FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

ALGORITMOS GENÉRICOS PARA EL DISEÑO DE UNA MINICENTRAL ELÉCTRICA SOLAR UTILIZANDO UNA INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor:
Bach. Olive Mejia Vasquez

Asesor:
Mg. Carlos Alexis Alvarado Sánchez

Línea de Investigación:
INGENIERÍA DE PROCESOS PRODUCTIVOS

Pimentel – Perú

2019

Bach. Olive Mejia Vasquez

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva

Presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

APROBADO POR:

Mg. Vives Garnique Juan Carlos
Presidente jurado de tesis

Mg. Gastiaburu Morales Silvia Yvone
Secretario del Jurado de tesis

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis
Vocal del Jurado de tesis

PIMENTEL - 2019

DEDICATORIA

Dedicado a…

Dios por haberme permitido llegar a estos tiempos relevantes de mi formación profesional;

a mi madre Ercila Vasquez Guevara y a mi padre Oliverio Mejia Díaz por ser los cimientos más importantes de mi vida, por demostrarme en cada momento su cariño, amor y apoyo incondicional sin importar los obstáculos presentados en el camino de la vida;

a mi amado hijo Oliver Jerick por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más;

a mi hermana por su cariño y sus consejos para que me esforzara en lograr esta meta tan importante en mi vida y a mi asesor de tesis por su calidad de docente para guiarnos y hacer todo lo necesario en el proceso de desarrollo de esta tesis.

Olive Mejia Vasquez

AGRADECIMIENTO

Estoy plenamente agradecidos con Dios y a la Virgen María por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida, haberme dado la salud para lograr mis objetivos e iluminarme siempre por el camino del bien y a mi familia por el gran apoyo cariño, confianza y por la oportunidad de habernos orientado por el camino de la vida e incentivarnos a ser mejores profesionales, además de acompañarnos también en los mejores momentos.

Al Mg. Carlos Alvarado, por su calidad de docente, asesor de este trabajo de grado, por el apoyo, colaboración y dedicación durante el desarrollo de este proyecto, asimismo al Mg. Juan Carlos Vives Garnique por su valioso apoyo y por su incondicional y desinteresado apoyo.

ALGORITMOS GENÉRICOS PARA EL DISEÑO DE UNA MINICENTRAL ELÉCTRICA SOLAR UTILIZANDO UNA INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN

Mejia Vasquez Olive

Resumen

En la presente investigación se desarrolló una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) basada en algoritmos genéricos que permite dimensionar un Sistema Fotovoltaico para una minicentral solar en base a la información disponible para caracterizar las cargas a satisfacer y los niveles de irradiancia disponibles en la zona a aplicarse.

La investigación inicia con la identificación de los pasos necesarios para dimensionar un Sistema Fotovoltaico, reconociéndose los parámetros, fórmulas y procedimientos que se debían modelar y aplicar. La GUI se desarrolló mediante la herramienta de programación visual llamada GUIDE, disponible en MATLAB; para esto se ha diseñado en primer lugar el algoritmo de trabajo además de los modelos matemáticos necesarios. Finalmente se procedió a validar los resultados del programa comparándolos con proyectos de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos anteriores, reconociéndose la aplicabilidad del mismo.

El desarrollo de esta GUI ha tenido como enfoque el diseño de un asistente virtual, para que paso a paso el ingeniero proyectista reconozca la influencia de la información agregada y en cualquier momento determine mediante curvas comparativas si los datos elegidos son los más adecuados. Se calculan los datos de la energía consumida por la instalación, la potencia máxima, los niveles de irradiancia media y mínimos disponibles, todas las variables referentes a la geometría solar como la declinación solar, los ángulos de salida del sol, el factor de excentricidad, el nivel de rendimiento eléctrico de la instalación, además de calcularse los niveles de radiación solar directa, indirecta y albedo disponibles para el panel solar. Finalmente se calculan para el dimensionamiento la cantidad de paneles solares y el número de baterías necesarios en base a valores disponibles dados por el fabricante.

Palabras Clave: GUI, Matlab, Sistemas Fotovoltáicos, minicentral.

GENERIC ALGORITHMS FOR THE DESIGN OF A SOLAR ELECTRICAL MINICENTRAL USING A PROGRAMMING INTERFACE

Abstract

In the present investigation, a Graphical User Interface (GUI) based on generic algorithms was developed that allows to size a Photovoltaic System for a solar minicentral based on the information available to characterize the loads to be satisfied and the levels of irradiance available in the area a apply.

The investigation begins with the identification of the necessary steps to size a Photovoltaic System, recognizing the parameters, formulas and procedures that should be modeled and applied. The GUI was developed using the visual programming tool called GUIDE, available in MATLAB; for this, the working algorithm has been designed first in addition to the necessary mathematical models. Finally, the results of the program were validated by comparing them with sizing projects of previous photovoltaic systems, recognizing their applicability.

The development of this GUI has focused on the design of a virtual assistant, so that step by step the project engineer recognizes the influence of the aggregate information and at any time determines by comparative curves if the data chosen are the most appropriate. The data of the energy consumed by the installation, the maximum power, the average and minimum irradiance levels available, all variables related to solar geometry such as solar declination, sunrise angles, eccentricity factor, are calculated, the level of electrical performance of the installation, in addition to calculating the levels of direct, indirect and albedo solar radiation available for the solar panel. Finally, the amount of solar panels and the number of batteries needed are calculated for the sizing based on available values given by the manufacturer.

Keywords: GUI, Matlab, Photovoltaic Systems, minicentral.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN 10

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 11

1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 13

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN 13

1.3.1. Justificación Tecnológica. 13

1.3.2. Justificación Económica. 14

1.3.3. Justificación Educativa. 14

1.4. OBJETIVOS 14

1.4.1. Objetivo General 14

1.4.2. Objetivos Específicos. 15

1.5. HIPÓTESIS 15

1.6. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 15

1.6.1. Estado del Arte 16

1.7. FUNDAMENTO TEÓRICO 20

1.7.1. Energía 20

1.7.1.1. Eficiencia energética 21

1.7.1.2. Potencia y Energía 22

1.7.1.3. Fuentes de Energía 22

1.7.2. La Energía Solar Fotovoltaica 25

1.7.2.1. Subsistema de captación 26

1.7.2.2. Subsistema de almacenamiento 27

1.7.2.3. Subsistema de regulación 27

1.7.2.4. Subsistema convertidor de corriente 28

1.7.3. Tipos de Células Fotovoltaicas más utilizadas actualmente 28

1.7.3.1. Silicio Cristalizado 28

1.7.3.2. Thin Film 29

1.7.4. Circuito Equivalente de la Celda Solar 30

1.7.5. Condiciones Estándar de Prueba 31

1.7.6. Curva Característica del Módulo Fotovoltaico 33

1.7.6.1. Ecuación Característica 34

1.7.7. ALGORITMOS 36

1.7.7.1. Algoritmos Genéricos 36

1.7.7.2. Verificación de Algoritmos Genéricos *37*

2. MÉTODO 38

2.1. ENFOQUE – TIPO – DISEÑO DE INVESTIGACIÓN – MÉTODO 39

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 41

2.3. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN 41

2.3.1. Variable de definición del problema: 41

2.3.2. Variables Entrada: 41

2.3.3. Variables Salida: 41

2.3.4. Variables intervinientes 42

2.3.5. Caja negra para variables 43

2.3.5.1. 2.2.2 Operacionalización de variables *44*

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD 47

2.4.1. Técnicas de recolección de datos 47

2.4.1.1. Observación *47*

2.4.1.1. Consultas a Profesionales *47*

2.4.1.2. Información bibliográfica *47*

2.4.1.3. Análisis de documentos *47*

2.4.2. Validación y confiabilidad 48

2.5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS 49

2.6. CRITERIOS ÉTICOS 49

2.7. CRITERIOS DE RIGOR CIENTÍFICO 51

3. RESULTADOS 52

3.1. DISEÑO DE LA GUI MEDIANTE LA HERRAMIENTA GUIDE DE MATLAB ... 53

3.1.1. Herramienta GUIDE 53

3.1.2. Funcionamiento de GUIDE 54

3.1.3. Diseño y Construcción de GUI asistente para dimensionamiento de SFV 54

3.2. LISTADO DE FÓRMULAS UTILIZADAS 55

3.3. DESARROLLO DE LOS ALGORITMOS Y VENTANAS DE TRABAJO PARA LA GUI 60

3.3.1. Algoritmos para cada Ventana de GUI 62

3.4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS 72
3.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 79
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 81
4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 82
5. REFERENCIAS..... 84
5.1. REFERENCIAS 85
6. ANEXOS..... 87
6.1. ANEXO I.- CÓDIGO DE ÉTICA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ 88
6.2. ANEXO II.- CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS 88
6.3. ANEXO III.- CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PORTADA DE LA GUI: PORTADA_FOTOVOLTAIC_USS_SYSTEM 89
6.4. ANEXO IV.- CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN VENTANA I: FOTOVOLTAIC_USS_SYSTEM..... 90
6.5. ANEXO V.- CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN VENTANA II: FOTOVOLTAIC_USS_SYSTEM2..... 94
6.6. ANEXO VI. - CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN VENTANA III: FOTOVOLTAIC_USS_SYSTEM3..... 101
6.7. ANEXO VII. - CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN VENTANA IV: FOTOVOLTAIC_USS_SYSTEM4..... 104

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

La electricidad generada gracias a la energía solar se está aplicando ampliamente en todo el mundo. El crecimiento de la utilización solar para generar energía útil se ha debido al gran avance de la tecnología fotovoltaica; los nuevos desarrollos en celdas solares cada vez más eficientes, que se encargan mediante el fenómeno fotovoltaico en convertir la radiación solar directamente en energía eléctrica, ha dado pie a aplicaciones cada vez más versátiles, desde la implementación de estaciones fotovoltaicas independientes utilizadas en áreas remotas hasta su uso como grandes centrales solares de varios MW de potencia conectadas al sistema eléctrico nacional. (EnergiaSolar335, 2010)

Los sistemas fotovoltaicos (SFV) son arreglos de paneles solares (los cuales a su vez son estructuras con arreglos de celdas solares) encargados de satisfacer una determinada demanda energética mediante el aprovechamiento de la energía solar. Una de las principales ventajas de este tipo de sistemas es su confiabilidad, la inexistencia de ruido durante su uso, el ser un equipo no contaminante y de capacidad modular en el sentido en que este tipo de sistemas se puede aumentar gradualmente para que coincida con el aumento gradual de la carga para la que está pensada; hay que tener en cuenta además que los equipos presentan fallas mínimas, requieren un mantenimiento mínimo y tienen vidas de servicio proyectadas a más de 20 años. (Mukund R., 2006)

Estas ventajas los convierte en una propuesta ideal para solucionar los problemas de accesibilidad energética en comunidades aisladas con los llamados Sistemas Fotovoltaicos Aislados (SFVA), independizando comunidades de la red eléctrica común a un precio relativamente bajo sin la necesidad de depender de instalaciones y procesos de construcción civil que requerirían otro tipo de centrales como hidráulicas o térmicas. (Salas Reyes, Gómez Blanco, Vanegas Chamorro, Valencia Ochoa, & Villicaña Ortíz, 2018)

El alcance de esta forma de generación eléctrica es tal que según predicciones de EPIA/Greenpeace en 2030 los SFV podrían generar aproximadamente 2.600 TWh de electricidad en todo el mundo. Esto significa que se produciría en el mundo suficiente

energía solar para suministrar más de la mitad de las necesidades de electricidad actuales de la UE, o para reemplazar 450 plantas de combustión de carbón (de un tamaño medio de 750 MW). (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

En Perú, la capacidad instalada de generación solar fotovoltaica para el 2004 era alrededor de 3,73 MW, de las cuales existían 44.772 SFV para uso en comunicaciones, y 17.448 SFV para uso domiciliario. Estos sistemas no solo se utilizaron para generar energía en viviendas, también para aplicaciones agrarias como bombeo, muy común al norte y en la selva del país. Por su parte ONGs, Ministerios (Transportes, Telecomunicaciones, Educación, Energía y Minas, Salud), el Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (FONCODES) y Gobiernos Regionales han desarrollado proyectos utilizando paneles fotovoltaicos, en proyectos Vinculados a telecomunicaciones, electrificación rural, equipos de refrigeración de vacunas, iluminación, entre otros. (Horn, 2006)

El gran impacto en nuestra región de este tipo de tecnología se hace entendible al evaluar el nivel de energía solar disponible en Perú, como muestra de esto en el 2003 el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) desarrolló un Atlas Solar del Perú en el cual se dedujo que, en promedio, los valores de irradiancia en el país varían entre 4.5 y 6.5kWh/día para días de verano, el cual se puede entender como un valor medio muy alto si se tiene en cuenta que, en países como Alemania (lugar donde se desarrollan grandes instalaciones fotovoltaicas) el promedio anual de radiación llega solo a 3.01kWh/día (DeltaVolt, 2012)

Se reconoce entonces la necesidad para los profesionales a cargo de alguna herramienta que les permita el diseño y dimensionamiento de SFV de una manera eficaz y rápida. En la actualidad existen softwares que permiten al ingeniero apoyarse en ellos al facilitar varias etapas en el proceso de implementación de un SFV, ahorrándole tiempo y dinero debido a que podrá saltarse los procedimientos de cálculo y podrá ante cambios del sistema hacer replanteos sin la necesidad de empezar desde cero nuevamente. El problema de estos softwares es la obvia necesidad de pago que se

requiere, existiendo licencias con costos de hasta 1,500 dólares el acceso más económico, y estando únicamente con soporte técnico en inglés.

De esta premisa se han desarrollado otros proyectos similares con anterioridad; investigaciones como la de E. Ali & K. Salih (2013) en donde se diseña satisfactoriamente mediante Visual Basic una herramienta para el diseño de SFVA enfocado a su utilización por personal no calificado como ingeniero a fin de tener una idea de cuantos equipos requeriría una instalación más bien pequeña.

Por esta razón, y a fin de promover el desarrollo tecnológico en la región, se evalúa la propuesta de diseñar una interfaz gráfica de usuario con el fin de facilitar un apoyo a los profesionales especializados en el desarrollo de SFV. Debido a la necesidad de darle un carácter profesional a la misma se utilizará el software MATLAB (Abreviación de Matrix Laboratory) que además de ser una poderosa herramienta matemática, permite utilizar una herramienta denominada GUIDE que facilita el diseño de interfaces de usuario para su utilización en multiplataforma.

1.2. Problema de Investigación

¿Cuáles son los parámetros que permiten el desarrollo del algoritmo de trabajo para una interfaz gráfica de usuario que permita el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados?

1.3. Justificación e Importancia de la Investigación

Esta investigación tiene como finalidad desarrollar el algoritmo de trabajo de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) el dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Aislados con el fin de agilizar las actividades realizadas por los ingenieros proyectistas especializados en centrales solares. De esta forma, la realización del proyecto se encuentra sustentado en los siguientes aspectos:

1.3.1. Justificación Tecnológica.

El uso de una GUI es un método novedoso de trabajo y simulación teniendo como ventaja la capacidad de ejecutar cálculos medianamente complejos y la presentación de

los resultados de una forma gráfica que al tener la configuración adecuada puede facilitar el análisis e interpretación de la información para el usuario.

Además, el desarrollar este tipo de software permitirá desarrollar investigaciones más exhaustivas que tengan como objetivo fortalecer sus capacidades y realizando mejoras visuales a la misma.

1.3.2. Justificación Económica.

Trabajar con una GUI permitirá al usuario reducir tiempos en la etapa de selección de parámetros y concentrarse más en la aplicación de criterios económicos más adecuados para la reducción de costes en la instalación.

Además, una GUI para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aíslados reduciría significativamente la probabilidad de error del ingeniero especialista al facilitar el procedimiento de cálculo y presentar toda la información necesaria para que este se concentre en analizarla. De esta forma, se disminuirá la incidencia de selecciones erradas que deriven en compras de equipos no aptos para la demanda energética a satisfacer haciendo ineficiente la instalación.

Además, al ser de carácter investigativo, se reducirá considerablemente el costo de utilización a diferencia de otros softwares de utilidad similar, pero con licencias de costo muy elevado.

1.3.3. Justificación Educativa.

Una GUI que permita el dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Aislados podría utilizarse como complemento educativo en los cursos de Centrales de energía, dando pie a la capacidad de estudiar casos reales planteados por el docente y corroborados mediante la utilización de dicho software.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

- Desarrollar un Algoritmo Genérico de Trabajo de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Determinar los parámetros a calcular en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos.
- Establecer los parámetros de ingreso y salida necesarios para la elaboración del dimensionamiento
- Diseñar el algoritmo de trabajo para el funcionamiento del programa
- Diseñar la interfaz gráfica de usuario (GUI) para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos.
- Programar las GUI´s mediante la herramienta GUIDE de Mathworks Inc
- Probar el funcionamiento del programa final realizando corridas iniciales con condiciones extremas.

1.5. Hipótesis

No aplica para esta investigación.

1.6. Antecedentes de la Investigación

Serna A., Marín E. y Alzate S. (2016) en su paper "Herramienta para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados" desarrollan una GUI par SFVA basado en Matlab aplicado a Quindio, Colombia. El objetivo final de esta GUI es ofrecer al usuario la configuración y cantidad de paneles solares, el número de acumuladores, la cantidad de reguladores e inversores. En esta GUI se trabaja directamente con los valores de Intensidad y Voltaje de los módulos solares y posteriormente se itera una solución final según la demanda a satisfacer. En este además se tiene la ventaja a diferencia de otras investigaciones similares que permite al usuario agregar sus propios datos climáticos y elementos de carga. La principal ventaja de esta investigación es que demuestra cómo desarrollar mediante la GUI de Matlab algoritmos de trabajo y es la primera en presentar soluciones gráficas que facilitan al usuario contrastar la solución encontrada (en cantidad de paneles y acumuladores) con otras posibles configuraciones.

El Dr. Mohamed Moanes E. y Sameer K. Salih (2013) en su investigación A Visual Basic-Based Tool for Design of Stand-alone Solar Power Systems desarrollan una GUI

basada en Visual Basic para el dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Aislados en el cual se guarda como base de datos la información climatológica de distintas ciudades de Iraq para que el usuario solo deba seleccionar la región a instalar dicho sistema. La GUI consta de tres ventanas principales, en la primera seleccionas la región a instalar el sistema, en la segunda describes las cargas a satisfacer y en el tercero se presentan los resultados calculados por la aplicación. Al ser una investigación con un objetivo similar a esta se reconoce el uso de las fórmulas necesarias para el dimensionamiento, brindando una referencia metodológica para trabajar en la presente tesis.

Sulaiman S. & otros (2012) en su paper "An intelligent method for sizing optimization in grid-connected photovoltaic system" desarrollan una metodología para sistemas interconectados a la red pública mediante programación evolutiva. La programación desarrollada se centra en la óptima selección de módulo FV y de inversor, recordando que este último es el elemento que permitirá la interconexión con la red eléctrica. El objetivo final de la investigación es mediante estás selecciones mejorar el rendimiento técnico y económico del sistema. La programación desarrollada se basa en un algoritmo de dimensionamiento iterativo denominado ISA, el cual fue mejorado con programación evolutiva para desarrollar el algoritmo denominado EPSA, este se encarga de probar todas las combinaciones disponibles de módulos fotovoltaicos e inversores para el sistema a medida que comprueba su rendimiento y desarrolla una solución en un menor tiempo que los utilizados inicialmente. De este proyecto se reconocen maneras para desarrollar algoritmos óptimos para la GUI, permitiendo reconocer los alcances de trabajo que pueden obtenerse.

1.6.1. Estado del Arte

PV*SOL, es un software desarrollado por ValentinSoftware que se encuentra disponible en una versión gratuita limitada y una versión premium paga. Según ValentinSoftware (2019), PV*SOL está diseñado para:

> Sistemas conectados a red con inyección total, así como para sistemas con inyección del excedente a la red (net metering). En este software es

posible simular el almacenamiento de energía en sistemas con baterías e importar perfiles de carga medidos en pasos de 15 minutos y 1 minuto. Además, puede calcular las pérdidas en las cadenas y las pérdidas por el cableado AC/DC por inversor. PV*SOL incluye una herramienta de visualización en 3D y un cálculo detallado de las sombras en instalaciones conectadas a la red con los módulos tanto paralelos como integrados en la cubierta, así como sistemas montados en tejado y en áreas libres (s.n.)

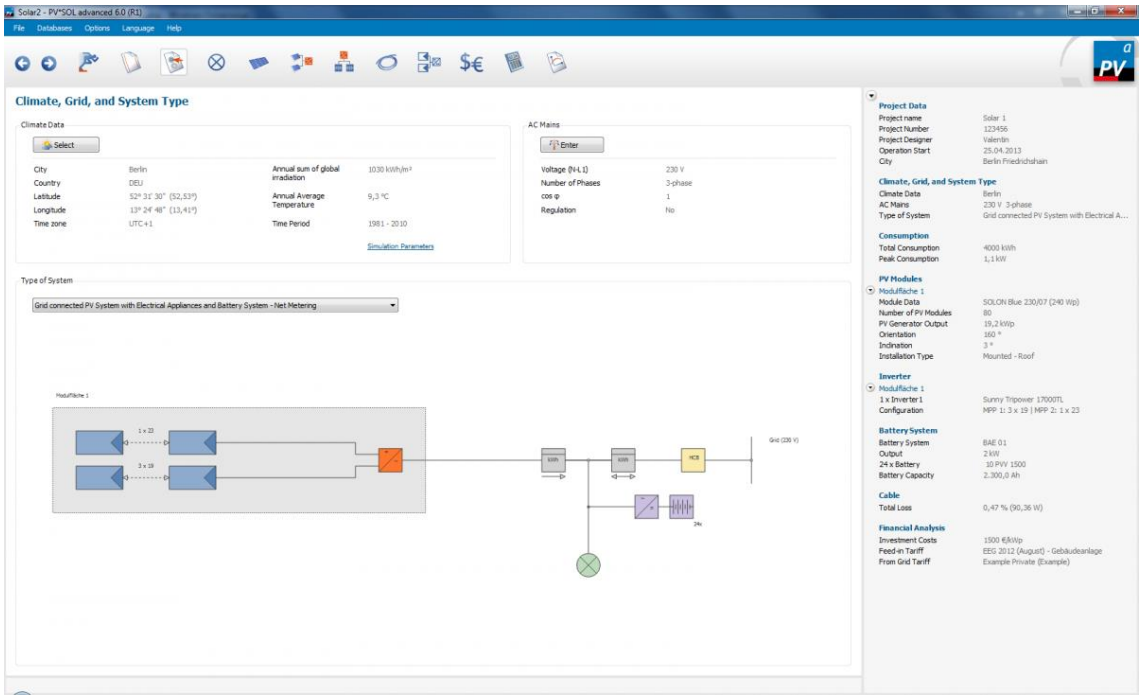

Figura 1.- Interfaz Gráfica PV*SOL. Fuente: https://www.valentin-software.com/es/productos/pvsol

PV*SOL cuenta con las siguientes características, nombradas por ValentinSoftware (2019):

- Posicionamiento manual y automático de los módulos
- Acceso a los datos climáticos de más de 8000 lugares en el mundo
- Archivo completo con más de 13000 módulos y 3100 inversores.
- Cálculo gráfico del número de módulos en el tejado con libre-configurable tipos de tejado.
- Sencillo y más detallado cálculo de sombras

- Resumen de resultados de una manera sencilla y detallada en el informe del proyecto con vista del tejado y cálculos de eficiencia económica.

CalculationSolar, es una herramienta gratuita que se encuentra disponible On Line en la página de origen español, el cual usa la base de datos NREL-NASA para obtener las Hora Solar Pico del lugar.

Figura 2.- Presentación de software online CalculationSolar. Fuente: http://www.calculationsolar.com/es/index.php

Una de las ventajas más notorias del software es, además de su gratuidad, la recopilación de información ofrecida por varios usuarios de manera totalmente gratuita, creando una base de datos de equipos, módulos solares, baterías entre otros elementos. El problema principal es la necesidad de disponer de una conexión a internet para la utilización de la misma.

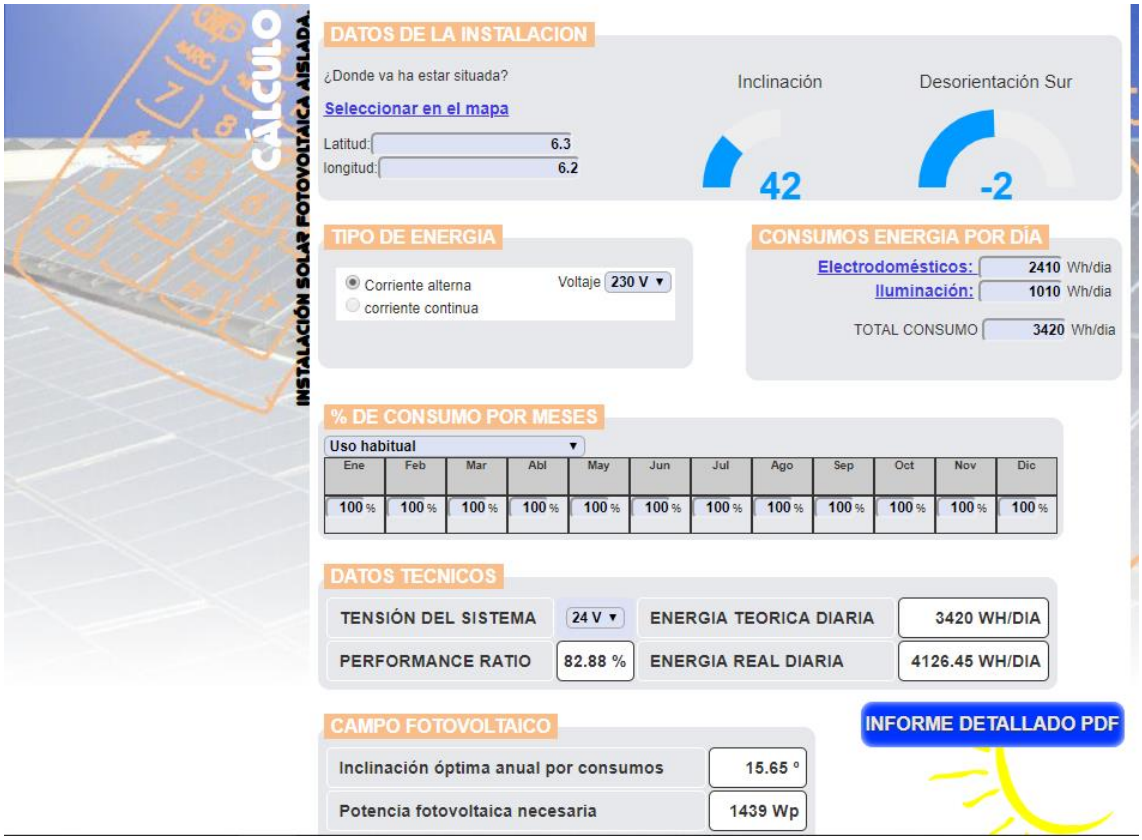

Figura 3.- Interfaz de CalculationSolar.

Fuente: http://www.calculationsolar.com/es/calcular.php#

PVSyst es un software de la empresa WEGENÉVE. PVsyst está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores. También es una herramienta educativa muy útil. Incluye un menú de Ayuda contextual detallado que explica los procedimientos y modelos que se utilizan, y ofrece un enfoque fácil de usar con una guía para desarrollar un proyecto. PVsyst puede importar datos meteorológicos, así como datos personales de muchas fuentes diferentes. La metodología para trabajar en PVSyst solicita al usuario:

- Especificar la potencia deseada o el área disponible
- Elegir el módulo fotovoltaico de la base de datos interna
- Elegir el inversor de la base de datos interna

Y posteriormente y PVsyst propondrá una configuración de matriz / sistema, que le permite realizar una simulación preliminar.

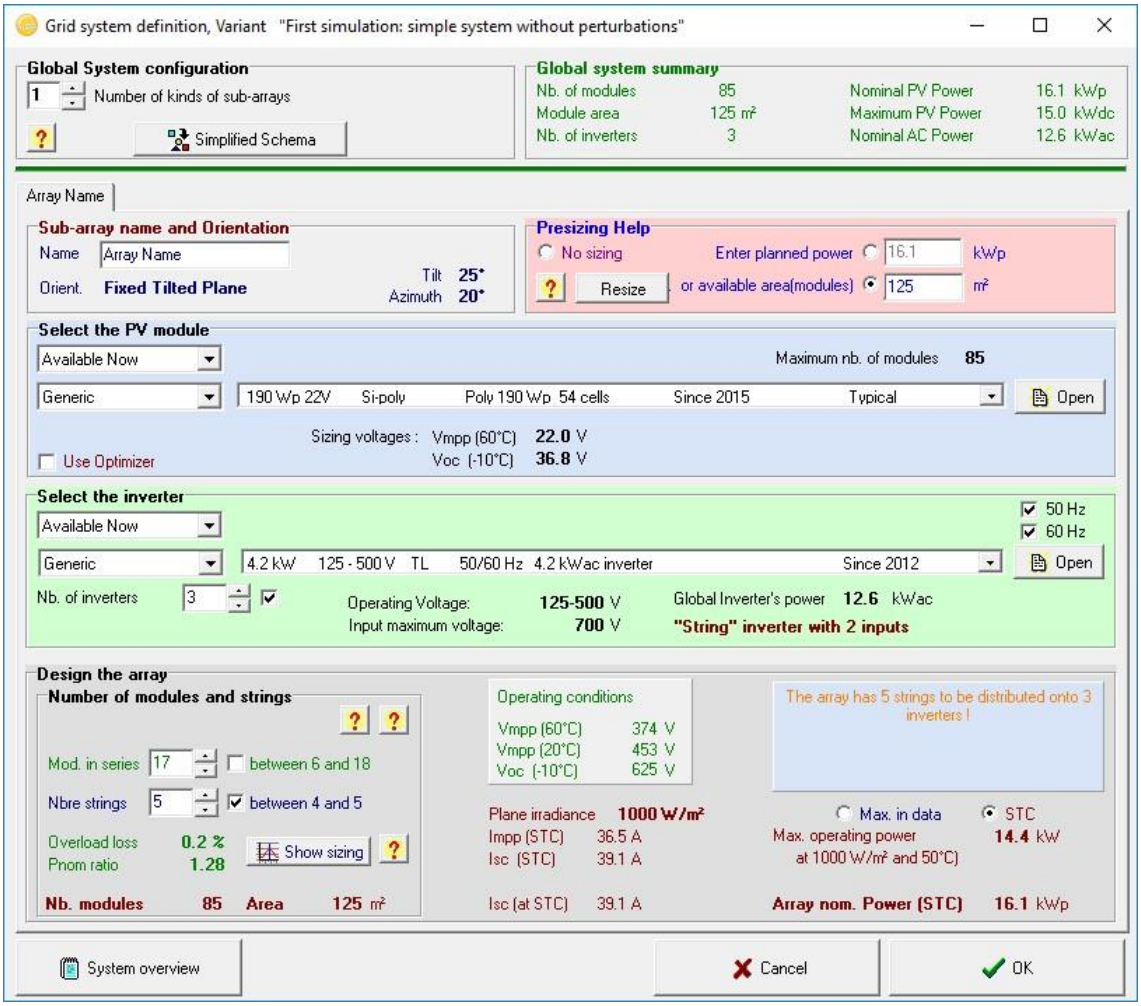

Figura 4.- Interfaz Gráfica de PVSyst.

Fuente: https://www.pvsyst.com/features/

1.7. Fundamento Teórico

1.7.1. Energía

El término energía es fuertemente polisémico y, según el contexto donde se use, adquiere significados diversos. Así, se habla que una persona es muy «enérgica», que alguien o algo tiene «energía positiva» o «negativa», etc.

En el terreno de las ciencias físicas y naturales, así como en el de la tecnología, es corriente hablar de la «crisis energética», de «alimentos energéticos», etc. La realidad es que la energía es un fenómeno misterioso, del cual conocemos y comprendemos sus efectos, pero no su naturaleza originaria; en el campo de la física, se define la energía como una «propiedad» de los cuerpos o sistemas materiales en virtud de la cual estos pueden transformarse (a sí mismos), modificando su estado o situación, así como actuar

sobre otros cuerpos, originando transformaciones en ellos; la energía indica la capacidad de un cuerpo o sistema para producir transformaciones, con independencia de que éstas se produzcan o no. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

A nivel analítico, podemos asociar la energía con un término denominado "trabajo". El trabajo se define como la fuerza necesaria para mover algún objeto una distancia definida, simbólicamente:

$$W = Fxd$$

Donde:

W = Trabajo, que se mide en Joules [J]

F = Fuerza, que se mide en Newtons [N]

d = Distancia, que se mide en metros [m]

La energía por su parte se la define como la capacidad para realizar o producir un trabajo, y posee la misma unidad que la del trabajo, el Joule [J]. (Sánchez Miño, 2003)

Mientras mayor es la fuerza que ejerce un cuerpo se requiere más energía, y de la misma manera si una misma fuerza se mantiene durante un mayor tiempo, esto igualmente demanda mayor energía, lo que se concluye es que para la realización de cualquier tipo de trabajo es necesario liberar una cierta cantidad de energía.

1.7.1.1. Eficiencia energética

Una forma de energía puede transformarse en otra como consecuencia de un proceso, generalmente por la acción de una máquina, lo cual encamina el estudio hacia uno de los conceptos más importantes sobre energía, que se conoce como la Primera Ley de la Termodinámica o Ley de Conservación de Energía: "La energía no se pierde ni se destruye, solo se transforma".

El balance energético de un proceso debe ser cero, es decir la energía que ingresa es igual a la energía que se produce. Un proceso energético es reversible cuando se puede ir de uno a otro lado del mismo sin modificar el total de energía involucrada en ese proceso. Es decir que, en este caso, la eficiencia es del 100%.

Sin embargo, se sabe que en la vida real esto no es factible, pues existen pérdidas de energía por varios factores. La eficiencia del proceso entonces nunca llega al 100%. En la realidad energética, todo proceso de transformación es irreversible y el grado de

aprovechamiento de la energía introducida en el mismo viene determinado por su eficiencia: (Sánchez Miño, 2003)

$$\eta = \frac{W}{E}$$

Donde:

η = Eficiencia (adimensional)

W = Trabajo resultante del proceso, se mide en Joules [J]

E = Energía introducida en el proceso, se mide en Joules [J]

1.7.1.2. Potencia y Energía

La potencia es la energía generada en una unidad de tiempo.

$$P = \frac{E}{t}$$

Donde:

P = Potencia que se mide en vatios [W]

E = Energía que se mide en Joules [J]

t = Tiempo que se mide en segundos [s]

1.7.1.3. Fuentes de Energía

Las fuentes de energía son elaboraciones naturales más o menos complejas de las que el ser humano puede extraer energía para realizar un determinado trabajo u obtener alguna utilidad. Las diferentes formas de estudio en las que puede presentarse la energía, podemos dividirlas en dos. Energías Renovables y no Renovables, en base a la capacidad de autorecuperación que tiene cada una de estas. Todas estas formas están resumidas a continuación:

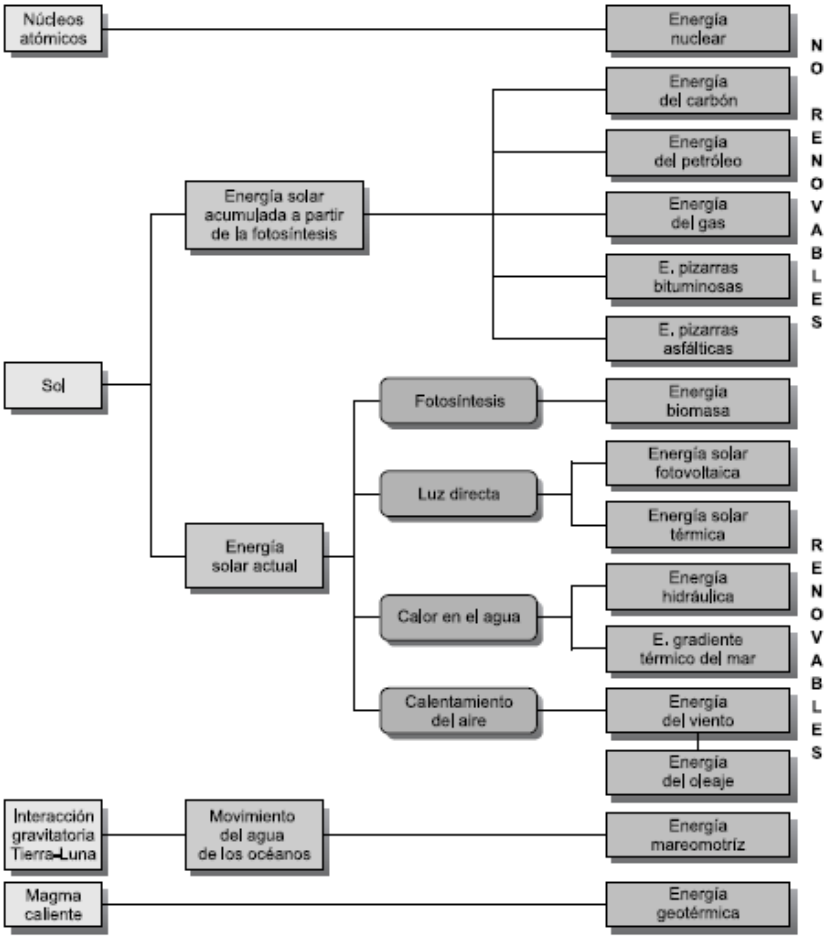

Figura 5.- Clasificación de las fuentes energéticas. Fuente: Libro. Centrales de Energía Renovable. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009).

1.7.1.3.1. Fuentes de energía no renovable

Las fuentes de energía no renovables las constituyen combustibles que se extraen de la Tierra y su disponibilidad es cada vez menor, ya que se agotan o su regeneración es muy lenta, se forman por la descomposición de material orgánico producida durante millones de años en el interior de la Tierra, entre éstos se tiene: el petróleo, el gas natural y el carbón. Otra fuente de energía de esta clase es la de tipo nuclear. (Sánchez Miño, 2003)

1.7.1.3.2. Fuentes de energía renovable

Son todas aquellas que se pueden regenerar de manera natural o artificial por lo que se las considera inagotables, ya que su disponibilidad no disminuye o lo hace de manera mínima en el tiempo. A este tipo de fuente de energía también se la conoce como Energías Alternativas, por su capacidad de reemplazo de las energías convencionales.

Sánchez Miño (2003) describe las principales formas de energía renovable a continuación:

(a) Hidroelectricidad

Es una fuente de energía que aprovecha la energía potencial del agua acumulada en represas, el agua cae y pasa por turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que se transforma en electricidad por medio de generadores, después de ser utilizada, el agua es devuelta río abajo.

(b) Energía solar

Consiste en aprovechar la energía transmitida hacia la Tierra, proveniente de las radiaciones electromagnéticas del Sol para producir electricidad y calor. Para este efecto se utilizan elementos como paneles y colectores solares para obtener electricidad y calentamiento respectivamente.

(c) Energía eólica

Esta fuente de energía utiliza el potencial del viento para producir electricidad, su funcionamiento es similar al de la hidroelectricidad, solo que en este caso el viento posee energía cinética que mueve los aerogeneradores, y éstos a su vez giran las turbinas eólicas dando como resultado una corriente eléctrica.

(d) Biomasa

La biomasa es un recurso renovable de energía proveniente de los residuos de la materia orgánica de mar y tierra. Las fuentes de aprovechamiento de la biomasa para energía provienen de tres sitios principalmente:

- Desechos y basura industrial,
- Residuos de cultivos agropecuarios, y
- Cultivos y plantaciones con propósitos energéticos.

Cuando la materia orgánica libera su energía almacenada a través de un proceso natural o artificial, devuelve al ambiente la misma cantidad de CO2 que consumió durante su crecimiento, por lo que se dice que este ciclo es CO2 neutro, es decir que la biomasa no afecta a la contaminación del ambiente.

(e) Energía geotérmica

Consiste en la producción de electricidad y calor utilizando la energía térmica que la Tierra guarda en su interior. Una planta geotérmica es una planta de vapor convencional donde el vapor se obtiene directamente de la Tierra y no mediante el calentamiento de

agua con combustibles fósiles, para esto se perfora la superficie hasta encontrar una fuente de agua caliente o vapor y el fluido se dirige a una turbina. El agua o vapor condensado utilizado se vuelve a inyectar a la Tierra.

(f) Hidrógeno

La aplicación del hidrógeno más que una fuente de energía, constituye una fuente de almacenamiento de energía. Sin embargo, por estar libre de contaminación y por ser el recurso más abundante de la naturaleza, se lo cataloga como una fuente renovable. Con la invención de las celdas de combustible (celdas de hidrógeno) o pilas de combustible, el uso del hidrógeno se limita a una reacción química lenta en combinación con oxígeno para producir una corriente eléctrica, y cuyo residuo es agua.

(g) Energía mareomotriz

Las mareas constituyen un fenómeno permanente, pues se deben a la fuerza gravitacional de la Luna y su interacción con la rotación de la Tierra. Una planta mareomotriz que aprovecha la energía de las mareas para producción eléctrica es muy similar a una central hidroeléctrica. El agua del mar en marea alta pasa a través de un ducto que tiene en su interior una turbina tipo bulbo, cuyas hélices se mueven al paso del agua. El agua llena un embalse y luego en marea baja el agua se devuelve al mar y mueve igualmente la turbina.

1.7.2. La Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar. El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

La corriente eléctrica generada a partir de la energía solar fotovoltaica tiene actualmente distintas aplicaciones. Por un lado, se encuentran las aplicaciones más tradicionales, cuyo objetivo es proporcionar energía eléctrica a zonas aisladas con deficiencias en el abastecimiento eléctrico convencional (electrificación de viviendas generalmente aisladas, bombeos, sistemas de señalización vial, sistemas de

comunicaciones, sistemas agroganaderos, etc.) (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

Un segundo tipo de aplicación consiste en la inyección de energía eléctrica en las redes eléctricas. En un tercer bloque pueden incluirse aquellas aplicaciones específicas, las cuales abarcarían desde el suministro de energía a satélites artificiales hasta la alimentación de automóviles, relojes, radios o calculadoras de bolsillo. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

De forma general, pueden señalarse los siguientes subsistemas componentes empleados en esta tecnología:

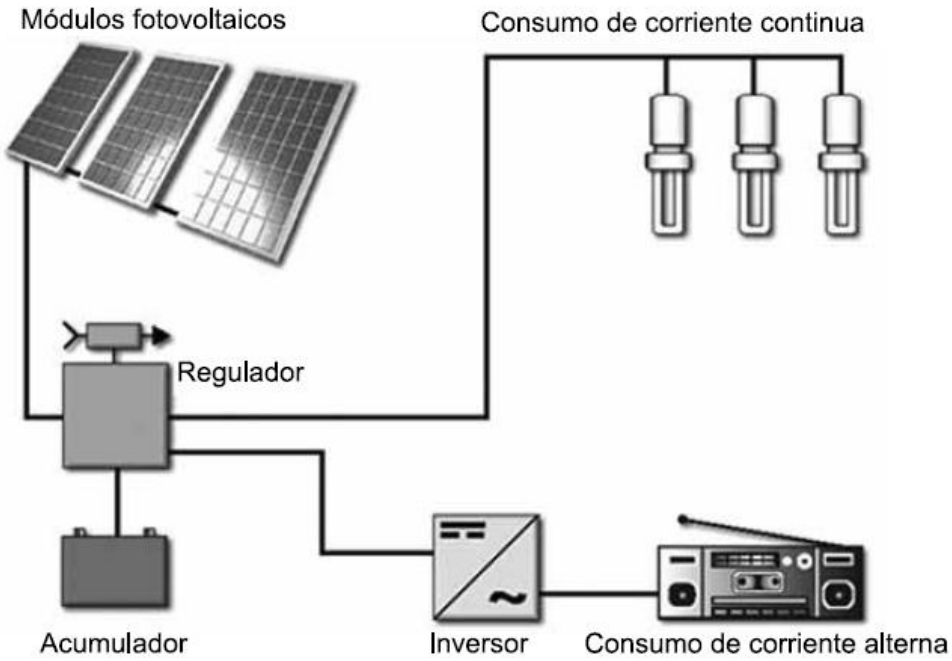

Figura 6.- Esquema Conceptual de una instalación solar fotovoltaica. Fuente: Libro. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.2.1. Subsistema de captación

Está constituido por el panel fotovoltaico, el cual tiene como función convertir la radiación solar que incide sobre él en electricidad. El panel, cuya superficie más habitual se encuentra entre 0,5 m2 y 0,8 m2, está integrado por un conjunto de células fotovoltaicas que se conectan en serie y paralelo con el propósito de lograr, para una

radiación dada, unos determinados niveles de tensión e intensidad eléctrica. Asimismo, la estructura del panel proporciona resistencia mecánica y estanqueidad a las células, facilita la evacuación del calor de las mismas, incrementando así su rendimiento, y favorece la optimización de la captación de la radiación solar.

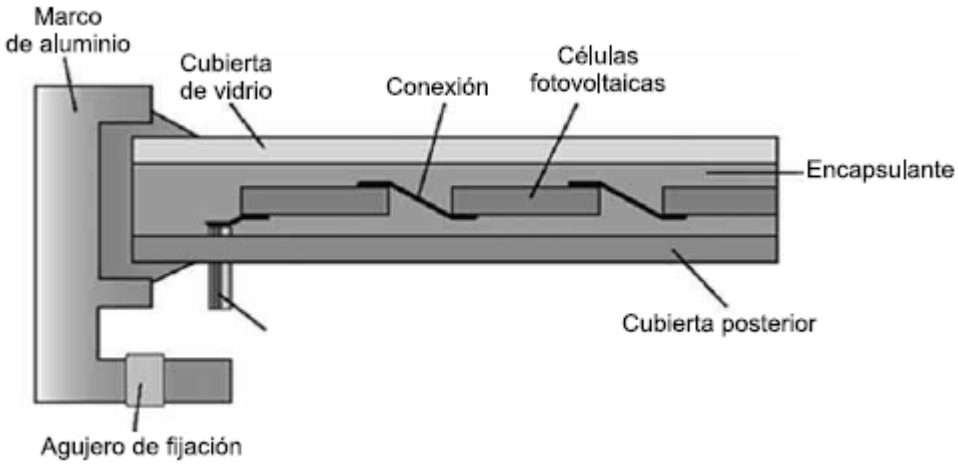

Figura 7.- Componentes de un panel fotovoltaico. Fuente: Libro. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.2.2. Subsistema de almacenamiento

Este tiene como función almacenar la energía eléctrica generada que no está siendo utilizada por el consumidor, ya que al ser la radiación solar variable no podría garantizarse, en el caso de ausencia de este subsistema, el suministro de energía en todo momento. El sistema de almacenamiento está compuesto por baterías conectadas en serie o en paralelo. De los distintos tipos de baterías que pueden ser empleadas, las de plomo ácido son las que mejor se adaptan a este tipo de generación, de hecho, más del 90% del mercado corresponde a este tipo de baterías. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.2.3. Subsistema de regulación

Tiene como función evitar que las baterías reciban más energía que la máxima que estás son capaces de almacenar y prevenir las sobrecargas que agotarían en exceso la carga de la misma. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.2.4. Subsistema convertidor de corriente

Es el encargado de adaptar la energía producida por el panel fotovoltaico o la almacenada en las baterías, que es de tipo continuo, al tipo de energía, continua o alterna, solicitada por las cargas. En el caso de que la carga requiera consumir corriente alterna, el convertidor consiste en un inversor, el cual transforma la tensión e intensidad continuas en tensión y corriente alternas. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

Los cuatro subsistemas citados anteriormente son para instalaciones con carácter general. El concurso de todos, o de parte de ellos variará en función de las diferentes configuraciones que existen, los dos grupos más destacables son las instalaciones autónomas y las instalaciones conectadas a red. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.3. Tipos de Células Fotovoltaicas más utilizadas actualmente

Existen una gran variedad de tecnologías de células fotovoltaicas en el mercado, cada una de ellas tiene diferentes características, las más comunes son:

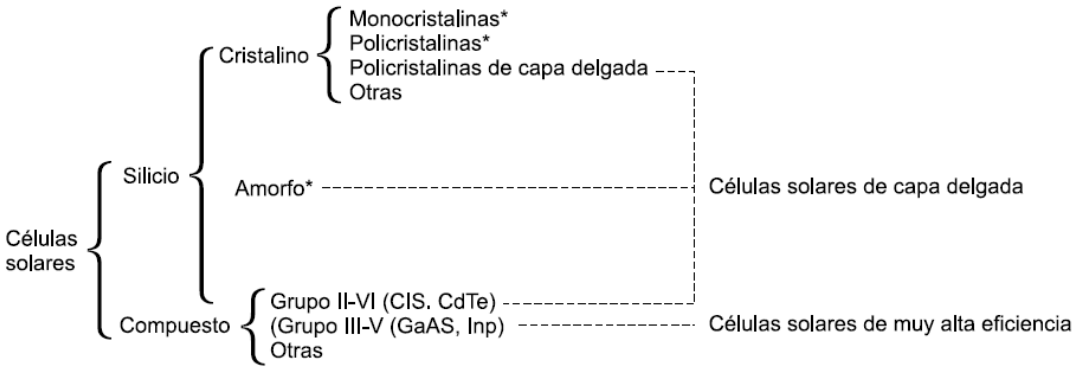

Figura 8.- Tipos de Células Fotovoltaicas. Fuente: Libro. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.3.1. Silicio Cristalizado

Logra una eficiencia media a un coste medio. Una doble capa antirreflectante y una superficie frontal con pirámides invertidas minimizan las perdidas ópticas. La oblea de silicio tiene un espesor de 400 µm, ofreciendo una larga trayectoria óptica. Una capa

dieléctrica de SiO2 se inserta entre la oblea de silicio y un conductor de aluminio con el fin de obtener una superficie altamente reflectante en la parte trasera de la célula.

En el caso de células industriales de silicio, se utilizan recubrimientos antirreflectantes de doble-capa. Además, las obleas de silicio monocristalino se sustituyen por obleas multicristalinas. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.3.1.1. Silicio monocristalino

La mayoría de las células actualmente en el mercado son monocristalinas. El proceso de fabricación es el siguiente: El silicio se purifica, se funde y se cristaliza en lingotes. Los lingotes son cortados en finas obleas para hacer células individuales. Las células monocristalinas tienen un color uniforme, generalmente azul o negro. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.3.1.2. Silicio policristalino

Las células policristalinas se fabrican de forma similar a las monocristalinas. La principal diferencia es que se utiliza un silicio de bajo coste. Generalmente redunda en una reducción en la eficiencia, pero los fabricantes defienden que el precio por kW es menor. La superficie de las células policristalinas tiene un patrón aleatorio de cristalización en lugar del color homogéneo de las células monocristalinas. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

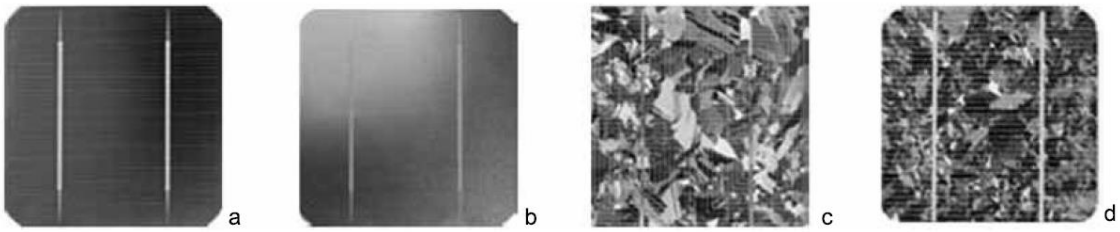

Figura 9.- Silicio monocristalino (a y b) y policristalino (c y d). Fuente: Libro. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.3.2. Thin Film

Se encuentra por detrás de la tecnología convencional en términos de eficiencia pero es la más barata y ligera por lo que es óptima para su colocación en tejados (Figura

6.43). Es el material más eficiente de condiciones pobres, mientras que también ressulta extremadamente robusto, a prueba de vandalismo. Eficacia de aproximadamente 6%.

Los módulos PV thin film tienen un precio por vatio más bajo y son menos sensible que los módulos cristalinos convencionales a las elevaciones de temperatura (para las regiones calientes) así como a la luz difusa.

La solución de acoplamiento paralelo masivo es la solución idealmente adaptada a los módulos thin film en término de coste y de rentabilidad, para los proyectos en tejados así como para los proyectos de construcción integra de módulos fotovoltaicos en fachada. Estas aplicaciones aumentan la producción total en las condiciones reales de funcionamiento (nubes, pedazos de hojas, manchas, sombras proyectadas, luz difusa, degradación posible de un módulo, etc.) y permiten una reducción del diseño y los costes de integración.

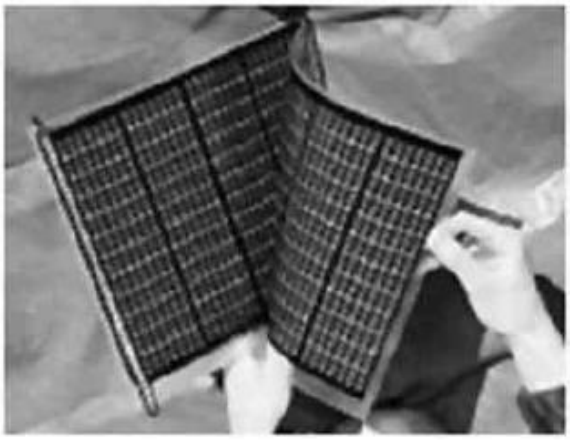

Figura 10.- Celulas Thin Film. Fuente: Libro. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.7.4. Circuito Equivalente de la Celda Solar

La celda solar puede ser representada por el siguiente circuito equivalente:

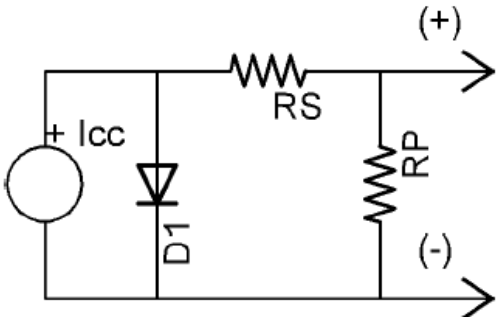

Figura 11.- Circuito Eléctrico equivalente de la celda solar. Fuente: Trabajo de Grado. (Guachimboza Dávalos, 2011)

En cuanto a una expresión exponencial simplificada se presenta en Ecuación característica.

Las celdas solares constituyen un producto intermedio, proporcionan valores de tensión y de corriente limitados en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos usuarios, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin soporte mecánico. Se ensamblan de la manera adecuada para formar una única estructura: el panel fotovoltaico que es una estructura sólida y manejable. El número de células en un panel, y por lo tanto su voltaje de salida, depende de la estructura cristalina del semiconductor usado. Los paneles pueden tener diferentes tamaños: los más utilizados están formados por 40-80 células conectadas eléctricamente en serie, con una superficie que oscila entre los 0.8 m2 a los 2 m2. (Cabré, 2012)

Por ejemplo, cada célula de 150x150 mm2 puede producir una corriente de 3,05 A con una tensión de 0,5V, por lo tanto, una potencia de 3,5 Watt en condiciones estándares. Esto cuando ésta se encuentra a una temperatura de 25°C, con una potencia de radiación solar equivalente a 1000 W/m2 como se indica en la figura:

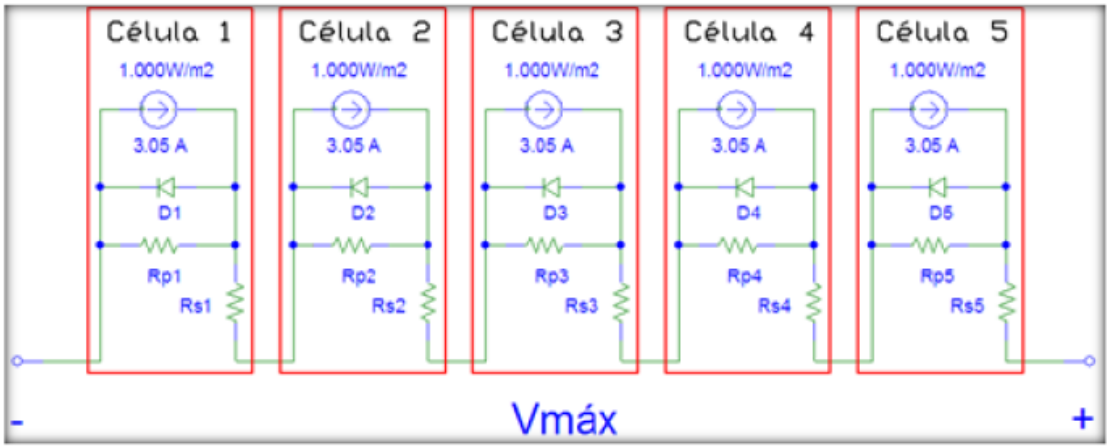

Figura 12.- Esquema Eléctrico Equivalente. Fuente: Investigación (Cabré, 2012)

1.7.5. Condiciones Estándar de Prueba

Las Condiciones Estándar de Prueba (STC o Standard Test Conditions) para equipos que utilizan la energía del Sol (por ejemplo, paneles fotovoltaicos y colectores solares)

asumen una temperatura de 25ºC, una radiación de 1000 W/m2, una velocidad del viento de 1 m/s y una masa de aire igual a 1,5.

Condiciones Estándar de Medida de Características de Módulos Fotovoltaicos	
Irradiancia	1000 W / m^2
Distribución espectral	AM 1,5
Incidencia	Normal
Temperatura de la célula	25ºC

Tabla 1.- Condiciones Estándar de Medida. Fuente: http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/08_lecciones/02_leccion/www/Modulo_fotovoltaico.htm

La masa de aire (abreviada AM por sus siglas en inglés "air mass") es la distancia entre el suelo (usualmente al nivel del mar) y la parte exterior de la atmósfera.

En el espacio exterior la masa de aire es cero (AM0). Un rayo de sol perpendicular al suelo tiene una AM1, es decir una atmósfera de distancia. Esto no es lo común, pues dependiendo de la posición del Sol durante el día o el año, esta masa se incrementa y la radiación debe recorrer una mayor distancia hasta el suelo.

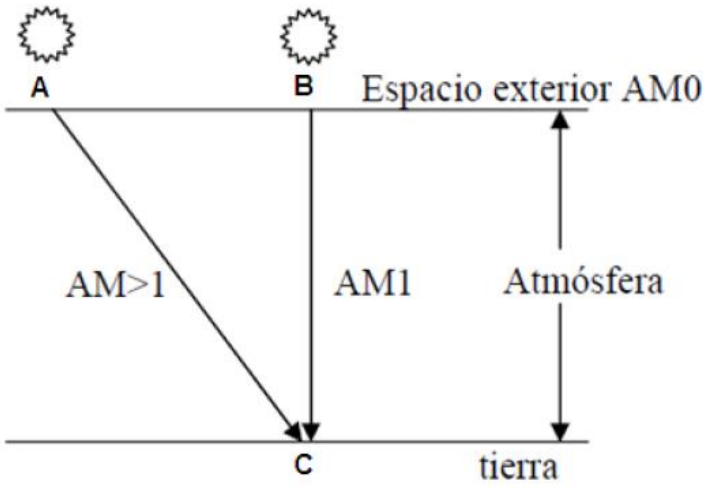

Figura 13.- Variación anual y diaria de la masa de aire. Fuente: Libro: Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones (Sánchez Miño, 2003)

La masa de aire puede calcularse usando la expresión:

$$AM = \frac{1}{\cos \alpha}$$

Donde α es el ángulo formado entre la posición de cénit (punto más alto del firmamento situado sobre el observador) y la posición del Sol en ese momento.

Valores para la masa de aire mayores que la unidad, indican que la radiación directa debe atravesar una distancia mayor dentro de la atmósfera. Se deduce así que una masa de aire de valor 1,5 corresponde a un ángulo α de unos 48° y cuando el Sol se oculta este ángulo se acerca a 90º y la masa de aire sería de 57 aproximadamente.

Algunos fabricantes definen las Condiciones Normales de Operación (NOCT o Normal Operating Cell Temperature ratings), más reales que las STC y son: masa de aire igual a 1,5, una radiación de 800 W/m2, una temperatura ambiente de 20°C y velocidad del viento igual a 1 m/s.

1.7.6. Curva Característica del Módulo Fotovoltaico

El módulo fotovoltaico funciona como generador de energía; este posee parámetros de corriente y tensión que varían según la temperatura e irradiancia que recibe y las condiciones que la carga estipule. Por ejemplo, al conectarse este a una batería de 12 V, se limitará la tensión de salida de panel a dicho valor. De esta manera, los parámetros característicos de un módulo se representan gráficamente con la siguiente curva (SunFields Europe, 2016):

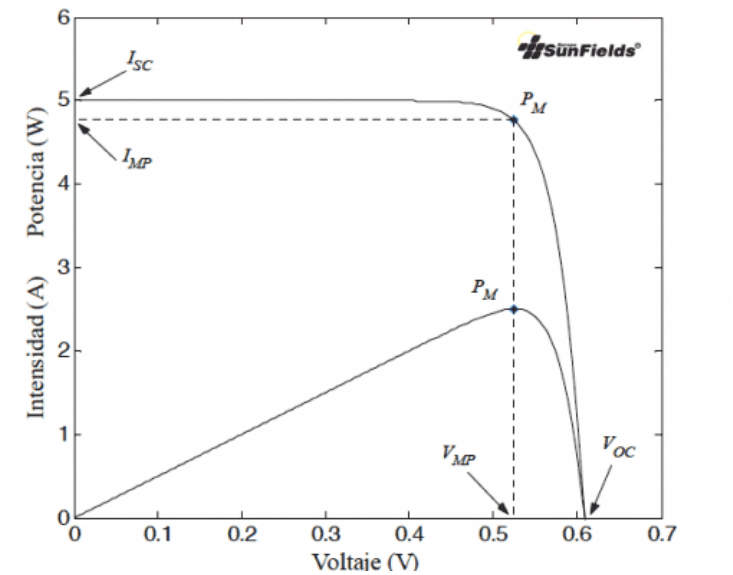

Figura 14.- Curva Tensión-Corriente-Potencia de un módulo fotovoltaico. Fuente: WebSite (SunFields Europe, 2016)

Así pues, los parámetros fundamentales que se deben reconocer de un módulo fotovoltaico son los siguientes (SunFields Europe, 2016):

- La corriente de cortocircuito (ISC) es la máxima corriente que se podría obtener de forma ideal cuando el voltaje en los terminales del módulo es nula.
- La tensión de circuito abierto (VOC) es el mayor voltaje que puede tener el módulo funcionando como generador.
- El punto de máxima potencia (PM) es el punto correspondiente a la máxima potencia que puede entregar el módulo solar, definido por los valores de Voltaje e Intensidad nominales del mismo.
- El factor de forma (FF, del inglés, Fill Factor) es la razón entre potencia máxima y el producto de la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto; generalmente a un valor bajo de FF se le asocian pérdidas de eficiencia en el módulo. La fórmula es la siguiente:

$$FF = \frac{Pmax}{VOC * ISC}$$

- La eficiencia es la razón entre la potencia eléctrica que entrega el panel entre la potencia debido a la radiación incidente. Los niveles de eficiencia de los módulos fotovoltaicos varían generalmente entre 12 y 16%.

Estos son los parámetros más importantes de un módulo solar fotovoltaico, y siempre deben estar medidos en referencia a las Condiciones Estándar de Medida (STC) anteriormente explicadas.

1.7.6.1. Ecuación Característica

La curva característica corriente tensión de una célula fotovoltaica puede describirse con suficiente precisión por la ecuación:

$$I = I_1 - I_0\left(exp\left(\frac{V + IR_s}{mv_t}\right) - 1\right) - \frac{V + IR_s}{R_P}$$

Donde I_1 es la corriente fotogenerada, I_0 es la corriente inversa de saturación del diodo, V_t es el voltaje térmico (vt=KT/e, siendo K la constante de Boltzman, T la temperatura en grados Kelvin y e la carga del electrón), m es el factor de idealidad del diodo, Rs es la resistencia serie y Rp la resistencia paralela. Para el caso de un módulo FV, su característica eléctrica dependerá del número de células en serie y paralelo que posea. Si suponemos que todas las células constituyentes de un módulo fueran iguales, la corriente generada por el módulo sería igual a la corriente de la célula multiplicada por el número de células en paralelo, y el voltaje sería igual al voltaje de la célula multiplicado por el número de células en serie:

$$I_{MOD} = I_C * N_P$$

$$V_{MOD} = V_C * N_S$$

Donde Np y Ns son respectivamente el número de células en paralelo y en serie que contiene el módulo que se empleará, como ejemplo en la siguiente figura:

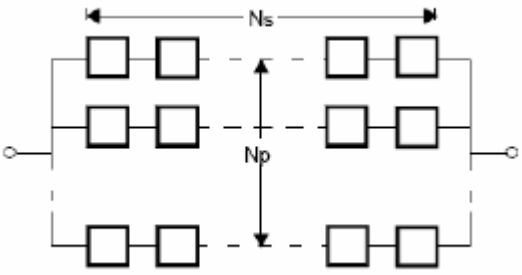

Figura 15.- Esquema de conexionado eléctrico en un módulo fotovoltaico. Fuente: Tesis de Grado. (Fernández Ferichola, 2009)

Teniendo esto en cuenta, si combinamos las ecuaciones anteriores se obtendría, para la curva característica de un módulo fotovoltaico formado por células iguales y con relación a los parámetros de la célula:

$$I = I_1 - I_0\left(exp\left(\frac{\frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_P}}{mv_t}\right) - 1\right) - \frac{\frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_P}}{R_P}$$

Esta ecuación muestra el mismo comportamiento que la característica I-V de una célula, y de hecho en la práctica, cuando hablamos de la ecuación característica y los parámetros fundamentales de un módulo fotovoltaico, no se suele hacer referencia a su relación con la célula solar, sino que se escribe la ecuación con todos los parámetros característicos (Il, I0, m, Rs, Rp) del módulo. La siguiente figura muestra un ejemplo de la curva característica de un módulo FV partiendo de la misma célula y con diferentes

configuraciones serie paralelo. Los parámetros significativos de esta curva son los mismos que se empleaban para el caso de células, es decir, Isc es la corriente de cortocircuito, Voc es la tensión de circuito abierto, Vpmp e Ipmp son los valores de voltaje de y corrientes correspondientes al punto de máxima potencia Pmax, y FF es el "Fill factor" o "Factor de forma" (FF=Vpmp·Ipmp/Voc·Isc) que da una idea de la calidad de la curva. (Fernández Ferichola, 2009)

Configuración	Isc(A)	Voc(V)	Pmax(W)	Vpmp (V)	Ipmp(A)
36s	2.8	21.6	46	17.7	2.6
36s x 2p	5.6	10.8	46	8.8	5.1
13s x 3p	8.5	7.2	46	5.9	7.7

Tabla 2.- Parámetros Característicos para la Curva de la Figura 6. Fuente: Tesis de Grado. (Fernández Ferichola, 2009)

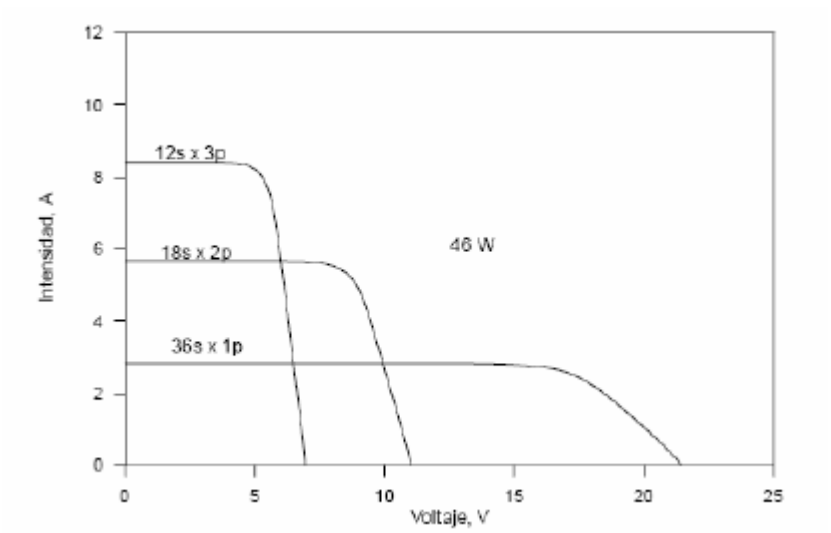

Figura 16. Curva Característica del módulo fotovoltaico para diferentes combinaciones serie-paralelo de la célula solar. Fuentes: Tesis de Grado. (Fernández Ferichola, 2009)

1.7.7. ALGORITMOS

1.7.7.1. Algoritmos Genéricos

Los algoritmos genéricos hacen referencia a aquellos que admiten la utilización de un amplio rango de valores de entrada, y en base a estos ejecutan el código

preestablecido. La única desventaja de este tipo de algoritmos se presenta al momento de verificar el funcionamiento del mismo, pues debe tenerse una aplicación previa comprobada con determinados valores de entrada a fin de contrastar la aplicabilidad del mismo (Aprende a Programar, 2018)

1.7.7.2. Verificación de Algoritmos Genéricos

Consiste en la comprobación de que para todo dato de entrada el resultado de la aplicación del algoritmo es siempre correcto. Para esto podría suponerse que con la aplicación de una elevada cantidad de pruebas cuyo resultado sea consistente sería suficiente, pero sería inviable incluso teniendo una capacidad elevada de computo, principalmente por el tiempo que estas demandarían. Por esto, basta con realizar un número concreto de pruebas en dónde el resultado sea esperable y de esta forma, se entiende la aplicabilidad del mismo. (Aprende a Programar, 2018)

La cantidad de pruebas que se aplicaran al algoritmo dependen principalmente de dos aspectos:

- Un número suficiente de valores de entrada en dónde se incluyan valores importantes como un punto máximo o mínimo; en aquellos datos en los que el algoritmo no está pensado aplicarse no tiene sentido realizar la prueba.
- En base a la experiencia del especialista.

Para algoritmos genéricos aplicados a modelos matemáticos de ingeniería para la toma de decisiones generalmente basta con una sola comparación a un proyecto ya existente y corroborado. De esta manera se reconoce el correcto funcionamiento del mismo

2. MÉTODO

2.1. Enfoque – Tipo – Diseño de Investigación – Método

La investigación posee un enfoque mixto, pues las variables que se estudiarán son medibles, desde las condiciones iniciales trabajo como las cargas de la instalación o los niveles de irradiancia de la zona de aplicación hasta los parámetros calculados y seleccionados en cada proceso.

Además, el tipo de investigación a desarrollar es de carácter aplicado, pues se buscan las configuraciones óptimas para el desarrollo de un diseño útil. Finalmente, la investigación es del carácter pre-experimental, debido a que no se cuenta con un grupo de control, y se realizará una post-prueba del diseño realizado mediante simulaciones.

En cuanto a la metodología a seguir, se encuentra plasmada en la secuencia de los objetivos específicos. De tal forma que se siguió la secuencia presentada en el siguiente diagrama de flujo:

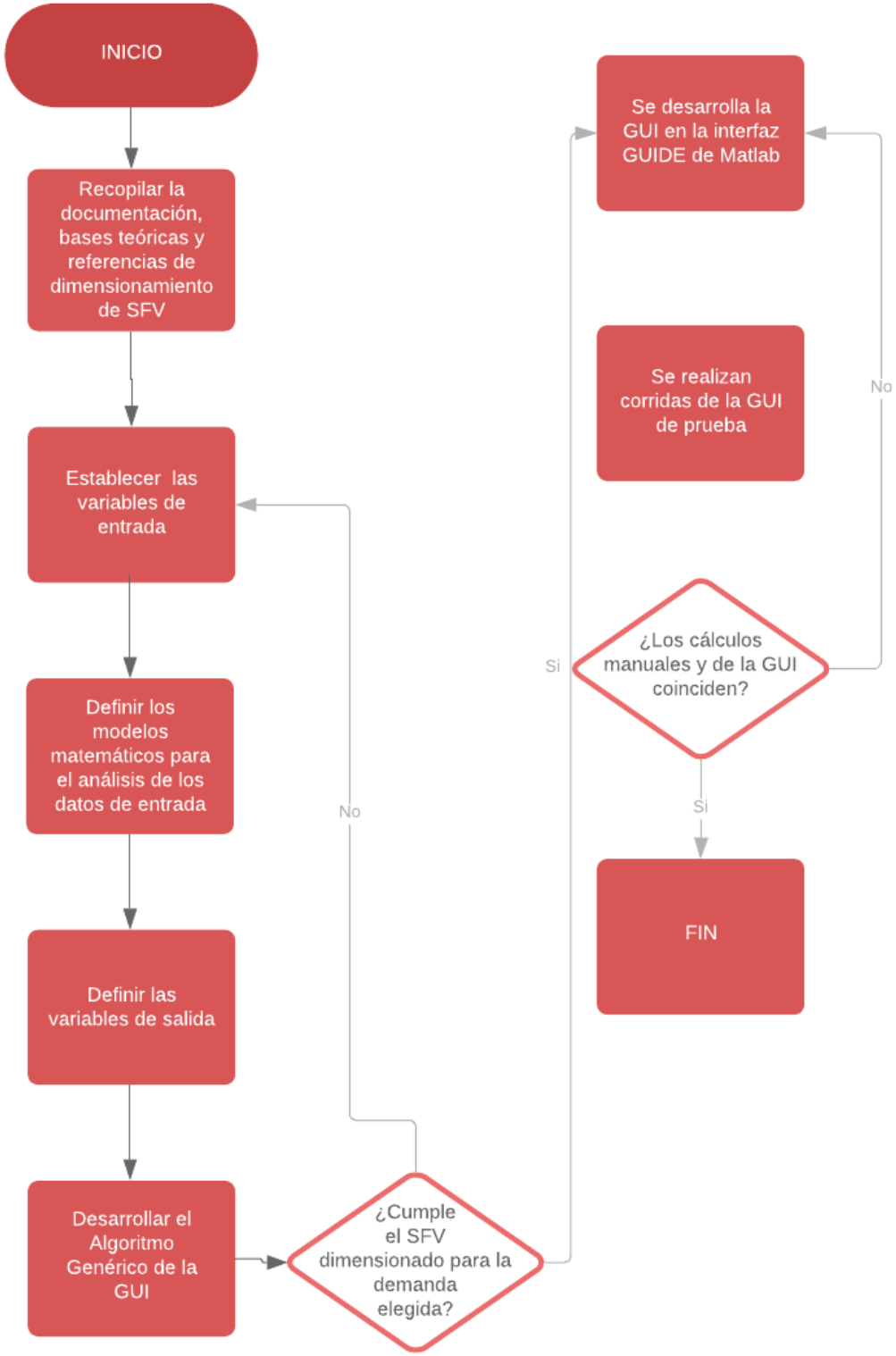

Figura 17.- Metodología de Trabajo para desarrollo de la GUI – Diagrama de Flujo

2.2. Población y Muestra

No aplicable para este tipo de investigación.

2.3. Variables y Operacionalización

2.3.1. Variable de definición del problema:

- Disponibilidad y demanda energética
  - Cargas de la instalación
    - Potencia (W)
    - Horas de Uso (h)
  - Irradiancia de la zona (kWh/m2-dia)

2.3.2. Variables Entrada:

  - Variables de ajuste:
    - Dia de diseño (dn)
    - Ángulo de inclinación del panel (°)
  - Variables para rendimiento.
    - b (ad)
    - c (ad)
    - v (ad)
    - a (ad)
    - N (ad)
    - Pd (ad)
  - Variables del fabricante
    - Eficiencia del Panel Solar (ad)
    - Potencia del Panel Solar (W)
    - Capacidad de la Batería (Ah)
    - Voltaje de la batería (V)

2.3.3. Variables Salida:

  - Energía del sistema
    - Máxima demanda (W)
    - Energía Total Diaria (Wh/dia)
    - Energía Total Mensual (kWh/dia)

        - Energía Diaria Corregida (Wh/día)
    - Rendimiento del Sistema (ad)
    - Radiación Total Sobre el Plano Inclinado (kWh/m2)
        - Radiación Directa Sobre el Plano Inclinado (kWh/m2)
        - Radiación Difusa Sobre el Plano Inclinado (kWh/m2)
        - Radiación Albedo Sobre el Plano Inclinado (kWh/m2)
    - Horas Pico Solar (h)
    - Variables de dimensionamiento:
        - Número de paneles solares
        - Número de baterías
        - Gráficas

2.3.4. Variables intervinientes

- Latitud (°)
- Altitud (°)
- Reflectividad del suelo (ad)

2.3.5. Caja negra para variables

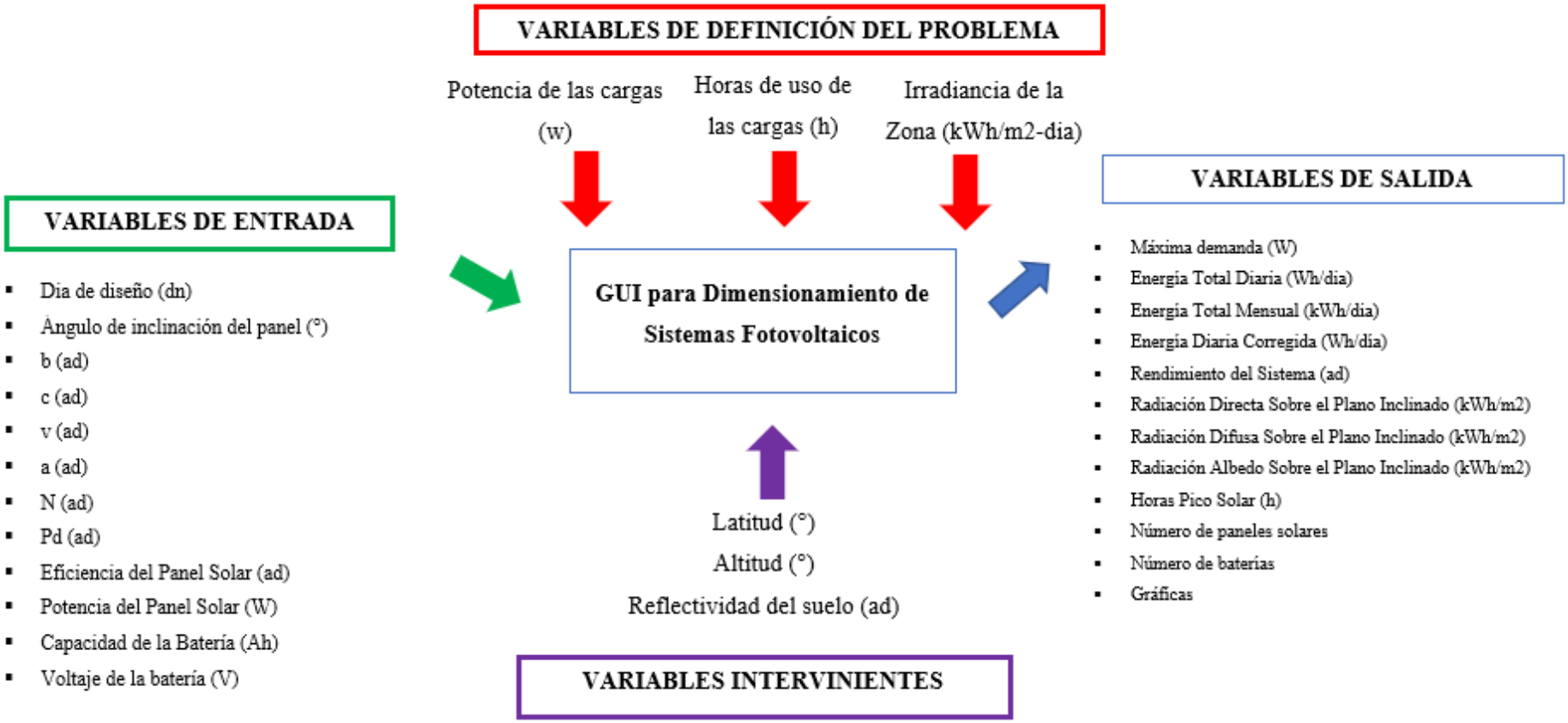

Figura 18.-Caja Negra para GUI de calificación en soldadura por arco eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

2.3.5.1. 2.2.2 Operacionalización de variables

	Variable	Definición	Indicador	Escala
VARIABLES DE ENTRADA	Variables de Ajuste	Son las condiciones bajo las cuales se ejecuta el ajuste de valores. El usuario tiene control sobre estos valores, pero generalmente se prefieren tomar los más óptimos. Para el día de diseño se utiliza normalmente el día medio del mes de menor irradiación, y para el valor óptimo de inclinación del panel se toma en base a la latitud.	Dia de diseño	adimensional
			Ángulo de inclinación del panel	°
	Variables de Rendimiento del Sistema	Son las variables que influyen en las perdidas del sistema debido a los equipos que lo componen como los acumuladores (las baterías), el convertidor, perdidas por autodescarga, además de las correcciones por los días de autonomía del sistema de acumulación y su profundidad de descarga.	Coeficiente de Perdidas por rendimiento de Acumulador (b)	Adimensional
			Coeficiente de Perdidas del Convertidor ©	Adimensional
			Coeficiente de Perdidas Varias (v)	Adimensional
			Coeficiente de autodescarga diario (a)	Adimensional
			Número de días de autonomía de la instalación (N)	dias
			Profundidad de descarga de la batería (Pd)	%
	Variables del fabricante	Hace referencia a los valores disponibles en el mercado en cuanto a equipos solares y baterías	Eficiencia del Panel Solar	Adimensional
			Potencia del Panel Solar	W

			Capacidad de la Batería	Ah
			Voltaje de la Batería	V
VARIABLES DE SOLUCIÓN	Energía del Sistema	Se define como la energía total consumida por las cargas registradas en la GUI. Se calcula inicialmente la máxima demanda (correspondiente a la potencia de todos los equipos en funcionamiento) y la energía total consumida diaria y mensual en base a las horas de uso. Posteriormente estos valores son corregidos utilizando el rendimiento del sistema.	Máxima Demanda	W
			Energía Total Diaria	Wh/dia
			Energía Total Mensual	kWh/dia
			Energía Diaria Corregida	Wh/dia

	Rendimiento del Sistema	Se calcula en base a los factores de perdidas registrados por el usuario, tiene un valor de 0 a 1 y se utiliza para corregir la energía consumida.	Rendimiento del Sistema	Adimensional
	Radiación Total Sobre el Plano Inclinado	Es la corrección mediante las variables de Geometría Solar de la radiación que llega al panel solar según la inclinación de este. Se divide en radiación directa, difusa y albedo.	Radiación Directa Sobre el Plano Inclinado (H)	kWh/m2
			Radiación Difusa Sobre el Plano Inclinado (G)	kWh/m2
			Radiación Albedo Sobre el Plano Inclinado (A)	kWh/m2
	Horas Pico Solar	Es la cantidad de horas a las que el panel solar estaría expuesto a una radiación de 1000Wh/m2 para satisfacer al día la Radiación Total calculada anteriormente	HPS	H
	Dimensionamiento del SFV	Son los valores finales calculados en referencia al dimensionamiento del SFV, incluye la cantidad de paneles solares, el número de baterías y la representación gráfica de estos valores.	Número de Paneles Solares (Np)	Adimensional
			Número de Baterías (Nb)	Adimensional

Tabla 3.- Operacionalización de Variables GUI de calificación de soldadura. Fuente: Elaboración propia

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

En este proyecto de investigación, para la recolección de datos se emplearon tres técnicas con la finalidad de adquirir la información deseada para alcanzar los objetivos de la investigación. Las técnicas de recolección son las siguientes:

2.4.1.1. Observación

En el proceso de investigación la observación es una técnica útil para el analista, consta en contemplar a las personas cuando ejecutan su trabajo. El propósito de esta técnica es múltiple ya que permite hallar qué se realiza, cómo se realiza, quién lo realiza, cuándo se lleva acabo, cuánto tiempo toma, por qué y dónde se realiza.

Para el caso se observará las clases de centrales solares a fin de reconocer la metodología para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos.

2.4.1.1. Consultas a Profesionales

Se realizarán consultas a docentes expertos en la materia a fin de utilizar la bibliografía adecuada y no presentar errores o cálculos no válidos.

2.4.1.2. Información bibliográfica

La técnica de información bibliográfica servirá para una evaluación correcta los sistemas fotovoltaicos, el cálculo pertinente a fin de tener fórmulas y criterios de validez. Dicha información será obtenida de las fuentes bibliográficas que se visitarán para la obtención de información. La información será recopilada de internet, libros, leyes, normas, tesis, publicaciones etc.

2.4.1.3. Análisis de documentos

Esta técnica es utilizada para alcanzar un estudio de los documentos recopilados (libros, tesis, publicaciones, etc.) Para contar con una información veraz con respecto al tema y así brindar una certera evaluación con respecto a los parámetros necesarios para el dimensionamiento de SFV, teniendo en cuenta que sean análisis prácticos y aplicables.

Técnicas	Instrumento	Validez
Observación	Cámara fotográfica	Especialista
Consultas	Anotaciones	Especialista
Información Bibliográfica	Internet, libros	Especialista
Análisis de datos	Matlab	Especialista

Tabla 4.- Instrumentos de Recolección de Datos. Fuente: Propia

2.4.2. Validación y confiabilidad

Las técnicas de recolección de datos se validarán por un profesional experto reconocido como investigador y con un grado académico que lo respalda.

2.5. Procedimiento de análisis de datos

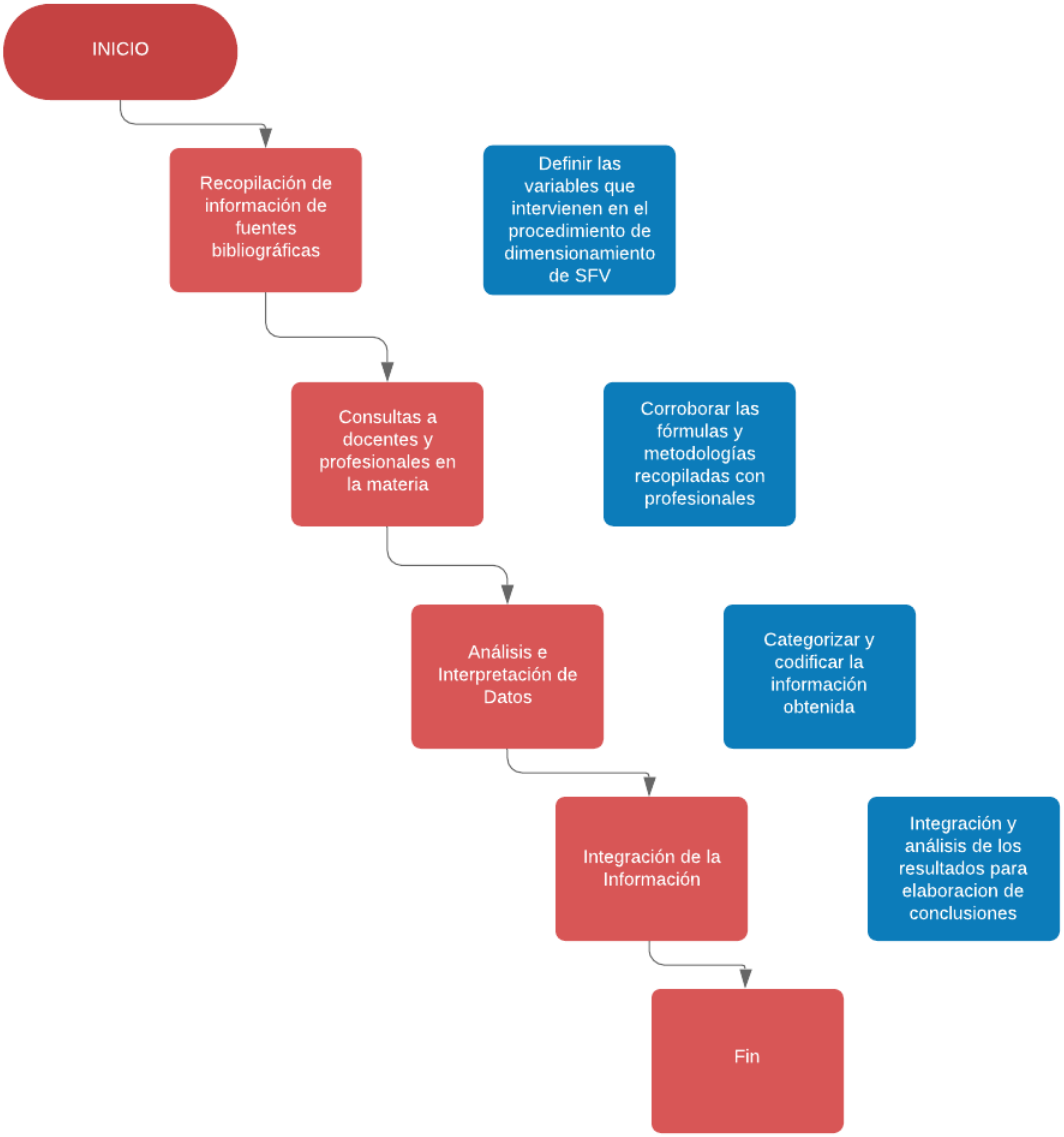

Figura 19.- Desarrollo de actividades para el cumplimiento de la investigación.

Fuente: Propia

2.6. Criterios éticos

Se tendrán en cuenta los aspectos éticos de profesionalismo del colegio de ingenieros del Perú (CIP) y el código de ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán presentados a continuación:

CODIGO DE ETICA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ (CIP) APROBADO EN LA III SECCIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS DEPARTAMENTALES DEL PERIODO 1998 – 1999 EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 DE ABRIL 1999.

Art. 4 – Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país dependen de los juicios, decisiones incorporadas por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, maquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud.

Art. 12 – Los ingenieros expresaran opiniones en temas de ingeniería solamente cuando ellas se basen en un adecuado análisis y conocimiento de los hechos, en competencia técnica suficiente y convicción sincera.

CÓDIGO DE ÉTICA DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN ELABORADO POR LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN, REVISADO POR EL ÁREA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO INSTITUCIONAL – ASESORÍA LEGAL. RATIFICADO POR EL ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN RECTORAL N° 0851 – 2017/USS

Art. 7°: Son deberes éticos de los investigadores:

- Autonomía.
- Responsabilidad.
- Profesionalismo.
- Compromiso con la sociedad.
- Supervisión.
- Desarrollo profesional.

Art. 14º: Respecto de los investigados y de lo investigado:

- Respetar las condiciones de salud, de integridad física, psicológica y moral de las personas o grupos que participan en el estudio.
- Solicitar y obtener el consentimiento expresado e informado de las personas sujetos investigación.
- Respetar la idiosincrasia y la cultura de los participantes en la investigación.

- Garantizar el bienestar de las personas, animales y plantas, como objeto de investigación.
- Garantizar el almacenamiento adecuado de la información obtenida para el estudio.
- Aplicar en todo momento los criterios de confidencialidad y anonimato.
- Presentar los resultados respetando las normas de Propiedad Intelectual.

2.7. Criterios de Rigor Científico

Este trabajo presenta un orden estructural con el que se garantiza obtener resultados fiables, los mismos que se presentan en todo el desarrollo del proyecto. La recolección de datos se basa en herramientas y pruebas de carácter científico, que validan esta investigación. Estas son:

- **Fiabilidad**: se presenta la investigación como fiable porque se utilizarán métodos probados y comprobados para la obtención de datos, así como también de los resultados. La metodología que se aplicará en este proyecto además ha sido sustentada por otros investigadores, lo que asegura su veracidad.
- **Validez**: la validación de la recolección de datos e interpretación correcta de los resultados obtenidos se realizarán desde distintos puntos de vista. Se analizarán e interpretarán teórica y experimentalmente, verificándose posteriormente con investigaciones anteriores.
- **Credibilidad**: denominado como autenticidad, el cual permite evidenciar que los fenómenos y las experiencias en el proceso investigativo, muestra que los resultados obtenidos son muy aproximados y cercanos a los resultados obtenidos por otros investigadores, en tal caso se considera como reales y verdaderos los hallazgos obtenidos.

3. RESULTADOS

3.1. Diseño de la GUI mediante la herramienta GUIDE de Matlab

3.1.1. Herramienta GUIDE

Para el desarrollo de la GUI de manera adecuada se ha elegido el software Matlab el cual trabajo con el lenguaje de programación ".m". Con este software se desarrolló una interfaz mediante un aplicativo interno del mismo denominado GUIDE, este permite la creación de entornos gráficos llamados "Guides" que facilitan al usuario el ingreso de datos y el análisis posterior de resultados. Para la explicación del funcionamiento de esta herramienta se explica a detalle el funcionamiento del mismo a continuación:

El entorno de desarrollo de las interfaces gráficas de usuario o GUIDE está constituido por una pantalla en la que aparece una barra de herramientas, una paleta con componentes y una zona de diseño cuadriculada, tal y como se observa en la Figura 23, además de una barra de menús con las funciones elementales de edición en la parte superior, propia de cualquier programa o aplicación. También forma parte de este entorno el editor de código asociado a la GUI.

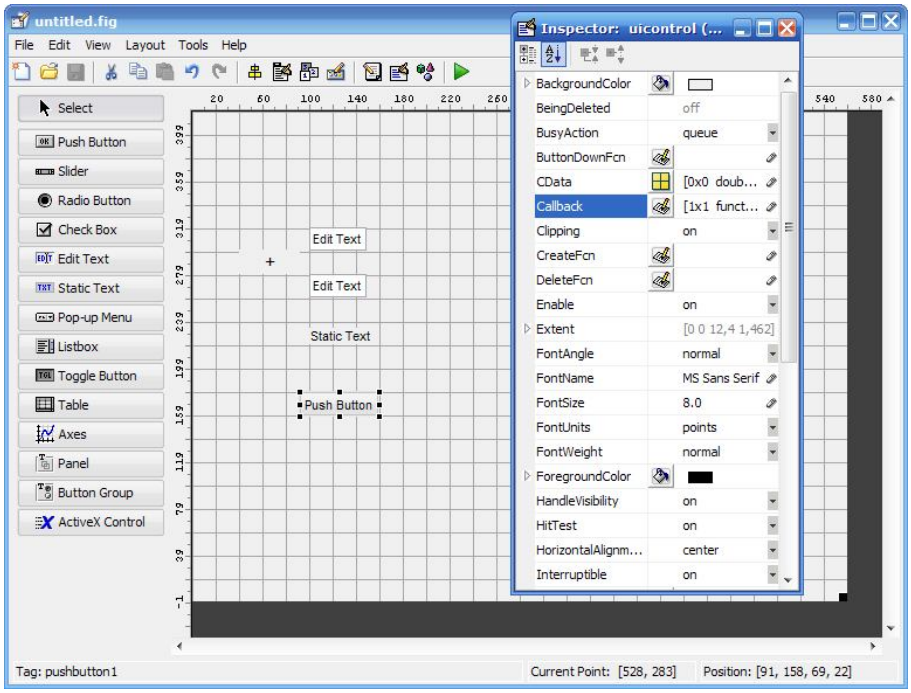

Figura 20.- Pantalla de editor GUIDE en MATLAB. Fuente: Propia.

3.1.2. Funcionamiento de GUIDE

Según la plataforma oficial de MathWorks (2018), la empresa responsable de la creación de Matlab, la herramienta GUIDE funciona así:

> GUIDE (entorno de desarrollo de GUI) proporciona herramientas para diseñar interfaces de usuario para Apps personalizadas. Mediante el editor de diseño de GUIDE, es posible diseñar gráficamente la interfaz de usuario. GUIDE genera entonces de manera automática el código de MATLAB para construir la interfaz, el cual se puede modificar para programar el comportamiento de la app.

El objetivo de este tipo de herramientas es que el usuario sin tener conocimientos del funcionamiento del código, pueda visualmente reconocer el funcionamiento del mismo, pudiendo sin experiencia previa en programación utilizar la herramienta gráfica diseñada.

3.1.3. Diseño y Construcción de GUI asistente para dimensionamiento de SFV

Antes de llevar a cabo la construcción de las distintas interfaces gráficas que forman parte de la herramienta, es necesario tener en cuenta una serie de cuestiones, como qué tipo de usuario va a trabajar con ella, qué es lo que se quiere que realice la interfaz, cómo va a interaccionar el usuario con ella o qué componentes son necesarios en la interfaz para que ésta realice su función.

El objetivo principal que se persigue es que el programa computacional sirva como una herramienta de cálculo, rápida y sencilla, para el estudio de motores de combustión interna cumpliendo en todo momento con la normativa aplicable a este tipo de diseño. El principal tipo de usuario al que va dirigida esta herramienta son profesionales y estudiantes de ingeniería mecánica eléctrica, aunque su diseño, sencillo e intuitivo, permite que pueda ser utilizado por casi cualquier tipo de usuario.

El primer paso para la simulación es necesario determinar cuáles van a ser los datos de entrada que tiene que introducir el usuario y que sirven para llevar a cabo el cálculo de cada uno de los parámetros requeridos.

Una vez realizado estas consideraciones se procede a la construcción de cada una de las GUI por medio de la herramienta GUIDE de MATLAB, llevando a cabo en primer lugar el

diseño gráfico de las mismas y posteriormente la programación de cada uno de los componentes que figuran en ellas.

3.2. Listado de Fórmulas Utilizadas

A continuación, se describen las fórmulas utilizadas para todos los valores calculados por la GUI necesarias para el dimensionamiento del SFV seleccionadas posterior a la recopilación y verificación de la información de las fuentes bibliográficas:

- **Potencia Máxima del Sistema (Máxima demanda)**

$$Pmax = \sum_{n=0}^{i} P_i$$

$Pmax$ =Potencia máxima del sistema a satisfacer (el supuesto en donde todos los equipos funcionan a la vez.

i =número de cargas

- **Energía Total del Sistema:**

$$E = \sum_{n=0}^{i} P_i * h_{uso-i}$$

E =Energía diaria consumida por todas las cargas del sistema juntas.

P_i= Potencia nominal de cada carga

h_{uso-i}=Horas de uso de cada carga individual

i =número de cargas

- **Ángulo de Inclinación del Panel**

$$\beta = 3{,}7 + (\phi.0.69)$$

- **Rendimiento de la Instalación:**

$$R = 1 - \left[(1 - b - c - v)a.\frac{N}{Pd}\right] - b - c - v$$

b = Pérdida por rendimiento en la batería

c = Pérdida en el inversor

v = Pérdidas diversas

a = Pérdidas por auto descarga

PD= Profundidad de descarga de la batería

N = Número de días de autonomía

- **Energía a Satisfacer Corregida**

$$E_c = \frac{E}{R}$$

Ec= Energía Corregida

E= Energía diaria consumida por las cargas

R= rendimiento de la instalación

- **Declinación Solar**

$$\delta = 23.45.\sin(360.\frac{284 + d_n}{365})$$

δ = Declinación Solar

d_n = Día medio del mes con menor irradiación solar (o en su defecto el elegido por el usuario)

- **Ángulo de Salida del Sol**

$$\omega_S = -\cos^{-1}(-\tan(\delta)\tan(\phi))$$

ω_S=Ángulo de Salida del Sol Sobre una superficie plana

δ = Declinación Solar

ϕ= Latitud

- **Ángulo de Salida del Sol sobre el Plano Inclinado**

$$\omega_{SS} = -\cos^{-1}(-\tan(\delta)\tan(\phi - \beta))$$

ω_{SS}=Ángulo de Salida del Sol sobre un Plano Inclinado

δ = Declinación Solar

ϕ= Latitud

β= Ángulo de inclinación del panel solar (o de la superficie en la que está posado)

- **Factor de Excentricidad**

$$\varepsilon = 1 + 0.033.\cos(2\pi.\frac{d_n}{265})$$

ε= Factor de Excentricidad

d_n = Día medio del mes con menor irradiación solar (o en su defecto el elegido por el usuario)

- **Radiación Sobre el Plano Horizontal**

$$H_{(0°)} = \left(\frac{T}{\pi}\right) I_0.\varepsilon.\left[-\left(\frac{\pi}{180}\right).(\omega_{SS}.\sin(\phi)\sin(\delta)) - (\cos(\phi)\cos(\delta)\sin(\omega_{SS}))\right]$$

$H_{(0°)}$=Radiación Sobre el Plano Horizontal

T= Longitud del día (24h)

I_0= Constante Solar (1367W/m2)

ε= Factor de Excentricidad

ω_{SS}=Ángulo de Salida del Sol sobre un Plano Inclinado

δ = Declinación Solar

ϕ= Latitud

- **Índice de Claridad**

$$K_{TM} = \left(\frac{G_0}{H_{(0°)}}\right)$$

K_{TM}= Índice de Claridad

G_0= Radiación Solar Global (Para el diseño se utiliza el valor de radiación mínima de la zona)

$H_{(0°)}$= Radiación Sobre el Plano Horizontal

- **Fracción Difusa de la Radiación:**

$$F_{DM} = 1 - 1.13.K_{TM}$$

F_{DM}= Fracción Difusa de la Radiación

K_{TM}= Índice de Claridad

- **Radiación Difusa:**

$$D_0 = G_0 . F_{DM}$$

D_0= Radiación Difusa

G_0= Radiación Solar Global (Para el diseño se utiliza el valor de radiación mínima de la zona)

F_{DM}= Fracción Difusa de la Radiación

- **Radiación que llega al plano inclinado:**

$$H = G_0 . D_0$$

H=Radiación que llega al plano inclinado

D_0= Radiación Difusa

G_0= Radiación Solar Global (Para el diseño se utiliza el valor de radiación mínima de la zona)

- **Factor de Corrrección:**

$$K = \left[\frac{\omega_{SS} . \left(\frac{\pi}{180}\right) . \sin(\delta) \sin(\phi - \beta) + (\cos(\delta) \cos(\phi - \beta) \sin(\omega_{SS}))}{\omega_S . \left(\frac{\pi}{180}\right) . \sin(\delta) \sin(\phi) + (\cos(\delta) \cos(\phi) \sin(\omega_S))} \right]$$

K= Factor de Corrección

ω_{SS}=Ángulo de Salida del Sol sobre un Plano Inclinado

ω_S=Ángulo de Salida del Sol sobre la Horizontal

δ = Declinación Solar

ϕ= Latitud

β= Ángulo de inclinación del panel solar (o de la superficie en la que está posado)

- **Radiación Directa que llega al Panel Solar:**

$$H_\beta = H . K$$

H_β= Radiación directa que llega al plano inclinado (al panel solar)

K= Factor de Corrección

H= Radiación que llega al plano inclinado

- **Radiación Difusa que llega al Panel Solar:**

$$D_\beta = D_0.\left(\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right)$$

D_β= Radiación difusa que llega al plano inclinado (al panel solar)

D_0= Radiación difusa

β= Ángulo de inclinación del panel solar (o de la superficie en la que está posado)

- **Radiación Albedo que llega al Panel Solar:**

$$AL_\beta = \frac{\rho.G_{0.(1-\cos(\beta))}}{2}$$

ρ= Reflectividad del suelo (un valor conservador si no se tiene datos de esto es 0.2)

AL_β= Radiación Albedo sobre el panel inclinado

G_0= Radiación Solar Global (Para el diseño se utiliza el valor de radiación mínima de la zona)

- **Radiación Total que llega al Panel Solar:**

$$G_\beta = H_\beta + D_\beta + AL_\beta$$

G_β= Radiación Total sobre el panel inclinado (Wh/m2-dia)

- **Horas Pico Solares:**

$$HPS(h) = \frac{G_\beta}{Iref}$$

$HPS(h)$= Horas pico Solares (h)

$Iref$= Irradiancia de referencia, para el caso son 1000W/m2

- **Potencia Pico:**

$$P_p = \frac{E_c}{HSP}$$

P_p= Potencia pico

- **Número de Paneles Solares:**

$$N_p = \frac{P_P}{P_R * P_{Modulo}}$$

N_p= Número de paneles solares para la instalación (se redondea al entero superior)

P_{Modulo}= Potencia nominal de cada módulo (Valor tomado del fabricante, va entre 0.8 a 0.95)

P_R= Eficiencia de cada panel solar (Valor tomado de fabricante)

- **Capacidad del Banco de Baterías:**

$$Cbb = \frac{E_c * N}{V_b * P_d}$$

E_c= Energía a Satisfacer Corregida

N =Días de autonomía del sistema

Vb = Voltaje de las Baterías

Pd = % de descarga máximo de las baterías

- **Número de Baterías:**

$$N_B = Cbb/Cb$$

Cbb = Capacidad del banco de baterías

Cb = Capacidad de la batería

3.3. Desarrollo de los algoritmos y ventanas de trabajo para la GUI

La investigación tiene como inicio el desarrollo de un algoritmo genérico a fin de que la GUI pueda ser utilizada para cualquier caso de dimensionamiento de SFV y no esté limitada a casos particulares. El algoritmo de trabajo será presentado entonces como un diagrama de flujo general de cómo deberá funcionar grosso modo la interfaz.

Hay que añadir que para el desarrollo de la GUI se pensó en realizar una interfaz asistente para que el usuario pueda ir calculando cada segmento de la información y vaya analizándola a fin de que pueda corroborar si es necesario ajustar algún valor ingresado y determinar con mayor seguridad qué valores debería corregir.

Entonces, el diagrama de trabajo de la GUI sería el siguiente:

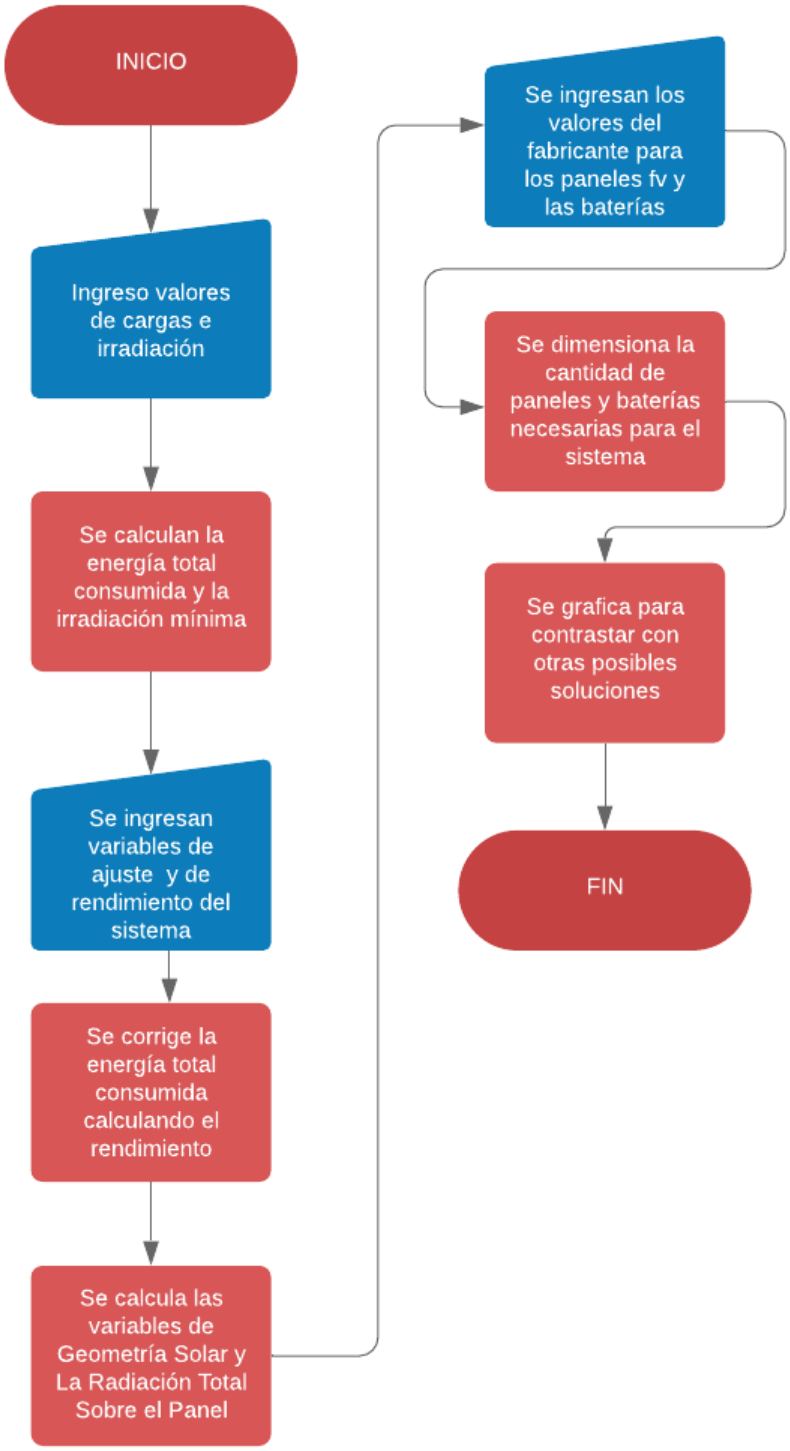

Figura 21.- Diagrama general de funcionamiento de la GUI para dimensionamiento de SFV. Fuente: Propia

3.3.1. Algoritmos para cada Ventana de GUI

Para el desarrollo de la GUI asistente se pensó en la programación de varias ventanas, un total de cinco, las cuales se le tituló con el nombre: “FOTOVOLTAIC_USS_SYSTEM” y se componen como sigue a continuación:

- Portada_USS_Fotovoltaic_System: es la ventana de presentación en donde se encuentra la información del tesista y se puede dar inicio o cierre de la aplicación. En esta solo se configuraron 2 botones, para inicio o salida de la aplicación como se muestra a continuación:

Figura 22.- Portada de GUI asistente para el dimensionamiento de SFV.

Fuente: Propia

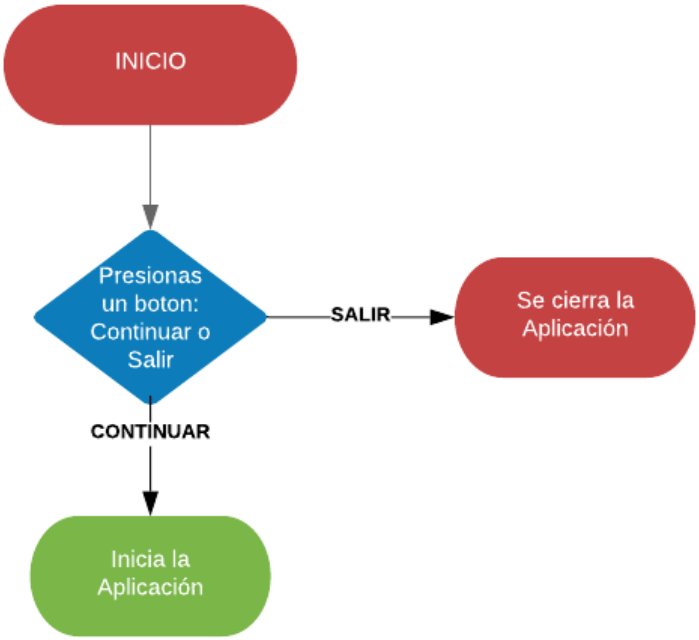

Figura 23.- Diagrama de flujo para portada de la GUI asistente para el dimensionamiento de SFV. Fuente: Propia.

- **Fotovoltaic_USS_System**: es la ventana inicial de la GUI, en esta el usuario ingresa los valores que definen la carga a satisfacer y la energía disponible en la zona de esta, con los valores de potencia y uso diario de cada carga y los niveles promedio de irradiancia del lugar. De esta forma, los datos a ingresar son:
    - Cargas a satisfacer (cantidad, tipo, potencia y horas de uso diario)
    - Irradiación mensual (kWh/m2-dia)

La configuración gráfica de la ventana se presenta a continuación:

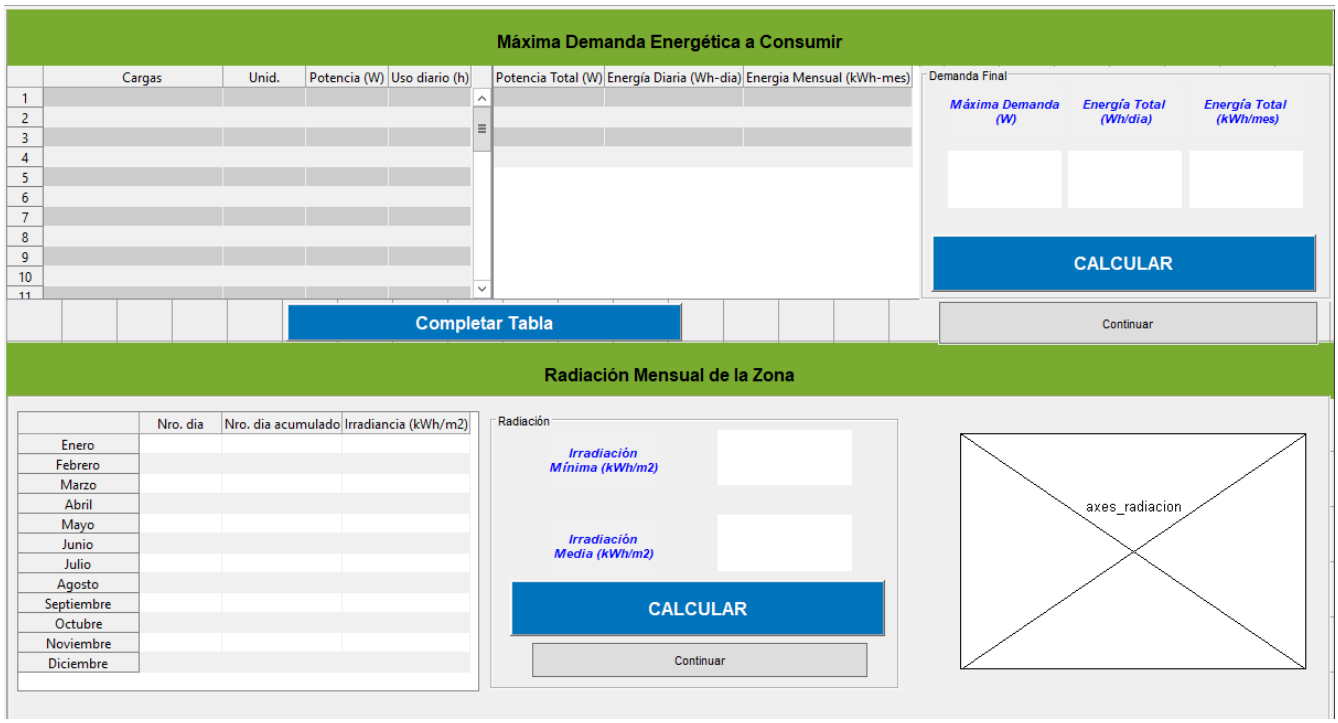

Figura 24.- Ventana 1 de GUI asistente para el dimensionamiento de SFV.

Fuente Propia

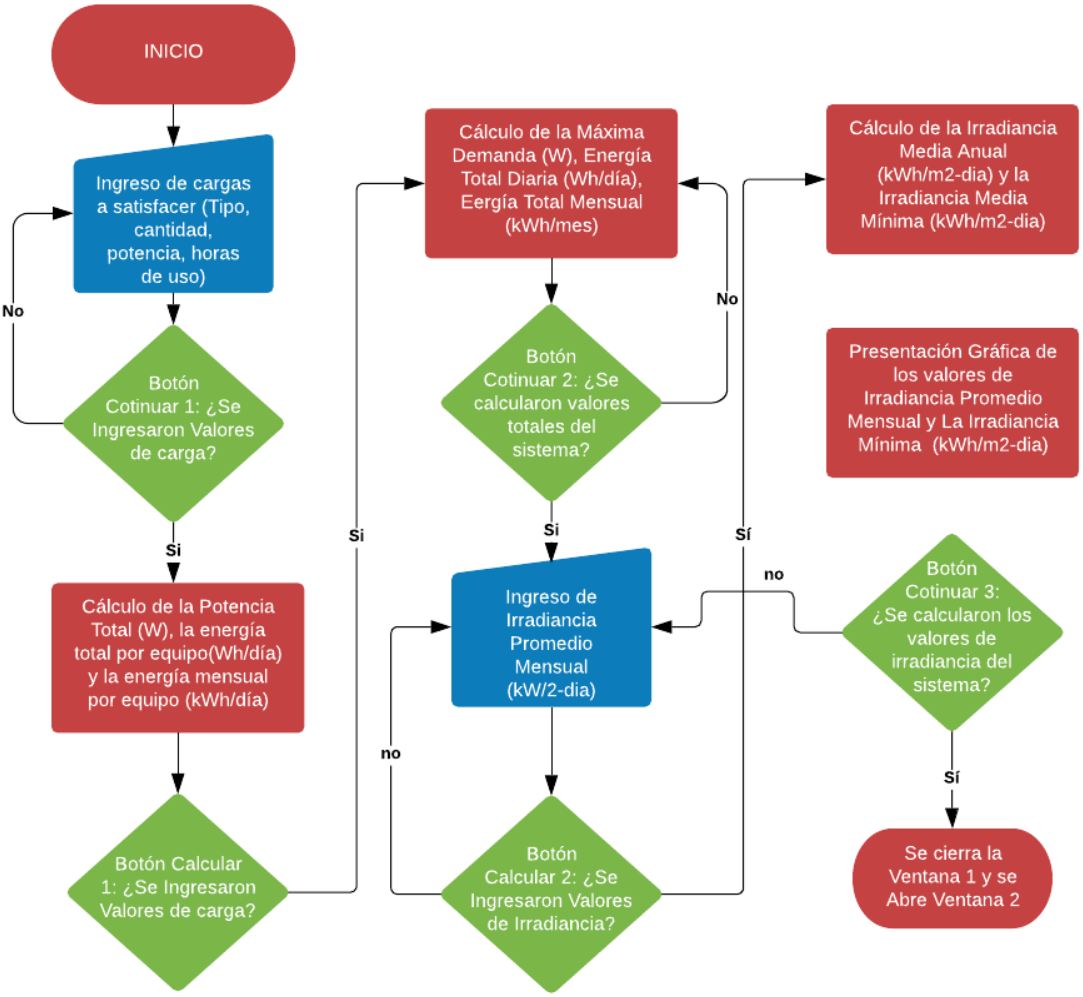

Figura 25.- Diagrama de Flujo para Ventana I de la GUI asistente para el dimensionamiento de SFV. Fuente Propia

- **Fotovoltaic_USS_System2**: en esta ventana es donde se ingresan los valores para calcular las variables de la geometría solar y las pérdidas del sistema. Estos son:
    - b = Pérdida por rendimiento en la batería
    - c = Pérdida en el inversor
    - v = Pérdidas diversas
    - a = Pérdidas por auto descarga
    - PD= Profundidad de descarga de la batería
    - N = Número de días de autonomía

- ϕ= Latitud
- d_n = Día medio del mes con menor irradiación solar (o en su defecto el elegido por el usuario)
- β= Ángulo de inclinación del panel solar (o de la superficie en la que está posado)

Esta ventana consta de una parte de ingreso de datos, botones para proceder con el cálculo y ventanas para representación gráfica de los resultados.

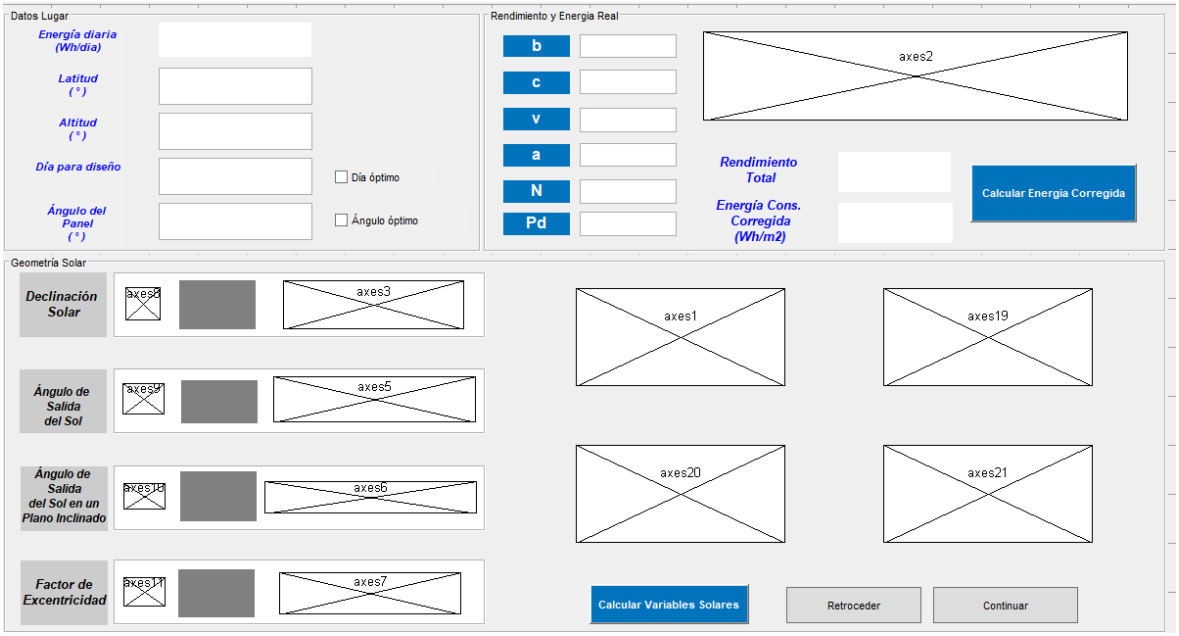

Figura 26.- Ventana 2 de la GUI asistente para el dimensionamiento de SFV.

Fuente: Propia.

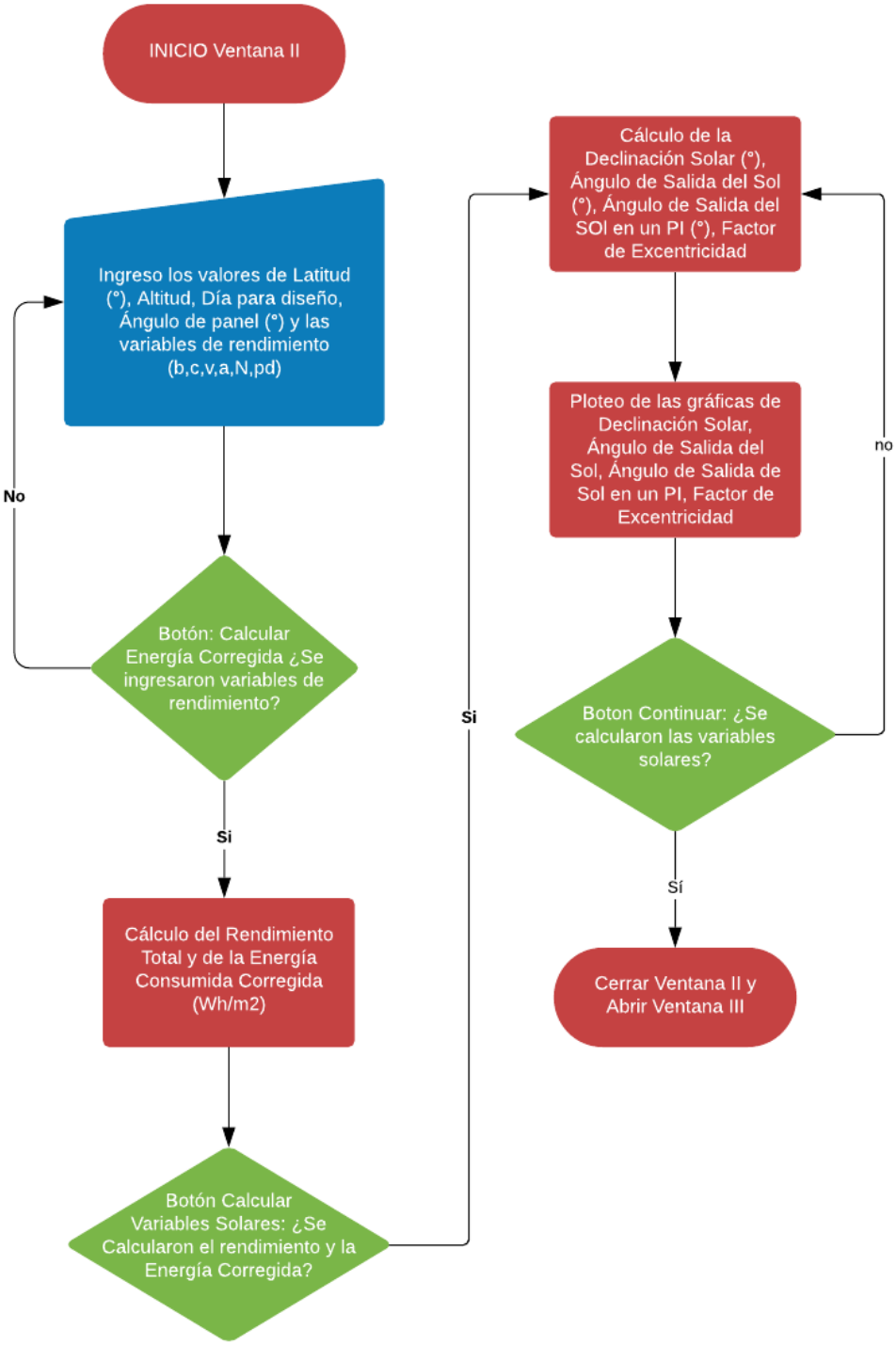

Figura 27.- Diagrama de Flujo para Ventana II de la GUI asistente para el dimensionamiento de SFV. Fuente Propia

- **Fotovoltaic_USS_System3**: es la tercera ventana de la GUI, en esta se calculan todas las variables concernientes a la radiación solar disponible sobre el panel solar. El único valor a ingresar por el usuario en este apartado es el de reflectividad de suelo, para finalmente obtener una representación gráfica del nivel de radiación que llega al panel solar.

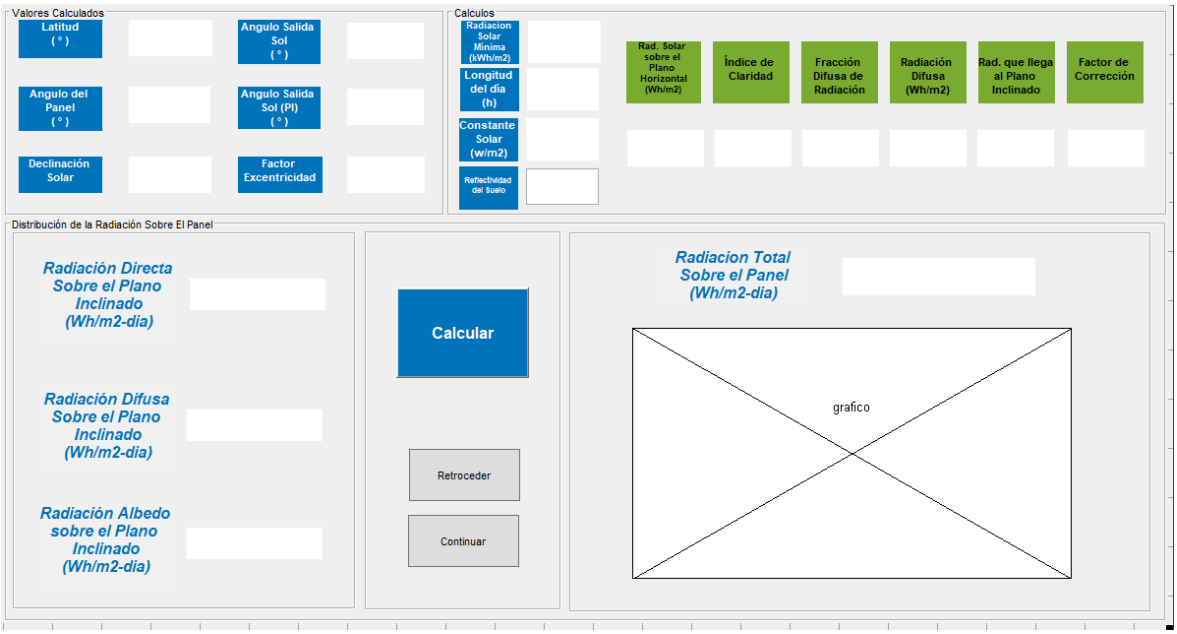

Figura 28.- Ventana 3 de la GUI asistente para el dimensionamiento de SFV.

Fuente: Propia.

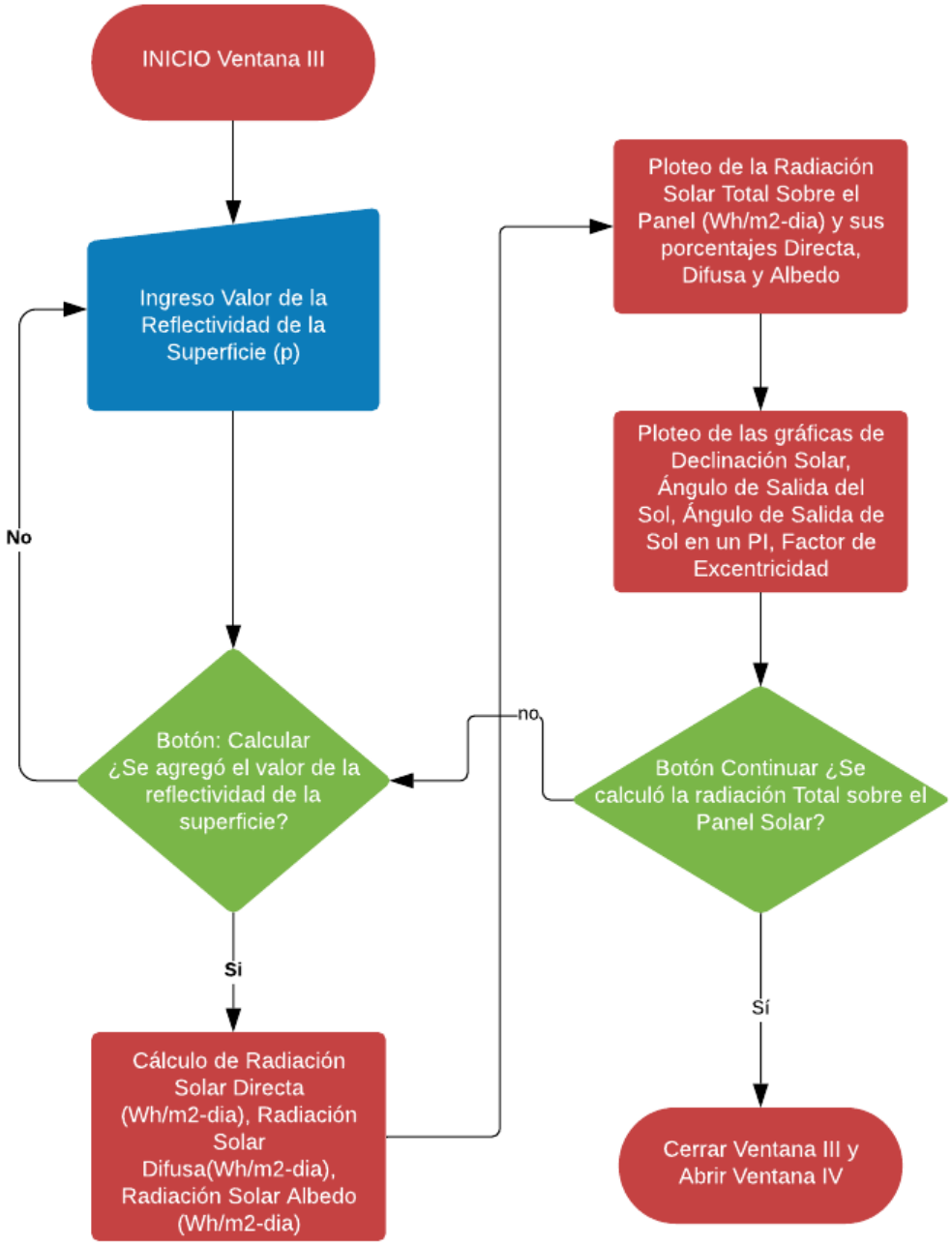

Figura 29.- Diagrama de Flujo para Ventana III de la GUI asistente para el dimensionamiento de SFV. Fuente Propia

- **Fotovoltaic_USS_System4:** es la última ventana de la GUI, aquí el usuario debe añadir valores de los equipos que planea utilizar en el SFV, estos son:
    - Eficiencia del Panel solar

- Potencia del panel solar
- Capacidad de almacenamiento de las baterías
- Voltaje de las Baterías

Finalmente se muestra en dos ventanas gráficas el valor que satisface con la demanda eléctrica de las cargas y a su vez se grafican otras posibles soluciones para elección del usuario.

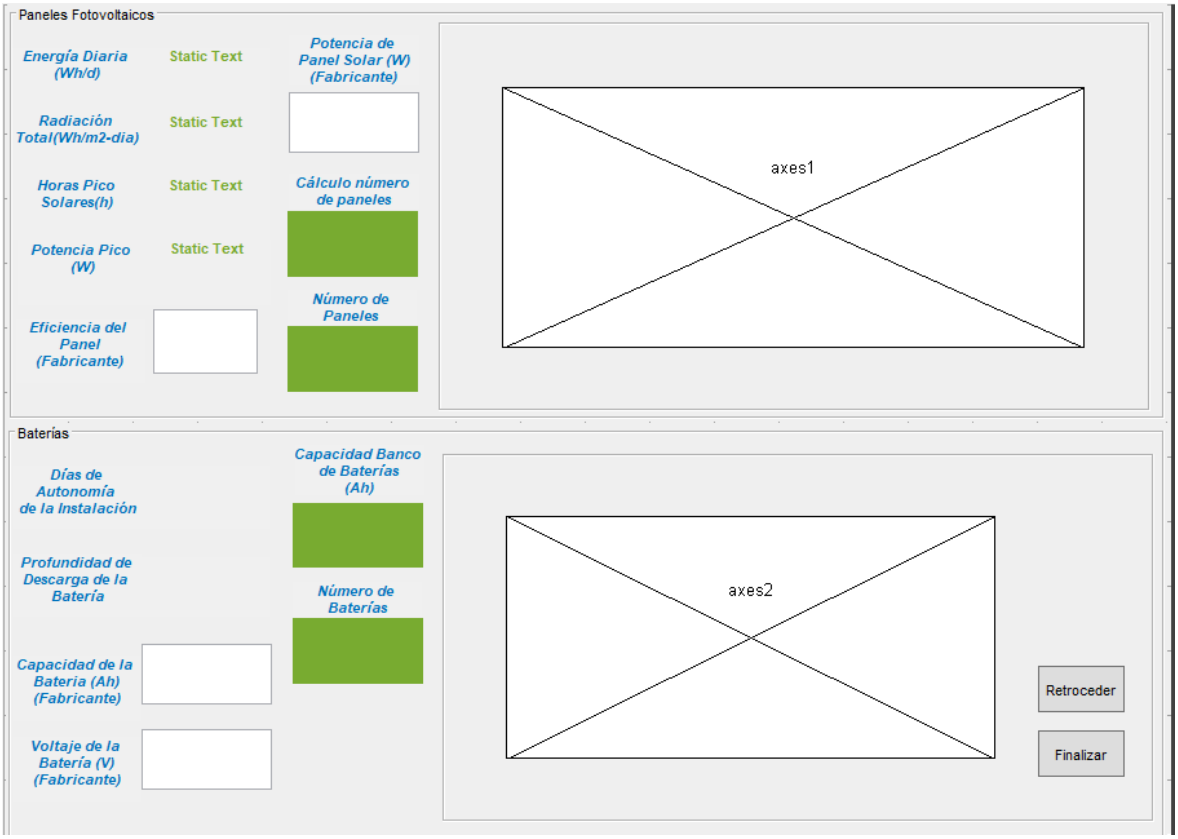

Figura 30.- Ventana 4 de la GUI asistente para el dimensionamiento de SFV.

Fuente: Propia.

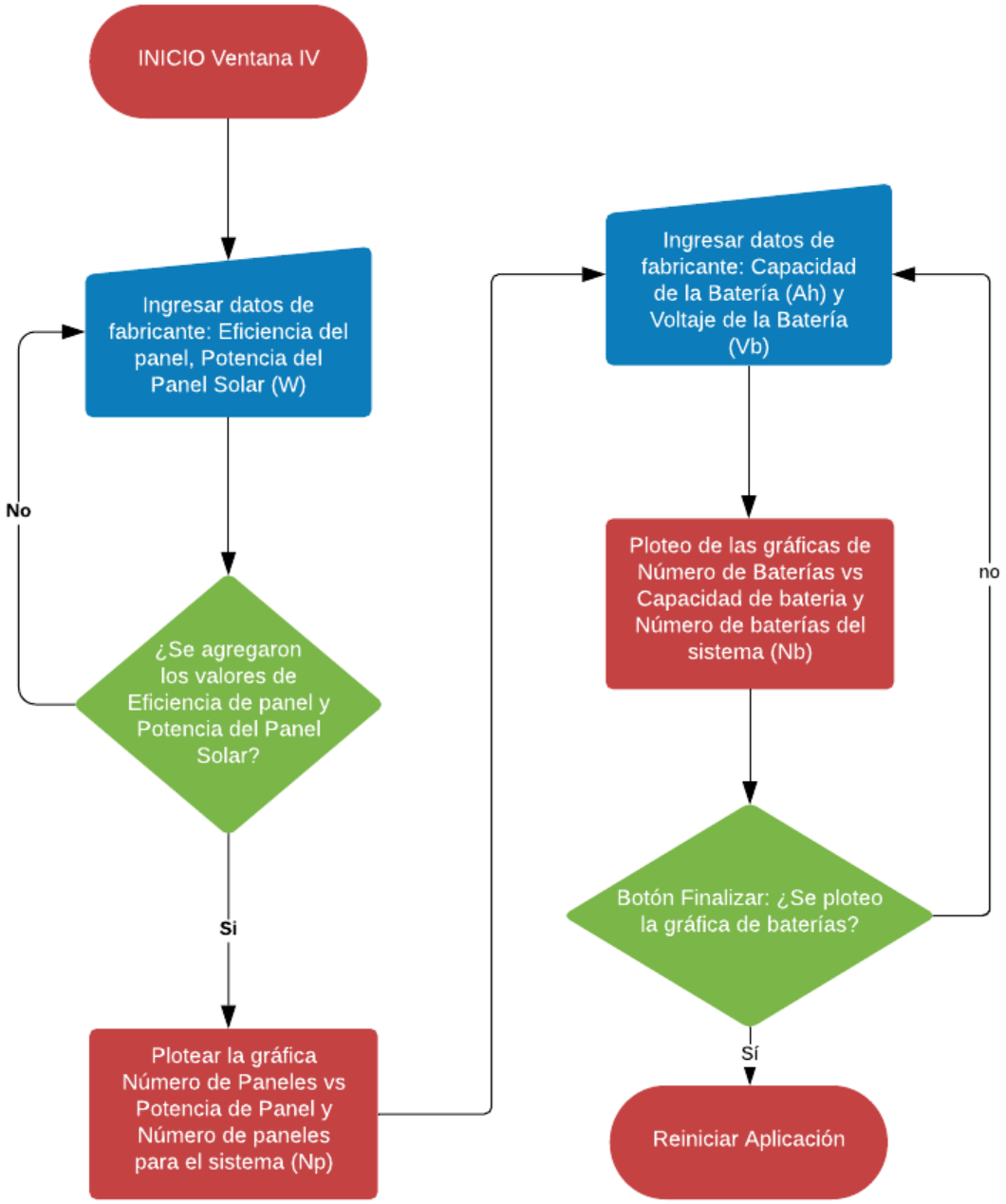

Figura 31.- Diagrama de Flujo para Ventana IV de la GUI asistente para el dimensionamiento de SFV. Fuente Propia

3.4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presenta la aplicación de la GUI sobre un proyecto de tesis anteriormente aprobado de la Universidad Señor de Sipán, el cual lleva como título: "Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico por goteo automatizado para terrenos de cultivo de espárragos del fundo INCA Verde en el sector Pampas La Sandía Provincia de Chepén – Departamento de la Libertad".

Se aplicará el software desarrollado para calcular el SFV necesario para este dicho proyecto con la información que ellos utilizan a fin de comparar los resultados y verificarlos.

En este caso, tiene que satisfacerse un sistema de bombeo con las siguientes características:

Carga	**Cantidad**	**Potencia (W)**	**Horas de uso (h)**
Bombas	2	7,460	9.43

Tabla 5.- Carga del sistema a simular. Fuente: Heredia & Sanchez (2018)

Los valores tomados por los investigadores de radiación solar son los siguientes:

Ente	**Radiación Solar (kWh/m2-dia)**
ATLAS SOLAR	Mínima: 4.11 Máxima: 5.40
NASA	Mínima: 4.11 Máxima: 5.40
SOLARÍMETRO MARCA: SOLAR POWER METER MODELO: TM - 206	Mínima: 5.08 Máxima: 5.26

Tabla 6.- Irradiación disponible del sistema a simular – A.
Fuente: Heredia & Sanchez (2018)

Del cual decidieron utilizar para el diseño del SFV el dato mínimo de 5.08kWh/m2-dia. En el caso de la GUI se utilizarán los valores de irradiación medios para la zona tomados del ATLAS SOLAR, presentados a continuación:

Mes	Irradiación Promedio Mensual (kWh/m2-dia)	Irradiación Media Tomada (kWh/m2-dia)
Enero	**6.0 – 6.5**	**6.25**
Febrero	**6.0 – 6.5**	**6.25**
Marzo	**5.5 – 6.0**	**5.75**
Abril	**5.5 – 6.0**	**5.75**
Mayo	**5.0 – 5.5**	**5.25**
Junio	**4.5 – 5.0**	**4.75**
Julio	**5.0 – 5.5**	**5.25**
Agosto	**5.5 – 6.0**	**5.75**
Septiembre	**6.0 – 6.5**	**6.25**
Octubre	**6.0 – 6.5**	**6.25**
Noviembre	**6.0 – 6.5**	**6.25**
Diciembre	**6.0 – 6.5**	**6.25**

Tabla 7.- Irradiación disponible del sistema a simular – B.

Fuente: Atlas Solar Perú

Además de esta información, para el caso tenemos los siguientes valores para agregar en la GUI con respecto a la zona y la eficiencia de la instalación:

Parámetro	Símbolo	Valor
Latitud (°)	ϕ	7.18806
Pérdida por rendimiento de la batería	b	0.05
Pérdida por el inversor	c	0.05
Pérdidas diversas	v	0.1
Pérdida por auto descarga de la batería	a	0.005
Días de Autonomía	N	4
Porcentaje de descarga de la batería	Pd	0.8
Reflectividad del suelo	ρ	0.2

Tabla 8.- Parámetros del lugar y de rendimiento del sistema a simular.

Fuente: Heredia & Sanchez (2018)

Finalmente, se tienen valores tomados por los equipos a utilizar, como la batería y panel solar disponibles por fabricante:

Parámetro	**Símbolo**	**Valor**
Potencia Panel Solar (W)	*Pmód*	260
Eficiencia del panel	*Pr*	0.9
Capacidad de la Batería (Ah)	*Cb*	254
Voltaje de la Batería (V)	*Vb*	12

Tabla 9.- Parámetros de catálogo de sistema a simular.

Fuente: Heredia & Sanchez (2018)

Con esta información ingresada en la primera ventana de la GUI, se tienen los siguientes resultados:

Parámetro Calculado	**GUI**	**Tesis Referencia**
Máxima Demanda (W)	14,920	14,920
Energía Total Diaria (Wh/día)	140,696	140,750
Energía Total Mensual (kWh/mes)	4,220.87	-
Irradiación Mínima (kWh/m2-día)	4.75	5.08
Irradiación Media (kWh/m2-día)	5.83	-

Tabla 10.- Resultados de la simulación - 1.

Fuente: Propia

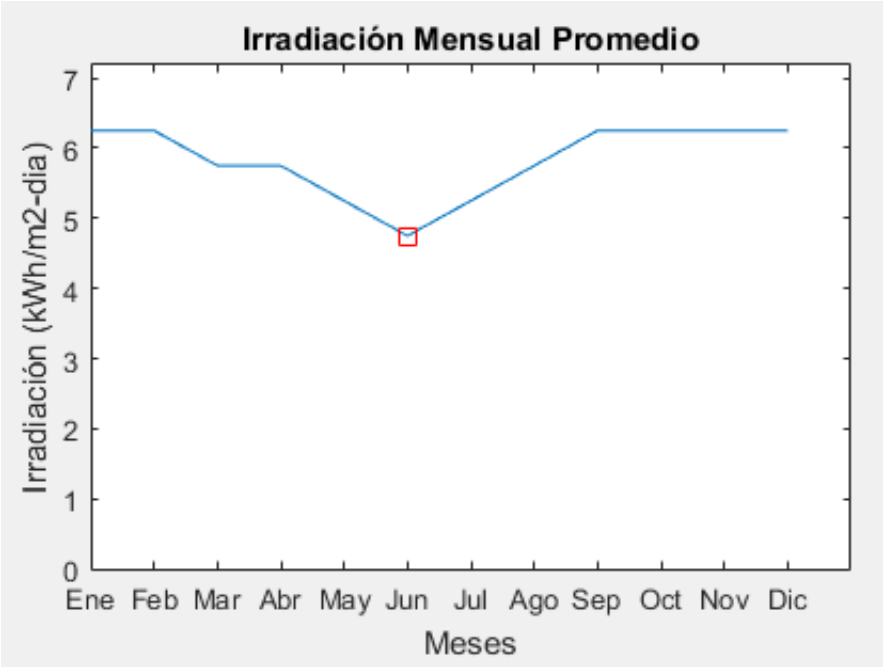

Figura 32.- Irradiación Mensual Promedio e Irradiación Mínima disponible en el sistema simulado. Fuente: GUI para minicentral solar

En donde se reconoce que el mes de irradiación mínima es junio, del cual se tomará posteriormente el valor del día de diseño, que será el día correspondiente a la mitad de este mes. A continuación, la segunda ventana arroja la siguiente información:

Parámetro Calculado	GUI	Tesis referencia
Día óptimo para diseño de SFV	165	-
Ángulo Óptimo para panel (°)	8.66	8.66
Rendimiento Total de la Instalación	0.78	0.78
Energía Diaria Corregida (Wh/día)	180,379	180,443
Declinación Solar (°)	23.27	-
Ángulo de salida del sol (°)	-93.11	-
Ángulo de Salida del Sol para panel inclinado (°)	-89.37	-
Factor de Excentricidad (adm)	1.03292	-

Tabla 11.- Resultados de la simulación 2. Fuente: propia

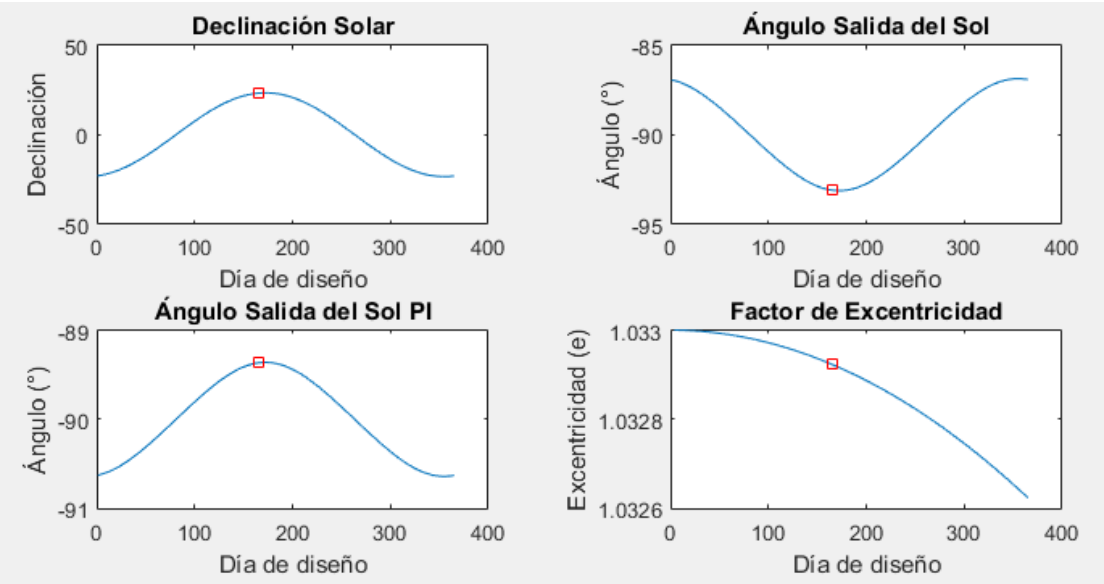

Figura 33.- Declinación Solar, Ángulo de Salida del Sol, Ángulo de Salida del Sol para un Plano Inclinado y factor de excentricidad en referencia al día de diseño para el sistema simulado. Fuente: GUI para minicentral solar

En la tercera ventana se calculan los valores correspondientes a la radiación total incidente sobre el panel solar, para el cual en la tesis utilizan directamente el considerado como valor mínimo, sin tener en cuenta las pérdidas por factores de la geometría solar, de esta manera se tiene entonces:

Parámetro Calculado	**GUI**	**Tesis referencia**
Radiación Directa Sobre el Panel (Wh/m2-día)	2,184.7	-
Radiación Difusa Sobre el Panel (Wh/m2-día)	2,338.5	-
Radiación Albedo Sobre el Panel (Wh/m2-día)	5.415	-
Radiación Total Sobre el Panel (Wh/m2-día)	4,528.74	5,080

Tabla 12.- Resultados de simulación 3.

Fuente: Propia

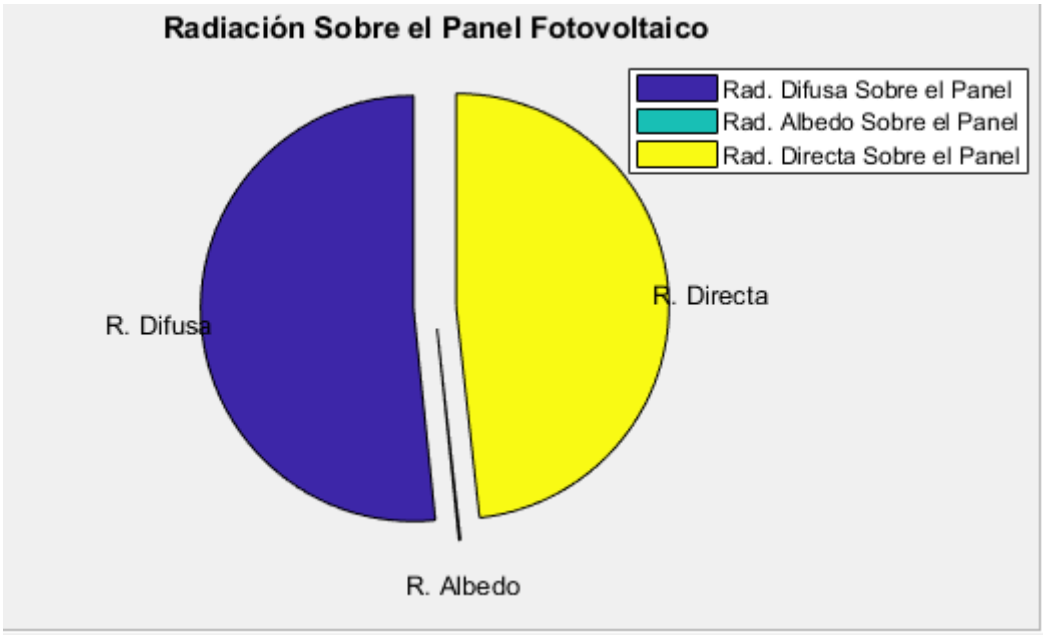

Figura 34.- Distribución de la Radiación disponible sobre el panel solar (Directa, Difusa y Albedo) según el mes de irradiación mínima simulado.
Fuente: GUI para minicentral solar

Finalmente, en la última ventana se calculan los valores para el dimensionamiento del SFV, entre los que están la cantidad de baterías y el número de paneles, junto a algunas gráficas correspondientes:

Parámetro Calculado	**GUI**	**Tesis referencia**
HPS (h)	4.5287	5.08
Número de Paneles	171	152
Número de Baterías	296	296

Tabla 13.- Resultados de simulación 4. Fuente: Propia

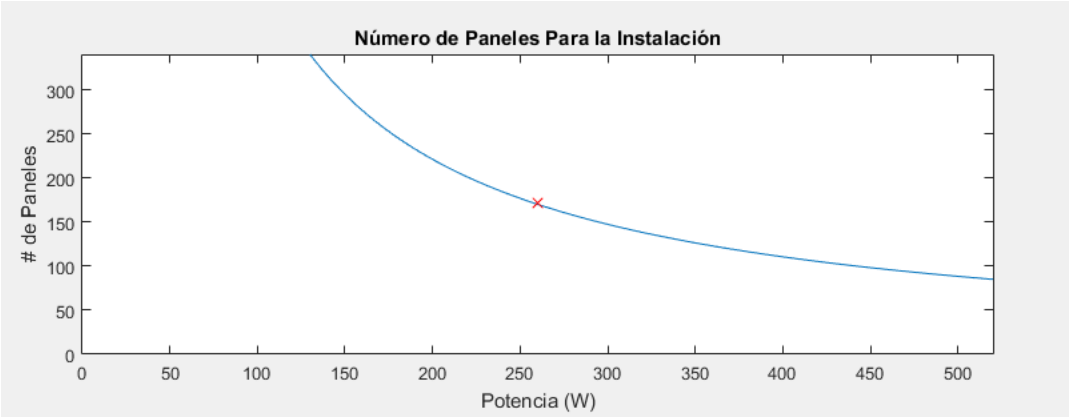

Figura 35.- Curva Número de paneles vs potencia del panel y número de paneles simulado. Fuente: GUI para minicentral solar

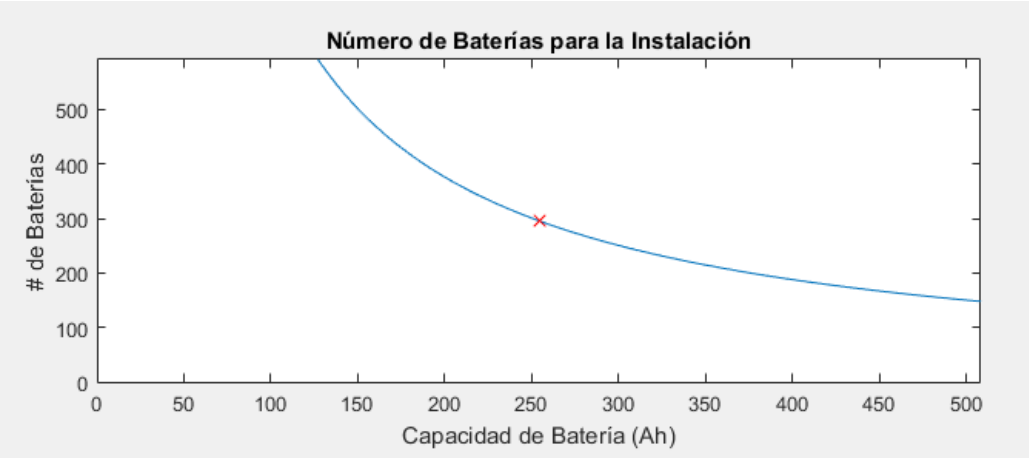

Figura 36.- Curva Número de Baterías vs Capacidad de la Batería y número de baterías simulado. Fuente: GUI para minicentral solar

3.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo final de la GUI era el dimensionamiento del SFV a través del cálculo de la cantidad de paneles solares (Np) y el número de baterías (Nb), dicho objetivo resultó satisfactorio pues la GUI en su ventana final luego de añadir los valores de potencia del panel (Pm) eficiencia del panel (Pr), capacidad de la batería (Cb) y Voltaje de las baterías (Vb) se representa gráficamente los valores necesarios para satisfacer la demanda energética ingresada previamente.

Como puede observarse la cantidad de baterías calculadas por la GUI corresponde al mismo que el calculado por la tesis utilizada como referencia, pero para el caso de los paneles solares hay una notoria diferencia. Esta diferencia se puede apreciar es debido al valor utilizado como irradiancia mínima disponible. Para el caso de la tesis de referencia utilizan un valor sensado por ellos mismos, y para el caso de la simulación se utilizaron valores medios del atlas solar de Perú. Para evitar estos inconvenientes es notable la necesidad de utilizar valores estándares y fuentes de información comunes, por lo cual se entiende que es una diferencia de resultados correspondiente a la incompatibilidad de los datos ingresados.

La GUI sigue el algoritmo de trabajo desarrollado de manera adecuada y los valores resultantes posteriores al cálculo coinciden con valores de ejercicios existentes en la bibliografía revisada.

Por otro lado, las representaciones gráficas en las ventanas de trabajo 2, 3 y 4 presentaban la información de manera ordenada y adecuada, permitiendo ser analizadas a medida que se iba avanzando en el uso de la GUI.

Finalmente, al momento de ingresar los datos de los equipos que se supone serán utilizados en la instalación, resultó ventajoso observar los resultados de los cálculos de manera gráfica porque permitieron evaluar otras posibles soluciones al sistema, con paneles solares de menor o mayor potencia o baterías de mayor o menor capacidad. Este aspecto permite determinar que fue acertado incluir gráficas durante todas las etapas de

presentación de la información de la GUI, lo cual no resultaba común en los antecedentes revisados.

Se reconoce entonces que la GUI cumple con su objetivo, el de dimensionar un SFV para satisfacer la demanda que le sea ingresada bajo las condiciones de irradiación presentes en la zona, de esta forma se deduce satisfactorio el resultado de la investigación.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el desarrollo eficiente de la GUI presentada anteriormente fue necesario identificar todas las variables y formulaciones matemáticas que influyen en el proceso de dimensionamiento de un SFV, esto como punto de partida para las consideraciones de diseño y características del proyecto.

Se determinó ventajosa la cualidad del programa en que el usuario pueda ingresar los datos correspondientes a las variables climatológicas de la zona, pues esto le da libertad el usuario y le da mayor alcance a la aplicabilidad de la misma, a diferencia de GUI´s de investigaciones anteriores en donde estos datos se seteaban generalmente a la zona de aplicación.

Se reconoció por otro lado, que para que los resultados de la misma puedan ser repetidos, debe utilizarse la misma fuente de información disponible, principalmente para los valores de irradiancia promedio mensual, para el cual se recomienda en primera instancia utilizar los dados por la fuente de información de la NASA.

A diferencia de otras GUI´s existentes que trabajan un modelo matemático basado en las propiedades de voltaje e intensidad del panel solar, la del presente proyecto trabaja directamente con los valores de la carga que se debe satisfacer y las variables climatológicas del lugar, teniendo en cuenda todas las perdidas respectivas y haciendo un análisis basado en el mes más crítico, por lo cual el dimensionamiento obtenido por este siempre será el más óptimo, satisfaciendo el sistema durante todo el año.

Las gráficas obtenidas en la ventana final de Número de paneles solares vs Potencia y Número de baterías vs Capacidad permiten determinar al usuario qué otros arreglos óptimos y cercanos podrían ser más eficientes, cumpliendo siempre con el rol de ser una herramienta asistente para el diseñador.

Se reconoce, además, que, debido a la facilidad de utilización, no se requieren conocimientos importantes con respecto a los SFV para la utilización de esta GUI,

permitiendo a usuarios ajenos a la rama de ingeniería tener una idea e incluso dimensionar satisfactoriamente SFV para sus hogares.

Entre las recomendaciones que se plantean para futuras investigaciones están:

- La implementación de cálculos para el dimensionamiento de otros elementos del SFV, como reguladores y alternadores, en dado caso la carga a satisfacer sea en corriente alterna.
- La evaluación del costo inicial de la instalación e incluso la aplicación de modelos de análisis económico a largo plazo, para determinar el costo de kwh ofrecido por el sistema, y poder contrastar así entre diferentes fabricantes cual ofrece el mejor precio para el proyecto.
- Se puede ampliar la aplicación del sistema hacia sistemas eléctricos ya instalados, que ya tengan un consumo previo con el cual se pueda analizar mejor el nivel y la variación de la demanda energética para perfeccionar el dimensionamiento final del sistema.

5. REFERENCIAS

5.1. Referencias

Alonso Abella, M. (2012). *Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos.* Madrid: CIEMAT.

Aprende a Programar. (Julio de 2018). *Algoritmos Genéricos*. Obtenido de PseudoCodigo: https://www.aprenderaprogramar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=292:algoritmos-genericos-en-pseudocodigo-verificacion-funcional-y-total-frente-a-errores-testing-cu00233a&catid=36&Itemid=60

Cabré, J. P. (2012). *Estudio de la afectación de las sombras en un panel fotovoltáico.* España: Universitat Rovira I Virgili.

Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2009). *Centrales de Energías Renovables. Generación Eléctrica con Energías Renovables.* Madrid, España: Pearson.

DeltaVolt. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de DeltaVolt: https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar

E. Ali, M., & K. Salih, S. (2013). A Visual Basic-Based Tool for design of stand-alone Solar Power Systems. *Energy Procedia*, 1255-1264.

EnergiaSolar335. (20 de Diciembre de 2010). *Celdas Solares*. Obtenido de Energia365 WebSite: https://www.energiasolar365.com/articulos/que-son-las-celdas-solares

Fernández Ferichola, J. (2009). *Caracterización de Módulos Fotovoltaicos con Dispositivo Portátil*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.

Guachimboza Dávalos, J. I. (2011). *Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico y Software de Simulación para visualizar la curva característica de Celdas y Paneles Solares.* Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

Guardiola Parera, R. (2008). *Diseño y Calculo de una Instalación Fotovoltaica de 1.1MW.* Tarragona: Universidad Rovira Virgili.

Hereldia Fernández, C. F., & Sánchez Manayalle, D. S. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico por goteo automatizado para terrenos de cultivo de espárragos del fundo INCA verde en el sector Pampas La Sandía Provincia de Chepén - Departamento de la Libertad.* Pimentel: Universidad Señor de Sipán.

Horn, M. (2006). El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. *PerúEconómico*, 10-11.

Mukund R., P. (2006). *Wind and Solar Power Systems. Design, Analysis and Operation.* New York: T&F.

Pepiñan Lamigueiro, O. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica.* Madrid: ComonStd.

Salas Reyes, Y., Gómez Blanco, H., Vanegas Chamorro, M., Valencia Ochoa, G., & Villicaña Ortíz, E. (2018). Diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada. *PROSPECTIVA*, 82-88.

Sánchez Miño, S. (2003). *Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones.* Quito, Ecuador: Fundación Natura.

SunFields Europe. (27 de Mayo de 2016). *Módulo Fotovoltaico: Listado de Parámetros Fundamentales*. Obtenido de Sunfields Website: https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-parametros-fundamentales/

The MathWorks Inc. (2019). *Acerca del Software Matlab*. Obtenido de MathWorks Website: https://www.mathworks.com/products/matlab.html

6. ANEXOS

6.1. ANEXO I.- CÓDIGO DE ÉTICA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ

CÓDIGO DE ETICA DEL CIP

APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999

6.2. ANEXO II.- CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

www.uss.edu.pe

CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS

VERSIÓN 03

RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN RECTORAL N° 0851-2017/USS

CHICLAYO - PERÚ

Versión: 03	Código: VRI-CE	F. Implementación:	Página 1 de 29
Elaborado por: Dirección de Investigación	Revisado por: Planificación y Desarrollo Institucional – Asesoría Legal		Ratificado con Resolución Rectoral N° 0851-2017/USS

6.3. ANEXO III.- CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN Portada de la GUI: portada_Fotovoltaic_USS_System

```
function portada_FotovoltaicUSSSystem
%Autor: UserName
%Estudiante de Ingeniería Mecánica Eléctrica
%*****************************************
%portada_FotovoltaicUSSSystem: función que presenta
%al programa principal
%*****************************************
clear,clc,cla,close all

%Creamos Figura
figdiag=figure('Units','Pixels','Name','Mecánica
Eléctrica','Numbertitle','off','color',[0 0 0],'Menubar','none');
%(,,)'Position',[1300 1300 1300 1300]

%Ubicamos ejes en la fugura
axes('Units','Normalized',...
    'Position',[0 0 1 1]);
%-----Centramos la figura------
scrsz=get(0,'ScreenSize');
pos_act=get(gcf,'Position');
xr=scrsz(3)-pos_act(3);
xp=round(xr/2);
yr=scrsz(4) - pos_act(4);
yp=round(yr/2);
set(gcf,'Position',[xp yp pos_act(3) pos_act(4)]);
%-------------------------------------

%Incluir imagen
%Importamos imagen .jpg con su mapa de colores
[x,map]=imread('uss_expand2.jpg','jpg');
%Representamos imagen en figura con su mapa de colores
image(x),colormap(map),axis off, hold on

%Títulos sobre imagen
%Título
text(50,50,'Presentación del Programa',...
    'Fontname','Arial','Fontsize',25,'Fontangle','Italic',...
    'Fontweight','Bold','Color',[1 1 0]);

%Nombre del Ingeniero
text(50,130,'Por: Olive Mejia Vasquez','Fontname',...
    'Comic Sans MS', 'Fontangle', 'Italic', 'Fontweight', 'Bold',...
    'Fontsize', 14, 'color', [1 1 1]);

%Boton Continuar
uicontrol('Style','pushbutton',...
    'Units','normalized',...
    'Position',[.84 .1 .12 .05],...
    'String', 'CONTINUAR',...
    'Callback', 'clear all; close all; clc; fotovoltaic_USS_System;');

uicontrol('Style','pushbutton',...
    'Units','normalized',...
    'Position',[.84 .03 .12 .05],...
    'String', 'SALIR',...
```

```
    'Callback', 'clear all; close all; clc;');
```

6.4. ANEXO IV.- CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN VENTANA I: Fotovoltaic_USS_System

```
function varargout = fotovoltaic_USS_System(varargin)
clc
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @fotovoltaic_USS_System_OpeningFcn,
...
                   'gui_OutputFcn',  @fotovoltaic_USS_System_OutputFcn,
...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT


% --- Executes just before fotovoltaic_USS_System is made visible.
function fotovoltaic_USS_System_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

movegui('center');


function varargout = fotovoltaic_USS_System_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)

varargout{1} = handles.output;


function uitable3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
    %importo los valores de los archivos de texto a variables
    unidades=importdata('unidad.dat');
    potencias=importdata('potencias.dat');
    horas=importdata('usodiario.dat');

    %realizo los calculos
    pot_total=potencias.*unidades;
    energia_dia=pot_total.*horas;
    energia_mes=(energia_dia*30)/1000;
```

```
    %condenso los calculos en una matriz, calculo la sumatoria y los
muestro
    B=[pot_total energia_dia energia_mes];
    consumos_finales=sum(B,1);


    set(handles.energia_total_d,'string',consumos_finales(1));
    set(handles.energia_total_m,'string',consumos_finales(2));
    set(handles.max_demanda,'string',consumos_finales(3));

    %Creo un documento llamado consumos_final para ser usado en otra GUI
    documento=fopen('consumos_final.dat','w');

    fprintf(documento,num2str(consumos_finales));

    global paso;
    paso=1;

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
%Se crean primero unas matrices con los datos a colocar en la tabla
    %Primero creas una variable con los datos de la tabla(queda una
matriz)
    C=get(handles.uitable1,'data');

    %Despues tomas el tamaño de FILAS de la matriz creada
    n=size(C,1);

    %la funcion fopen abre un archivo nuevo
    %al no existir dicho archivo, lo crea
    %el 'w' indica permisos de escritura sobre el
    archivo_1=fopen('unidad.dat','w');
    archivo_2=fopen('potencias.dat','w');
    archivo_3=fopen('usodiario.dat','w');

    %Creas un ciclo For para escribir fila a fila los valores de todas
las
    %columnas
        for i=1:n
            fprintf(archivo_1,'%s \n',C{i,2});
        end

        for i=1:n
            fprintf(archivo_2,'%s \n',C{i,3});
        end

        for i=1:n
            fprintf(archivo_3,'%s \n',C{i,4});
        end

    %Cierras el archivo para despues utilizarlo en otra funcion
    fclose(archivo_1);
    fclose(archivo_2);
    fclose(archivo_3);

    %importo los valores de los archivos de texto a variables
    unidades=importdata('unidad.dat');
    potencias=importdata('potencias.dat');
    horas=importdata('usodiario.dat');
```

```
    %realizo los calculos
    pot_total=potencias.*unidades;
    energia_dia=pot_total.*horas;
    energia_mes=(energia_dia*30)/1000;

    %condenso los calculos en una matriz y la pego a uitable2
    A=[pot_total energia_dia energia_mes];
    set(handles.uitable2,'data',A);
    handles.datos_consumo=A;
    guidata(hObject,handles);


function uitable1_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)


function uitable3_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)


function salto_paso2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global paso

if paso==1
    set(handles.tit_radiacion,'Visible','on');
    set(handles.tab_radiacion,'Visible','on');
    set(handles.panel_radiacion,'Visible','on');
    set(handles.axes_radiacion,'Visible','on');
    set(handles.uipanel4,'Visible','on');
end

editcolumn=[false false true]
pre_tab_radiacion=[31 31 0;28 59 0;31 90 0;30 120 0;31 151 0;30 181 0;31
212 0;31 243 0;30 273 0;31 304 0;30 334 0;31 365 0];

set(handles.tab_radiacion,'data',pre_tab_radiacion);
set(handles.tab_radiacion,'ColumnEditable',editcolumn);
guidata(hObject,handles);


function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
global paso;
data=get(handles.tab_radiacion,'data');
irradiaciones=data(:,3);

media_irradiacion=(sum(irradiaciones))/12;
min_irradiacion=min(irradiaciones);
max_irradiacion=max(irradiaciones);

[minimo posicion]=min(irradiaciones);

xmin=posicion;
ymin=minimo;

set(handles.irradiacion_med,'String',num2str(media_irradiacion));
set(handles.irradiacion_min,'String',num2str(min_irradiacion));

x=1:12;
plot(x,irradiaciones,xmin,ymin,'rs','Markersize',9);
title('Irradiación Mensual Promedio')
xlabel('Meses')
ylabel('Irradiación (kWh/m2-dia)')
```

```
set(handles.axes_radiacion,'XTick',[1:12]); % Número de palabras del eje
x
set(handles.axes_radiacion,'XTickLabel',{'Ene';'Feb';'Mar';'Abr';'May';'J
un';...
    'Jul';'Ago';'Sep';'Oct';'Nov';'Dic'}); % Palabras del eje x
ymax=(max_irradiacion)*1.15;
ylim=[0 ymax];

xlim=[1 13];
set(handles.axes_radiacion,'YLim',ylim);
set(handles.axes_radiacion,'XLim',xlim);

documento=fopen('mesminimo.dat','w');
documento2=fopen('radminima.dat','w');

fprintf(documento,num2str(posicion));
fprintf(documento2,num2str(minimo));

paso=2;



function salto_paso3_Callback(hObject, eventdata, handles)
global paso;

if paso==2
    clear all
    close all
    clc
    fotovoltaic_USS_System2
end




% --------------------------------------------------------------------
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)


% --------------------------------------------------------------------
function cerrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
clear all
clc
close all


% --------------------------------------------------------------------
function Untitled_5_Callback(hObject, eventdata, handles)


% --------------------------------------------------------------------
function Untitled_4_Callback(hObject, eventdata, handles))
```

6.5. ANEXO V.- CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN VENTANA II: Fotovoltaic_USS_System2

```
function varargout = fotovoltaic_USS_System2(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @fotovoltaic_USS_System2_OpeningFcn,
...
                   'gui_OutputFcn',  @fotovoltaic_USS_System2_OutputFcn,
...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end


function fotovoltaic_USS_System2_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
handles.output = hObject;


guidata(hObject, handles);
movegui('center');

global consumos_fin
consumos_fin=importdata('consumos_final.dat');

energia_total=consumos_fin(2);

set(handles.energia_diaria,'string',energia_total);
%colocamos imagenes iniciales
axes(handles.axes2)
handles.imagen=imread('rendimiento.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off

axes(handles.axes3)
handles.imagen=imread('declinacionsolar.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off

axes(handles.axes5)
handles.imagen=imread('angulosalidasol.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off

axes(handles.axes6)
handles.imagen=imread('angulosalidasolinclinado.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off
```

```
axes(handles.axes7)
handles.imagen=imread('factorexcentricidad.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off

axes(handles.axes8)
handles.imagen=imread('decsolar.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off

axes(handles.axes9)
handles.imagen=imread('ws.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off

axes(handles.axes10)
handles.imagen=imread('wss.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off

axes(handles.axes11)
handles.imagen=imread('exc.jpg');
imagesc(handles.imagen)
axis off

function varargout = fotovoltaic_USS_System2_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function continuar3_Callback(hObject, eventdata, handles)
global pasos2;
a=isempty(get(handles.energia_diaria,'String'));
b=isempty(get(handles.latitud,'String'));
c=isempty(get(handles.altitud,'String'));
d=isempty(get(handles.dia_dis,'String'));
e=isempty(get(handles.angulo_dis,'String'));
f=isempty(get(handles.kb,'String'));
g=isempty(get(handles.kc,'String'));
h=isempty(get(handles.kv,'String'));
i=isempty(get(handles.ka,'String'));
j=isempty(get(handles.n,'String'));
k=isempty(get(handles.pd,'String'));

comprueba=a+b+c+d+e+f+g+h+i+j+k;
if comprueba==0
    clear
    close all
    clc
    fotovoltaic_USS_System3
end

function energia_diaria_Callback(hObject, eventdata, handles)


function energia_diaria_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function latitud_Callback(hObject, eventdata, handles)
global latitud;
latitud=str2num(get(hObject,'String'));

function latitud_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)


if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


function altitud_Callback(hObject, eventdata, handles)

global altitud;
altitud=str2num(get(hObject,'String'));


function altitud_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function kc_Callback(hObject, eventdata, handles)


function kc_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)


if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function kv_Callback(hObject, eventdata, handles)


function kv_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function ka_Callback(hObject, eventdata, handles)


function ka_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)


if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function n_Callback(hObject, eventdata, handles)

function n_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)


if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function kb_Callback(hObject, eventdata, handles)


function kb_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)


if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function pd_Callback(hObject, eventdata, handles)


function pd_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)


if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


function calc_energia_Callback(hObject, eventdata, handles)
global consumos_fin;
energia_dia=consumos_fin(2);

kb=str2double(get(handles.kb,'String'));
kc=str2double(get(handles.kc,'String'));
kv=str2double(get(handles.kv,'String'));
ka=str2double(get(handles.ka,'String'));
n=str2double(get(handles.n,'String'));
pd=str2double(get(handles.pd,'String'));
```

```
rendimiento=1-((1-kb-kc-kv)*((ka*n)/(pd)))-kb-kc-kv;
energia_corr=energia_dia/rendimiento;

set(handles.rend,'String',num2str(rendimiento));
set(handles.energia_cor,'String',num2str(energia_corr));
vars2=[energia_corr n pd];
documento=fopen('vars2gui4.dat','w');
fprintf(documento,num2str(vars2));
global pasos2;
pasos2=1;



function dia_dis_Callback(hObject, eventdata, handles)

global dia_dis;
dia_dis=str2num(get(hObject,'String'));


function dia_dis_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)


if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function angulo_dis_Callback(hObject, eventdata, handles)

global angulo_dis;
angulo_dis=str2num(get(hObject,'String'));


function angulo_dis_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)


if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


function checkbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)

valor=get(hObject,'value');

if valor==1
    set(handles.dia_dis,'Style','text');
else
    set(handles.dia_dis,'Style','edit');
end


set(handles.dia_dis,'Style','text');
function checkbox4_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function checkdia_Callback(hObject, eventdata, handles)
global dia_dis;
valor=get(hObject,'Value');
mes_opt=importdata('mesminimo.dat');
dia_opt=(mes_opt*30)-15;
vacio='-';

if valor==1
    set(handles.dia_dis,'String',num2str(dia_opt));
    dia_dis=dia_opt;
else
    set(handles.dia_dis,'String',vacio);
    dia_dis=[];
end


function checkangle_Callback(hObject, eventdata, handles)
global angulo_dis;

valor=get(hObject,'value');
latitud=str2double(get(handles.latitud,'String'));
ang_opt=3.7+(latitud*0.69);
vacio='-';
if valor==1
    set(handles.angulo_dis,'String',num2str(ang_opt));
    angulo_dis=ang_opt;
else
    set(handles.angulo_dis,'String',vacio);
    angulo_dis=[];
end


function calc_solar_Callback(hObject, eventdata, handles)
global pasos2;

if pasos2==1
    global latitud;
    global dia_dis;
    global angulo_dis;

    dn=dia_dis;
    lat=latitud;
    angulo_inc=angulo_dis;


    %Calculo los elementos iniciales-------------------------------------
------

    %Declinacion Solar
    ang=(360*((284+dn)/(365)));
    declin_sol=23.45*sind(ang);

    %Angulo Saluda Sol
    angul_sal=(-1)*(acosd((-1)*(tand(declin_sol))*(tand(lat))));

    %Angulo Sal Plano Inclinado
    angul_sal_c=(-1)*(acosd((-1)*(tand(declin_sol))*(tand((lat-
angulo_inc)))));

    %Factor Excentricidad
```

```
    ang2=2*pi*((dn*(pi/180))/(265));
    e=1+(0.033*cos(ang2));


    %Mostramos todos los datos en los static text------------------------
------

    set(handles.declin_sol,'String',declin_sol);
    set(handles.angul_sal,'String',angul_sal);
    set(handles.angul_sal_c,'String',angul_sal_c);
    set(handles.factor_ex,'String',e);

    %Ploteo la declinacion

    x=(1:1:365);
    ang2=(360.*((284+x)./(365))).*(pi/180);
    declin_sol2=23.45.*sin(ang2);

    axes(handles.axes1);
    plot(x,declin_sol2,dn,declin_sol,'rs');
    title('Declinación Solar')
    xlabel('Día de diseño')
    ylabel('Declinación')

    %Ploteo la Angulo Sal Del Sol

    angul_sal2=(-1)*(acosd((-1)*(tand(declin_sol2))*(tand(lat))));

    axes(handles.axes19);
    plot(x,angul_sal2,dn,angul_sal,'rs');
    title('Ángulo Salida del Sol')
    xlabel('Día de diseño')
    ylabel('Ángulo (°)')

    %Ploteo la Ángulo Sal Sol PI
    angul_sal_c2=(-1)*(acosd((-1)*(tand(declin_sol2))*(tand((lat-
angulo_inc)))));

    axes(handles.axes20);
    plot(x,angul_sal_c2,dn,angul_sal_c,'rs');
    title('Ángulo Salida del Sol PI')
    xlabel('Día de diseño')
    ylabel('Ángulo (°)')

    %Ploteo la Factor de Exce
    ang22=2*pi*((x*(pi/180))/(265));
    e2=1+(0.033*cos(ang22));

    axes(handles.axes21);
    plot(x,e2,dn,e,'rs');
    title('Factor de Excentricidad')
    xlabel('Día de diseño')
    ylabel('Excentricidad (e)')

    %Extraigo variables para otra GUI

    variables2guide3=[lat angulo_inc dn declin_sol angul_sal angul_sal_c
e];
    documento=fopen('var2guide3.dat','w');
    fprintf(documento,num2str(variables2guide3,3));
```

```
    pasos2=2;
end


function calc_energia2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function text15_Callback(hObject, eventdata, handles)


function retrocede_Callback(hObject, eventdata, handles)
    clear
    close all
    clc
    fotovoltaic_USS_System

function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)

function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Untitled_2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Untitled_3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Untitled_4_Callback(hObject, eventdata, handles)
clear all
clc
close all
```

6.6. ANEXO VI. - CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN VENTANA III: Fotovoltaic_USS_System3

```
function varargout = fotovoltaic_USS_System3(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @fotovoltaic_USS_System3_OpeningFcn,
...
                   'gui_OutputFcn',  @fotovoltaic_USS_System3_OutputFcn,
...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
```

```
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function fotovoltaic_USS_System3_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)

handles.output = hObject;


guidata(hObject, handles);
movegui('center');

%declaro las variables que usaré en este GUIDE
global vars;
%variables de apoyo para la variable global con los datos de la GUI2
AA=importdata('var2guide3.dat');
BB=importdata('radminima.dat');
horadia=[24];
constsolar=[1367];
vars=[AA BB];

%seteamos los static text iniciales
set(handles.lat,'String',vars(1));
set(handles.ang_pan,'String',vars(2));
set(handles.dec_sol,'String',vars(4));
set(handles.ang_sal,'String',vars(5));
set(handles.ang_sal_pi,'String',vars(6));
set(handles.exc,'String',vars(7));
set(handles.rad_minima,'String',vars(8));
set(handles.long_dia,'String',horadia);
set(handles.const_solar,'String',constsolar);
set(handles.grafico,'Visible','off');

%Calculo rad solar sobre plano inclinado
T=24;
I0=1367;
A=(T/pi)*(I0*(vars(7)));
B=(-1)*(pi/180)*(vars(6))*(sind((vars(1))))*(sind((vars(4))));
C=(cosd((vars(1))))*(cosd((vars(4))))*(sind(vars(6)));

rad_pi=(A)*((B)-(C));
set(handles.rad_pi,'String',rad_pi);

%Calculo Indice de claridad
ic=(vars(8)*1000)/(rad_pi);
set(handles.ic,'String',ic);

%Calculo Fraccion Difusa de Radiacion
frac_dr=1-(1.13*(ic));
set(handles.frac_dr,'String',frac_dr);

%Cálculo Radiación Difusa
global rad_d
rad_d=(vars(8)*1000)*frac_dr;
set(handles.rad_d,'String',rad_d);

%Calculo Radiacion que llega al plano inclinado
global rad_pi_c
rad_pi_c=vars(8)*1000-rad_d;
```

```
set(handles.rad_pi_c,'String',rad_pi_c);

%Calculo Factor de Corrección
global fc
AA=(vars(6))*(pi/180)*(sind((vars(4))))*(sind(((vars(1)-vars(2)))));
BB=(cosd((vars(4))))*(cosd((vars(1)-vars(2))))*(sind((vars(6))));
CC=(vars(5))*(pi/180)*(sind((vars(4))))*(sind((vars(1))));
DD=(cosd((vars(4))))*(cosd(vars(1)))*(sind((vars(5))));

fc=((AA)+(BB))/((CC)+(DD));
set(handles.fc,'String',fc);


% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = fotovoltaic_USS_System3_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global vars;
global rad_pi_c;
global rad_d;
global fc;
ro=str2double(get(handles.ref,'String'));

d=rad_d*((1+cosd(vars(2)))/(2));
a=((ro*vars(8)*1000)*(1-cosd(vars(2))))/2;
h=rad_pi_c*fc;

g=d+a+h;

documento=fopen('radiacion_final.dat','w');
fprintf(documento,num2str(g));

set(handles.d,'String',d);
set(handles.a,'String',a);
set(handles.h,'String',h);
set(handles.g,'String',g);

d1=d*10;
a1=a*10;
h1=h*10;
valores = [d1 a1 h1];
labels = {'R. Difusa','R. Albedo','R. Directa'};
lab = {'Rad. Difusa Sobre el Panel','Rad. Albedo Sobre el Panel','Rad.
Directa Sobre el Panel'};
explode = [1 1 1];
pie(valores,explode,labels)
legend(lab)
title('Radiación Sobre el Panel Fotovoltaico')

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

comprueba=isempty(get(handles.ref,'String'));

if comprueba==0
    clear
    close all
```

```
    clc
    fotovoltaic_USS_System4
end

function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
    clear
    close all
    clc
    fotovoltaic_USS_System2

function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Untitled_2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Untitled_3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Untitled_4_Callback(hObject, eventdata, handles)
clear all
clc
close all


function ref_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

6.7. ANEXO VII. - CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN VENTANA IV: Fotovoltaic_USS_System4

```
function varargout = fotovoltaic_USS_System4(varargin)

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @fotovoltaic_USS_System4_OpeningFcn,
...
                   'gui_OutputFcn',  @fotovoltaic_USS_System4_OutputFcn,
...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function fotovoltaic_USS_System4_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)


handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);
```

```
movegui('center');

function varargout = fotovoltaic_USS_System4_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;
global energiad;
global radfinal;
global dias_auto;
global pd;

AA=importdata('consumos_final.dat');
BB=importdata('radiacion_final.dat');
CC=importdata('vars2gui4.dat');
energiad=CC(1);
radfinal=BB;
dias_auto=CC(2);
pd=CC(3);

hsp=radfinal/1000;
ppico=energiad/hsp;

set(handles.energiad,'String',energiad);
set(handles.radtotal,'String',radfinal);
set(handles.hsp,'String',num2str(hsp));
set(handles.ppico,'String',num2str(ppico));
set(handles.dias_auto,'String',num2str(dias_auto));
set(handles.pd,'String',num2str(pd));



function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function togglebutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)


function ppanel_Callback(hObject, eventdata, handles)
condicion=get(handles.eficiencia,'String');

if isempty(condicion)==0
    %tomamos los datos escritos por el usuario
    ppico=str2double(get(handles.ppico,'String'));
    ppanel=str2double(get(hObject,'String'));
    eficiencia=str2double(get(handles.eficiencia,'String'));

    %graficamos la funcion y el calculo de np
    x=[1:2000];
    panelfuncion=(ppico)./(eficiencia.*x);
    np=(ppico)/(eficiencia*ppanel);
    axes(handles.axes1);
    plot(x,panelfuncion,ppanel,ceil(np),'rx','Markersize',8);
    set(handles.npanel,'String',num2str(np));
    set(handles.npreal,'String',num2str(ceil(np)));

    %definimos los limites de la gráfica
    ysup=np*2;
    ylim=[0 ysup];
    xsup=ppanel*2;
    xlim=[0 xsup];
    set(handles.axes1,'YLim',ylim);
```

```
    set(handles.axes1,'XLim',xlim);
    title('Número de Paneles Para la Instalación')
    xlabel('Potencia (W)')
    ylabel('# de Paneles')
end

function ppanel_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function eficiencia_Callback(hObject, eventdata, handles)
condicion=get(handles.ppanel,'String');

if isempty(condicion)==0
    %tomamos los datos escritos por el usuario
    ppico=str2double(get(handles.ppico,'String'));
    ppanel=str2double(get(handles.ppanel,'String'));
    eficiencia=str2double(get(hObject,'String'));

    %graficamos la funcion y el calculo de np
    x=[1:2000];
    panelfuncion=(ppico)./(eficiencia.*x);
    np=(ppico)/(eficiencia*ppanel);
    axes(handles.axes1);

    plot(x,panelfuncion,ppanel,ceil(np),'rx','Markersize',8);
    set(handles.npanel,'String',num2str(np));
    set(handles.npreal,'String',num2str(ceil(np)));

    %definimos los limites de la gráfica
    ysup=np*2;
    ylim=[0 ysup];
    xsup=ppanel*2;
    xlim=[0 xsup];
    set(handles.axes1,'YLim',ylim);
    set(handles.axes1,'XLim',xlim);
    title('Número de Paneles Para la Instalación')
    xlabel('Potencia (W)')
    ylabel('# de Paneles')
end

function eficiencia_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function ah_Callback(hObject, eventdata, handles)
global energiad;
global dias_auto;
global pd;
condicion=get(handles.volt,'String');
```

```
if isempty(condicion)==0
    %tomamos los datos escritos por el usuario
    ah=str2double(get(hObject,'String'));
    volt=str2double(get(handles.volt,'String'));

    %calculamos
    captotal=(energiad*dias_auto)/(volt*pd);
    numbat=captotal/ah;

    %graficamos la funcion y el calculo de np
    x=[1:2000];
    batfuncion=captotal./x;
    axes(handles.axes2);
    plot(x,batfuncion,ah,ceil(numbat),'rx','Markersize',8);

    set(handles.captotal,'String',num2str(captotal));
    set(handles.numbat,'String',num2str(ceil(numbat)));

    %definimos los limites de la gráfica
    ysup=numbat*2;
    ylim=[0 ysup];
    xsup=ah*2;
    xlim=[0 xsup];
    set(handles.axes2,'YLim',ylim);
    set(handles.axes2,'XLim',xlim);
    title('Número de Baterías para la Instalación')
    xlabel('Capacidad de Batería (Ah)')
    ylabel('# de Baterías')
end

function ah_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)


function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)


if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function volt_Callback(hObject, eventdata, handles)

global energiad;
global dias_auto;
global pd;
condicion=get(handles.ah,'String');
```

```
if isempty(condicion)==0
    %tomamos los datos escritos por el usuario
    volt=str2double(get(hObject,'String'));
    ah=str2double(get(handles.ah,'String'));

    %calculamos
    captotal=(energiad*dias_auto)/(volt*pd);
    numbat=captotal/ah;

    %graficamos la funcion y el calculo de np
    x=[1:2000];
    batfuncion=captotal./x;
    axes(handles.axes2);
    plot(x,batfuncion,ah,ceil(numbat),'rx','Markersize',8);

    set(handles.captotal,'String',num2str(captotal));
    set(handles.numbat,'String',num2str(ceil(numbat)));

    %definimos los limites de la gráfica
    ysup=numbat*2;
    ylim=[0 ysup];
    xsup=ah*2;
    xlim=[0 xsup];
    set(handles.axes2,'YLim',ylim);
    set(handles.axes2,'XLim',xlim);
    title('Número de Baterías para la Instalación')
    xlabel('Capacidad de Batería (Ah)')
    ylabel('# de Baterías')
end

function volt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function npanel_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function retroceso_Callback(hObject, eventdata, handles)
    clear
    close all
    clc
    fotovoltaic_USS_System3

function fin_Callback(hObject, eventdata, handles)
    clear
    close all
    clc
    portada_FotovoltaicUSSSystem

function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)


function Untitled_2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Untitled_3_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function Untitled_4_Callback(hObject, eventdata, handles)
clear all
clc
close all
```