar, deseo expresar mi profunda gratitud hacia mi familia por su inquebrantable apoyo y comprensión a lo largo de mi trayecto educativo. Valoro enormemente sus consejos, sugerencias y su constante respaldo en cada éxito y desafío que he enfrentado durante este período.

En segundo lugar, deseo expresar mi sincero agradecimiento a nuestro asesor de proyecto, cuya orientación y dirección fueron de gran relevancia. Su valiosa retroalimentación convirtió este proceso académico en una experiencia gratificante y enriquecedora.

Finalmente, quiero extender mi agradecimiento a la universidad, a mis profesores, compañeros y a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi crecimiento profesional y personal. Sus apoyos fueron cruciales para mi desarrollo.

Jasson Andrés Pabón Muñoz

Resumen

En las últimas décadas, ha surgido un cambio significativo en la producción de energía, impulsando la transición hacia fuentes más limpias y sostenibles, conocidas como energías alternativas. Entre estas alternativas, la energía solar fotovoltaica se ha destacado como una opción viable y relevante, especialmente a pequeña escala; Con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de comprender y aprovechar de manera eficiente este recurso, se ha desarrollado un software educativo especializado. Este programa permite a los usuarios acceder y analizar datos personalizados relacionados con la energía solar.

El software en cuestión se distingue por su enfoque didáctico y su accesibilidad, diseñado específicamente para aquellos afianzar conocimientos previos sobre energía solar fotovoltaica. Su estructura facilita la expansión del conocimiento en este campo, convirtiéndolo en una herramienta valiosa para quienes buscan aprender sobre esta tecnología de energía limpia.

El público objetivo de este software educativo abarca a personas interesadas en adentrarse en el ámbito de la energía solar, sin importar su nivel de experiencia previa. Su interfaz intuitiva y contenido educativo bien estructurado lo convierten en una herramienta eficaz para el aprendizaje autónomo.

En términos de logros, este proyecto ha conseguido desarrollar una solución educativa que no solo informa sobre los fundamentos de la energía solar fotovoltaica, sino que también proporciona a los usuarios la capacidad de realizar análisis personalizados de acuerdo a sus requerimientos y necesidades.

Palabras clave: – Energía solar, Panel Fotovoltaico, Radiación, Irradiancia, Software, Energía renovable

Contenido

DESARROLLO DE UN SOFTWARE DIDACTICO PARA EL ANALISIS DEL RECURSO ENERGETICO SOLAR EN PEQUEÑA ESCALA ... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1. INTRODUCCION 10
   1.1. Formulación del problema 11
   1.2. Justificación 12
      1.2.1. Social 12
      1.2.2. Académico 12
   1.3. Objetivos 13
      1.3.1. Objetivo principal 13
      1.3.2. Objetivos específicos 13
2. MARCO REFERENCIAL 13
   2.1. Software especializado en el análisis de datos solares 13
3. MARCO TEORICO 17
   3.1. Energía solar fotovoltaica 17
   3.2. Paneles solares 17
   3.3. Radiación Solar 18
   3.4. Reguladores 19
   3.5. Inversores 19
   3.6. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (On-Grid) 20
   3.7. Sistemas fotovoltaicos aislados a la red (Off-Grid) 21
   3.8. Sistemas fotovoltaicos Híbridos 22
   3.9. Variables que influyen en la metodología 23
4. METODOLOGÍA 26
   4.1. Metodologia RUP 27
      4.1.1. Inicio 27
      4.1.2. Elaboración 30
      4.1.3. Construcción 33
      4.1.4. Transición 39
   4.2. Documentación y uso del software 40
      4.2.1. Diseño de software 42
      4.2.2. Implementación 42
      4.2.3. Instalación y verificación 42
      4.2.4. Mantenimiento 42
   4.3. Algoritmo del análisis de los datos solares 43
      4.3.1. Ingreso de datos 43
      4.3.2. Manejo de aplicación 43
5. RESULTADOS 45
   5.1. Estructura de software 45

5.1.1. Idioma 46
5.1.2. Ventana inicial 46
5.1.3. Venta de instrucciones 47
5.1.4. Primeros pasos 48
5.1.5. Ventana aplicaciones para el dimensionamiento 50
5.1.6. Recursos disponibles 51
5.1.7. Dispositivos sugeridos 55
5.1.8. Distribución de paneles 56
5.1.9. Ventana Costos de proyecto 58
5.1.10. Algoritmo del software 58
5.2. Repositorio 59
6. EVOLUCIÓN DEL SOFTWARE 60
6.1. Cuadrantes 60
6.2. Determinantes 61
6.3. Evaluación del software utilizando el modelo KITE 62
6.4. Validación de resultados 62
6.4.1. Pruebas internas 66
6.4.2. Pruebas externas 68
7. ALCANCE E IMPACTO 69
7.1. Perfil de usuario 69
7.1.1. Ingeniero de energías renovables 69
7.1.2. Investigador de fuentes de energía renovables 70
7.1.3. Docentes 70
7.1.4. Estudiantes 70
7.1.5. Público en general 70
7.2. Alcance de usuarios 70
7.2.1. Ingeniero de energías renovables 70
7.2.2. Investigador de fuentes de energía renovables 71
7.2.3. Docentes 71
7.2.4. Estudiantes 71
7.2.5. Público en general 71
8. EVALUACIÓN DE CUMPLIMIENTO 72
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 74
9.1. Conclusiones 74
9.2. Recomendaciones 74
10. BIBLIOGRAFÍA 75

Lista de Figuras

Fig. 1 Valores de irradiación promedio para diferentes regiones del país. 11
Fig. 2 Interfaz PVsyst [5]. 14
Fig. 3 Interfaz Homer [6] 14
Fig. 4 Interfaz SAM [7]. 15
Fig. 5 Radiación solar en Colombia [11]. 17
Fig. 6 Irradiación solar horizontal [14]. 18
Fig. 7 Sistemas On-Grid 20
Fig. 8 Sistemas Off-Grid 21
Fig. 9 Sistemas fotovoltaicos Híbridos 22
Fig. 10 Sitio Web Global Solar Atlas 24
Fig. 11 Sitio Web photovoltaic geographical information system 24
Fig. 12 Sitio Web POWER DATA ACCESS VIEWER 25
Fig. 13 Esquema metodología RUP 27
Fig. 14 Flujograma del software 28
Fig. 15 Casos de Uso 29
Fig. 16 Diagrama UML Bloques 31
Fig. 17 Caso de Uso Usuario 31
Fig. 18 Caso de Uso carga de base de datos 32
Fig. 19 Caso de uso carga a suplir 32
Fig. 20 Caso de Uso Selección de Equipos 33
Fig. 21 Interfaz - App Designer Matlab 34
Fig. 22 Participación por uso/electrodoméstico en las zonas rurales de Cundinamarca 36
Fig. 23 Especificaciones técnicas Paneles Solares 37
Fig. 24 Especificaciones técnicas Inversor 38
Fig. 25 Especificaciones técnicas de baterías 39
Fig. 26 Matriz de trazabilidad de **SolarAnalyzer** 41
Fig. 27 Icono del software 45
Fig. 28 Estructura de Software 45
Fig. 29 Selección de Idioma 46
Fig. 30 Ventana principal software SolarAnalyzer. 46
Fig. 31 Formulario gestión password. 47
Fig. 32 Venta Inicial del Programa SOLARANALYZER 47
Fig. 33 Interfaz de Instrucciones 47
Fig. 34 Botón para cargar base de datos 49
Fig. 35 Explorador de archivos 49
Fig. 36 Mensaje de Importación Completa 49
Fig. 37 Importación de variables 49
Fig. 38 Menú principal habilitado botón de radiación 50

Fig. 39 Tabla con variables importadas 50
Fig. 40 Botón Datos Nasa.....50
Fig. 41 Radiación promedio mensual 51
Fig. 42 Modificación mes a mes de la radiación.....51
Fig. 43 Angulo de instalación de los paneles solares 52
Fig. 44 Métodos de Calculo 52
Fig. 45 Botón Calcular 52
Fig. 46 Grafica de Radiación Solar durante el año con método de radiación mínima.....53
Fig. 47 Grafica de Radiación Solar durante el año con método de radiación promedio 53
Fig. 48 Menú Principal con botón de cargas habilitado 53
Fig. 49 Interfaz Gráfica Dimensionamientos de Cargas 54
Fig. 50 Cargas activadas y modificables 54
Fig. 51 Botón de Calcular 54
Fig. 52 Selección de Paneles 55
Fig. 53 Selección de Inversores 55
Fig. 54 Selección de baterías 55
Fig. 55 Panel de resultados.....56
Fig. 56 Cálculos y Selección de Equipos.....56
Fig. 57 Ventana Tipología de conexiones.....57
Fig. 58 Mensaje de advertencia Tensión Superior.....57
Fig. 59Mensaje de advertencia Corriente Superior 57
Fig. 60 Mensaje de advertencia Agregar más paneles.....58
Fig. 61 Configuración Optima Técnicamente 58
Fig. 62 Ventana de Costos 58
Fig. 63 Estructura del Software 59
Fig. 64 Esquema de resultados para la aplicación del modelo 61
Fig. 65 Validación de cargas de variables y funcionamiento 63
Fig. 66 Selección de equipos para prueba 63
Fig. 67 Resultados obtenidos en el software.....64
Fig. 68 Cuadro Excel para dimensionamiento fotovoltaico.....65
Fig. 69 Tabla de baterías 65
Fig. 70 Resultados obtenidos en software.....66
Fig. 71 Grafico de los tiempos de ejecución.....67
Fig. 72 Pruebas realizadas con estudiantes en laboratorio UD.....69

Lista de Tablas

Tabla 1 Ventajas y desventajas PVsyst 14
Tabla 2 Ventajas y desventajas de HOMER 15
Tabla 3 Ventajas y desventajas SAM.....16
Tabla 4 Variables que Influyen en la metodología 23
Tabla 5 Variable requerimientos energéticos 25
Tabla 6 Artículos relevantes Ley 1715 [24]. 26
Tabla 7 Carga en software para caso especifico 36
Tabla 8 Cargas predefinidas en el software.....37
Tabla 9 Especificaciones de hardware para SolarAnalyzer 66
Tabla 10 Tiempos de ejecución ventanas y funciones.....67
Tabla 11 Plan de trabajo para la elaboración del software 72
Tabla 12 Balanced ScoreCard de verificación de cada actividad 73

1. INTRODUCCION

La energía solar es la segunda fuente de energía renovable más penetrante en el mundo, después de la energía eólica. En 2013, tenía una capacidad instalada de 139 GW, y su crecimiento superó al de la energía eólica, alcanzando un aumento de 39 GW en comparación con los 35 GW de la energía eólica. Este sector ha experimentado un crecimiento promedio del 55% anual en los últimos 5 años, liderado por países como Alemania, China e Italia, que cuentan con capacidades instaladas de 36 GW, 19 GW y 18 GW, respectivamente [1].

Exploraremos las diversas funcionalidades del software, abarcando desde el análisis de datos solares hasta el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Con un enfoque centrado en el usuario, este trabajo profundiza en los detalles técnicos del software, brindando una comprensión completa de su arquitectura y capacidades. A través de ventanas y pestañas especializadas, los usuarios pueden acceder a funciones específicas, desde la carga inicial de datos de radiación solar hasta el cálculo de la capacidad de carga y la disposición óptima de los paneles solares; Además, ofrecemos la opción de explorar diversas alternativas de paneles, inversores y baterías disponibles en el mercado, proporcionando al usuario la libertad de sumergirse completamente en este fascinante campo.

Esta estructura modular simplifica el proceso de diseño, permitiendo al usuario concentrarse de manera organizada y eficiente en aspectos críticos del proyecto.

Teniendo en cuenta la generación a pequeña escala la Ley 1715 de 2014, le confirió a la CREG la facultad de definir las normas, para la remuneración de los excedentes que generen auto generadores de pequeña escala, que utilicen Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), los cuales se reconocerán mediante un esquema bidireccional como créditos de energía, los generadores a pequeña escaña tienen un límite de potencia máximo para que un auto generador sea considerado como de pequeña escala, definido en la Resolución UPME 281 de 2015, es igual a 1 MW. [2]

Colombia cuenta con un recurso solar significativo, con una irradiación promedio de 4,5 kWh/m2/d, superando el promedio mundial de 3,9 kWh/m2/d y superando incluso a Alemania, que es uno de los mayores usuarios de energía solar con 3,0 kWh/m2/d. Aunque regiones como África, el Medio Oriente o Australia tienen recursos solares superiores a Sur América, Colombia y los países ecuatoriales se benefician de un buen recurso solar promedio durante todo el año, sin experimentar las estaciones. Algunas regiones específicas en Colombia, como La Guajira, la Costa Atlántica y partes de Arauca, Casanare, Vichada y Meta, tienen niveles de radiación solar por encima del promedio nacional, comparables con algunas de las mejores regiones en el mundo. Sin embargo, la Costa Pacífica recibe niveles de radiación por debajo del promedio, aunque siguen siendo

superiores a los de Alemania en promedio anual. La Fig. 1 presenta los valores de irradiación promedio para diferentes regiones de Colombia [1].

Región	Promedio irradiación (kWh/m²/día)
Guajira	6,0
Costa Atlántica	5,0
Orinoquía	4,5
Amazonía	4,2
Región Andina	4,5
Costa Pacífica	3,5

Fig. 1 Valores de irradiación promedio para diferentes regiones del país.

En un país donde la generación de energía hidroeléctrica desempeña un papel dominante, la energía solar fotovoltaica, a través de tecnologías como los paneles solares y sistemas de conversión, está emergiendo como una alternativa estratégica para diversificar y optimizar la producción de energía. Se destaca el creciente interés de las empresas y la importancia de estas tecnologías en la promoción de la sostenibilidad y la generación de energía a pequeña y mediana escala en el país [3].

En este contexto, es imprescindible tener en cuenta no solo el rol de las empresas en la implementación de estas tecnologías, sino también la necesidad de herramientas y recursos para los ciudadanos interesados en adoptar sistemas de biomasa a escala reducida. La normativa gubernamental, como la Resolución CREG 030, establece las directrices para la generación distribuida y la autogeneración a pequeña escala, asegurando que tanto individuos como empresas puedan contribuir de manera significativa a la transición hacia una matriz energética más sostenible [4].

Además, en este contexto, surge la necesidad de desarrollar un software educativo específicamente diseñado para el análisis del recurso energético solar a pequeña escala. Este software estaría diseñado exclusivamente para usuarios sin experiencia técnica previa, ofreciendo una interfaz intuitiva y proporcionando una orientación detallada sobre el uso de sus diversas funciones.

1.1. Formulación del problema

Comunicar aspectos técnicos a un público no familiarizado con el tema representa un desafío, especialmente cuando se trata de elegir los paneles solares adecuados en función de la cantidad de luz solar disponible. Además, es importante destacar que muchas de las alternativas actualmente disponibles en este campo no ofrecen opciones de uso gratuito.

En este contexto, se propone la iniciativa de desarrollar un software que simplifique el proceso de diseño de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala con un enfoque educativo.

Este software estará disponible de manera gratuita para todos bajo una licencia de uso libre, lo que implica que será accesible sin costos. Esto no solo fomentará el estudio y el análisis, sino que también fortalecerá los conocimientos de los estudiantes. Además, será una herramienta invaluable para los docentes al facilitar su labor de enseñanza y mejorar los procesos de aprendizaje a través de interacciones con el software.

Este software marca una diferencia significativa en el contexto actual de herramientas para análisis y dimensionamiento fotovoltaico. En su mayoría, los programas disponibles son de pago, y otras herramientas en línea corren el riesgo de volverse obsoletas o ser deshabilitadas; El enfoque de nuestro software radica en ofrecer opciones tanto predefinidas como personalizables, adaptadas a las necesidades individuales de cada usuario. Esta flexibilidad permite ajustar los parámetros según las especificaciones únicas de cada proyecto.

1.2. Justificación

1.2.1. Social

El diseño de aplicaciones destinadas al modelamiento y análisis de datos de radiación solar ofrece una amplia gama de funciones, pero implica la necesidad de contar con conocimientos previos, tales como cálculos relacionados con el potencial energético disponible y dimensionamiento de cargas, entre otros aspectos.

La mayoría de los programas de referencia están dirigidos a usuarios capacitados para interpretar los resultados que proporcionan. Algunos de ellos se centran en el modelado de sistemas solares, pero no incluyen la característica de sugerir posibles opciones de paneles fotovoltaicos de tipo comercial que el usuario pueda utilizar. Además, la cantidad y la diversidad de software de libre acceso en este campo son limitadas.

1.2.2. Académico

En este contexto, surge la imperante necesidad de desarrollar un software didáctico específicamente concebido para el análisis del recurso energético solar en pequeña escala. Este tipo de software se diseñaría de manera exclusiva para usuarios sin experiencia técnica previa que estén iniciando en el proceso de aprendizaje de aplicación de este tipo de energía, ofreciendo una interfaz intuitiva y brindando una orientación detallada sobre la utilización de sus diversas funciones. Destacaría por su capacidad para sugerir opciones de paneles solares de tipo comercial, simplificando así el proceso de toma de decisiones prácticas.

Enfocarse en la eficiencia del aprendizaje se convierte en un aspecto fundamental para asegurar que los usuarios adquieran rápidamente los conocimientos necesarios para utilizar el software de manera efectiva. El diseño del software didáctico incorporaría recursos visuales, tutoriales interactivos y ejemplos prácticos, acelerando el proceso de aprendizaje y fomentando una comprensión sólida de los conceptos clave relacionados con el análisis del recurso energético solar. Este enfoque busca hacer del aprendizaje una experiencia interactiva y atractiva para los usuarios.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo principal

Desarrollar una herramienta didáctica basada en software que facilite la aprensión de los elementos teóricos y prácticos involucrados en el dimensionamiento de soluciones fotovoltaicas a pequeña escala

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las variables que inciden en el análisis del recurso energético solar y en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos de pequeña escala.
- Diseñar las interfaces graficas que componen el proceso de dimensionamiento fotovoltaico, para que sean entendibles al usuario.
- Implementar los métodos y funciones lógicas que permitan la ejecución del software.
- Evaluar el desempeño del software validado resultados obtenidos, y su rendimiento en diferentes sistemas operativos.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Software especializado en el análisis de datos solares

Existen varios programas y herramientas de software disponibles para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Algunos de los más conocidos y utilizados como lo son:

PVsyst:

Es una herramienta de simulación fotovoltaica ampliamente utilizada para el diseño y análisis de sistemas solares. Ofrece características avanzadas para la modelación de sistemas fotovoltaicos, para uso técnico profesional Fig. 2.

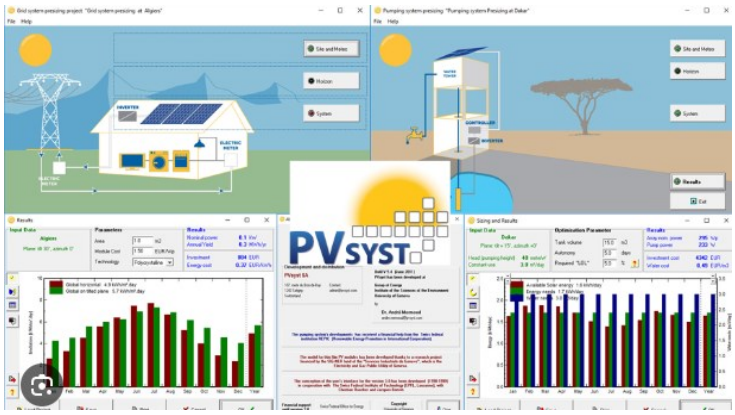


Fig. 2 Interfaz PVsyst [5].

Tabla 1 Ventajas y desventajas PVsyst

Ventajas	Desventajas
Se destaca por su precisión en la simulación de sistemas solares fotovoltaicos, proporcionando resultados detallados y confiables. Su interfaz intuitiva facilita su uso, incluso para profesionales técnicos, permitiendo una fácil navegación. La herramienta ofrece modelación avanzada, considerando factores como sombreados y pérdidas por reflexión.	El costo de PVsyst puede ser una barrera para usuarios con presupuestos limitados. Su curva de aprendizaje, aunque mitigada por una interfaz intuitiva, puede requerir tiempo para que los usuarios exploren todas sus capacidades. Los requisitos de sistema pueden ser altos, limitando su accesibilidad en hardware más antiguo.

HOMER:

HOMER es una herramienta de optimización de energía que permite el diseño de sistemas híbridos que pueden incluir energía solar fotovoltaica, eólica y otros recursos. Ayuda a tomar decisiones informadas sobre la combinación más eficiente de fuentes de energía. Fig. 3.

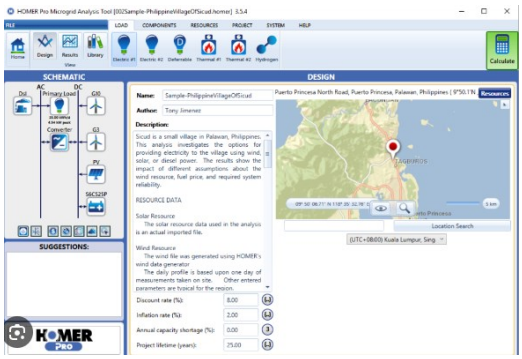


Fig. 3 Interfaz Homer [6]

Tabla 2 Ventajas y desventajas de HOMER

Ventajas	Desventajas
Permite tomar decisiones informadas sobre la combinación más eficiente de fuentes de energía, adaptándose a las necesidades específicas de cada proyecto. La flexibilidad de HOMER para modelar sistemas complejos lo convierte en una herramienta valiosa para profesionales que buscan maximizar la eficiencia en la generación de energía	Podría tener una curva de aprendizaje significativa debido a su enfoque avanzado en la optimización de sistemas híbridos. Dependiendo de la complejidad del sistema, la introducción de datos detallados podría ser un proceso que requiera tiempo. Asimismo, el costo asociado con el uso de HOMER podría representar un obstáculo para aquellos con presupuestos más ajustados, especialmente si no se planea un uso frecuente de la herramienta.

SAM (System Advisor Model):

Desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, SAM es una herramienta de modelado financiero que permite analizar el rendimiento y los costos de sistemas de energía renovable, incluyendo la energía solar fotovoltaica Fig. 4**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

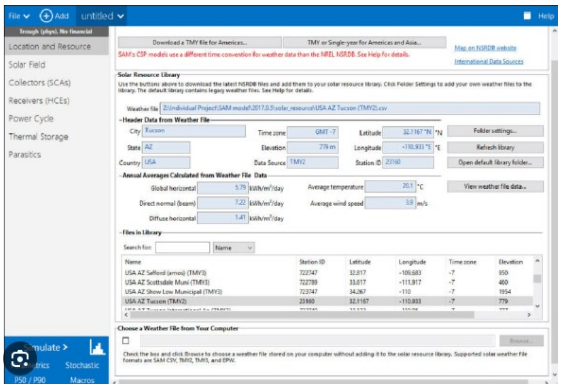


Fig. 4 Interfaz SAM [7].

Tabla 3 Ventajas y desventajas SAM

Ventajas	Desventajas
Las ventajas radican en su capacidad para realizar evaluaciones financieras detalladas, permitiendo a los profesionales tomar decisiones informadas sobre inversiones en energías renovables. Su interfaz intuitiva y la amplia variedad de opciones de configuración facilitan su uso para una audiencia diversa, desde expertos en energía hasta aquellos que están dando sus primeros pasos en el campo.	Dependiendo de la complejidad del análisis financiero, la introducción de parámetros específicos podría resultar laboriosa. Asimismo, aunque SAM es una herramienta potente, su orientación específica hacia el modelado financiero puede limitar su utilidad para aquellos que buscan una solución más integral que incluya aspectos técnicos y financieros en un solo paquete.

En el contexto de la instalación y diseño de sistemas de dimensionamiento fotovoltaico, es relevante destacar que la disponibilidad de software especializado para el análisis de datos de recursos solares es limitada, siendo esencial contar con información previa sobre el recurso que se empleará en la implementación de estos sistemas. La mayoría de las aplicaciones en este ámbito están dirigidas a usuarios con experiencia, lo que restringe su accesibilidad. Además, es evidente la escasez de programas de software de código abierto en este campo.

Además, se destaca la existencia de una aplicación base enfocada en la generación de energía eólica, desarrollada como proyecto de grado por el ingeniero eléctrico Juan José Guerrero Moreno [8]. Esta aplicación se centra en evaluar la fuente de energía eólica a pequeña escala. El proyecto se enfoca en la investigación y aprovechamiento de fuentes de energía sostenible en Colombia, resaltando la importancia de contar con conjuntos de datos adecuadamente organizados para obtener resultados precisos en el análisis [8].

El autor también resalta la retroalimentación y las contribuciones de los usuarios que utilizaron el software [8], lo que facilitó la identificación de los requisitos esenciales para el cálculo en dimensiones reducidas. El proyecto se desarrolló en el entorno del software Matlab, específicamente en su Interfaz Gráfica de Usuario (GUI). Esta GUI proporciona un entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite a los usuarios ejecutar, depurar y visualizar los resultados de programas escritos en Matlab [8].

La GUI de Matlab incluye diversas herramientas y ventanas, como el Editor de Matlab para escribir y editar código, el Command Windows para ingresar comandos directamente, el Workspace para mostrar variables y su contenido, y la ventana de Figuras (Figures) para mostrar gráficos y visualizaciones [9].

3. MARCO TEORICO

3.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la forma más utilizadas y de mayor auge en la actualidad, esto se debe a que es una fuente de energía renovable que aprovecha directamente la radiación solar para la generación de energía eléctrica, lo que la hace aprovechable en muchas zonas del mundo en donde las energías convencionales son de difícil acceso, como en el caso de Colombia en aquellas Zonas No Interconectas [1] también es considerada una alternativa viable para la diversificación de la matriz energética, en donde otros recursos como el agua predominan y bajo ciertos escenarios de escases, como el fenómeno del niño, puede llevar a desabastecimiento energético [10], en la Fig. 5 podemos observar el mapa de Colombia con sus niveles de radiación presentes en promedio en un mes.

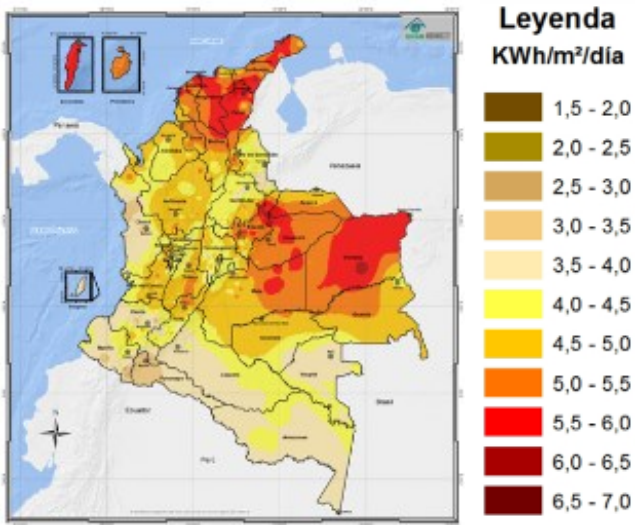


Fig. 5 Radiación solar en Colombia [11].

3.2. Paneles solares

La transformación de energía solar en energía eléctrica se realiza mediante los módulos fotovoltaicos, ellos están compuestos por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado. La celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, estas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, donde el silicio es el más usado. El marco de vidrio y aluminio tienen la función principal de soportar mecánicamente las celdas además de protegerlas de la intemperie [12].

A medida que la luz solar atraviesa la atmósfera, parte de ella es absorbida, dispersada y reflejada por las moléculas de aire, el vapor de agua, las nubes, el polvo y los contaminantes. La radiación total recibida sobre una superficie horizontal de la Tierra se denomina Radiación Horizontal Global y está compuesta por radiación directa, difusa y reflejada. La radiación solar difusa es la porción que se dispersa hacia abajo desde la atmósfera y llega a la superficie terrestre. La porción reflejada es la energía que rebota en la superficie de la tierra. La radiación solar que llega a la superficie terrestre sin difundirse en la atmósfera se llama radiación solar directa [13] Fig. 6.

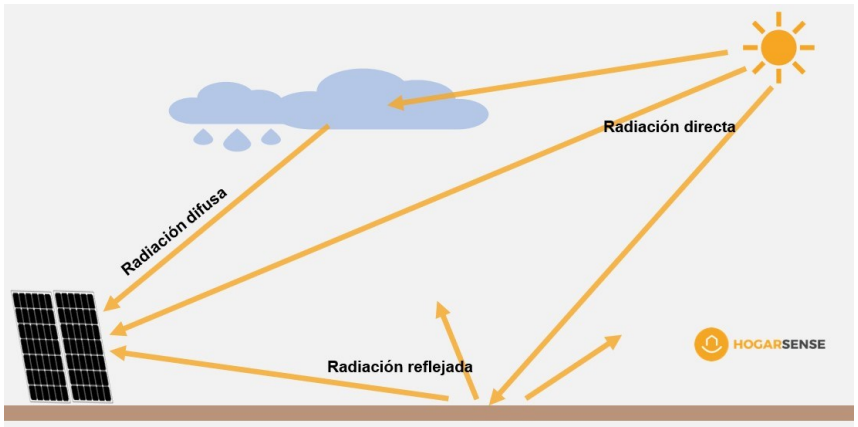


Fig. 6 Irradiación solar horizontal [14].

La inclinación: Los paneles solares es crucial para optimizar la captación de energía solar. En instalaciones estáticas, ajustar la inclinación de los paneles de acuerdo a la latitud del lugar es un buen punto de partida. Sin embargo, encontrar la posición óptima puede requerir más análisis; para maximizar la eficiencia de los paneles en ubicaciones estáticas, se consideran varios factores además de la inclinación fija. La orientación (hacia el sur en el hemisferio norte, por ejemplo) y la inclinación óptima en relación con la temporada también son importantes. Se pueden emplear herramientas como software de simulación solar para determinar la inclinación más efectiva para maximizar la captación de energía durante todo el año [15].

3.3. Radiación Solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas, es ocasionada por los fenómenos de fusión que se dan al interior del núcleo solar, allí los gases se mueven a grandes velocidades ocasionando colisiones, consumiendo la masa misma y desprendiendo inmensas cantidades de energía. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos, el clima y la vida humana como se conoce [6].

La radiación solar al pasar por la atmosfera sufre un proceso de debilitamiento por la dispersión, reflexión (nubes) y absorción (moléculas de gases y partículas en suspensión), por ello pueden distinguir diferentes clases de radiación sola, estas son:

Radiación Solar Directa: Aquella que llega a la tierra sin verse afecta por las distintas capas de gases de la columna atmosférica, por lo cual no sufre cambio alguno en su dirección.

Radiación solar reflejada: Aquella que es producto de la interacción con los componentes atmosféricos, reflejada o absorbida por nubes, polvo atmosférico, montañas, arboles, edificios, etc. como consecuencia de esto la radiación difusa va en todas direcciones. Las superficies horizontales son las que mayormente reciben esta clase de radiación ya que ven toda la bóveda celeste [7].

Radiación solar difusa: Aquella que procede de la reflexión de la irradiancia directa en los elementos del entorno o superficie terrestre. Esta cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, llamado albedo. Las superficies verticales son las que más radiación de esta clase reciben.

Radiación solar Global: La radiación solar global es la radiación total. Esta constituye la suma de las tres radiaciones anteriormente nombradas.

3.4. Reguladores

Este es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas [12].

3.5. Inversores

Un inversor es un dispositivo electrónico que permite transformar una señal de tipo continua en una señal alterna, esta puede ser de tipo sinusoidal pura aplicado en sistemas conectados directamente a la red; sinusoidal modificada o de onda cuadrada con aplicación en sistemas autónomos [12].

3.6. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (On-Grid)

Los sistemas de generación energía fotovoltaicos conectados a la red sin necesidad de almacenamiento, un sistema de energía solar On-Grid está conectado a la red eléctrica convencional. Esto garantiza un suministro constante de electricidad, incluso cuando el sistema solar no está generando suficiente energía, ya que se puede complementar con electricidad de la red. Además, durante períodos de exceso de producción solar, el sistema puede enviar la energía sobrante de vuelta a la red, permitiendo verter el exceso de energía a la red convencional según la Ley 1715 del 2014, se puede considerar el balance neto como una forma de compensación y beneficio en para el ahorro del consumidor, este sistema equilibra la energía producida por el sistema de generación con la red eléctrica tradicional, permitiendo que la red absorba el excedente y genere derechos de consumo diferidos para el usuario [16].



Fig. 7 Sistemas On-Grid

Unas de las ventajas del sistemas conectado a la red respecto a los sistemas aislados son las siguientes:

Menor inversión inicial y costos de mantenimiento: Al carecer de baterías para almacenamiento, los sistemas conectados a red requieren una inversión inicial más baja y tienen costos de reposición y mantenimiento reducidos en comparación con los sistemas aislados.

Mayor vida útil de más de 25 años: Estos sistemas tienen una longevidad superior, lo que los hace una inversión a largo plazo más sólida.

Menor impacto ambiental: Al no depender de baterías con grandes cantidades de plomo, se reducen los impactos ambientales, ya que las baterías deben ser reemplazadas a mediano plazo. Esto los convierte en una opción menos contaminante.

Autogeneración para individuos, familias y empresas: Permiten que tanto individuos como empresas, tanto públicas como privadas, generen su propia energía, otorgando independencia energética.

Mayor porcentaje de energía para consumo propio: La mayor parte de la energía producida se destina al consumo interno, lo que puede resultar en una mayor autonomía energética.

Reducción de pérdidas en el transporte de energía: Al generar y consumir energía en el mismo lugar, se minimizan las pérdidas asociadas al transporte de energía a largas distancias.

Acceso a energía de la red en caso de demanda superior a la oferta: Si la demanda de energía supera la capacidad de generación, estos sistemas conectados pueden tomar energía de la red convencional.

3.7. Sistemas fotovoltaicos aislados a la red (Off-Grid)

Los sistemas fotovoltaicos aislados son sistemas de generación de energía que utilizan paneles solares para convertir la luz solar en electricidad, sin estar conectados a la red eléctrica principal.

Un sistema de energía solar Off-Grid opera de manera independiente, sin conexión a la red eléctrica. Este tipo de sistema depende completamente de la energía solar capturada durante el día y almacenada en baterías para abastecer la demanda eléctrica cuando no hay sol, como durante la noche o en días nublados. Sin embargo, la disponibilidad de electricidad está limitada a la capacidad de almacenamiento de las baterías y la energía generada durante el día [17].

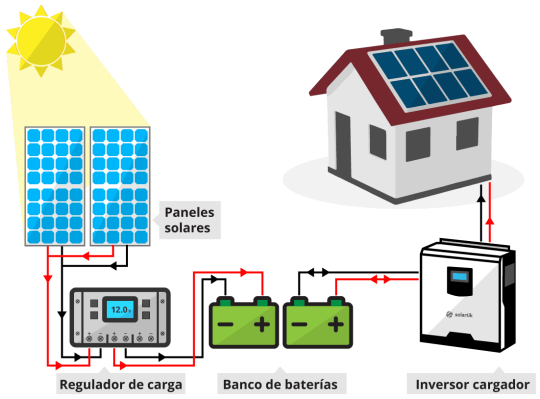


Fig. 8 Sistemas Off-Grid

Estos sistemas son independientes y autónomos, no dependen de la red de distribución eléctrica y suelen emplearse en lugares remotos o donde no hay acceso a la red.

Estos sistemas constan principalmente de:

Paneles solares: Capturan la energía del sol y la convierten en electricidad.

Controladores de carga: Regulan la carga de las baterías para evitar sobrecargas o descargas excesivas.

Baterías: Almacenan la energía generada durante el día para su uso en momentos sin luz solar.

Inversores: Convierten la energía almacenada en las baterías en corriente alterna para ser utilizada por dispositivos eléctricos.

Los sistemas fotovoltaicos aislados son especialmente útiles en áreas remotas donde resulta costoso o poco práctico extender la red eléctrica convencional. Se emplean en una variedad de aplicaciones, desde cabañas, casas rurales, estaciones meteorológicas hasta equipos de telecomunicaciones y sistemas de bombeo de agua. Proporcionan una fuente de energía sostenible y autónoma en entornos fuera de la red eléctrica convencional.

Por ejemplo, los sistemas utilizados para el bombeo y extracción de agua pueden prescindir de un conjunto de baterías para almacenar la energía eléctrica, ya que su funcionamiento se limita a las horas en las que los paneles solares generan la potencia necesaria [18]. Sin embargo, en el caso de sistemas fotovoltaicos destinados a abastecer energía a edificios o aplicaciones en hogares como el propósito de este proyecto, el almacenamiento de energía a través de baterías resulta indispensable [19].

3.8. Sistemas fotovoltaicos Híbridos

Un sistema híbrido de energía solar es aquel que está conectado a la red pero que también tiene un banco de baterías para almacenar la electricidad utilizada. Los sistemas híbridos, aunque son más caros debido al costo adicional de las baterías, permiten a sus propietarios mantener las luces encendidas cuando se corta la red e incluso pueden ayudar a reducir los cargos por demanda para las empresas [17].

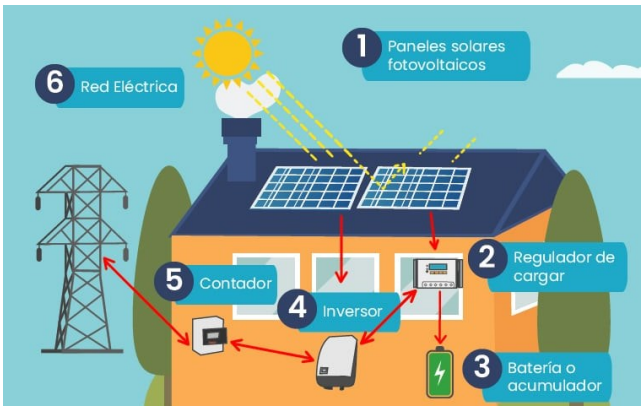


Fig. 9 Sistemas fotovoltaicos Híbridos

Las soluciones híbridas están diseñadas para ubicaciones que presentan problemas con la red eléctrica, ya sea su ausencia o cortes frecuentes. Estos sistemas son versátiles y pueden aplicarse en diversas situaciones, desde infraestructuras de telecomunicaciones hasta aplicaciones ganaderas con un alto consumo energético constante, así como en entornos industriales y residenciales. [20]

3.9. Variables que influyen en la metodología

Un aspecto crítico de la metodología de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos son las variables que influyen en el proceso. Estas variables incluyen:

- **Bases de datos**

Datos de Ubicación: Los datos geográficos y climáticos, como la ubicación exacta, la radiación solar promedio y las condiciones climáticas locales, son fundamentales para determinar la eficiencia del sistema.

Tabla 4 Variables que Influyen en la metodología

Variable	Unidad	Definición
Irradiancia	Watts por metro cuadrado (W/m²)	La irradiancia es la potencia por unidad de área que llega a la superficie de la Tierra desde el sol en un momento y lugar determinados.
Radiación	Horas pico de sol por día (h/día)	La radiación solar es la potencia radiante que emite el sol y que llega a la superficie de la Tierra. Es una medida de la energía solar por unidad de área.
Condiciones Climáticas Locales	Temperatura en grados Celsius)	Estos factores incluyen temperatura que impacta la eficiencia del sistema
Angulo de Inclinación	Grados (°)	El ángulo de inclinación se refiere al ángulo entre el plano de los paneles solares y una línea perpendicular al suelo. Este ángulo puede ajustarse para maximizar la captación de radiación solar.

En la actualidad se cuentan con múltiples repositorios en donde se puede encontrar bases de datos que suministran las variables necesarias para el análisis del recurso eléctrico, a continuación, se presenta algunas de estos repositorios:

- **El Global Solar Atlas:** es una herramienta integral que proporciona datos detallados y descargables sobre la radiación solar a nivel mundial. Desarrollado por la Corporación Financiera Internacional (IFC) y la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), este atlas ofrece información precisa y confiable para evaluar

el potencial solar en diversas ubicaciones. La plataforma permite a los usuarios acceder a datos descargables en formato CSV, facilitando su integración en diversas aplicaciones y análisis. Con una interfaz fácil de usar, el Global Solar Atlas brinda a profesionales de la energía, investigadores y planificadores acceso rápido a información clave sobre la radiación solar, contribuyendo así a la toma de decisiones informada en proyectos relacionados con la energía solar a nivel mundial. https://globalsolaratlas.info/map [21]



Fig. 10 Sitio Web Global Solar Atlas

- **PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM:** Este sitio web cuenta con un diseño que permite la búsqueda de información mediante un mapa interactivo, facilitando la ubicación del lugar del cual se desea obtener información sobre el recurso solar. Ofrece la posibilidad de descargar variables fundamentales como la irradiación global y la dirección de irradiación para llevar a cabo análisis específicos. Además, proporciona una amplia gama de opciones para realizar diversos estudios estadísticos y funcionales. Asimismo, dispone de un registro de datos desde 2005 hasta 2022, específicamente adaptado según la zona geográfica a analizar. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR [22].

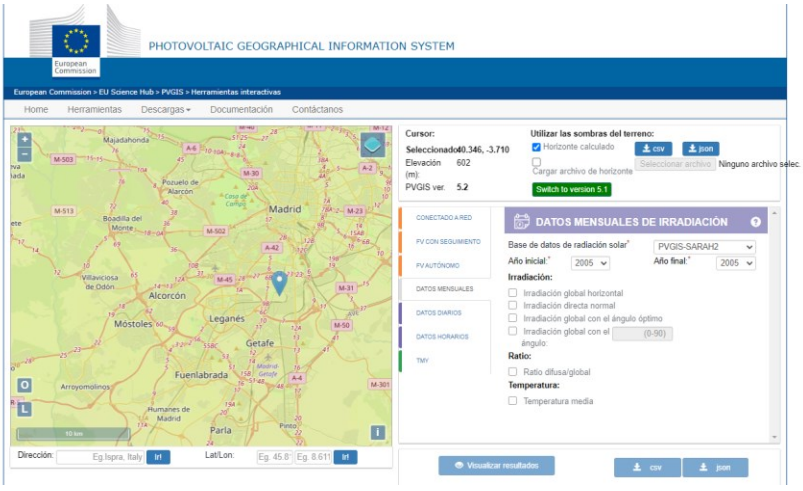


Fig. 11 Sitio Web photovoltaic geographical information system

- **POWER DATA ACCESS VIEWER:**

Este sitio web está vinculado con la página oficial de la NASA y tiene un mapa fácil de usar. Desde allí, puedes elegir la zona que te interese para obtener información. Ofrece diferentes tipos de datos en tablas descargables, donde puedes seleccionar la información sobre la cantidad de luz solar, ya sea mensual, anual o diaria. Además, se actualiza regularmente con la información más reciente que puedas necesitar https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/ [23].

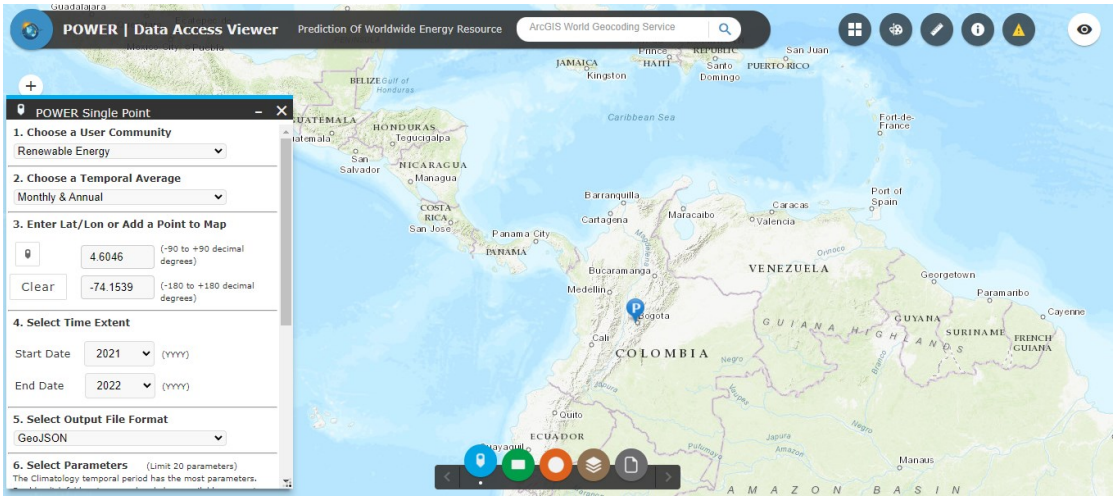


Fig. 12 Sitio Web POWER DATA ACCESS VIEWER

Para el ejecución del programa se recomienda usar la base de datos POWER DATA ACCESS VIEWER, ya que cuenta con información sobre energía solar u otros datos climáticos. Esta base de datos, tiene actualizaciones más frecuentes en varias zonas geográficas, lo que la hace más útil o fiable para el propósito del software desarrollado.

Requerimientos Energéticos: Los requerimientos energéticos de la instalación, incluyendo la demanda de energía a lo largo del tiempo, son esenciales para calcular la potencia necesaria.

Tabla 5 Variable requerimientos energéticos

Variable	Unidades	Definición
Carga	kWh	Cantidad total de energía consumida o utilizada en un sistema en un período de tiempo específico.
Cargabilidad	kW	Capacidad máxima de carga que un sistema puede manejar sin exceder su capacidad nominal.

Normativas y Regulaciones: Las regulaciones locales relacionadas con la conexión a la red eléctrica y la interconexión de sistemas fotovoltaicos son un factor crítico a considerar.

Tabla 6 Artículos relevantes Ley 1715 [24].

Norma	Detalle	Tipo
ARTÍCULO 2 - Párrafo 4	Define a los auto generadores a pequeña escala y sus derechos y obligaciones.	Subsidio - Definición de auto generadores
ARTÍCULO 6 - Párrafo 4	Reconoce a los auto generadores a pequeña escala que utilizan FNCER y define créditos de energía.	Subsidio - Reconocimiento de auto generadores
ARTÍCULO 8 - Párrafo a	Autoriza a auto generadores a pequeña escala a entregar excedentes a la red de distribución.	Subsidio - Entrega de excedentes
ARTÍCULO 8 - Párrafo b	Establece mecanismos simplificados de conexión y entrega de excedentes para auto generadores a pequeña escala.	Subsidio - Mecanismos simplificados
ARTÍCULO 8 - Párrafo c	Define la remuneración de la energía generada por generadores distribuidos, incluyendo beneficios al sistema de distribución.	Subsidio - Remuneración de generadores distribuidos
ARTÍCULO 8 - Párrafo d	Permite la venta de créditos de energía generados por auto generadores a pequeña escala.	Subsidio - Venta de créditos de energía
ARTÍCULO 8 - Párrafo e	Establece programas de divulgación masiva y focalizada para promover la autogeneración a pequeña escala.	Fondo - Programas de divulgación
ARTÍCULO 19 - Párrafo 6	Gobierno incentivará el uso de generación fotovoltaica como forma de autogeneración y en esquemas de GD con FNCER.	Subsidio - Incentivo a la generación fotovoltaica

Estas variables son esenciales para realizar cálculos precisos y tomar decisiones informadas durante el proceso de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala. El software especializado utiliza estas variables para proporcionar resultados precisos y facilitar la planificación y diseño efectivos de instalaciones solares.

4. METODOLOGÍA

Proceso Unificado de Desarrollo (RUP) es una metodología de desarrollo de software que está basado en componentes e interfaces bien definidas, y junto con el Lenguaje Unificado de Modelado (UML), constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos.

RUP se basa en principios de ingeniería de software y está orientada al desarrollo ágil. Se enfoca en la gestión de riesgos, calidad y control del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Una de sus características fundamentales es su estructura modular, dividiendo el proceso en fases claramente definidas, cada una con sus tareas específicas y entregables.

Donde el proceso de ciclo de vida de RUP se divide en cuatro fases bien conocidas. Esas fases se dividen en iteraciones, cada una de las cuales produce una pieza de software demostrable, las fases son:

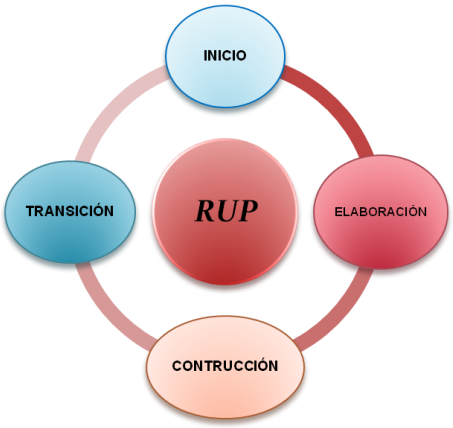


Fig. 13 Esquema metodología RUP

1) Inicio. 2) Elaboración. 3) Construcción. 4) Transición.

Se implementó la metodología RUP en el desarrollo del software de dimensionamiento solar fotovoltaico a pequeña escala. El desarrollo se llevó a cabo en etapas, centrándose en las interfaces de usuario, y se tuvo en cuenta cada retroalimentación recibida para realizar mejoras. Esto permitió realizar ajustes y adecuaciones continuas en la interfaz, haciéndola más interactiva y didáctica, y fácil de comprender.

El software se desarrolló en la interfaz de App Designer de Matlab, que incluye gráficos, botones y características para un uso educativo óptimo, siguiendo la metodología de frontend para brindar una experiencia óptima.

4.1. Metodologia RUP

4.1.1. Inicio

Proyecto.: SOFTWARE DIDACTICO PARA EL ANALISIS DEL RECURSO ENERGETICO SOLAR EN PEQUEÑA ESCALA SOLAR ANALYZER

Objetivos

- Desarrollar software didáctico para el educativo para el análisis de recuso solar fotovoltaico a pequeña escala

Alcance requerimientos funcionales

- **Ingreso al software educativo:** El usuario deberá completar un formulario para obtener la contraseña que habilitará las funciones del software.
- **Obtencion de bases de datos con variables de recurso energetico solar:** El usuario deberá obtener una base de datos con la informacion energetica del lugar a analizar con las variables de irradiacion, puede ser mensual o diaria se recomenda usar la paginas que vincula datos de la NASA **POWER DATA ACCESS VIEWER.**

- **Importacion de base de datos con recurso energetico solar:** El usuario descargará un archivo en formato Excel desde la página oficial de la NASA https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/ que contendrá los datos necesarios. Estos datos serán posteriormente importados en el software por parte del usuario.
- **Selección de cargas a usar en el sistema:** El usuario tendrá la capacidad de contar con cargas predeterminadas según escenarios estandar, tambien se puede modificar las especificaciones técnicas de los equipos o electrodomésticos ya cargados en el software que serán alimentados por el sistema fotovoltaico, según las necesidades del usuario.
- **Selección de equipos del sistema:** El usuario podrá elegir entre una variedad de equipos precargados en el software del sistema fotovoltaico, que incluyen diferentes especificaciones de paneles solares, inversores y baterías. Además, dispondrá de la opción para ajustar y personalizar las especificaciones técnicas de estos equipos según sus necesidades específicas.

Requeriminientos No funcionales

- Debe ser de facil navegabilidad, interaccion y uso.
- Programacion realizada en App Designer de Matlab.
- Facil manejo e intuitivo, del software.
- Implementacion de cargas estandares de uso y su modificiacion.
- Implementacion de equipos (paneles solares, inversores y baterias) comerciales con sus especififcaciones para la su eleccion, donde pueden ser modificados según requerimientos del usuario.

Modelo de software

En el Fig. 14 se presenta el flujograma del desarrollo del software.

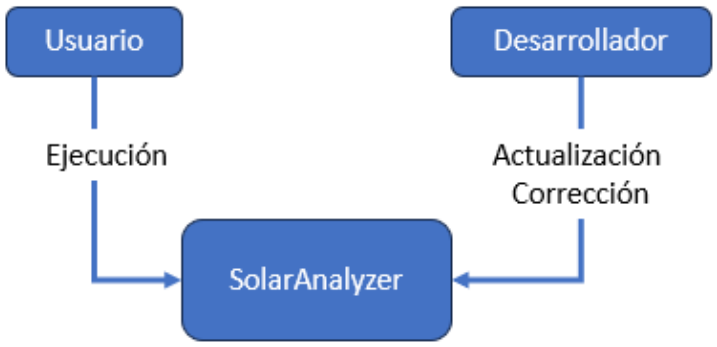


Fig. 14 Flujograma del software

Modelos de casos de uso

El software interactúa directamente con dos actores siendo uno el usuario y el desarrollador. Ver Fig. 15.

Usuario: Encargado del uso del programa, gestiona las variables de entrada, variables de demanda energética, selección de equipos verificando funcionalidad y rendimiento de cada una de las partes del software.

Desarrollador: Encargado de crear, modificar, actualizar y diseñar software para corregir errores y optimización del software.

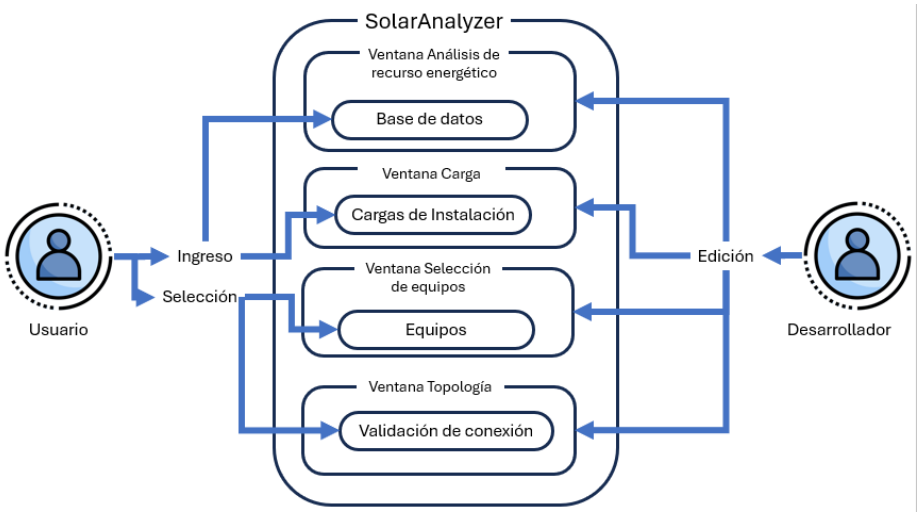


Fig. 15 Casos de Uso

Entregables del proyecto

Los entregables del proyecto componen el grupo de objetos que conforman la RUP y que serán generados y utilizados.

- Software.
- Manual de Usuario.
- Manual de Instalación.

Actividad	Semana Inicio	Semana Final	Semana													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Diseñar el diagrama de flujo del software	1	1														
Diseñar ventana de importar variables	2	3														
Verificar compatibilidad con base de datos	3	4														
Corregir errores encontrados	3	4														
Ventana Principal																
Diseñar ventana de importar variables	5	6														
Verificar compatibilidad con base de datos	6	6														
Corregir errores encontrados	6	7														
Ventana Análisis Variables																
Diseñar ventana de análisis de variables	7	8														
Realizar código fuente para cálculos	8	8														
Corregir errores encontrados	8	8														
Ventana de Cargas																
Diseñar ventana de potencia de cargas	9	10														
Realizar código fuente para cargas	9	10														
Corregir errores encontrados	10	10														
Ventana de Equipos																
Diseñar ventana de selección de equipos	10	11														
Realizar código fuente para equipo	11	11														
Corregir errores encontrados	11	11														
Entregables																
Manual técnico del software	12	13														
Subir los archivos al repositorio	12	13														
Pruebas del software con estudiantes	13	14														

Entorno

No hay un número limitado de usuarios que interactúen con el software, ya que la ser un software libre y educativo puede ser utilizado simultáneamente siendo totalmente independiente, el software debe ser ejecutado en sistemas operativos que se recomiendan en los siguientes capítulos según pruebas realizadas.

4.1.2. Elaboración

La elaboración tubo como principio un diagrama de flujo fundamental en donde se planifico el diseño del software considerando las variables de entrada y salida de cada ventana, este enfoque garantiza que cada variable necesaria esté correctamente conectada y utilizada en el cálculo, lo que conduce a un software eficiente y preciso en su funcionalidad. Además, al relacionar las variables específicas en cada etapa del proceso, se asegura la coherencia y la integridad de los cálculos realizados; cada variable necesaria para que el software pueda realizar los cálculos necesario para el dimensionamiento de equipos y de paneles solares necesarios para un sistema de generación fotovoltaica.

El uso de un diagrama de flujo también facilita la identificación de posibles errores o puntos de mejora en el diseño del software, permitiendo ajustes o mejoras antes de la implementación final.

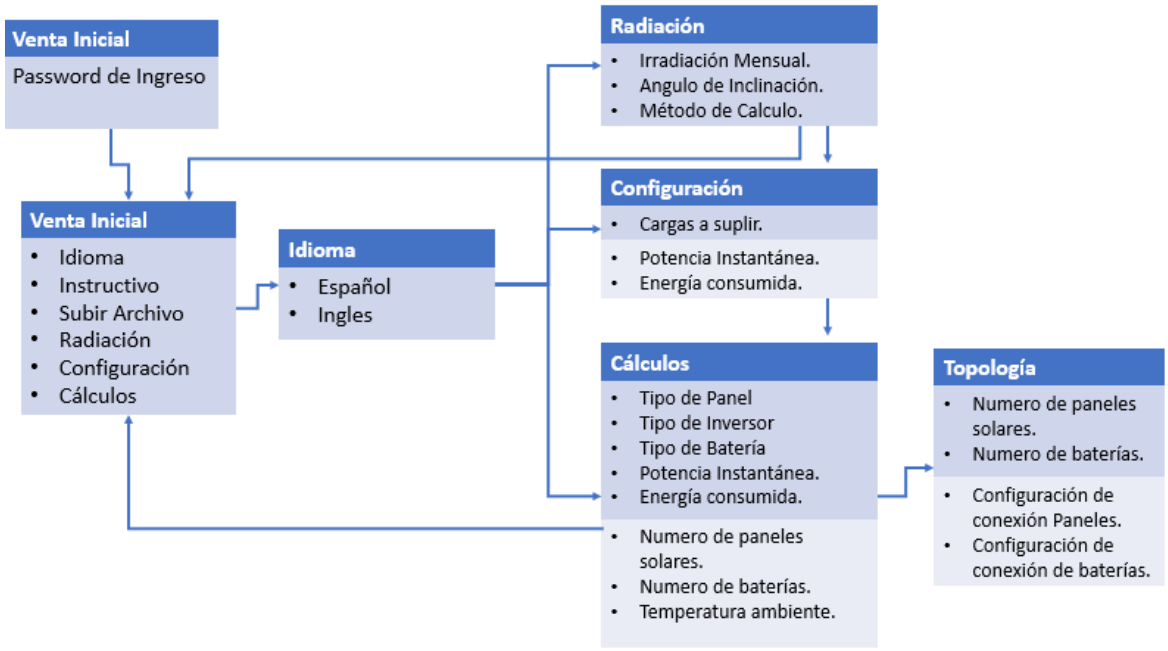


Fig. 16 Diagrama UML Bloques

En la Fig. 17, se presenta las acciones planeadas para el manejo y control del usuario en las diferentes fases de uso del programa, donde como paso inicial es obtener la base de datos del recurso energético solar del lugar a implementar el sistema.

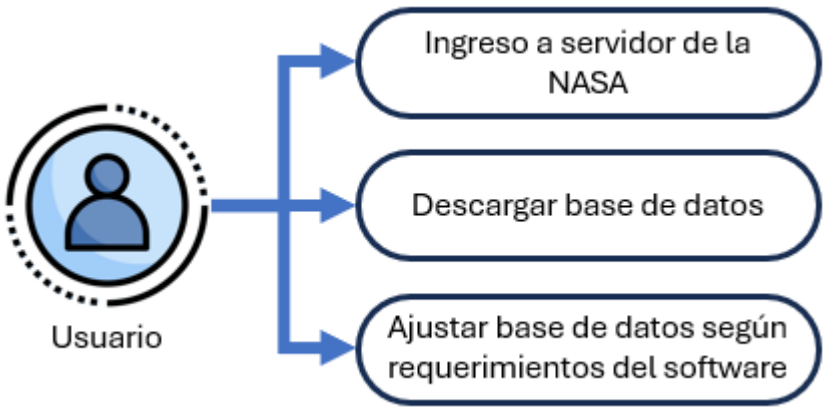


Fig. 17 Caso de Uso Usuario

Una vez obtenida la base de datos se procede a cargar el archivo con los requerimientos del software para su correcto análisis, continuando con el ingreso de otras variables necesarias para la realización de los cálculos, como lo son el ángulo de instalación de los paneles, temperatura ambiente y el tipo de cálculo con el cual se realizará el dimensionamiento.

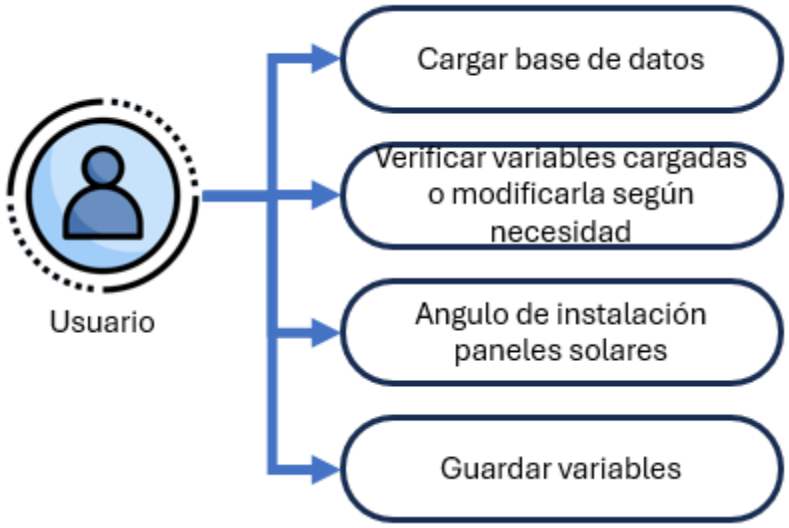


Fig. 18 Caso de Uso carga de base de datos

La ventana de configuración de las cargas se solicita para obtener los datos de potencia y energía requerida para suplir la carga del hogar donde se implementara el sistema fotovoltaico.

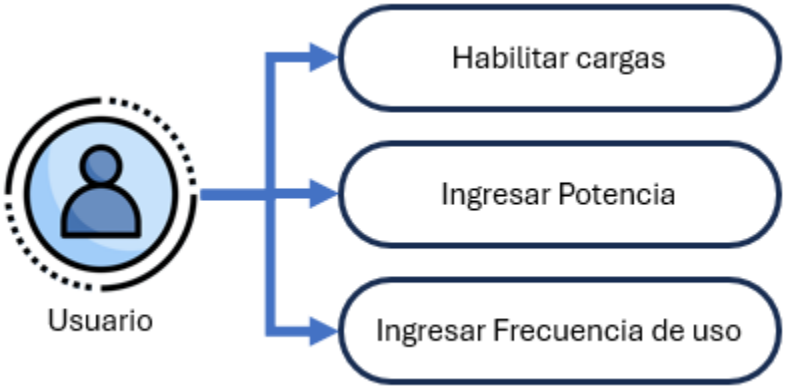


Fig. 19 Caso de uso carga a suplir

Para la selección de equipos el software tendrá precargados especificaciones técnicas de varios equipos (Paneles solares, Inversores, Baterías) comerciales que pueden ser utilizados a la hora del dimensionamiento fotovoltaico.

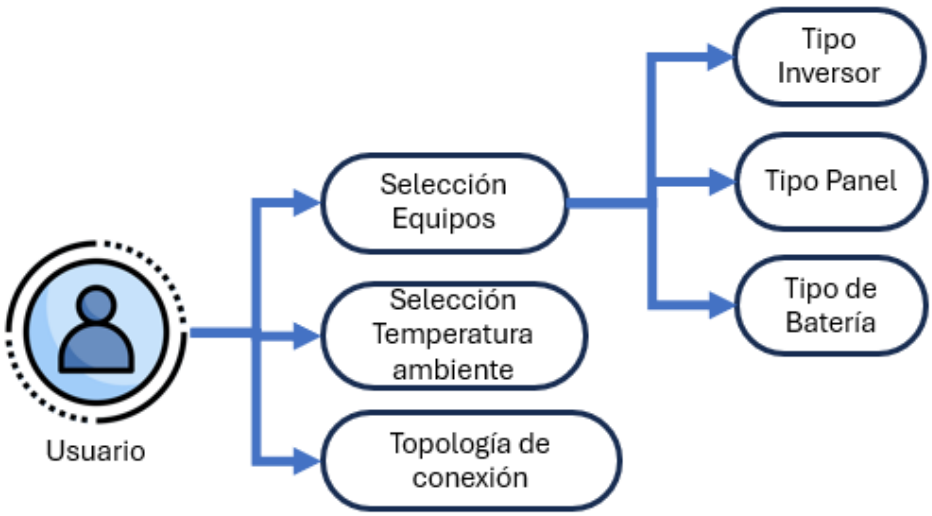


Fig. 20 Caso de Uso Selección de Equipos

Pruebas

Las pruebas se realizan con estudiantes y profesores las cuales realizaran la validación de la robustez del programa en diferentes etapas del desarrollo, recibiendo las novedades y correcciones de errores.

4.1.3. Construcción

El desarrollo del software se implementó en App Designer una herramienta de Matlab versión 2022b, cumpliendo con los requerimientos planteados en la fase de elaboración, MATLAB App Designer es una herramienta de desarrollo que permite crear interfaces gráficas de usuario (GUI) en MATLAB de manera sencilla. Algunas de las ventajas de utilizar MATLAB App Designer incluyen:

Diseño visual: Permite la creación de interfaces gráficas de usuario (GUI) de manera visual, lo que facilita la creación de aplicaciones interactivas sin necesidad de escribir tanto código.

Integración con MATLAB: Se integra perfectamente con el entorno MATLAB, lo que permite el uso de funciones y scripts de MATLAB para agregar funcionalidades avanzadas a la interfaz de usuario.

Componentes predefinidos: Ofrece una amplia gama de componentes predefinidos, como botones, gráficos, cuadros de texto, entre otros, simplificando la construcción de la interfaz.

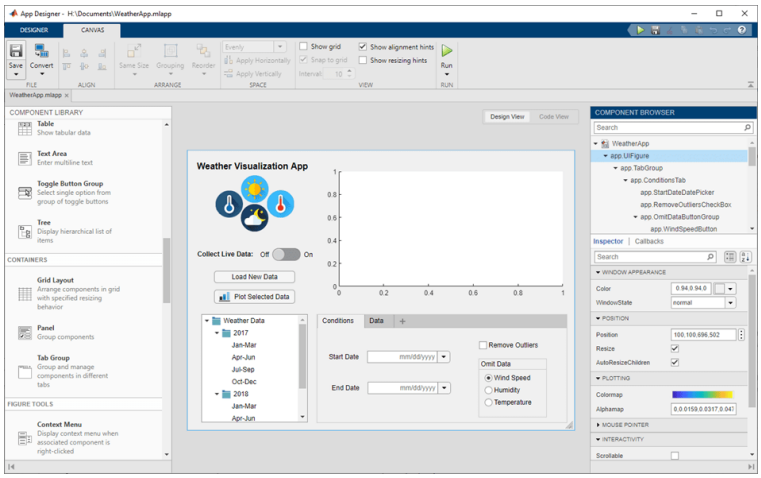


Fig. 21 Interfaz - App Designer Matlab

En la construcción del software con la herramienta App Designer se pudo implementar múltiples funcionalidades de cálculos que nos presenta este software de desarrollo.

En la evaluación de la irradiación solar se presenta con dos métodos de cálculo donde la primera se selecciona el mínimo de irradiación durante todo el año con un factor según el ángulo de instalación de los paneles solares.

$$Irradiación = \sum_{m=1}^{12} Irmn \cdot cos(\theta) + Ird \quad (1)$$

Irmn = es la irradiación mínima mensual.
Ird= radiación difusa
θ =angulo de instalación de paneles
m = número de meses (de 1 a 12).

Como segundo método se utiliza el promedio de irradiación de todo el año según la base de datos importada.

$$Irradiación = \frac{\sum^{I} rm}{n} \quad (2)$$

Irm=Irradiación mensual
n=Numero de meses

Para el cálculo de las cargas a suplir con el sistema fotovoltaico se realiza el cálculos de la potencia y energía requerida con las siguientes ecuaciones.

$$P_{Instalada} = \sum Potencia\ dispositivo\ [W] * \#\ de\ equipos \quad (3)$$

$$E_{Instalada} = \sum Energia\ consumida\ por\ hora[Wh] * \#\ de\ equipos * Horas\ de\ Uso \quad (4)$$

Al tener estas dos variables respectivamente se usan para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Se le aplica la corrección según la eficiencia del inversor ecuación (5)

$$P_{InstCorregida} = \frac{P_{Instalada}}{Eficiencia\ Invensor} \quad (5)$$

$$E_{InstCorregida} = \frac{E_{Instalada}}{Eficiencia\ Invensor} \quad (6)$$

$$E_{totalDC} = \frac{E_{Instalada}}{Eficiencia\ Invensor} \quad (6)$$

$$E_{suministrada_{carga}} = E_{total_{DC}} * (1 + FS) \quad (7)$$

Para el cálculo de numero de paneles necesarios para suplir el sistema se aplica las siguiente ecuaciones donde se tiene en cuenta niveles de irradiación

$$P_{Gen_{FV_{wp}}} = \frac{E_{suministrada_{carga}}}{Y_R} \quad (8)$$

$$Y_R = \frac{Irradiación\ [kWh/m^2]}{G_{STC}[W/m^2]} \quad (9)$$

$$Cantidad\ de\ paneles = \frac{P_{Gen_{FV_{Wp}}}}{P_{panel\ FV}} \quad (10)$$

$$\#Bateria\ Paraleo = \frac{C_t * DA}{PDB} \quad (11)$$

$$C_t = Consumo\ total\ [A]$$
$$DA = Dias\ de\ Autonomia$$
$$PDB = Profundidad\ de\ desacrga\ de\ baterias$$

$$\#Bateria\ Serie = \frac{Tension\ del\ Sistema}{Tension\ nominal\ Bateria} \quad (12)$$

Utilizando las fórmulas anteriores, se determina la cantidad de baterías necesarias para el sistema. Para obtener el número total de baterías, se multiplica el número de baterías en serie por el número de baterías en paralelo.

$$\#Baterias = \#Bateria\ Paraleo\ \text{X}\ \#Bateria\ Serie \quad (13)$$

El cálculo de las cargas estimadas que el sistema debe suplir toma en cuenta variables diarias como el consumo de cada dispositivo y las horas de uso. Esta estimación es clave para determinar la Potencia Instalada y la energía requerida que el sistema fotovoltaico debe generar.

$$Potencia\ Instalada\ = \sum P_{equipo} \quad (14)$$

$$Energia\ Requerida = \sum P_{equipo} * Horas\ de\ uso\ diario \quad (15)$$

P_{equipo}=Potencia en Vatios [W] de cada equipo a conectar al sistema

En la implementación de las cargas y la configuración de los perfiles precargados, se han establecido escenarios considerando la cantidad de residentes en un hogar, la ubicación del sistema (ya sea en zona urbana o rural) y el tipo de elementos a alimentar, categorizados como básicos o complementarios, también se implementó un escenario para escuelas.

Las especificaciones precargadas de cada elemento se basaron en tablas de consumo aproximado correspondientes a los equipos utilizados comúnmente en Colombia. Se basaron en un estudio realizado en el año 2022 “Análisis del Consumo de Subsistencia de la Energía Eléctrica en Colombia”

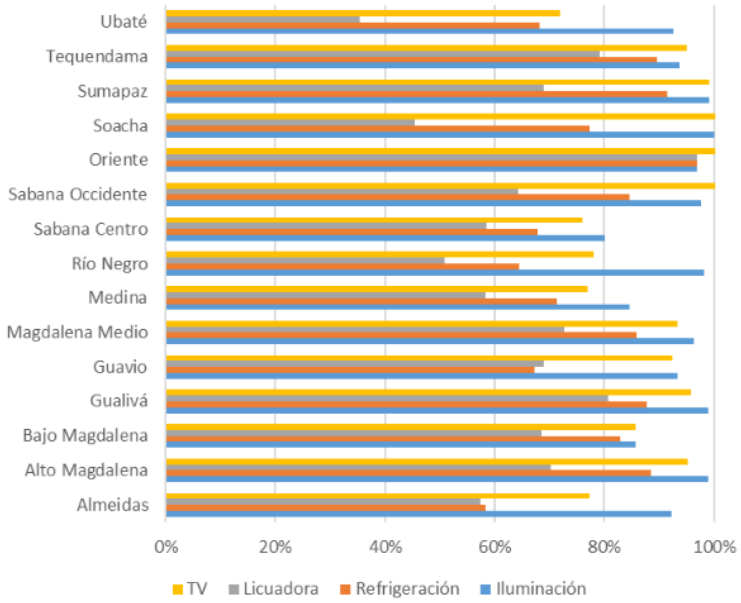


Fig. 22 Participación por uso/electrodoméstico en las zonas rurales de Cundinamarca

Un ejemplo de las cargas encontradas en un hogar para dos personas se detalla en la Tabla 7, correspondiente a una zona urbana con necesidades complementarias. Estas cargas sirvieron como base para la creación de los perfiles precargados. En caso de ser necesario, las cargas pueden modificarse según las necesidades específicas del análisis.

Tabla 7 Carga en software para caso especifico

Carga	Cantidad	Potencia Unitaria [W]	Potencia Total [W]	Cantidad Horas día	Energía [Wh]
Televisor	1	180	180	4	720
Licuadora	1	400	400	0,1	40
Eq. Sonido	1	200	200	1	200
Nevera	1	300	300	2	600
Lavadora	1	700	500	1,5	750
Plancha	1	1000	1000	0,25	250
Iluminación	5	10	50	3	150
		Total	2630		2710

Casos precargados:

En el software contamos con escenarios presentados en Tabla 8, cada uno fue cargado respecto a análisis mostrados anteriormente en la Fig. 22.

Tabla 8 Cargas predefinidas en el software

No Personas	Zona	Tipo
2	Urbana/ Rural	Regular/Complementaria
4	Urbana/ Rural	Regular/Complementaria
5	Urbana/ Rural	Regular/Complementaria
6	Urbana/ Rural	Regular/Complementaria
N/A	Urbana/ Rural	Escuela

Siendo estos los escenarios precargados del programa para manejo fácil y directo, también se cuenta con la opción de modificarlos según requerimientos de cada caso a analizar

Selección de equipos:

Para cada equipo precargado en el software se tuvo en cuenta su ficha técnica con sus especificaciones, las cuales asociamos a cada uno de las opciones de soluciones implementadas en el software

- **Panel Sola RTM 100 P**

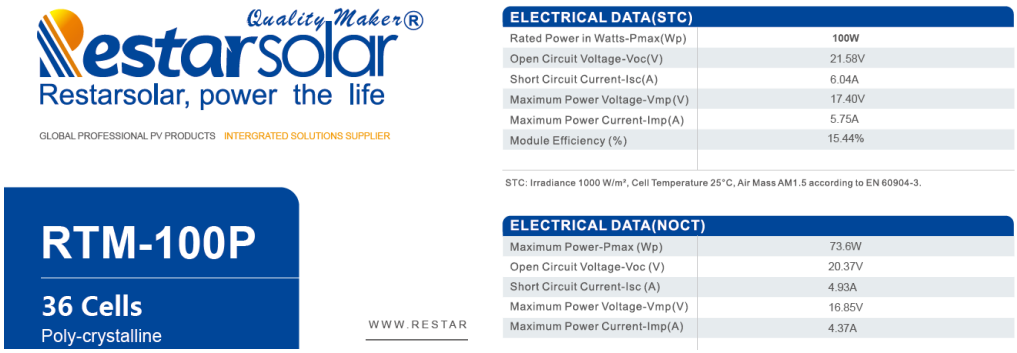


Fig. 23 Especificaciones técnicas Paneles Solares

Entre las variables necesarias las más importantes a la hora de seleccionar paneles son los niveles de tensión que general el panel, su potencia, su costo, mantenimiento y sus dimensiones.

Las especificaciones técnicas y variables necesarias para cálculo y dimensionamiento solar se agregaron al software, el software cuenta con 10 tipos de paneles que se ajustan a diferentes necesidades y soluciones económicas.

- **PV3000 LMPK**

MODEL		PV30-1KW LMPK	PV30-1.5KW LMPK	PV30-2KW LMPK	PV30-3KW LMPK	PV30-4KW LMPK	PV30-5KW LMPK	PV30-6KW LMPK
Nominal Battery System Voltage		12VDC | 24VDC	12VDC | 24VDC	12VDC | 24VDC	24VDC | 48VDC	24VDC | 48VDC	48VDC	48VDC
INVERTER OUTPUT	Rated Power	1 KW	1.5 KW	2 KW	3 KW	4 KW	5 KW	6 KW
	Surge Rating(20ms)	3 KW	4.5 KW	6 KW	9 KW	12 KW	15 KW	18 KW
	Capable Of Starting Electric Motor	1HP	1HP	1HP	2HP		3HP	
	Waveform	Pure sine wave \ same as input (bypass mode)						
	Nominal Output Voltage RMS	100V \110V \ 120V \ 220V \ 230V \ 240VAC (±10% RMS)						
	Output Frequency	50Hz \ 60Hz ±0.3Hz						
	Inverter Efficiency (Peak)	>88%						
	Line Mode Efficiency	>95%						
	Power Factor	1.0						
	Typical Transfer Time	10ms(max)						
AC INPUT	Voltage	230VAC						
	Selectable Voltage Range	96~132VAC 155~280VAC(For personal computers)						
	Frequency Range	50Hz \ 60Hz(Auto sensing) 40~80Hz						
BATTERY	Minimum Start Voltage	10.5VDC \ 11VDC for 12VDC mode(*2 for 24VDC, *4 for 48VDC)						
	Low Battery Alarm	11VDC ±0.3V for 12VDC mode(*2 for 24VDC, *4 for 48VDC)						
	Low Battery Cut Off	10.5VDC ±0.3V for 12VDC mode(*2 for 24VDC, *4 for 48VDC)						
	High Voltage Alarm	16.0VDC ±0.3V for 12VDC mode(*2 for 24VDC, *4 for 48VDC)						
	High Battery Voltage Recover	15.5VDC ±0.3V for 12VDC mode						
	Idle Consumption-Search Mode	<25W when power saver on						

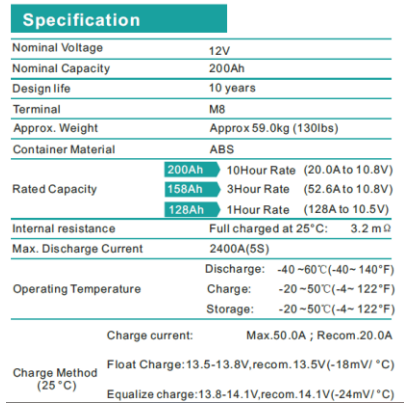
Fig. 24 Especificaciones técnicas Inversor

Entre las variables que se debe tener en cuanta en el inversor son la capacidad en potencia que debe ser mayor o igual a la potencia requerida en el sistema, teniendo en cuanta niveles de tensión y corriente de entrada y salida para tener compatibilidad con los otros equipos.

Las especificaciones técnicas y variables necesarias para cálculo y dimensionamiento solar se agregaron al software, el software cuenta con 8 tipos de inversores que se ajustan a diferentes necesidades y soluciones económicas.

- **MP GEL MP-200-12V**

Para selección de baterías se debe tener en cuenta la capacidad de almacenaje de energía en su corriente y la tensión de cada una ya que debe ser compatible con el sistema de inversión, un fundamento muy importante es la capacidad de descarga ya que de eso depende la vida útil de los sistemas de almacenamiento y su costo.



Specification

Nominal Voltage	12V	
Nominal Capacity	200Ah	
Design life	10 years	
Terminal	M8	
Approx. Weight	Approx 59.0kg (130lbs)	
Container Material	ABS	
Rated Capacity	200Ah	10Hour Rate (20.0A to 10.8V)
	158Ah	3Hour Rate (52.6A to 10.8V)
	128Ah	1Hour Rate (128A to 10.5V)
Internal resistance	Full charged at 25°C:	3.2 mΩ
Max. Discharge Current	2400A(5S)	
Operating Temperature	Discharge:	-40 ~60℃(-40~ 140°F)
	Charge:	-20 ~50℃(-4~ 122°F)
	Storage:	-20 ~50℃(-4~ 122°F)
Charge Method (25 °C)	Charge current:	Max.50.0A ; Recom.20.0A
	Float Charge:	13.5-13.8V,recom.13.5V(-18mV/ °C)
	Equalize charge:	13.8-14.1V,recom.14.1V(-24mV/ °C)

Fig. 25 Especificaciones técnicas de baterías

Las especificaciones técnicas y variables necesarias para cálculo y dimensionamiento solar se agregaron al software, el software cuenta con 8 tipos de inversores que se ajustan a diferentes necesidades y soluciones económicas.

Durante cada fase del proceso de elaboración, se crearon las distintas ventanas que conformarán el programa. Después de completar cada etapa, corregir errores y realizar mejoras, se procedió a compilar cada ventana en un único programa, donde cada una está enlazada de acuerdo al proceso que realiza.

4.1.4. Transición

Para la metodología empleada en el software, se desarrolla dos aspectos: la correcta documentación del diseño de software y proceso de análisis de los datos de sistema fotovoltaico.

En esta etapa se realiza la validacion de los resultado obtenidos en el software, con una herramienta de calculo desarrollada en excel la cual cuenta con los diferentes calculos

El hecho de tener un instalador que funcione en sistemas operativos Windows y Linux es crucial para asegurar la accesibilidad del software a una amplia gama de usuarios interesados en energías renovables. Esta capacidad de adaptación a diferentes sistemas operativos aumenta la versatilidad y la utilidad del software.

El manual de uso detallado, que describe cada ventana y el proceso general del programa, es fundamental para garantizar que los usuarios puedan aprovechar al máximo las funcionalidades del software; Proporcionar esta guía orientativa les permite entender y utilizar eficazmente todas las herramientas y ventanas disponibles, lo que facilita la obtención de los resultados deseados y les da la confianza necesaria para trabajar con el programa.

Además, al enfocarse en la obtención de los mejores resultados esperados, el manual de uso probablemente incluya consejos, mejores prácticas y posiblemente ejemplos para asegurar que los usuarios maximicen la eficacia del software en el dimensionamiento de equipos y paneles solares para sistemas fotovoltaicos. Esto garantiza que los usuarios obtengan resultados precisos y útiles para sus proyectos de energía renovable.

De acuerdo a la norma NTC/ISO IEC 17025, permite pautas para elaborar la documentación de un producto [[25] .Al final de realizar el proceso de documentación del software, se emplea el modelo KITE, para la evaluación del software en el ámbito académico. Para la metodología empleada en el software, se desarrolla dos aspectos: la correcta documentación del diseño de software y proceso de análisis de los datos de biomasa.

De acuerdo a la norma NTC/ISO IEC 17025, permite pautas para elaborar la documentación de un producto [12] Al final de realizar el proceso de documentación del software, se emplea el modelo KITE, para la evaluación del software en el ámbito académico.

4.2. Documentación y uso del software

En la documentación del software, se utiliza un modelo en cascada para establecer las bases de documentación relacionadas con el uso, manejo y desarrollo del software. Esto se logra mediante la creación de una matriz de trazabilidad que aborda los siguientes aspectos:

- **Matriz de trazabilidad**

Con base de la matriz de trazabilidad mostrada en la Fig. 6, se tienen en cuenta siete elementos para asegurar el ejercicio documental sobre el manejo y desarrollo del software SolarAnalyzer.

• El primer componente, identificación de necesidades, facilita la determinación de los recursos computacionales necesarios para el óptimo funcionamiento del software.

• El segundo componente, descripción de requisitos, detalla los recursos, procesadores y versiones de sistema operativo requeridos para ejecutar el software.

• El tercer componente, desarrollo del software, expone minuciosamente cómo se diseñó el software, con un enfoque en la creación de sus funciones para el dimensionamiento energético de sistemas fotovoltaicos de pequeña o mediana escala.

• El cuarto componente, implementación del software, dentro de la matriz de trazabilidad, registra el proceso de compilación y ejecución del software, identificando errores y mejoras en un ciclo de desarrollo iterativo.

• A continuación, el componente 5, instalación y confirmación, proporciona una descripción detallada de la instalación del software y la verificación de cada una de sus funcionalidades.

• El sexto componente, gestión de mantenimiento, abarca las tareas de mantenimiento realizadas por parte de los desarrolladores para mantener actualizado SolarAnalyzer. Para llevar a cabo este proceso, hemos elegido el repositorio Git, un sistema profesional de distribución y control de versiones de software (https://git-scm.com/), como el mecanismo de trabajo para rastrear este elemento y el componente 7, desarrollo de versiones. En el componente 7, se documentan las mejoras, actualizaciones, creación de versiones posteriores y se recopila la retroalimentación de los usuarios para depurar errores.

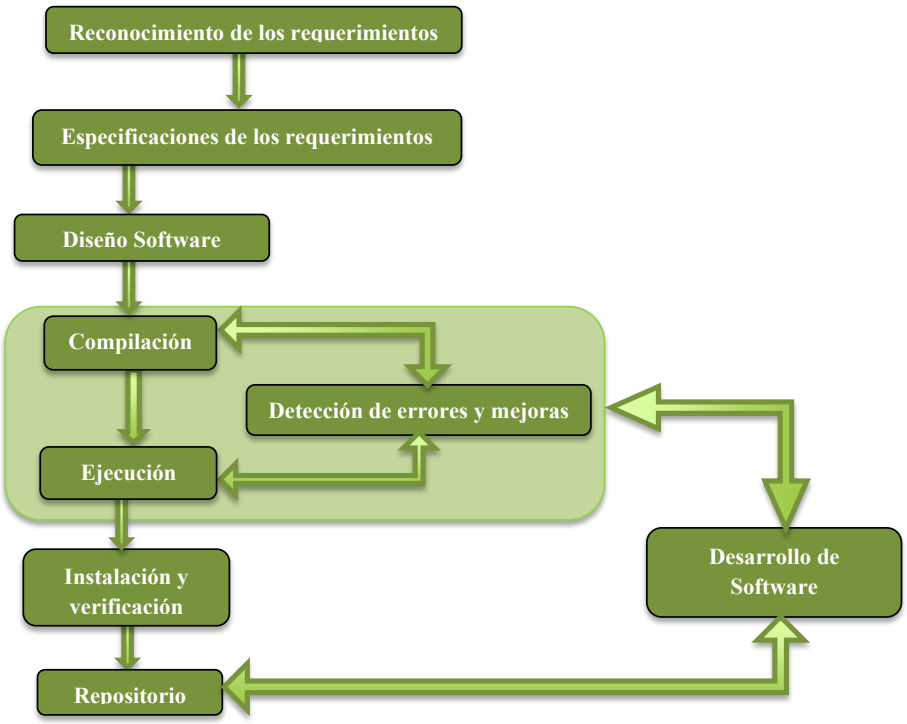


Fig. 26 Matriz de trazabilidad de **SolarAnalyzer**

- **Reconocimiento de los requerimientos**

El propósito es determinar y definir los recursos informáticos requeridos, considerando que se ejecutará una aplicación que hará uso de un compilador de MATLAB, este compilador cuenta con un amplio conjunto de bibliotecas matemáticas para realizar cálculos avanzados, es necesario contar con un mínimo de 4GB de RAM para poder ejecutar las funciones disponibles.

- **Especificaciones de los requerimientos**

Se propone que el software pueda ser ejecutado en mínimo dos sistemas operativos (Windows y Linux), el software será probado en equipos con una memoria entre 4GB y 8GB para evaluar su desempeño en equipos que no cumplan con los requerimiento mínimos de para su ejecución.

4.2.1. Diseño de software

Dado que esta es la primera edición del software, se requiere que, para garantizar la compatibilidad con futuras versiones, se utilicen las versiones más recientes de MATLAB y el compilador más actual. MATLAB ofrece la posibilidad de personalizar el icono principal de la aplicación, lo que permite diseñar uno único que refleje su singularidad.

4.2.2. Implementación

Se registrará el proceso de compilación y ejecución de la aplicación. gestionando tres procesos principales: Compilación, Ejecución y Detección de errores y aplicación de mejoras. Esto brindara más robustez a la aplicación.

En cada proceso se validará el funcionamiento de cada interfaz gráfica revisando funcionalidad de botones, cuadros de texto, pestañas e imágenes según su programación en código.

Dentro del entorno de App Designer, se diseñan archivos para cada ventana con formato 'mlapp'. El software se implementa en seis archivos mlapp, los cuales se ejecutan conforme son llamados en el código fuente desarrollado. Es importante mencionar que el programa incorpora dos idiomas de forma integrada, los cuales pueden ser modificados en cualquier momento. El idioma predeterminado es el español, pero se ofrece la posibilidad de cambiarlo al inglés, lo que permite que el software sea de utilidad a nivel mundial.

4.2.3. Instalación y verificación

Se describe en detalle el proceso de funcionamiento y la instalación. Utilizando el software MATLAB, el usuario obtiene un instalador como resultado final, el cual descargará únicamente el compilador necesario para ejecutar todo el código interno y, de este modo, instalar nuestra aplicación. Es importante destacar que, para cada sistema operativo, el instalador que exporta MATLAB durante el proceso de creación es específico y diferente

4.2.4. Mantenimiento

Para el desarrollo de actualizaciones y mejores posteriores se habilita el almacenamiento de diferentes versiones en un repositorio “GitHub” para tener el control de las versiones futuras, esta plataforma perite llevar un historial y seguimiento de las futuras modificaciones.

4.3. Algoritmo del análisis de los datos solares

Como punto de partida para el análisis de recursos solares destinados a la implementación de paneles fotovoltaicos a pequeña escala, se utilizaron bases de datos descargadas de la página oficial de la NASA. https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/ estas bases de datos se pueden obtener en función del lugar específico donde se planea instalar el sistema fotovoltaico.

Una vez que el usuario suministra la base de datos, se procede a recopilar las variables necesarias para el proceso. Luego, se continúa con la introducción de los datos de carga que deben ser suministrados por el usuario, permitiéndole ajustar la carga según sus necesidades específicas.

4.3.1. Ingreso de datos

El usuario debe suministrar un archivo que contenga la base de datos correspondientes a nuestras variables de entrada es importante que el usuario al momento de ingresar en el software, tenga las facilidades en la subida de archivos y ventanas emergentes para la configuración de variables que son necesarias para el aplicativo.

Por eso, se prevé una ventana principal que contiene las funciones básicas: Subir archivo, configuración de las variables de ese archivo, el proceso de comenzar el proceso de análisis y un instructivo del software en general.

Como es pertinente, el usuario dispondrá de un instructivo donde tendrá explicado cada proceso que debe seguir para la subida del archivo que contenga la base de datos y el uso adecuado que debe tener para el dimensionamiento del archivo para evitar posibles fallos en la lectura de datos; por último, empezar a utilizar las aplicaciones con las variables debidamente configuradas.

4.3.2. Manejo de aplicación

Con el fin de llevar al usuario paso a paso utilizando cada aplicación de forma secuencial, es planteado el siguiente orden que usuario debe utilizar para seguir el proceso de análisis y selección del sistema fotovoltaico.

- **Ventanas variables cargadas**

En esta ventana, se toman en consideración las variables importadas desde la base de datos, que incluyen información sobre el potencial solar promedio mensual en la zona donde se implementará el sistema fotovoltaico. El usuario tiene la capacidad de modificar estos valores mes a mes, una vez que la información ha sido cargada, para corregir cualquier variable que no haya sido importada correctamente. Un factor crítico en el cálculo del potencial eléctrico es el ángulo de instalación de los paneles solares. En esta ventana,

se dispone de una barra deslizante que permite al usuario ajustar el ángulo de instalación de los paneles.

Además, el usuario tiene la opción de elegir entre dos métodos para el cálculo del potencial solar: el promedio anual o el nivel mínimo anual.

- **Demanda Energética**

El programa incluye niveles de potencia y consumo estándar precargados para un hogar diario, pero el usuario tiene la flexibilidad de ajustar estos niveles de carga según sus necesidades. Una vez que el usuario haya personalizado estas especificaciones, puede guardar las configuraciones de carga y calcular los niveles de potencia requeridos.

- **Selección de Equipos**

El software tiene precargados especificaciones técnicas de equipos como lo son paneles solares, baterías e inversores donde se presentan equipos comerciales para el cálculo y obtención de resultados, también se tiene la opción para ingresar dichas especificaciones según requerimiento del usuario.

- **Topología**

En la venta de topología se evidencia la configuración recomendad en baterías, y en se tiene la opción de seleccionar la manera como configurar los paneles solares, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en cálculos donde se puede validar la configuración establecida por el usuario.

5. RESULTADOS

5.1. Estructura de software



Fig. 27 Icono del software

Para efectos de identificación y reconocimiento por parte del usuario, se ha diseñado un icono para el software SolarAnalyzer. Este icono representa un sol con un panel fotovoltaico, la combinación de un sol con un panel fotovoltaico es una representación visual clara de la fuente de energía solar y su potencial para la sostenibilidad del planeta Fig. 27

En su enfoque de diseño, se enfoca en un proceso de análisis dividido en cuatro etapas. Inicialmente, se examina la cantidad de radiación solar en un lugar específico, que sirve como fuente de recursos energéticos. Luego se estudia la carga a la cual va a ser implementado, lo que a su vez permite el cálculo de las variables necesarias para dimensionar paneles fotovoltaicos, Fig. 28.

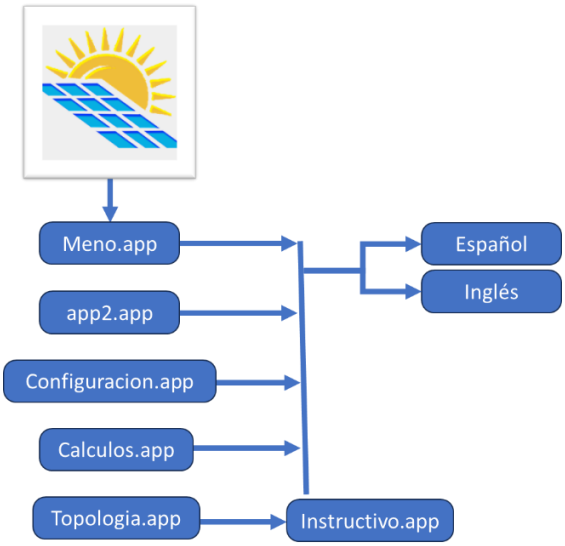


Fig. 28 Estructura de Software

5.1.1. Idioma

El programa está disponible en dos idiomas: español e inglés, lo que permite a los usuarios cambiar el idioma según sus preferencias en cualquier ventana que aparezca. La decisión de incluir estos dos idiomas tiene como objetivo ampliar al máximo la base de usuarios que requieran SOLARANALIZER. Por defecto, SOLARANALIZER muestra los diálogos en español, ya que es el idioma local en la producción de este software. Fig. 29.



Fig. 29 Selección de Idioma

5.1.2. Ventana inicial

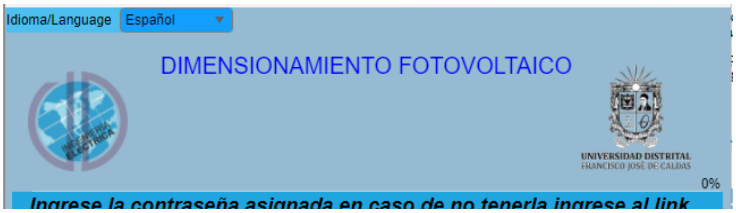


Fig. 30 Ventana principal software SolarAnalyzer.

La contraseña se solicita a través del link que está en fuente amarilla llenando un formulario de control de acceso Fig. 31.

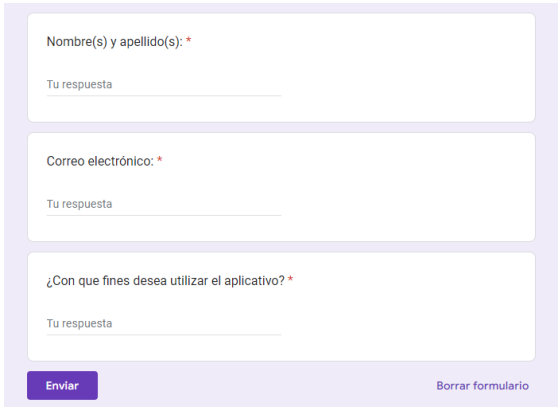


Fig. 31 Formulario gestión password.

Una vez ingresado el password al programa se abre la ventana de inicio donde pregunta al usuario si es la primera vez maneja el programa como lo podemos ver en la Fig. 32



Fig. 32 Venta Inicial del Programa SOLARANALYZER

5.1.3. Venta de instrucciones

Si elige la opción 'Sí', se abrirá la ventana de instrucciones que proporciona pautas para el uso del programa y recomendaciones correspondientes Fig. 33.

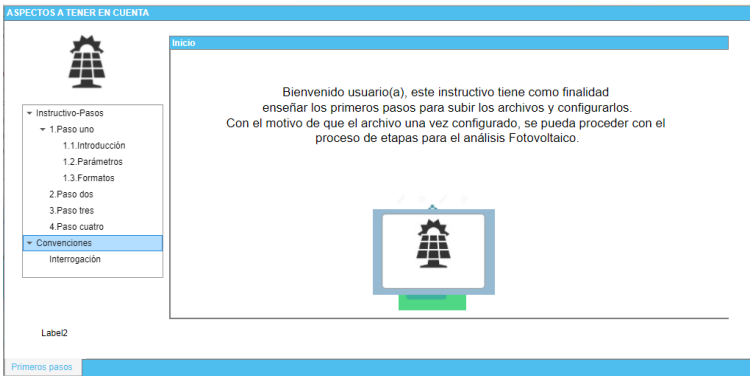


Fig. 33 Interfaz de Instrucciones

Inicialmente para el proceso del dimensionamiento solar es necesario disponer de una base de datos con las diferentes variables respecto a la energía solar en el lugar donde se piensa ubicar la solución fotovoltaica [26]

- Radiación Solar
- Irradiancia
- Radiación Directa
- Radiación Indirecta

La ventana de instrucciones detalla los pasos clave para cargar información relacionada con la configuración de un archivo que contenga una base de datos pertinente para el análisis de la solución y para comprender las convenciones utilizadas por el software SOLARANALYZER y proporciona un ejemplo del archivo que debe ser cargado al programa.

El primer paso es la carga de archivos de datos en SOLARANALYZER, dado que para la instalación de un sistema fotovoltaico es necesario conocer las diferentes variables que afectan el lugar donde se requiere la solución fotovoltaica.

Es necesario crear un archivo con las extensiones más comunes utilizadas en bases de datos, ya que el programa sigue un orden específico para reconocer la información de manera efectiva. Una vez que el archivo se carga, el usuario puede modificar estos valores dentro de la interfaz, lo que brinda al usuario un control total sobre las variables necesarias para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Como parte del proceso, es esencial considerar las cargas a las cuales se implementará el sistema fotovoltaico. Para aplicaciones a pequeña escala, se propone un hogar estándar como ejemplo. El programa proporciona especificaciones técnicas precargadas que se pueden ajustar según las necesidades y los requisitos del estudio a realizar.

El proceso de dimensionamiento comienza al cargar un archivo. Se recomienda descargar el archivo de la base de datos de la NASA, ya que contiene información a nivel mundial que incluye múltiples variables de recurso solar necesarias para el cálculo de sistemas fotovoltaicos.

5.1.4. Primeros pasos

Al iniciar el aplicativo solo se tendrá habilitado el botón para cargar la base de datos una vez se oprime el botón nos abre un explorador de archivos en donde se buscará el archivo correspondiente de la base de datos del lugar donde se implementará el sistema fotovoltaico los formatos admitidos por el software son en base a Excel Fig. 35.



Fig. 34 Botón para cargar base de datos

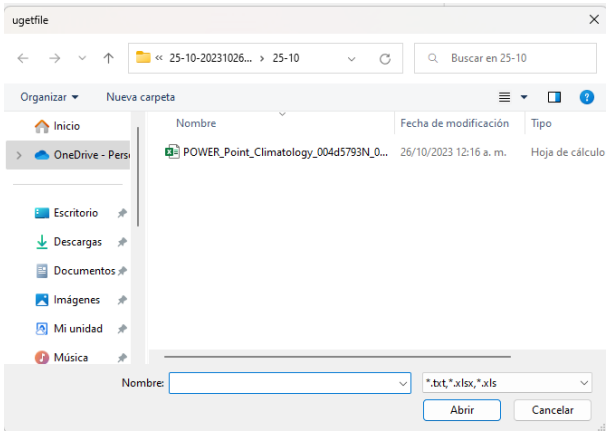


Fig. 35 Explorador de archivos

Una vez seleccionado el archivo el software comienza a importar las variables de la base de datos con las cuales se procederá a realizar los cálculos como muestra la Fig. 37, cuando la importación de las variables es exitosa automáticamente se presenta un mensaje de importación CHECK Fig. 36.

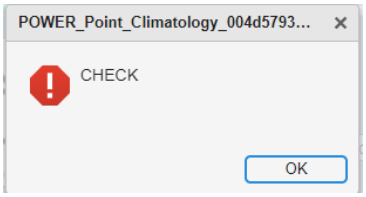


Fig. 36 Mensaje de Importación Completa

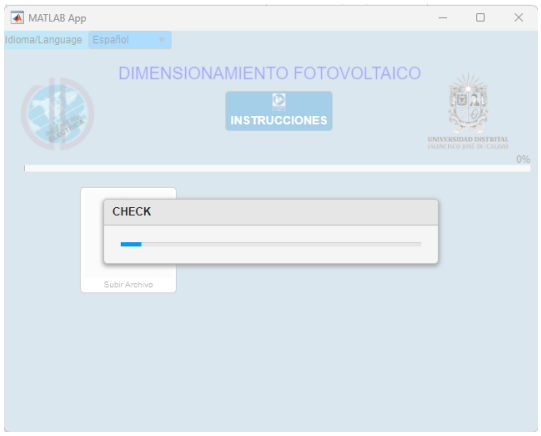


Fig. 37 Importación de variables

Con las variables ya en el software se habilita el botón de radiación donde se procede a tomar las variables y realizar respectivos cálculos sobre disponibilidad de energía solar del lugar a estudiar Fig. 38.



Fig. 38 Menú principal habilitado botón de radiación

5.1.5. Ventana aplicaciones para el dimensionamiento

En la interfaz de radiación ver Fig. 39, En tabla encontramos los parámetros importados desde la base de datos, estos parámetros son variables estandarizadas que se utilizan en el cálculo del recurso solar disponible en el lugar donde se implementará el sistema fotovoltaico durante un año.

Column 1	Column 2	Column 3
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	4.21	4.81
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	5.15	4.93
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	5.03	4.88
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	5.26	4.94

Fig. 39 Tabla con variables importadas



Fig. 40 Botón Datos Nasa

Se continúa oprimiendo el botón datos nasa el cual nos carga las variables de irradiancia solar del lugar, en promedio por mes; lo que nos autocompleta los datos promedio de cada mes durante 12 meses que es lo necesario para realizar un cálculo de potencial energético solar, Fig. 41.

5.1.6. Recursos disponibles



Fig. 41 Radiación promedio mensual

Si necesitas modificar o corregir algún dato de los valores autocompletados, puedes hacerlo mes a mes seleccionando el cuadro correspondiente al mes que deseas ajustar. Una vez que hayas seleccionado el mes que necesitas modificar, se habilitará un cuadro de texto que te permitirá cambiar la radiación promedio mensual de ese mes en particular Fig. 42.

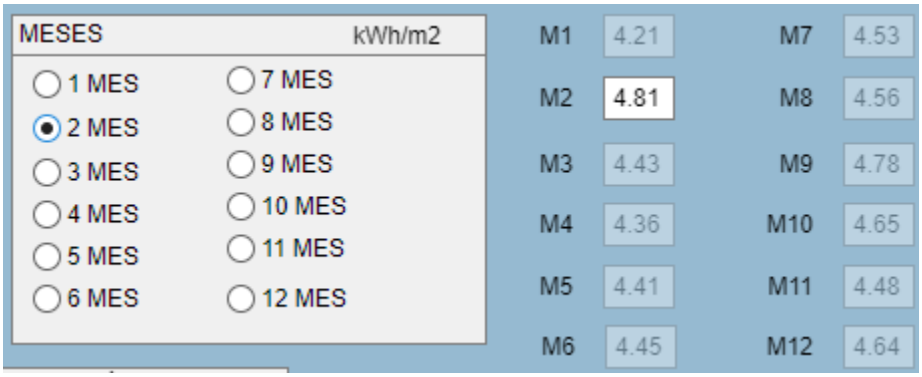


Fig. 42 Modificación mes a mes de la radiación

Un factor crucial en el cálculo del potencial solar es el ángulo de instalación del panel, ya que puede tener un impacto significativo en la cantidad de radiación recibida por el panel, lo que a su vez puede reducir el nivel de potencial solar aprovechable, en el software manejamos un rango de 0° a 45° de inclinación donde se puede elegir cualquiera en la barra deslizable Fig. 43.

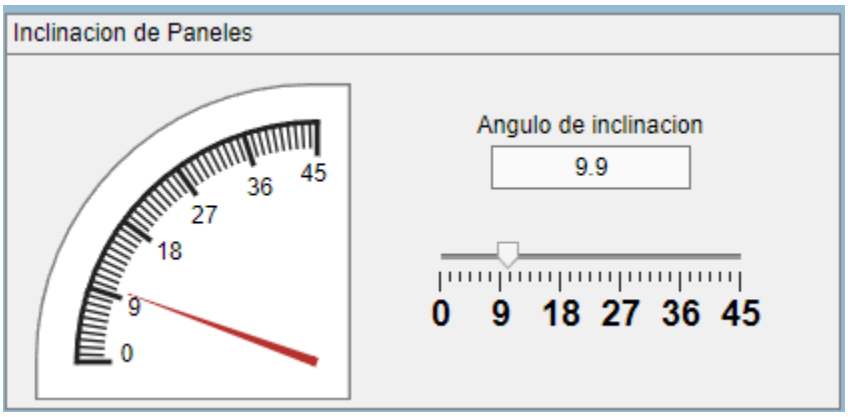


Fig. 43 Angulo de instalación de los paneles solares

Antes de realizar el cálculo, debes seleccionar uno de los dos métodos que ofrecemos: el uso del mínimo de radiación solar presente durante todo el año o el promedio calculado durante el año completo. Es importante destacar que la opción recomendada es el mínimo de radiación, ya que representa el nivel más bajo de radiación solar en el lugar donde se instalará la solución fotovoltaica Fig. 44.

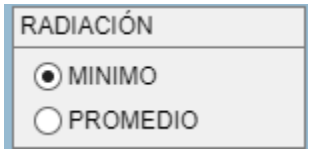


Fig. 44 Métodos de Calculo

Una vez seleccionado el método procedemos a oprimir el botón calcular lo que nos proporcionara un valor de radiación solar con la cual se realizara el dimensionamiento de paneles fotovoltaicos Fig. 45



Fig. 45 Botón Calcular

Según los parámetros ingresados y modificados, representamos gráficamente los niveles de radiación solar a lo largo del año. Esto permite visualizar los niveles mes a mes, así como la radiación con la que se realizarán los cálculos Fig. 46.

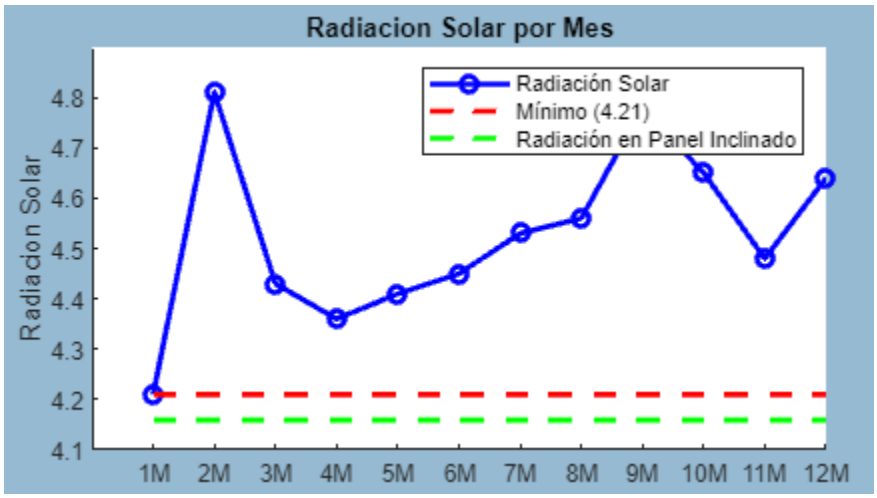


Fig. 46 Grafica de Radiación Solar durante el año con método de radiación mínima

En la Fig. 47, se observa el cambio de la variable cuando se usa el método del promedio de radiación anual.

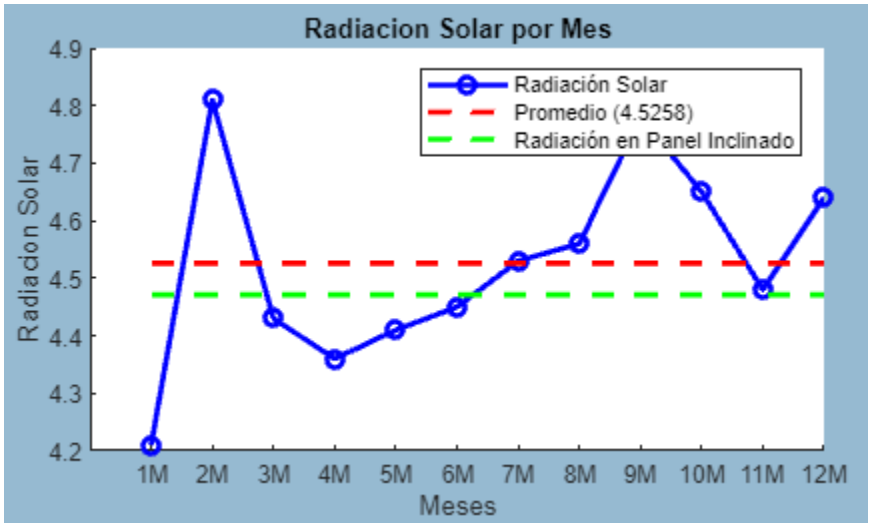


Fig. 47 Grafica de Radiación Solar durante el año con método de radiación promedio

Una vez que hayas seleccionado el método y los parámetros necesarios, puedes proceder a guardar los datos para el dimensionamiento respectivo. La ventana de radiación se cerrará automáticamente y se abrirá el menú principal. Desde allí, puedes continuar haciendo clic en el botón 'Cargas' para ingresar los datos de demanda energética a los cuales deseas instalar el sistema fotovoltaico, Fig. 48.



Fig. 48 Menú Principal con botón de cargas habilitado

En la Fig. 49 encontramos la interfaz para denominar las cargas que estarán en el sistema fotovoltaicos, en estas interfaz están algunos electrodomésticos que regularmente pueden presentarse en el hogar en donde se tienen unas cargas estimadas por electrodomésticos donde se puede elegir tipos de hogar precargados según necesidad del usuario Fig. 49



Fig. 49 Interfaz Gráfica Dimensionamientos de Cargas

En la casillas de cada electrodoméstico se habilita cada una de las cargas, dependiendo la necesidad y la carga a suplir, cada uno de los elementos puede ser modificado según el requerimiento de cada usuario, una vez se tenga todas las cargas dimensionadas se procede a guardar las cargas y a calcular para continuar con la selección de los equipos, siguiendo con el siguiente paso en el menú principal se habilita el botón calcular Fig. 51, a continuación se abre la pantalla del dimensionamiento y selección de equipos.

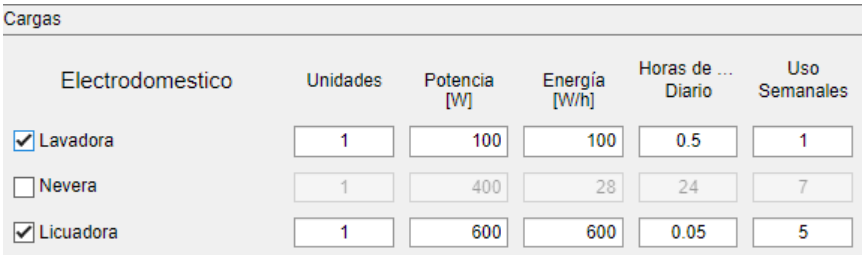


Fig. 50 Cargas activadas y modificables

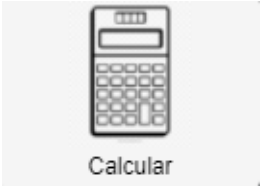


Fig. 51 Botón de Calcular

5.1.7. Dispositivos sugeridos

En la selección de paneles Fig. 52, tenemos 10 opciones precargadas con sus características, a su vez se tiene una opción en donde se podrá modificar las especificaciones técnicas de los paneles, según las necesidades del usuario o un caso específico que se quiera simular.

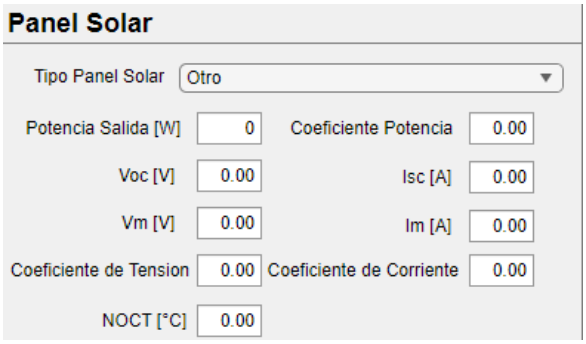


Fig. 52 Selección de Paneles

Al igual que los paneles tenemos opciones precargas en la selección de los inversores Fig. 53, donde se puede encontrar variedad de uso comercial, también contando con la opción de modificar parámetros necesarios para la realización de cálculos.

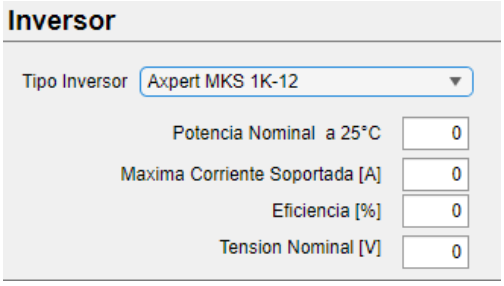


Fig. 53 Selección de Inversores

La selección de baterías tiene precargada algunas baterías de uso comercial Fig. 54, en donde se pueden cambiar los parámetros según necesidad del usuario.

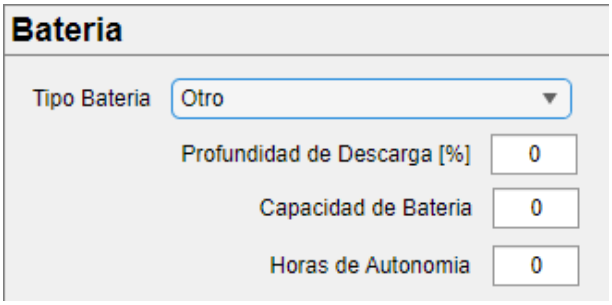


Fig. 54 Selección de baterías

Una vez seleccionado los tres equipos que harán parte del sistema fotovoltaico se debe ajustar la temperatura ambiente promedio en donde el sistema va a funcionar, para proceder al botón calcular, una vez completados los ítems anteriormente mencionados se presiona calcular y en la sección derecha en el panel de resultados obtendremos los cálculos respectivos de nuestro sistema fotovoltaico Fig. 55.

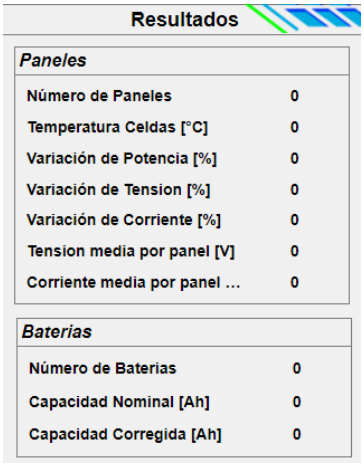


Fig. 55 Panel de resultados

5.1.8. Distribución de paneles

En la ventana de selección de equipos Fig. 56, se encontrarán diferentes secciones donde encontraremos la selección de paneles solares con diferentes especificaciones y características en donde se podrá elegir según necesidad del usuario.

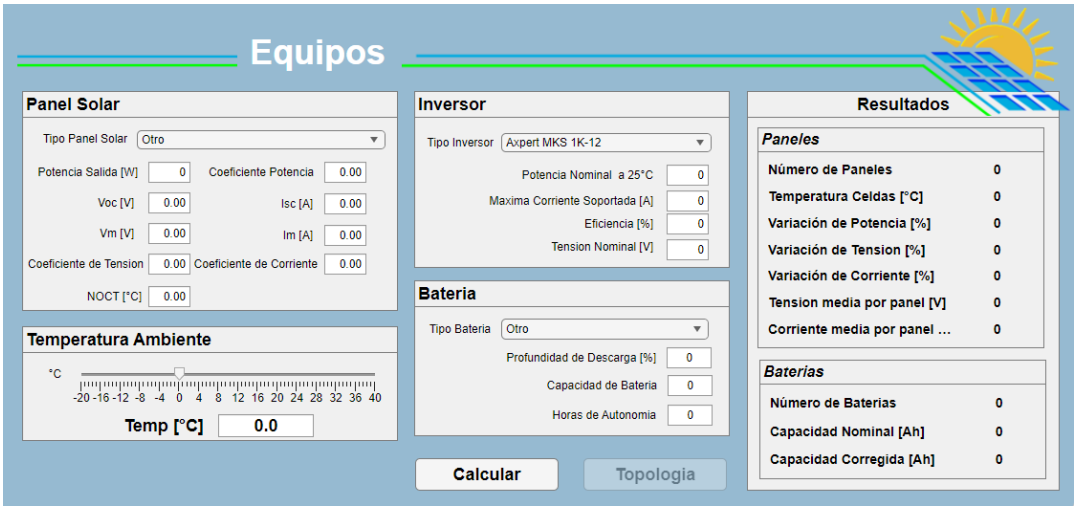


Fig. 56 Cálculos y Selección de Equipos

En la Fig. 57 Al presionar el botón 'Topología', se abrirá una ventana que mostrará las diversas opciones de configuración de los paneles fotovoltaicos, así como la configuración

disponible para el banco de baterías. En este espacio, se registrará el número de paneles seleccionado, ya que este valor es esencial para llevar a cabo validaciones específicas de acuerdo a la configuración deseada. Estas validaciones se realizarán para asegurar que la configuración sea óptima y cumpla con los requisitos del usuario.

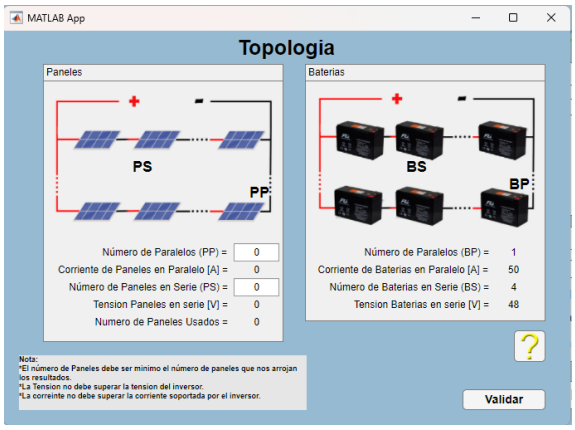


Fig. 57 Ventana Tipología de conexiones

Al ingresar la cantidad de paneles, tanto en configuración en paralelo como en serie, es importante tener en cuenta las notas presentadas en la parte inferior de la ventana. Después de ingresar las cantidades de paneles y hacer clic en 'Validar', pueden aparecer los siguientes mensajes, como se muestra en la Fig. 58, si la tensión en los paneles en serie supera los niveles máximos de tensión soportada por el inversor, se recomienda reducir el número de paneles en serie para asegurar una operación segura y eficiente del sistema; también se puede encontrar mensajes de advertencia si superamos los niveles de corriente máxima soportada, se recomienda reducir el número de paneles en paralelo, Fig. 59.

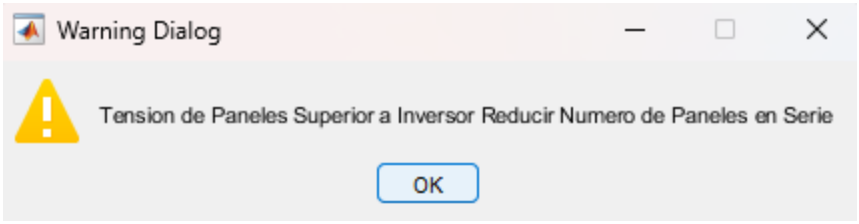


Fig. 58 Mensaje de advertencia Tensión Superior

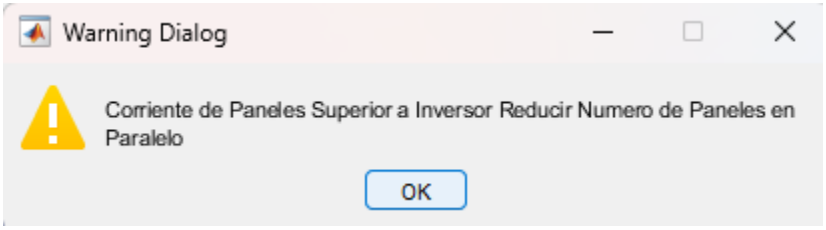


Fig. 59Mensaje de advertencia Corriente Superior

Cuando el número de paneles es menor al mínimo sugerido en la tabla de resultados Fig. 55, aparecerá el siguiente mensaje de alerta Fig. 60 en donde se debe agregar más paneles

a la configuración obteniendo una relación lo más cercana a la sugerida en los resultados para aprovechar mejores áreas de instalación y evitar sobrecostos de inversión.

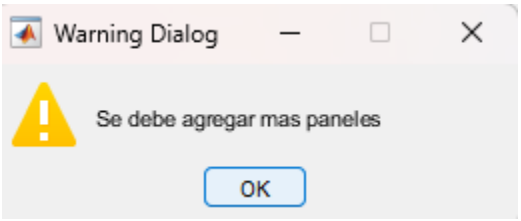


Fig. 60 Mensaje de advertencia Agregar más paneles

Cuando se realiza una combinación técnicamente funcional aparece el siguiente mensaje de validación Fig. 61, se debe tener en cuenta que el número mínimo de los paneles para dicha configuración.

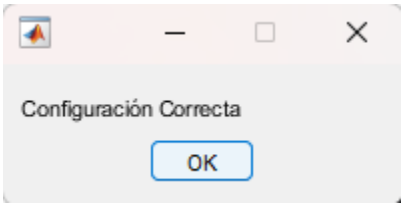


Fig. 61 Configuración Optima Técnicamente

5.1.9. Ventana Costos de proyecto

En la siguiente Fig. 62 se encuentra un estimado del costo del sistema a implementar donde se considera el valor de los equipo, para así tener un estimado del valor de la implementación del proyecto en costos de equipo, estos precios están en moneda colombiana (COP), con actualización a finales de año 2023.



Fig. 62 Ventana de Costos

5.1.10. Algoritmo del software

A través del 'App Designer' de 'MATLAB', se diseña cada ventana del software para configurar las interfaces gráficas. Esto permite que el usuario final pueda ingresar los datos y variables necesarios

para que el software genere un valor aproximado de la energía de la fuente y el recurso a utilizar; El diseño del software sigue el algoritmo ilustrado en la Fig. 63.



Fig. 63 Estructura del Software

5.2. Repositorio

En el ámbito del desarrollo de software científico, una práctica común entre docentes e investigadores es la utilización de herramientas de control de versiones. En este contexto, se ha seleccionado GitHub, una plataforma reconocida que emplea la herramienta git, diseñada por Linus Torvalds, para gestionar eficientemente las versiones de software (https://github.com/) [27]

La gestión de correcciones, modificaciones, actualizaciones generales y la documentación del proyecto SolarAnalyzer se llevarán a cabo mediante el uso de git. Este enfoque permite un control preciso y colaborativo del desarrollo del software.

Para acceder al código fuente de SolarAnalyzer, se facilita el acceso al repositorio en GitHub a través del siguiente enlace: https://github.com/JassonPabon20/SolarAnalyzer1.0.git aquí, los interesados encontrarán una interfaz intuitiva que posibilita la revisión, contribución y seguimiento del progreso del proyecto. Este repositorio centraliza las contribuciones de los colaboradores, fomentando una gestión eficiente y transparente del desarrollo del software científico SolarAnalyzer.

6. EVOLUCIÓN DEL SOFTWARE

La evaluación del **SolarAnalyzer** se realiza bajo el modelo KITE [28]. Este modelo permite evaluar las características específicas de productos desarrollados en el ámbito académico a través de cuadrantes KE, IT, KI y ET y determinantes K, I, T y E.

6.1. Cuadrantes

- **El cuadrante KE**

La "apertura investigativa del software" se refiere a la capacidad de un software para promover la investigación al brindar acceso abierto a su código fuente y permitir su modificación y distribución. En el caso de **SolarAnalyzer**, cumple con este aspecto proporcionando un método computacional para el dimensionamiento fotovoltaico a pequeña escala, facilitando la investigación en el campo de la energía solar, utiliza una licencia GPL [29] que permite la distribución y modificación del código fuente, promoviendo la colaboración e investigación continuas.

- **El cuadrante IT**

La energía solar fotovoltaica, como fuente de energía renovable, está teniendo un impacto cada vez mayor a nivel global. Su uso permite un autoabastecimiento de energía de manera más limpia. En sectores donde la energía solar es una opción viable, la capacidad de analizar y dimensionar sistemas con la ayuda de un software accesible y amigable tiene el potencial de promover aplicaciones con interfaces similares para otras fuentes de energía alternativa. Esto contribuye a impulsar la adopción de energías renovables y a reducir la dependencia de fuentes de energía no sostenibles en las comunidades.

- **El cuadrante KI**

En lo que respecta a 'la diseminación de nuevo conocimiento dirigido hacia una audiencia investigadora', es importante destacar que el software SolarAnalyzer, gracias a su licencia

GPL, facilita la implementación de diversos métodos para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos y, al mismo tiempo, contribuye a mejorar la robustez del software. Esto resulta en una difusión más efectiva de nuevos conocimientos en el ámbito de la energía solar hacia una audiencia investigadora.

- **El cuadrante ET**

Evalúa “la calidad de los atributos de desarrollo del software” en SolarAnalyzer se considera satisfactoria debido a las pruebas exhaustivas que se realizaron en el producto, así como al modelo que se diseñó para su uso y funcionalidad.

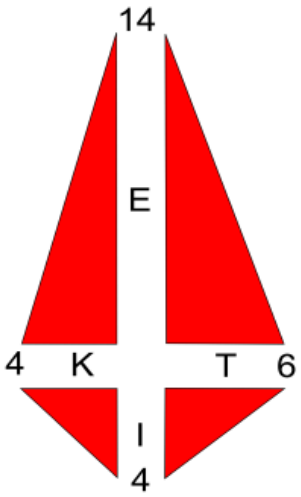


Fig. 64 Esquema de resultados para la aplicación del modelo

6.2. Determinantes

- **Determinante K:**

En el caso de la energía solar fotovoltaica, esto equivale al 'efecto de diseminación de nuevo conocimiento'. El software **SolarAnalyzer** proporciona a la comunidad un software científico de carácter formativo que guía a los usuarios en el contexto de alfabetización científica y tecnológica. Permite a los usuarios comprender el proceso de análisis solar fotovoltaico y cómo dimensionar un sistema fotovoltaico en función de los datos proporcionados por el usuario.

- **Determinante I**

En relación al 'impacto en la población objetivo', **SolarAnalyzer** facilita su acceso abierto tanto en la comunidad académica como en el sector no especializado en fuentes de energía alternativas. Esto se debe a su enfoque científico-formativo, lo que permite que un público más amplio pueda beneficiarse de su uso.

- **Determinante T**

Hablando de 'innovación tecnológica', SolarAnalyzer se destaca por su alto grado de innovación. Esto se debe a la metodología única con la que fue desarrollado. Es uno de los pocos programas de código abierto diseñados para el dimensionamiento fotovoltaico y está concebido no solo para personas con experiencia en software, sino también para capacitar a usuarios que no son especialistas en energías renovables. Esto lo hace un ejemplo notable de innovación en el campo de la tecnología.

- **Determinante E**

En lo que respecta a la 'innovación tecnológica', **SolarAnalyzer** destaca por su enfoque altamente innovador; Su desarrollo se basa en una metodología que lo convierte en uno de los pocos programas de código abierto diseñados para el dimensionamiento fotovoltaico; No solo está dirigido a usuarios con experiencia en software, sino que también se ha concebido con la intención de capacitar a personas que no son especialistas en energías renovables. Esto lo consolida como un ejemplo sobresaliente de innovación en el ámbito tecnológico.

6.3. Evaluación del software utilizando el modelo KITE

La ecuación 1 corresponde cuantificación S de la evaluación modelo KITE.

$$S = \frac{KI}{2} + \frac{TI}{2} + \frac{KE}{2} + \frac{TE}{2} \tag{14}$$

$$S = \frac{4X4}{2} + \frac{6X4}{2} + \frac{4X14}{2} + \frac{6X14}{2} = 90 \tag{15}$$

En relación a los criterios del modelo KITE, **SolarAnalyzer** obtiene una alta calificación debido al modelo de desarrollo, mantenimiento, distribución y ampliación del mismo; Los resultados se observan en la “cometa” ilustrada en la Fig. 64 y que dan una puntuación de 90 puntos sobre un total de 100, lo que ubica como un software de alto nivel.

6.4. Validación de resultados

Para validar los resultados obtenido en el software, se llevó a cabo una comparativa entre una calculadora formulada en Excel con las ecuaciones a usar a la hora de realizar un dimensionamiento se sistemas fotovoltaicos utilizando una radiación mínima de 4.21 KWh/m². Se emplearon las siguientes cargas específicas.

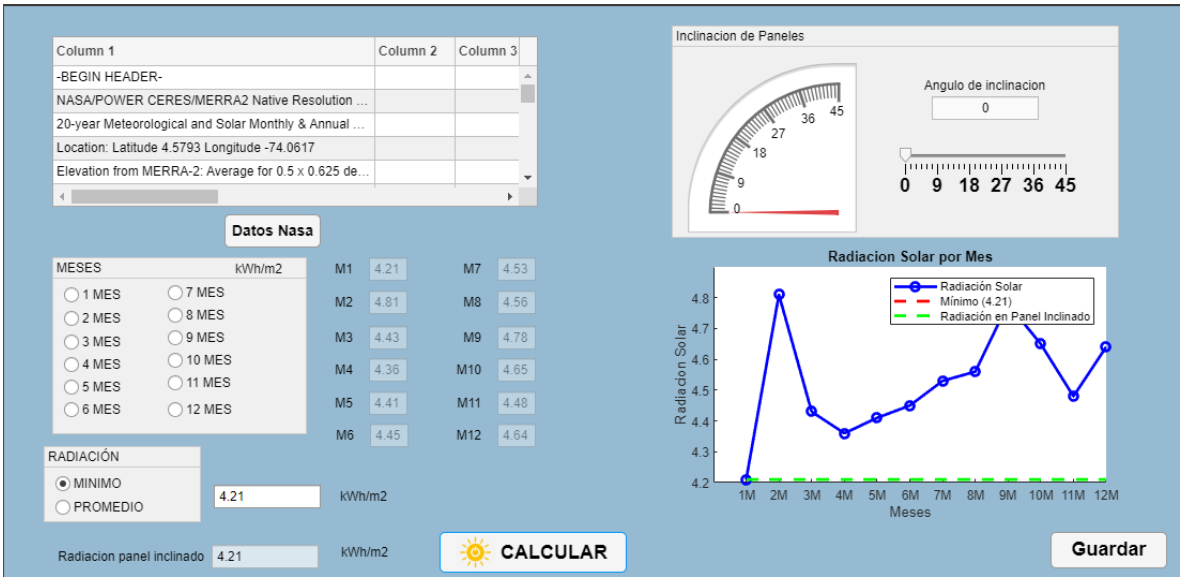


Fig. 65 Validación de cargas de variables y funcionamiento

Se realizaron cálculos con los siguientes equipos.



Fig. 66 Selección de equipos para prueba

La validación incluyó la comparación con una tabla en Excel programada, utilizando los conocimientos adquiridos durante la carrera. Este enfoque garantizó una evaluación minuciosa y detallada de los resultados obtenidos, asegurando la coherencia y exactitud de los datos.

La elección de una radiación mínima de 4.21 KWh/m² proporcionó un umbral significativo para la validación, permitiendo evaluar la capacidad de los equipos y la precisión de los cálculos en condiciones específicas de radiación solar.



Fig. 67 Resultados obtenidos en el software

Esta metodología de validación cruzada, combinando datos reales, cargas específicas y cálculos programados, contribuyó a garantizar la fiabilidad y consistencia de los resultados, fortaleciendo así la integridad de la evaluación de los equipos y su rendimiento frente a las condiciones de radiación establecidas.

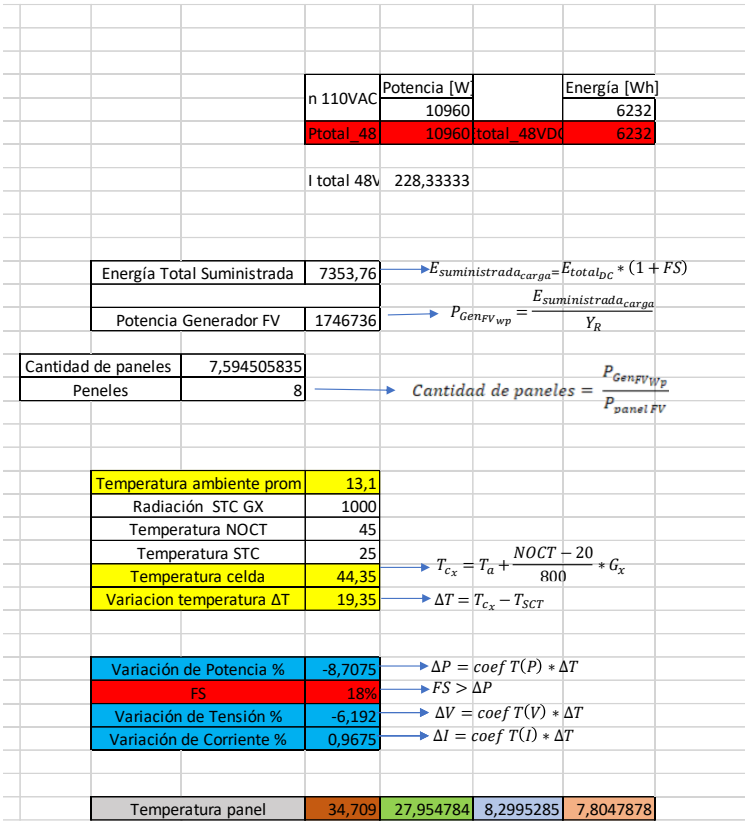


Fig. 68 Cuadro Excel para dimensionamiento fotovoltaico

En la herramienta utilizada para dimensionamiento solar fotovoltaicos podemos validar la tabla de las diferentes configuraciones que se pueden usar en donde los resultados obtenidos por el software son válidos y correctos Fig. 70.

Temperatura panel		34,709	27,954784
Serie	Paralelo	Voc	Vm
6	1	208,254	167,7287
3	2	104,127	83,864352
2	3	69,4179	55,909568
1	6	34,709	27,954784

Fig. 69 Tabla de baterías



Fig. 70 Resultados obtenidos en software

6.4.1. Pruebas internas

El adecuado desempeño del programa SolarAnalyzer depende de la comprensión de las características del sistema y los criterios del software. Estas especificaciones de software en las que se ejecutó SolarAnalyzer de manera efectiva se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9 Especificaciones de hardware para SolarAnalyzer

Sistema Operativo	Equipo	Procesador	RAM	Disco Duro
Ubuntu 20.04 LTS	1	Intel i5-8250 1.60 GHz	4 GB	1 TB
Windows 11 Pro 64 Bits	2	AMD Ryzen 3 3200	8 GB	256 GB
Windows 10 Pro 64 Bits	3	CORE I5 5200	4 GB	500 GB

La Tabla 10 consolida los tiempos de ejecución para abrir cada ventana y procesos que realiza SolarAnalyzer para el análisis de fotovoltaico, bajo distintas condiciones iniciales sobre cada uno de los equipos mencionados en la Tabla 9.

Los tiempos son medidos a través de la herramienta Profile de MATLAB, que permite saber el tiempo de ejecución de las ventanas y funciones de cada archivo que se esté ejecutando.

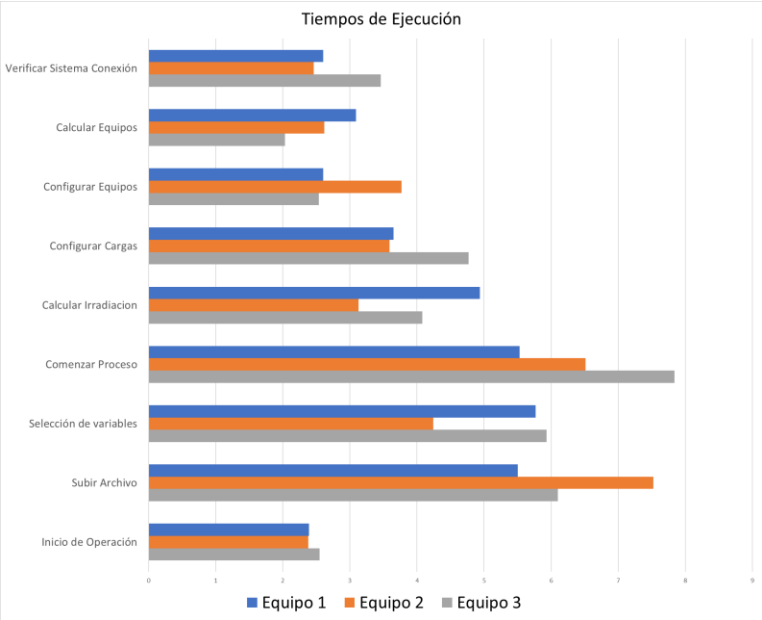


Fig. 71 Grafico de los tiempos de ejecución

Tabla 10 Tiempos de ejecución ventanas y funciones

Acción	Equipo	Tiempo [s]
Inicio de Operación	1	4,39
	2	4,38
	3	4,55
Subir Archivo	1	5,5
	2	7,52
	3	6,1
Selección de variables	1	5,77
	2	4,24
	3	5,93
Comenzar Proceso	1	5,53
	2	6,51
	3	7,84
Calcular Irradiación	1	4,94
	2	3,13
	3	4,08
Configurar Cargas	1	3,65
	2	3,59
	3	4,77
Configurar Equipos	1	2,6
	2	3,77
	3	2,54
Calcular Equipos	1	3,09
	2	2,62
	3	2,03
Verificar Sistema Conexión	1	2,6
	2	2,46
	3	3,46

Nota: En el instalador del software viene incluido el descargador e instalador del MATLAB compiler, que será necesario para la ejecución del software **SolarAnalyzer**.

6.4.2. Pruebas externas

Se desarrollo pruebas con estudiantes de Ingeniería Eléctrica en un laboratorio de la sede ingeniería Calle 40 donde fueron desarrolladas así:

- Se realizó el taller con un total de 17 estudiantes. El sistema operativo utilizado en todos los computadores fue Windows, variando las versiones 10 y 11.
- Se distribuyó a los alumnos el link que contenía el instalador del software, siendo descargado e instalado sin ningún problema.
- Se conformo grupos de 3 a 4 personas, utilizaban diferentes datos tomados de forma arbitraria para ejecutarlo en el software. Se les pidió que suministraran los datos y que ejecutaran cada aplicación del software con el fin de realizar un dimensionamiento energético.

Aspectos que se presentaron en el desarrollo del taller:

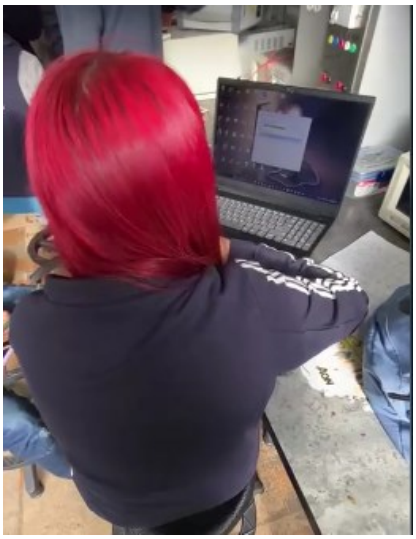
- Se requiere que los dispositivos en los que se ejecute el software posean una arquitectura de 64 bits. Dispositivos de arquitectura de 32 bits no pueden ejecutar la aplicación hecha en MATLAB. en sistemas operativos con dicha característica.
- Los dispositivos que tenga sistemas operativos versiones anteriores a Windows 8.1, generarían errores de ejecución por temas de compatibilidad.
- Se produjo un archivo de asistencia como constancia del taller realizado y se incluye como documento anexo.
-  



Fig. 72 Pruebas realizadas con estudiantes en laboratorio UD

7. ALCANCE E IMPACTO

El software se desarrolló para la formación del dimensionamiento fotovoltaico en pequeña escala, por eso busca llegar a la mayor cantidad de público posible. Los perfiles de usuarios que se contemplan cuentan con niveles diferentes en el conocimiento del tema.

Es así como para cada perfil, tendrá una utilidad y alcance diferente, distinguiendo el nivel de formación y utilidad que se le da.

Puede ser aplicado en diversas instituciones educativas, que van desde escuelas primarias y secundarias hasta universidades y centros de formación técnica, beneficiando tanto a estudiantes como a profesores. Su objetivo principal es mejorar la comprensión de los conceptos relacionados con energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones en el ámbito energético.

7.1. Perfil de usuario

7.1.1. Ingeniero de energías renovables

El ingeniero de energías renovables puede aprovechar los resultados proporcionados por el software para tomar decisiones en relación con la viabilidad de instalar sistemas fotovoltaicos a pequeña escala. Con acceso a información detallada sobre la radiación solar local y el consumo energético, el ingeniero puede determinar si un proyecto fotovoltaico es económicamente viable y eficiente en una ubicación específica.

7.1.2. Investigador de fuentes de energía renovables

Los investigadores que se enfocan en fuentes de energía renovable se benefician al utilizar el software, ya que les brinda una herramienta de análisis robusta. Pueden examinar y evaluar de manera más efectiva las variables que influyen en la generación de energía solar. Los resultados calculados por el software facilitan el análisis de datos y permiten obtener una comprensión más profunda de cómo se comportan estos sistemas en diversas condiciones y ubicaciones.

7.1.3. Docentes

Los docentes pueden emplear este software como una herramienta de enseñanza que hace que el proceso de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos sea más didáctico y accesible. Pueden utilizarlo para instruir a los estudiantes sobre los conceptos y cálculos involucrados en el diseño de sistemas solares. Además, promueve la participación de los alumnos en el desarrollo de aplicaciones relacionadas con energía renovable y en proyectos de investigación adicionales.

7.1.4. Estudiantes

Los estudiantes pueden utilizar el software para aprender sobre el análisis energético y el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala. Les brinda la oportunidad de adquirir habilidades y conocimientos prácticos en el diseño de sistemas solares. Además, debido a su licencia de libre uso, los estudiantes pueden contribuir al desarrollo del software o aplicar los mismos principios de diseño a otras fuentes de energía renovable.

7.1.5. Público en general

El público en general puede comprender de manera aproximada el proceso de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala utilizando el software. Esto incluye comprender conceptos clave y los requisitos mínimos necesarios para llevar a cabo un análisis de sistemas solares. El software sirve como una herramienta de concientización que ayuda a las personas a comprender mejor el potencial de la energía solar y su contribución a un futuro más sostenible.

7.2. Alcance de usuarios

7.2.1. Ingeniero de energías renovables

Este software permite a los ingenieros de energías renovables realizar cálculos precisos para determinar la viabilidad de la instalación de sistemas fotovoltaicos en una ubicación específica. Los ingenieros pueden analizar la generación de energía, el tamaño y la

eficiencia de los paneles solares, y tomar decisiones informadas sobre el diseño de sistemas fotovoltaicos.

7.2.2. Investigador de fuentes de energía renovables

Los investigadores en fuentes de energía renovable pueden utilizar el software para realizar análisis detallados de datos fotovoltaicos. Esto les permite observar el comportamiento de las variables que influyen en la generación de energía solar y facilitar el análisis de la eficiencia de los paneles solares en diversas condiciones.

7.2.3. Docentes

El software de dimensionamiento fotovoltaico es una herramienta valiosa para los docentes que desean enseñar a los estudiantes sobre la energía solar. Los docentes pueden utilizar el software para ilustrar conceptos clave, realizar demostraciones y guiar a los alumnos en el proceso de diseño de sistemas fotovoltaicos.

7.2.4. Estudiantes

Los estudiantes pueden utilizar el software para aprender sobre el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, incluida la selección de paneles solares, inversores y baterías, y la evaluación de la generación de energía. Además, el software les brinda la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en proyectos prácticos y proyectos de energía solar.

7.2.5. Público en general

El público en general puede utilizar el software para comprender el proceso de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos y cómo la energía solar se convierte en electricidad. Esto contribuye a una mayor concienciación sobre las fuentes de energía renovable y su importancia en la generación de energía sostenible.

8. EVALUACIÓN DE CUMPLIMIENTO

El plan de trabajo se ha desarrollado a partir de una serie de actividades con el propósito de alcanzar el producto deseado, tal como se muestra en la Tabla 11 este plan de trabajo se sometió a una evaluación utilizando la metodología Balanced ScoreCard (BSC), que permitió realizar un seguimiento de las actividades en función de los valores esperados y los valores actuales de cada actividad.

Tabla 11 Plan de trabajo para la elaboración del software

PLAN DE TRABAJO		
Actividades	**Semana de inicio**	**Semana de finalización**
Fase 1		
Planear la primera reunión con el director interno.	0	1
Evaluar la metodología que se pretende implementar.	1	2
Obtención de la aprobación de la metodología propuesta para la implementación del software por parte del supervisor.	2	4
Fase 2		
Diseñar el diagrama de flujo del software	4	6
Realizar un prototipo del software	6	12
Depurar errores	6	12
Fase 3		
Cumplir la matriz de trazabilidad del software	12	14
Manual técnico del software	12	14
Subir los archivos al repositorio	14	15
Pruebas del software con estudiantes	14	15
Fase 4		
Elaboración del documento	4	15
Fase 5		
Socialización	15	16

Tabla 12 Balanced ScoreCard de verificación de cada actividad

Plan de trabajo			
Actividades	Entregable	valor esperado	valor actual
Planear la primera reunión con el director interno.	Enumeración de posibles lenguajes de programación para el desarrollo del software.	100	100
Evaluar la metodología que se pretende implementar.	Elaboración de una lista de las variables y conceptos esenciales requeridos para iniciar la estructuración del software y el marco referencial	100	100
Aprobación de la metodología propuesta para la implementación del software por parte del supervisor.	lista de requerimientos y pruebas para el diseño y certificación del software	100	100
Diseñar el diagrama de flujo del software	Esbozo de las variables y conceptos esenciales para iniciar el diseño del software y el marco referencial.	100	100
Realizar un prototipo del software	Primera versión del software	100	100
Depurar errores	entrega de una versión mejorada y cambios en la interfaz del software	100	100
Cumplir la matriz de trazabilidad del software	Informe que detalla cada aspecto cumplido por el software	100	100
Manual técnico del software	Entrega del manual técnico del software	100	
Subir los archivos al repositorio	Subir manual y software al repositorio	100	100
Pruebas del software con estudiantes	Pruebas del software con estudiantes	100	100
Elaboración del documento	anexos de los certificados con documento terminado	100	100
Socialización		100	

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

- El desarrollo de este software ha seguido un enfoque metodológico particular y ha incorporado factores importantes con el propósito de facilitar la comprensión de los fundamentos necesarios en la configuración de sistemas de energía solar de pequeña escala. Se convierte en una valiosa herramienta educativa adecuada tanto para estudiantes como para profesionales en la materia, así como para cualquier individuo con interés en la generación de energía solar.
- El software se desarrolló en 6 ventanas las cuales se van activando en cuando se va avanzado en el proceso de ingreso de datos y cálculos requeridos hasta llegar al final del proceso, al ser un software didáctico el proceso es amigable y continuo.
- Para asegurar un rendimiento óptimo del software, es fundamental considerar las versiones más recientes de los sistemas operativos, tales como Windows y MacOS. Asimismo, destacamos la relevancia de que los usuarios introduzcan datos precisos para obtener resultados válidos y aplicables en situaciones reales.
- Los resultados de las pruebas tanto en la compatibilidad con diversos sistemas operativos, como en la interacción con estudiantes han sido altamente positivos. La optimización del software para las últimas versiones de sistemas operativos como Windows y MacOS ha demostrado garantizar un rendimiento eficiente. Además, las pruebas con estudiantes se vio una facilidad de uso y comprensión del software, incluso para aquellos sin experiencia previa en energía solar fotovoltaica.
- Al tener un formulario de ingreso llevamos el control de las personas que pueden usar el programa para poder llevar el registro del tipo de población a la cual estamos llegando.

9.2. Recomendaciones

- Es esencial mantener el software constantemente actualizado, ya que esto garantiza la continua integración de los avances tecnológicos más recientes y los datos más relevantes en el ámbito de la biomasa y la energía renovable. Esto contribuye a la mejora constante del software.
- Instaurar un mecanismo de retroalimentación ininterrumpida con los usuarios con el fin de detectar potenciales mejoras y ajustes en el software, con el propósito de garantizar su utilidad y eficacia en evolución constante

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] U. d. P. Minero-Energética, «Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia,» Bogota, 2015.

[2] CREG, «RESOLUCIÓN 30 DE 2018,» Colombia, 2018.

[3] U. d. P. Minero-Energética, «INFORME DE GESTIÓN 2021,» UPME, 2022.

[4] C. D. R. D. E. Y. GAS, «RESOLUCIÓN 30,» colombia, 2018.

[5] F. L. M. Isaac Rojas-Hernández, «Tiempo de recuperación de la energía para sistemas fotovoltaicos,» *Ingeniería Energética,* 2018.

[6] F. I. M. V. M. G. T. Danny Javier Trujillo Sandoval, «Análisis de viabilidad de microrredes eléctricas,» *Enfoque UTE,* 2021.

[7] A. T. O.-R. Paula Alejandra Cordoba-Charry, «System Advisor Model (SAM) como sistema de apoyo ambiental y energético para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz.,» *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería,* vol. 10, nº 2, 15 03 2022.

[8] J. J. G. Moreno, «:DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL ANALISIS DEL RECURSO ENERGETICO EOLICO EN PEQUEÑA ESCALA,» Bogotá D.C., 2022.

[9] L. T. Vivar, «DESARROLLO DE APP EN MATLAB PARA REHABILITACIÓN DE ESPASTICIDAD CON AYUDA DEL ROBOT COLABORATIVO KUKA LBRIIWA,» 2019.

[10] M. B. H. E.-h. A. B. M. B. A. T. K. A. J. A. Allouhi, «PV water pumping systems for domestic uses in remote areas: Sizing process, simulation and economic evaluation,,» *ScienceDirect,* 01 03 2019.

[11] IDEAM, «IDEAM,» 10 01 2023. [En línea]. Available: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/variacion-espacio-temporal1#:~:text=De%20acuerdo%20con%20esta%20figura,1460%20kWh%2Fm2%20por.

[12] S. G. M. W. M. C. R. &. S. A. (. Wenham, «Applied Photovoltaics (3rd ed.),» 2011.

[13] A. W. &. L. A. I. Kiprono, «olar Pumping for Water Supply: Harnessing solar power in humanitarian and development.,» Practical Action Publishing., Rugby, UK, 2020.

[14] N. Falcón, F. Peña, H. Mavo y R. Muñoz, «IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL EN LA CIUDAD DE VALENCIA. (GLOBAL SOLAR,» *INGENIERÍA UC,* 2001.

[15] J. C. Perez, «GUÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS Y APLICACIÓN DE LA RESOLUCIÓN CREG 030 DE 2018 PARA INYECTAR EXCEDENTES DE ENERGÍA A LA RED,» Medellin, 2019.

[16] L. G. NAVARRO, «ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAI CON CONEXIÓN A RED DE 70 KW: ANÁLISIS DE CASO EN VALLEDUPAR,Colombia,» *UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES,* 2016.

[17] L. F. a. L. Partain, «Solar Cells and their Applications,» Hoboken, New Jersey: John Wiley Sons,, 2010.

[18] A. P. Barbosa, «INVERSOR PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2016.

[19] E. Commission, « PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM,» European Commission, 01 03 2022. [En línea]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR.

[20] «POWER | Data Access Viewer,» NASA, 01 10 2023. [En línea]. Available: https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/.

[21] E. C. D. COLOMBIA, «LEY 1715,» Colombia, 2014.

[22] iso, «Nueva ISO/IEC 17025:2017,» 2017.

[23] A. D. &. A. R. V. Macias, Solar energy and water supply for remote locations in Mexico: Photovoltaic or solar thermal, Applied Energy, 115, 73-81., 2014.

[24] «GitHub,» 2023. [En línea]. Available: https://github.com/.

[25] S. D. H. A. y. M. M. Rojas, The KITE model for assessment of academic software products., Ingeniería, 18(2), 6-18, 2013.

[26] H. D. M. Sergio Rojas-Galeano, «The KITE Model for Assessment of Academic Software Products,» Bogota, 2013.

[27] C. C. A.-C. 4. Internacional, «Internacional, Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0,» 2023.

[28] E. Hernández-Salazar y C. A. Beltrán, «SCRUM, Un enfoque práctico de metodología ágil para la ingeniería de software,» *Revista TIA,* 2020.