



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES

TESIS

**“DESARROLLO DE UN TIFLOPROGRAMA DE
DIMENSIONADO FOTOVOLTAICO, APLICADO A
SISTEMAS AISLADOS E INTERCONECTADOS A RED”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

PRESENTA

GUILLERMO DE JESÚS GÓMEZ SÁNCHEZ

DIRECTORES

**DR LUIS ALBERTO HERNÁNDEZ DOMÍNGUEZ
MTRO ÓSCAR MARTÍNEZ AGUIRRE**





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez Chiapas
Fecha: 24 de octubre de 2024

C. Guillermo de Jesús Gómez Sánchez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Energías
Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

"DESARROLLO DE UN TIFLOPROGRAMA DE DIMENSIONADO FOTOVOLTAICO, APLICADO A SISTEMAS AISLADOS E INTERCONECTADOS A RED"

En la modalidad Tesis Profesional
de:

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

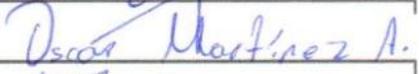
Revisores

Dr. Joel Pantoja Enríquez

Mtro. Óscar Martínez Aguirre

Ing. Monserrat García Hernández

Firmas:


Ccp. Expediente



Agradecimientos:

- **A mí madre.**

En primer lugar por darme la vida. Y de esta forma brindarme la oportunidad de realizar los logros que he alcanzado hasta ahora. Siendo muchos de ellos gracias a su acompañamiento y apoyo.

- **A mis amigos.**

Por haber estado conmigo en muchas situaciones difíciles y ser una parte importante de mi vida.

- **A mi asesor.**

El Dr. Luis Alberto Hernández Domínguez, por contar con todo su apoyo y demostrar una dedicación ejemplar a mi trayecto.

- **Maestros y compañeros.**

A los profesores y compañeros que demostraron un interés genuino por aportar a mi correcto desarrollo académico.

A todos ellos ¡muchas gracias!





Dedicatoria:

Dedico la realización de esta tesis a dos personas con mucha importancia en mi vida, las cuales son mi madre: María Gómez Sánchez. Y mi abuela: Mercedes Sánchez Gutiérrez, en paz descanse.

Siendo las dos pieza fundamental para mí formación, mi madre al desempeñar la labor de ambos padres ella sola desde antes de que yo naciera y mi abuelita por ser una segunda madre para mí y de la cual espero se sienta orgullosa de este logro, desde donde quiera que me esté viendo.

Para las dos, va este trabajo...



4.5.- Tercer Hoja (Controlador MPPT) Método de Potencia.....	78
4.5.1.- Módulos Fotovoltaicos	79
4.5.2.- Banco de Baterías.....	80
4.5.3.- Controlador de Carga.....	80
4.6.- Cuarta Hoja (SFV Interconectado a Red).....	81
4.6.1.- Energía Promedio Diaria	82
4.6.2.- Potencia del Inversor de Corriente	82
4.6.3.- Número de Módulos.....	83
 CONCLUSIONES	 84
 Referencias	 88



Tabla de nomenclaturas

Sistemas Fotovoltaicos Autónomos e Interconectados a la Red	
SFV:	Sistema Fotovoltaico
SFV-IR:	Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red
DC:	Corriente Directa
AC:	Corriente Alterna
PWM:	Modulación por Ancho de Pulso (Tipo de controlador de carga)
MPPT:	Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (Tipo de controlador de carga)
Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos	
I_{Tot} :	Intensidad Total del Sistema
PT:	Potencia Total
V_n :	Voltaje nominal
HSP:	Horas Solares Pico
DET:	Demanda de Energía Total
P_{MFV} :	Potencia del Módulo Fotovoltaico
NTM:	Número Total de Módulos
NMS:	Número de Módulos en Serie
NMP:	Número de Módulos en Paralelo
V_{mp} :	Voltaje de Máxima Potencia
I_{mp} :	Intensidad de Máxima Potencia
I_{sc} :	Intensidad de Corto Circuito
NTB:	Número Total de Baterías
NBS:	Número de Baterías en Serie
NBP:	Número de Baterías en Paralelo
V_{Bat} :	Voltaje de la Batería
I_{Bat} :	Intensidad de la Batería
P_{Bat} :	Potencia de la Batería
PD:	Profundidad de Descarga
DA:	Días de Autonomía
η_{inv} :	Eficiencia del Inversor
η_{Bat} :	Eficiencia de la Batería
I_{Cont} :	Intensidad del Controlador de Carga
Programación	
VBA:	Visual Basic para aplicaciones



CAP 1.- GENERALIDADES

En este capítulo se presentan los primeros fundamentos básicos para conocer, y entender lo que se pretende demostrar con este proyecto. Se plasman conceptos tales como la introducción con el objetivo de presentar una idea amplia del proyecto, la problemática del mismo como punto de partida a resolver, y los objetivos que se alcanzaron paulatinamente con este trabajo.



1.2.- ANTECEDENTES

PV F-Chart: Puesto en marcha desde 1975 por el Solar Energy Laboratory de la Universidad de Wisconsin-Madison. PV F-CHART es un programa completo de análisis y diseño de sistemas fotovoltaicos, proporciona estimaciones del rendimiento mensual promedio para cada hora del día. Los cálculos se basan en modelos y métodos desarrollados en la Universidad de Wisconsin, que utilizan la capacidad de utilización de la radiación solar para tener en cuenta la desviación estadística de la radiación solar y la carga eléctrica. [1]

Homer Pro: Originalmente desarrollado en 1990 dentro del Laboratorio Nacional de Energías Renovables y mejorado y distribuido por UL Solutions, combina tres potentes herramientas en un solo producto de software. En esencia, HOMER es un modelo de simulación, intenta simular un sistema viable para todas las combinaciones posibles de equipos que se desee considerar, pudiendo simular cientos o incluso miles de sistemas. Examina todas las combinaciones posibles de tipos de sistemas en una sola ejecución y luego clasifica los sistemas según la variable de optimización elegida. [2]

PVSyst: Fundado a partir de 1992 por André Mermoud y Michel Villoz y en constantes actualizaciones, PVSyst es una herramienta de software ampliamente utilizada en la industria solar para la simulación, el dimensionamiento y el análisis de sistemas fotovoltaicos (PV). Es conocido por su precisión y capacidad para manejar proyectos de cualquier tamaño, desde pequeños sistemas residenciales hasta grandes plantas solares comerciales y utilitarias. [3]



RETScreen: Fue desarrollado originalmente en 1996 por Natural Resources Canada. Se puede utilizar gratuitamente en todo el mundo para evaluar la producción y el ahorro de energía, los costos, las reducciones de emisiones, la viabilidad financiera y el riesgo de varios tipos de tecnologías de energía renovable y de eficiencia energética. También incluye bases de datos de productos, proyectos, hidrología y clima. [4]

Solar Pro: Es un sofisticado software de simulación para sistemas fotovoltaicos. Desarrollado por Laplace Systems Co., Ltd en 1997, puede simular la generación de electricidad en diferentes condiciones que varían según cada sistema, de modo que permite diseñar el sistema basándose en datos precisos. Además, dado que los datos calculados se presentan con un aspecto persuasivo y gráfico, también se pueden utilizar para presentaciones y educación relacionadas con la generación de sistemas fotovoltaicos. [5]

PV*Sol: Desarrollado desde 1998 por la empresa a cargo del Dr. Gerhard Valentin, PV*SOL fue la primera versión de un software de diseño y simulación para sistemas fotovoltaicos, que estableció una larga historia de éxito. Ofrece la configuración y el análisis de sombra detallados para sistemas fotovoltaicos, ayuda a calcular la producción solar, el tamaño del panel y la previsión económica del sistema. Se utiliza ampliamente en la industria solar para planificar y optimizar instalaciones solares tanto pequeñas como grandes. Es conocido por su capacidad de modelar sistemas complejos y proporcionar simulaciones detalladas de la producción de energía. [6]

PVGIS: Este es un software desarrollado en el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, en las instalaciones del JRC en Ispra Italia, en 2001. El objetivo de PVGIS es la investigación en evaluación de recursos solares, estudios de rendimiento fotovoltaico (PV) y la difusión de conocimientos y datos sobre la energía solar. Cuenta con una aplicación web, y gran cantidad de investigaciones para hacer de sus resultados los más precisos posibles. [7]



SAM (System Advisor Model): Es una aplicación de escritorio gratuita para el análisis técnico-económico de tecnologías energéticas. Fue desarrollado originalmente por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables en colaboración con los Laboratorios Nacionales Sandia en 2005. Es empleado para el análisis basado en sistemas de oportunidades de mejora de la tecnología solar dentro del programa. La utilizan gerentes de proyectos e ingenieros, analistas de políticas, desarrolladores de tecnología e investigadores para conocer cuestiones sobre la viabilidad técnica, económica y financiera de proyectos de energía renovable. [8]

Helioscope: La empresa de software Folsom Labs comenzó en 2011 y creó posteriormente Helioscope para modelar datos generados por paneles solares. Los usuarios pueden generar informes analíticos profundos sobre la generación solar montada en el techo o en el suelo. Gran parte de los datos que genera son más profundos que los de muchos de sus competidores. El software es ideal para diseñar sistemas solares para: Grandes edificios comerciales, empresas industriales o granjas solares. Además de generar datos detallados y significativos, así como diseños rápidos para paneles solares a gran escala. [9]

PVSketch Mega: La empresa global de software de diseño y ventas solares “PVComple” anunció en enero de 2021 el lanzamiento público de PVSketch Mega, la primera y única aplicación web de propuesta, modelado y diseño de precisión para proyectos fotovoltaicos a escala de servicios públicos. Permite la evaluación inicial del sitio y el diseño del sistema con el poder de la computación avanzada en la nube. Así como ejecutar miles de permutaciones de diseños para fundamentar decisiones de desarrollo importantes mediante la evaluación cuantitativa de cómo las opciones afectarán la relación de cobertura de ronda (GCR), la capacidad de salida en kW y los valores de producción. [10]



PVSites: Desarrollado por CADCAMation en 2016, aborda la necesidad de una herramienta de software para la simulación conjunta de productos BIPV y el rendimiento energético de los edificios presentando el software BIMSOLAR como una herramienta que ayuda a los usuarios finales a integrar BIPV en el diseño, la construcción y la gestión de sus edificios. [11]

PlantPredict: Desarrollado por First Solar a fines de 2016, se centra en modelar de manera eficiente y precisa plantas de energía a escala de servicios públicos complejas en una única predicción de energía. Las opciones de algoritmo son amplias y están documentadas de manera transparente. Esto incluye modelos importantes como el cambio espectral, el coeficiente de temperatura no lineal y el recorte térmico del inversor. [12]

SolarFarmer: Creado por DNV GL y lanzado en 2019, es una aplicación de software de escritorio confiable y completa para la evaluación del rendimiento de proyectos de plantas solares fotovoltaicas, que utiliza la metodología de DNV y se basa en amplios datos operativos para abordar los desafíos de la industria solar en rápida expansión. [13]

SolarEdge: Desarrollado por la empresa del mismo nombre y lanzado en agosto de 2021. Ofrece soporte para múltiples diseños, evalúa diferentes ubicaciones de módulos FV, creación de perfiles de consumo personalizados, análisis financieros. Permite agregar baterías, inversores alternativos, optimizadores de energía, diseños de cadenas y más. ahorrando tiempo en la creación del diseño. [14]

Easy PV: Relanzado en septiembre de 2021 y creado por Midsummer es un software desarrollado para ayudar a los instaladores a dominar el complejo proceso de diseño de proyectos y optimización de la instalación de energía solar. Crea sistemas de paneles solares, genera especificaciones completas del sistema, administra la documentación e incorpora una compra de sistema integral sin inconvenientes. [15]



CAP 2.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación se describen algunos de los conceptos más relevantes para la correcta comprensión del proyecto, y con ello ofrecer las herramientas literarias que posteriormente aportaran un precedente a los siguientes temas.



2.1.- El Sol

La palabra “Sol” tiene su origen en el término latino “sol”, “solis”, que significaba exactamente lo mismo: “Sol”, la estrella luminosa, centro de nuestro sistema planetario. [16]

Comparado con las mil millones del universo, pasa desapercibido. Sin embargo, para la Tierra y otros planetas de alrededor, es un poderoso centro de atención: su luz da vida, calor y mantiene unido el sistema solar. Es desde esta perspectiva, el motor de la existencia en el planeta de la vida y el generador de los climas en otros. En realidad, el Sol es una estrella más en el vasto e insondable universo. Únicamente es esencial para el sistema solar en el que la tierra se circunscribe. Sin embargo, es la estrella más grande de este sistema y posee características que lo hacen muy complejo e interesante. [17]

2.1.1.- El Sol y Sus Características

Ubicado a 149.6 millones de kilómetros, el Sol es una estrella enorme, se piensa que tiene unos 4.6 miles de millones de años de edad. Representa el 99% de la masa total del sistema solar y 743 veces la masa de los demás planetas combinados, con un diámetro de 1,4 millones de kilómetros podría albergar a 109 planetas en su superficie. Si fuera hueco, más de un millón de Tierras podrían vivir en su interior. Está relleno de gases calientes, de forma científica se clasifica como una enana amarilla del tipo G2. Su temperatura alcanza los 5,500 grados centígrados en la superficie y más de 15.5 millones de grados centígrados en el núcleo. Ahí se producen reacciones de fusión en las que el hidrógeno se transforma en helio, que genera la energía. Unas pequeñas partículas de luz llamadas fotones transportan esta energía a través de la zona radiante hasta la capa superior del interior del Sol, la zona convectiva. Ahí, el movimiento de los gases hirviendo lleva la energía a la superficie. Este viaje dura más de un millón de años.



La superficie del Sol, o atmósfera, está dividida en tres regiones: la fotosfera, la cromosfera y la corona solar. La fotosfera es la superficie visible del Sol y la capa más baja de la atmósfera. Por encima de la fotosfera se encuentran la cromosfera y la corona, que también emiten luz visible pero solamente se pueden ver durante eclipses solares, cuando la luna pasa entre la Tierra y el Sol. [17]

2.2.- Energía Solar

La energía solar es la principal de nuestros sistemas climáticos y de las fuentes de energía de la Tierra. Una cantidad de radiación solar llega a la superficie del planeta cada hora para cubrir nuestras necesidades energéticas globales durante casi un año. Procede de la radiación electromagnética del sol, que proporcionan luz durante el día, nace de la fusión nuclear de helio e hidrogeno. Cada partícula de luz solar que llega a la superficie terrestre, conocida como fotón, contiene energía que alimenta al planeta. Es la central infinita de tres energías renovables (solar fotovoltaica, solar termoeléctrica y solar térmica) de ahí una de sus características que la definen es que puede aprovecharse y reconvertirse para su uso mediante colectores. Posee un carácter inagotable, lo que la convierte en uno de los recursos renovables más beneficiosos. Su impacto medioambiental es mínimo, puesto que no produce residuos ni emite gases de efecto invernadero. [18]

2.2.1.- Radiación

La radiación es energía que se mueve de un lugar a otro en una forma que puede describirse como ondas o partículas. Algunas de las fuentes de radiación más familiares incluyen el sol, los hornos de microondas y las radios. [19]

Proviene de átomos inestables sometidos a la desintegración radiactiva o puede ser producida por máquinas. Hay diferentes formas de radiación con propiedades y efectos distintos. La radiación ionizante tiene tanta energía que destruye los electrones de los átomos, proceso que se conoce como ionización.



La radiación no ionizante tiene suficiente energía para desplazar los átomos de una molécula o hacerlos vibrar, pero no es suficiente para eliminar los electrones de los átomos. [20]

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta, que se debilita en la atmósfera por la presencia de nubes y es absorbida por moléculas de gas o partículas en suspensión. Después de atravesar la atmósfera, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental y es reflejada o absorbida. Finalmente, la superficie lo devuelve al espacio exterior en forma de radiación de onda larga. Los tipos de radiación solar se denominan según la forma en que llegue a la Tierra.

Directa: Este tipo de radiación penetra en la atmósfera y llega a la superficie terrestre sin dispersarse en absoluto por el camino.

Difusa: Es la radiación que llega a la superficie terrestre después de haber sufrido múltiples desviaciones en su trayectoria, por ejemplo por los gases de la atmósfera.

Reflejada: Esta es la fracción de la radiación solar que es reflejada por la propia superficie terrestre, en un fenómeno conocido como efecto albedo. [21]

2.2.2.- Hora Solar Pico (HSP)

La hora solar pico no es lo mismo que las horas de luz solar, que son las horas totales desde el amanecer hasta el atardecer. En cambio, son la radiación solar promedio que recibe un lugar determinado a lo largo del día. Su unidad es kWh/m² por día. Cada región tiene horas máximas de luz solar únicas, lo que ayuda en el proceso de toma de decisiones para instalar un sistema de paneles solares, se define como una hora del día en que la intensidad de la luz solar alcanza un promedio de 1000 watts/metro². [22]



Por lo tanto, tiene sentido que las horas entre el mediodía y las primeras horas de la tarde sean las horas pico de radiación solar, ya que el sol está más alto en el cielo y los módulos reciben los rayos del sol en el ángulo más directo. Por el contrario, las horas pico de sol no ocurren durante el amanecer y el atardecer porque el sol está colocado en un ángulo más bajo en relación con los paneles.

A menudo, la cantidad de horas pico de luz solar aumenta cuanto más cerca se está del ecuador y, en general, durante los meses de verano. También pueden variar dependiendo de dónde se coloquen los módulos solares.

El valor de las HSP para una parte del techo puede ser sustancialmente diferente de otra sección, estos factores pueden afectar la cantidad de horas pico de sol que reciben los paneles. La dirección en la que se orientan afecta la intensidad de la luz solar, así como la cantidad total de luz solar recibida. De igual forma es posible que experimenten horas de sol en diferentes momentos en función de cuándo un árbol (u otra obstrucción) les da sombra. [23]

2.2.3. Efecto Fotoeléctrico

Es un fenómeno en el que se liberan partículas cargadas eléctricamente desde o dentro de un material cuando se absorbe radiación electromagnética, también suele denominarse fotoemisión. El efecto se define a menudo como la eyección de electrones de una placa de metal cuando la luz incide sobre ella, a los electrones que se expulsan del metal, se denominan fotoelectrones. En términos de comportamiento y propiedades, los fotoelectrones no son diferentes de otros electrones. El prefijo, foto-, simplemente indica que los electrones han sido expulsados de una superficie metálica por la luz incidente. Es importante señalar que la emisión de fotoelectrones y la energía cinética de los fotoelectrones expulsados dependen de la frecuencia de la luz que incide sobre la superficie del metal. El efecto fotoeléctrico no puede explicarse considerando la luz como una onda. Sin embargo, este fenómeno puede explicarse por la naturaleza de partículas de la luz, en la que la luz puede visualizarse como una corriente de partículas de energía electromagnética.



Para que ocurra el efecto fotoeléctrico, los fotones que inciden en la superficie del metal deben llevar suficiente energía para vencer las fuerzas de atracción que unen los electrones a los núcleos de los metales. La cantidad mínima de energía requerida para remover un electrón del metal se llama energía umbral (indicada por el símbolo Φ).

Para que un fotón posea una energía igual a la energía umbral, su frecuencia debe ser igual a la frecuencia umbral (que es la frecuencia mínima de luz necesaria para que se produzca el efecto fotoeléctrico). La frecuencia umbral generalmente se denota con el símbolo ν y la longitud de onda asociada (llamada longitud de onda umbral) se denota con el símbolo λ .

Si la energía del fotón es menor que la energía umbral, no habrá emisión de fotoelectrones (ya que las fuerzas de atracción entre los núcleos y los electrones no pueden ser superadas). Por lo tanto, el efecto fotoeléctrico no ocurrirá si $\nu < \nu_{th}$. Si la frecuencia del fotón es exactamente igual a la frecuencia umbral ($\nu = \nu_{th}$), habrá una emisión de fotoelectrones, pero su energía cinética será igual a cero. Es importante tener en cuenta que el umbral de energía varía de un metal a otro. Esto se debe a que las fuerzas de atracción que unen los electrones al metal son diferentes para diferentes metales. También se puede señalar que el efecto fotoeléctrico puede tener lugar en los no metales, pero no suelen ser muy altas. [24]

2.2.4.- Semiconductor

Por lo general, es un elemento o compuesto químico sólido que conduce la electricidad en ciertas condiciones pero no en otras. La mayoría de ellos están compuestos por cristales hechos de varios materiales. Una sustancia que puede conducir electricidad se llama conductor y una sustancia que no puede conducir electricidad se conoce como aislante. Los semiconductores tienen propiedades que se encuentran entre el conductor y el aislante. Sus propiedades dependen de las impurezas, conocidas como dopantes, que se le agregan. Un semiconductor de tipo N transporta corriente principalmente en forma de electrones con carga negativa similar a la conducción de corriente en un cable.



Mientras que uno de tipo P transporta corriente predominantemente como deficiencias de electrones llamados "agujeros". Un hueco tiene una carga eléctrica positiva, igual y opuesta a la carga de un electrón. En un material semiconductor, el flujo de huecos ocurre en dirección opuesta al flujo de electrones. Los semiconductores elementales incluyen antimonio, arsénico, boro, carbono, germanio, selenio, silicio, azufre y telurio.

El silicio es el más conocido de estos, formando la base de la mayoría de los circuitos integrados. Podemos diferenciar dos tipos, un semiconductor intrínseco es aquel con forma pura, está compuesto de un solo tipo de material. No tienen ninguna forma de impureza añadida. Por el contrario, los semiconductores extrínsecos son impuros, comprenden múltiples semiconductores intrínsecos con otras sustancias añadidas para cambiar sus propiedades. Estas sustancias son típicamente impurezas dopantes trivalentes o pentavalentes. [25]

2.2.5.- Efecto Fotovoltaico

Es un proceso que genera voltaje o corriente eléctrica en una celda fotovoltaica cuando se expone a la luz solar. Las células solares están compuestas por dos tipos diferentes de semiconductores, un tipo "p" y uno "n", que se unen para crear una unión "pn". Al unirse se forma un campo eléctrico en la región de la unión, a medida que los electrones se mueven hacia el lado p positivo y los huecos se mueven hacia el lado n negativo. Este campo hace que las partículas negativas se muevan en una dirección y las positivas en la otra dirección. Cuando la luz de una longitud de onda adecuada incide sobre estas células, la energía del fotón se transfiere a un átomo del material semiconductor en la unión pn. Específicamente, la energía se transfiere a los electrones en el material. Esto hace que salten a un estado de mayor energía conocido como banda de conducción. Dejando un "agujero" en la banda de valencia de donde saltó el electrón. Este movimiento del electrón como resultado de la energía añadida crea dos portadores de carga, un par electrón-hueco. Cuando no están excitados, los electrones mantienen unido el material semiconductor formando enlaces con los átomos circundantes y, por lo tanto, no pueden moverse. Sin embargo, en su estado excitado en la banda de conducción, estos electrones



pueden moverse libremente a través del material. Debido al campo eléctrico que existe como resultado de la unión pn, los electrones y los huecos se mueven en la dirección opuesta a la esperada. En lugar de ser atraído por el lado p, el electrón liberado tiende a moverse hacia el lado n. Este movimiento del electrón crea una corriente eléctrica en la celda.

Una vez que el electrón se mueve, queda un "agujero", el cual puede moverse, pero en dirección opuesta al lado p. Es este proceso el que crea una corriente en la celda.

[26]

2.2.6.- Tipos de Energía Solar

Tanto el calor como la luz del sol pueden ser utilizados y transformados en energía térmica o eléctrica, a través de colectores solares térmicos o módulos fotovoltaicos. Convirtiéndose en sistemas individuales para viviendas o pequeñas comunidades. Los módulos fotovoltaicos pueden alimentar dispositivos eléctricos, mientras que los colectores solares térmicos pueden calentar hogares o agua caliente. Estos ejemplos de energía conforman la energía solar activa y están conformadas por tecnologías solares que requieren instalaciones externas para capturar, convertir y distribuir la energía solar. También es posible aprovechar los beneficios de la energía solar de forma pasiva, al diseñar y construir espacios que permitan retener el calor o darle un uso mayor a la luz natural. [27]

2.2.6.1.- Energía Solar Térmica

La energía solar térmica aprovecha el calor de la radiación solar y la convierte en energía térmica para calentar un fluido que se puede utilizar como calefacción o agua caliente para uso higiénico, residencial o industrial. Cuando una superficie oscura se expone a la luz del sol, absorbe la energía solar y se calienta. Un colector solar térmico que funciona según este principio consta de una superficie orientada hacia el sol que transfiere parte de la energía a un fluido de trabajo como el agua o el aire.



Pasiva: la energía solar pasiva es aquella que permite aprovechar el calor y la luz solar sin utilizar recursos externos. Se trata de técnicas pasivas como las que propone la arquitectura bioclimática, en la que se toman en cuenta el diseño, la orientación, los materiales e incluso las condiciones climatológicas a la hora de construir una vivienda o un edificio. Pero tampoco funciona como fuente de energía única, sólo complementaria. [28]

2.2.6.2.- Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se obtiene convirtiendo la luz solar en electricidad mediante una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico, se puede producir en instalaciones que van desde pequeños generadores para autoconsumo hasta grandes plantas fotovoltaicas. Hay dos tipos de plantas fotovoltaicas: las que están conectadas a la red y las que no. Es un tipo de energía 100 % renovable, inagotable y no contaminante que no consume combustibles ni genera residuos, por lo que contribuye al desarrollo sostenible. Es modular, por lo que puede utilizarse en instalaciones que van desde enormes plantas fotovoltaicas sobre el suelo hasta pequeños paneles de cubierta. Permite la instalación de baterías para almacenar el exceso de electricidad que se puede destinar a un uso posterior. Es un sistema especialmente indicado para zonas rurales o aisladas donde no se dispone de líneas eléctricas o son de difícil o costosa instalación, o para zonas geográficas que reciben muchas horas de sol al año. Contribuye a la creación de empleos verdes y dinamiza la economía local a través de proyectos punteros. [30]



2.2.7.- Celda Solar

Un solo dispositivo fotovoltaico se conoce como celda solar, una Celda Solar es un dispositivo electrónico que captura la luz solar y la convierte directamente en electricidad. Un rayo de luz solar contiene trillones sobre trillones de fotones. Al hacer contacto con una celda solar se capturan estos fotones energéticos y se convierten en un flujo de electrones. (Una corriente eléctrica). Una celda fotovoltaica individual suele ser pequeña y normalmente produce alrededor de 1 o 2 watts de potencia, suelen estar juntas para formar los módulos fotovoltaicos, y así aumentar la potencia de salida de las células fotovoltaicas. Cada celda genera unos pocos voltios de electricidad. Por lo que el trabajo de un panel solar es combinar la energía producida por muchas celdas para producir una cantidad útil de corriente eléctrica y voltaje. Los módulos se pueden usar individualmente o se pueden conectar varios para formar matrices. Luego, uno o más conjuntos se conectan a la red eléctrica como parte de un sistema fotovoltaico completo. Estas células están hechas de diferentes materiales semiconductores y a menudo, tienen menos del grosor de cuatro cabellos humanos. [31]

La mayoría están compuestas de silicio. (uno de los elementos químicos más comunes en la Tierra, el cual se encuentra en la arena). Las celdas de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro estos módulos de color azul oscuro, casi negros, tienen células con bordes rombos. En presencia de luz perpendicular, generan electricidad con una máxima eficiencia de entre un 18 a 20 % de media. Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, por lo que resultan más baratas, estos módulos azules casi iridiscentes están hechos de cristales de silicio orientados en diferentes direcciones. Son menos eficientes (15-17%) cuando reciben la luz solar de forma perpendicular, pero aprovechan mejor la luz solar durante todo el día.



Por último, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que conlleva peores prestaciones (eficiencia media de entre un 8 y 9 %) pero también un precio menor y funcionan bien con luz difusa y a altas temperaturas. Para resistir el exterior durante muchos años, las celdas se intercalan entre materiales protectores en una combinación de vidrio y/o plástico. [32]

2.3.- Sistemas Fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico (SFV) está compuesto por uno o más paneles solares combinados con un inversor entre otros complementos y dispositivos que utilizan la energía del sol para generar electricidad, los materiales y dispositivos fotovoltaicos convierten la luz solar en energía eléctrica, gracias al efecto fotoeléctrico, la radiación emitida por el sol se convierte en corriente directa (DC). La energía eléctrica continua producida por los paneles es convertida en corriente alterna (AC) por los inversores. Los transformadores elevan la electricidad a media tensión (hasta 36 kV). La energía eléctrica alterna, ahora apta para el consumo, se distribuye a lo largo de las líneas de transmisión. [30]

2.3.1.- Sistemas Fotovoltaicos Autónomos

Los sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados son instalaciones que no están conectados a la red eléctrica, toda la energía se produce, almacena y utiliza in situ. La configuración y diseño de un Sistema Fotovoltaico Autónomo exige un análisis detallado de las variables de entrada del sistema (irradiación media, horas equivalentes de luz, orientación, inclinación, sombreado) y de las variables de salida (cargas, tiempo de uso, autonomía). La vida útil del Sistema Fotovoltaico es teóricamente superior a 25 años. La mayoría de ellos cuentan con una Garantía de Rendimiento Lineal de 25 años. Lo cual representa una garantía de rendimiento que disminuye continuamente. Esto garantiza una reducción máxima del rendimiento de un porcentaje fijo durante un período de 25 años. Después de ello funcionarán al 78-82% de su rendimiento inicial.



Se han desarrollado muchos otros materiales semiconductores y tecnologías de celdas solares que funcionan con mayor eficiencia, pero tienen un costo de fabricación más alto, la eficiencia de un módulo fotovoltaico se cuantifica como la relación entre la potencia eléctrica que sale de los terminales y la potencia de los rayos del sol que inciden en la superficie en condiciones de prueba estándar (STC). [32]

Las condiciones de prueba estándar se definen por una temperatura de funcionamiento del módulo (celda) de 25 C (77 F) y un nivel de radiación solar incidente de 1000 W/m² y una distribución espectral de masa de aire de 1,5. Dado que estas condiciones no siempre son típicas de cómo funcionan los módulos y matrices fotovoltaicos en el campo, el rendimiento real suele ser del 85 al 90 por ciento de la clasificación STC. [35]

2.3.1.1.2.- Inversor de Corriente

Un inversor es un dispositivo eléctrico que acepta corriente eléctrica en forma de corriente continua (CC) y la convierte en corriente alterna (CA). Para los sistemas de energía solar, esto significa que la corriente continua de la matriz solar se alimenta a través de un inversor que la convierte en corriente alterna. Dicha conversión es necesaria para operar la mayoría de los dispositivos eléctricos o interactuar con la red, son importantes para casi todos los sistemas de energía solar y suelen ser el componente más caro después de los propios paneles solares, por lo general tienen eficiencias de conversión del 90 % o más y contienen funciones de seguridad importantes que incluyen interrupción del circuito de falla a tierra y anti-isla. Estos apagan el sistema fotovoltaico cuando hay una pérdida de energía de la red. Se recomienda obtener un inversor que pueda manejar la potencia máxima que pueda producir el sistema de energía solar, es importante asegurarse de que la clasificación del inversor en kilowatts sea igual o mayor que la salida de los paneles solares. [36]



2.3.1.1.2.1.-Tipos de inversores

Se pueden mencionar 5 tipos distintos de inversores solares, todos con diferentes beneficios:

Inversores de batería: Un inversor de batería es una buena opción si se necesita instalar una batería en el sistema solar de manera retrospectiva, o si se desea mantener a la batería separada de los paneles solares y ejecutarla a través de un inversor diferente. Un inversor de batería convierte la energía de la batería en 230 V CA y la alimenta al tablero de distribución (en lugar de a la red eléctrica) siempre que sea posible. [37]

Inversores Centrales: Un inversor central es enorme y se usa para sistemas que requieren cientos de kilowatts (o incluso megawatts) de volumen. No son para uso residencial y se asemejan a un gran gabinete de metal, cada "gabinete" puede manejar alrededor de 500kW de potencia. Por lo general, se utilizan comercialmente para instalaciones a gran escala o para grandes granjas solares. [37]

Inversores Híbridos: Los inversores híbridos, también conocidos como "inversores multimodo", permiten conectar baterías al sistema solar. Se conecta con las baterías conectadas a través del "acoplamiento de CC" y su electrónica organiza la carga y descarga de la batería. [37]

Microinversores: Como su nombre refiere, los microinversores son más pequeños. El beneficio de un microinversor, entre otros, es que optimizan cada panel solar individualmente, lo que ofrece más energía especialmente en condiciones de sombra, con un microinversor, la sombra o los daños en un panel no afectarán la energía que se puede extraer de los demás, pero pueden ser más costosos. [37]

Inversores de cadena: los inversores de cadena o inversores string son la opción de inversor más común para uso residencial, y normalmente hay un inversor string por instalación solar. Se les conoce como 'inversores de cadena' debido al hecho de que se les conecta una cadena de paneles solares. Aunque es rentable, esta configuración da como resultado una producción de energía reducida en la cadena si algún panel individual experimenta problemas, como sombras. [37]



2.3.1.1.3.- Baterías

Las baterías acumulan el exceso de energía creado por el sistema fotovoltaico y lo almacenan para usarlo durante la noche o cuando no hay otra entrada de energía, su capacidad para retener energía se mide en amperios-hora: 1 amperio entregado durante 1 hora = 1Ah. Esto a un voltaje determinado, por ejemplo, 220 amperios por hora a 6 voltios. Estos dispositivos son sensibles al clima, los ciclos de carga/descarga, la temperatura, la antigüedad y los patrones de uso. Idealmente, un banco de baterías debe tener el tamaño adecuado para poder almacenar energía durante 5 días de autonomía durante un clima nublado. Ya que si tiene una capacidad inferior a 3 días, tendrá un ciclo intenso de forma regular y la batería tendrá una vida útil más corta. El tamaño del sistema, las necesidades y expectativas individuales determinarán el mejor tamaño de batería para el sistema. Estas se clasifican según sus "ciclos". Pueden tener ciclos superficiales entre el 10 y 15 % de la capacidad total, o ciclos profundos de hasta el 50 y 80 %. Las baterías de ciclo superficial, como las que se usan para arrancar un automóvil, están diseñadas para entregar varios cientos de amperios durante unos segundos, luego el alternador toma el control y la batería se recarga rápidamente. Las de ciclo profundo o, por el contrario, entregan unos pocos amperios durante cientos de horas entre cargas. Estos dos tipos están diseñados para diferentes aplicaciones y no deben intercambiarse. Las baterías de ciclo profundo son capaces de realizar muchos ciclos profundos repetidos y son las más adecuadas para los sistemas de energía fotovoltaica. La profundidad de descarga se refiere a la cantidad de energía almacenada de una batería que se utiliza antes de recargarla. Por lo general, cuanto más se descarga más corta será su vida útil. A menudo vienen con una estimación de la vida útil del ciclo (que indica cuántos ciclos durarán dada una profundidad de descarga particular) y una profundidad de descarga máxima recomendada. Se pueden combinar diferentes productos químicos para fabricar baterías. Algunas combinaciones son de bajo costo, pero también de bajo consumo, otras pueden almacenar una gran cantidad de energía a precios elevados. [38]



2.3.1.1.3.1.- Tipos de baterías

Los cuatro tipos principales de baterías utilizadas en el ámbito de la energía solar son las baterías de plomo-ácido, iones de litio, níquel-cadmio y de flujo.

Plomo-ácido: Estas baterías se han utilizado durante décadas y son uno de los tipos de batería más comunes utilizados en aplicaciones automotrices e industriales. Tienen una baja densidad de energía (lo que significa que no pueden contener mucha energía por kg de peso), pero siguen siendo rentables y confiables por lo que, se han convertido en una opción común para usar en una instalación solar doméstica. Vienen en variedades inundadas y selladas y se pueden clasificar como de ciclo superficial o profundo según la función prevista y la profundidad de descarga segura. Los recientes avances tecnológicos han mejorado la vida útil de estas baterías y siguen siendo una opción viable para muchos propietarios. [39]

Iones de litio: La tecnología detrás de las baterías de iones de litio es mucho más nueva que la de otros tipos de baterías. Las baterías de iones de litio tienen una alta densidad de energía y ofrecen una opción más pequeña, liviana y eficiente. Permiten al usuario acceder a más energía almacenada en la batería antes de que sea necesario recargarla, lo que las hace ideales para usar en computadoras portátiles y teléfonos. El principal inconveniente de las baterías de iones de litio es el costo significativamente mayor para el consumidor. Si las baterías de iones de litio se instalan incorrectamente, también tienen el potencial de incendiarse debido a un efecto llamado fuga térmica. [24]

Níquel Cadmio: Las baterías de níquel-cadmio rara vez se usan en entornos residenciales y son más populares en aplicaciones industriales y de aerolíneas debido a su alta durabilidad y capacidad única para funcionar a temperaturas extremas. Las baterías de níquel-cadmio también requieren cantidades relativamente bajas de mantenimiento en comparación con otros tipos de baterías. Desafortunadamente, el cadmio es un elemento altamente tóxico que, si no se elimina adecuadamente, puede tener un impacto negativo significativo en el medio ambiente. [39]



Baterías de flujo: Las baterías de flujo dependen de reacciones químicas. La energía se reproduce mediante electrolitos que contienen líquidos que fluyen entre dos cámaras dentro de la batería. Aunque las baterías de flujo ofrecen una alta eficiencia, con una profundidad de descarga del 100 %, tienen una baja densidad de energía, lo que significa que los tanques que contienen el electrolito líquido deben ser bastante grandes para almacenar una cantidad significativa de energía. Este tamaño los convierte en una opción costosa y poco práctica para la mayoría de los usos domésticos. Las baterías de flujo se adaptan mucho mejor a espacios y aplicaciones más grandes. [39]

2.3.1.1.4.- Controladores de Carga

Tienen como propósito garantizar que las baterías se alimenten correctamente. En su forma más básica Bloquea la corriente inversa y evita que las baterías se sobrecarguen. Ciertos controladores también evitarán que se descarguen y las protegerán de sobrecargas eléctricas. Los paneles fotovoltaicos funcionan para bombear corriente a través de la batería en una sola dirección, pero por la noche pueden provocar una ligera descarga. Si bien la pérdida potencial no es grande, es fácil prevenirla con la ayuda de un controlador. En su mayoría, la corriente de carga pasará a través de un transistor que actúa de manera similar a una válvula que controla la corriente. Esto se llama semiconductor, ya que pasa la corriente en una dirección y evita la corriente inversa. Una vez que la batería está completamente cargada, no puede almacenar la energía solar entrante. Si se sigue aplicando esa energía, el voltaje se vuelve demasiado alto. Un controlador de carga fotovoltaica evita la sobrecarga al reducir el flujo de energía a la batería una vez que alcanza un cierto voltaje. Cuando el voltaje cae al reducir la intensidad del sol o hay un aumento en el uso de electricidad, el controlador permitirá la carga máxima posible. Esto se conoce como regulación de voltaje y es una función vital del controlador. Esencialmente, mira el voltaje y luego regula la carga de la batería.



Ciertos controladores regularán el flujo de energía apagando o encendiendo completamente la corriente. Esto se conoce como el control de encendido/apagado. Otros reducirán gradualmente la corriente. [40]

2.3.1.1.4.1.- Controlador de Carga PWM

Estas son las siglas para "Modulación por ancho de pulso". Funcionan haciendo una conexión directamente desde el panel solar al banco de baterías. Durante la carga masiva, cuando hay una conexión continua desde el arreglo al banco de baterías, el voltaje de salida del arreglo "baja" al voltaje de la batería. A medida que la batería se carga, el voltaje de la batería aumenta, por lo que la salida de voltaje del panel solar también aumenta, utilizando más energía solar a medida que se carga. Como resultado, se debe asegurar que coincidan el voltaje nominal de la matriz solar con el voltaje del banco de baterías. Teniendo en cuenta que al referirse a un panel solar de 12V, eso significa un panel que está diseñado para funcionar con una batería de 12V. El voltaje real de un panel solar de 12V, cuando está conectado a una carga, es cercano a los 18 Vmp (Voltios a máxima potencia). Esto se debe a que se requiere una fuente de mayor voltaje para cargar una batería. Si la batería y el panel solar comenzaran con el mismo voltaje, la batería no se cargaría. [41]

2.3.1.1.4.2.- Controlador de Carga MPPT

Significa "seguimiento del punto de máxima potencia", permite que la potencia de entrada de un controlador MPPT sea igual a su potencia de salida. Por lo tanto, si el voltaje de salida del módulo fotovoltaico (24 V, 48 V o más) es mayor que el voltaje del banco de baterías (que generalmente es 12 V), un controlador MPPT lo reduce a 12 V pero compensa la "caída" aumentando la corriente. Para que el poder siga siendo el mismo, dado que no se pierde la energía generada por el sol, los controladores MPPT le brindan la flexibilidad de conectar muchos módulos en serie, aumentando así el voltaje total del conjunto sin temor a perder una parte de la energía.



Dado que alimentan su energía solar directamente a la red, las costosas baterías de respaldo no son necesarias y pueden omitirse en la mayoría de los diseños conectados a la red. Si durante el período de facturación se usa o consume más energía eléctrica de la que se genera, es posible facturar la "cantidad neta" de electricidad consumida como normalmente. Sin embargo, si se genera más energía solar de la consumida, se acredita la "cantidad neta" de electricidad generada, que puede ser una reducción en la factura de electricidad o un reembolso positivo directamente al usuario. [42]

2.3.2.1.- Accesorios

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red siempre tienen una conexión a la red eléctrica pública a través de un inversor adecuado porque un solo módulo o matriz fotovoltaica solo proporciona energía de CC. [42]

Además de los paneles solares, los componentes adicionales que componen un sistema fotovoltaico conectado a la red en comparación con un sistema independiente son:

Inversor: el inversor es la parte más importante de cualquier sistema conectado a la red. El inversor extrae la mayor cantidad posible de electricidad de AC del conjunto fotovoltaico y la convierte en electricidad limpia de AC de la red con el voltaje y la frecuencia correctos para alimentar la red o para alimentar las cargas domésticas. [42]

Medidor de electricidad: el medidor de electricidad, también llamado medidor de kilovatios hora (kWh), se utiliza para registrar el flujo de electricidad hacia y desde la red. Se pueden utilizar medidores de kWh gemelos, uno para indicar la energía eléctrica que se consume y el otro para registrar la energía solar que se envía a la red. También se puede usar un solo medidor de kWh bidireccional para indicar la cantidad neta de electricidad extraída de la red. Un sistema fotovoltaico conectado a la red ralentizará o detendrá el disco de aluminio en el medidor eléctrico y puede hacer que gire hacia atrás. Esto generalmente se conoce como medición neta. [42]



Disyuntores y fusibles de AC: el panel de disyuntores o la caja de fusibles es el tipo normal que se proporciona con el suministro y la instalación de electricidad doméstica, con excepción de los disyuntores adicionales para el inversor y/o las conexiones del filtro. [42]

Interruptores y cableado de seguridad: una matriz fotovoltaica siempre producirá una salida de voltaje a la luz, por lo que debe ser posible desconectarla del inversor para mantenimiento o prueba. Los interruptores aisladores clasificados para el voltaje y la corriente de AC máximos de la matriz y los interruptores de seguridad del inversor deben proporcionarse por separado con fácil acceso para desconectar el sistema. Otras características de seguridad pueden incluir puesta a tierra y fusibles. Los cables eléctricos para conectar todos los componentes deben tener la clasificación y el tamaño correctos. [42]

La red eléctrica: finalmente, la red eléctrica también debe conectarse, porque sin la red pública no es un sistema fotovoltaico conectado a la red. [42]

Transformadores: la corriente alterna que generan los inversores es de baja tensión (380-800 V), por lo que se utiliza un transformador para elevarla a media tensión (hasta 36 kV). [42]

2.4.- Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos

Las instalaciones fotovoltaicas son cada vez más comunes, pueden llegar a ser una solución sostenible para los propietarios de viviendas. Su objetivo es compensar todas o algunas de las necesidades de electricidad con energía solar. El porcentaje de estas necesidades que se puede satisfacer dependerá de muchos factores, incluido el consumo de energía, la eficiencia del sistema y la ubicación de la instalación. Idealmente, este sería un lugar que experimente temperaturas frías para mantenerlos frescos, pero que también reciba mucha luz para generar energía.



Es una tecnología que ofrece rendimiento a largo plazo con bajo mantenimiento. Los últimos módulos y sistemas fotovoltaicos son más baratos, fáciles de instalar, mantener y operar de manera más eficiente, por lo que es importante saber cómo hacer un correcto dimensionado para obtener lo mejor de ellos. [43]

2.4.1.- Dimensionado de Sistemas FVs Autónomos (Método de Corriente – Voltaje I-V)

Este método es empleado para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos que utilizan un controlador de carga del tipo PWM.

Para ello se necesita conocer la **potencia total neta (PT)** consumida, la cual se obtiene sumando las potencias de cada equipo. Dicho parámetro hace referencia a todas las cargas usadas al mismo tiempo. Así como la demanda de energía total, la cual se obtiene sumando la energía total de cada equipo. Calculada con la siguiente expresión, en donde cada parámetro hace referencia a cada carga de manera individual: [44]

2.4.1.1.- Demanda Total de Potencia y Energía (Cálculo del Inversor de Corriente)

$$Energía\ total = \frac{(Potencia)(Cantidad)(Horas\ de\ uso)(Días\ de\ uso)}{(Días\ de\ la\ semana)} \quad (1)$$

$$Demanda\ de\ energía\ total\ (DET) = Energía\ total + N \quad (2)$$



Tanto la potencia total (PT), como el voltaje nominal del sistema (V_n). Son los parámetros que se utilizan para elegir el inversor de corriente adecuado.

Para los siguientes elementos es necesario calcular la intensidad total del sistema, la cual hace referencia a la intensidad de corriente necesaria para alimentar los equipos. La cual se puede encontrar con la siguiente expresión: [44]

$$I_{Total} = \frac{[DET_{DC} + (\frac{DET_{AC}}{\eta_{inv}})]}{V_n} \quad (3)$$

En donde " DET_{DC} " hace referencia a la demanda de energía en corriente directa y " DET_{AC} " a la demanda de energía en corriente alterna (la cual suelen usar la mayoría de los equipos domésticos). Así también " η_{inv} " se refiere a la eficiencia del inversor de corriente. [44]

2.4.1.2.- Cálculo del Banco de Baterías

El cálculo nos indica el tipo de arreglo y cantidad de baterías que se requieren para almacenar la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico, el cual debe ser correspondiente a la demanda de energía total de la casa habitación a alimentar. Para ello se puede usar la siguiente expresión: [44]

$$\text{Número Total de Baterías} = \text{Baterías en Serie} * \text{Baterías en Paralelo} \quad (4)$$



En donde el número de baterías en serie (NBS) y el número de baterías en paralelo (NBP). Son calculados con las siguientes ecuaciones: [44]

$$NBS = \frac{V_n}{V_{Bat}} \quad (5)$$

$$NBP = \frac{I_{Total} * DA}{I_{Bat} * PD} \quad (6)$$

Siendo:

“ V_n ” el voltaje nominal del sistema.

“ V_{Bat} ” el voltaje de las baterías.

“ I_{Bat} ” la intensidad de las baterías.

“ DA ” los días de autonomía y.

“ PD ” la profundidad de descarga de las baterías.

2.4.1.3.- Cálculo del Arreglo Fotovoltaico

El cálculo nos indica el tipo de arreglo y cantidad de módulos FV que se requieren para generar la energía eléctrica que demanda la instalación. Para ello podemos usar la siguiente expresión: [44]

$$\text{Número Total de Módulos} = \text{Módulos en Serie} * \text{Módulos en Paralelo} \quad (7)$$





En donde el número de módulos en serie (NMS) y el número de módulos en paralelo (NMP). Son calculados con las siguientes ecuaciones: [44]

$$NMS = \frac{V_n}{V_{mp}} \quad (8)$$

$$NMP = \frac{I_{Total}}{I_{mp} \cdot HSP \cdot \eta_{Bat}} \quad (9)$$

Siendo:

“ V_{mp} ” el voltaje a máxima potencia de los módulos FVs.

“ I_{mp} ” la intensidad a máxima potencia de los módulos FVs.

“ HSP ” la hora solar pico del lugar a realizar la instalación y.

“ η_{Bat} ” la eficiencia de las baterías.

2.4.1.4.- Cálculo del Controlador de Carga

Se puede calcular el controlador de carga de la siguiente manera: [29]

$$I_{cont} = (1.2) \cdot I_{sc} \cdot NMP \quad (10)$$

Siendo:

“ I_{sc} ” la intensidad de corto circuito del módulo fotovoltaico.

2.4.2.- Dimensionado de Sistemas FVs Autónomos (Método de Potencia)

Este método es empleado para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos que utilizan un controlador de carga del tipo MPPT.

Al igual que en el método de voltaje – corriente tanto la potencia total (PT), como el voltaje nominal del sistema (V_n) calculados en el apartado anterior. Son los parámetros que se utilizan para elegir el inversor de corriente adecuado. [45]





2.4.2.1.- Cálculo del Arreglo Fotovoltaico

El cálculo nos indica el tipo de arreglo y cantidad de módulos FV que se requieren para generar la energía eléctrica que demanda la instalación. Para ello se requiere realizar primero el siguiente cálculo: [45]

$$Potencia\ Total\ (PT) = \frac{DET_{DC} + \left(\frac{DET_{AC}}{\eta_{inv}}\right)}{HSP} \quad (11)$$

En donde “ DET_{DC} ” hace referencia a la demanda de energía en corriente directa y “ DET_{AC} ” a la demanda de energía en corriente alterna (la cual suelen usar la mayoría de los equipos domésticos). Así también “ η_{inv} ” y “ HSP ” se refieren a la eficiencia del inversor de corriente y a la hora solar pico respectivamente.

Con esto obtenemos la potencia que se necesita para producir y suministrar la demanda. [30]

Teniendo esto podemos calcular el número total de módulos de la siguiente manera:

$$NTM = \frac{PT}{P_{MFV}} \quad (12)$$

Siendo “ P_{MFV} ” la potencia del módulo Fotovoltaico.

El voltaje del módulo Fotovoltaico se elige con base al voltaje nominal del sistema, que es la recomendada por el controlador de carga (ver ficha técnica). [45]





2.4.2.2.- Cálculo del Banco de Baterías

El cálculo nos indica el tipo de arreglo y cantidad de baterías que se requieren para almacenar la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico, el cual debe ser correspondiente a la demanda de energía total de la casa habitación a alimentar. Para encontrar el número total de baterías se puede usar la siguiente expresión: [45]

$$NTB = \frac{\left[DET_{DC} + \left(\frac{DET_{AC}}{\eta_{inv}} \right) \right] \cdot DA}{P_{Bat} \cdot PD} \quad (13)$$

El voltaje del banco de baterías se elige con base al voltaje nominal del sistema, que es la recomendada por el controlador de carga (ver ficha técnica). [45]

2.4.2.3.- Cálculo del Controlador de Carga

A diferencia del controlador de carga de tipo PWM, el controlador de carga MPPT convierte en intensidad de corriente la diferencia de voltaje que hay entre el generador y el banco de baterías . para ello se calcula la intensidad máxima alcanzada por dicho dispositivo: [45]

$$FC = \frac{V_{MFV}}{V_{Bat}} \quad (14)$$

La intensidad del controlador de carga se puede calcular bajo la siguiente expresión:

$$I_{cont} = (1.2) \cdot I_{sc} \cdot FC \cdot NMP \quad (15)$$

Siendo:

“ I_{sc} ” la intensidad de corto circuito del módulo fotovoltaico.



2.4.3.- Dimensionado de Sistemas FVs Interconectados a la Red

El primer paso para este dimensionado es calcular el consumo de energía promedio por día. Se puede estimar el uso anual de energía si se conoce los patrones de consumo o si se tienen los detalles de las facturas eléctricas. Para ello se toman los últimos seis periodos dentro del apartado de “historial de consumo” en la factura de luz, los cuales hacen referencia al último año. Posteriormente se realiza el siguiente cálculo: [46]

$$EPD = \frac{EP_1 + EP_2 + EP_3 + EP_4 + EP_5 + EP_6}{365} \quad (16)$$

2.4.3.1.- Capacidad del Inversor de Corriente y del Arreglo Fotovoltaico

La capacidad del inversor (P_{Inv}) que es la misma que la del arreglo FV. Se elige con base a la siguiente ecuación: [46]

$$P_{Inv} = P_{AFV} = \frac{EPD \cdot FP}{HSP} \quad (17)$$

La FP indica el factor global de pérdidas, que puede ser por el calentamiento de los módulos y los cables entre otros. Este factor puede variar entre 1.2 y 1.3, es decir se estima un excedente del 20 al 30 por ciento. Mientras que la “HSP” indica la hora solar pico la cual depende de la región donde se realizará la instalación. [46]



2.4.3.2.- Selección del Inversor de Corriente y de los Módulos

Fotovoltaicos

En esta etapa es de suma importancia la selección de los equipos. Para el caso del inversor debe elegirse el dispositivo que coincida con los parámetros eléctricos calculados así como de los factores propios de la zona a realizar la instalación. Así como tener en cuenta equipos que los proveedores tengan disponibles. [46]

Afortunadamente, hay muchos buenos sitios web disponibles, como el sitio web de aislamiento solar de la NASA. El uso de esta base de datos de insolación solar puede ayudar a dimensionar el sistema eléctrico solar (PV) mínimo necesario durante los períodos del año con la menor cantidad de luz solar para su sitio o ubicación en particular.

2.5.- Programación

La programación se refiere a un proceso tecnológico para decirle a una computadora qué tareas debe realizar para resolver problemas. Se podría pensar en la programación como una colaboración entre humanos y computadoras, en la que los humanos crean instrucciones para que las siga una computadora (código) en un lenguaje que ellas puedan entender. Ayuda a las empresas a operar de manera más eficiente a través de diferentes softwares para el almacenamiento y automatización de archivos entre otras cosas.

Entonces se puede finalizar con la conclusión de que la programación es el proceso mental de pensar en instrucciones para darle a una máquina (como una computadora). Y que programar es dar un conjunto de instrucciones a la misma para que las ejecute. Cuanto más complejas las instrucciones, más complejo el resultado. [47]



2.5.1.- Lenguajes de Programación

Son las herramientas usadas para escribir instrucciones y que las sigan las computadoras. Se codifican en binario: (cadenas de 1 y 0), dichos lenguajes permiten traducir estas cadenas en algo entendible para las personas. Se componen de una serie de símbolos que sirve para traducir a los humanos las ideas en instrucciones que las computadoras puedan entender. Se dividen en dos clasificaciones, de bajo y alto nivel. Los lenguajes de programación de bajo nivel están más cerca del código binario. Por lo tanto, son más difíciles de leer para los humanos (aunque siguen siendo más fáciles de entender que los 1 y los 0). El beneficio es que son rápidos y ofrecen un control preciso sobre cómo funcionará la computadora. Mientras que los de alto nivel están más cerca de cómo se comunican los humanos. Usan palabras (como objeto, orden, ejecución, clase, solicitud, etc.) que están más cerca de las palabras usadas en la vida cotidiana. Esto significa que son más fáciles de programar que los lenguajes de programación de bajo nivel, aunque lleva más tiempo traducirlos a código de máquina para la computadora. [48]

2.6.- Excel

Excel es un programa de hoja de cálculo de Microsoft y un componente de su grupo de productos Office para aplicaciones empresariales. Permite a los usuarios formatear, organizar y calcular datos en una hoja de cálculo. Al organizar los datos usando este tipo de software, los analistas de datos y otros usuarios pueden hacer que la información sea más fácil de ver a medida que se agregan o modifican los datos. Excel contiene una gran cantidad de cuadros llamados celdas que se ordenan en filas y columnas. Los datos se colocan en estas celdas. Excel se usa más comúnmente en entornos comerciales. Es utilizado en análisis de negocios, gestión de recursos humanos, gestión de operaciones e informes de rendimiento.



Excel utiliza una gran colección de celdas formateadas para organizar y manipular datos y resolver funciones matemáticas.

Los usuarios pueden organizar los datos en la hoja de cálculo utilizando herramientas gráficas, tablas dinámicas y fórmulas. La aplicación de hoja de cálculo también tiene un lenguaje de programación de macros llamado Visual Basic para aplicaciones. [49]

2.6.1.- Visual Basic For Applications

Visual Basic for Applications (VBA) es parte del software heredado de Visual Basic de Microsoft Corporation. Se usa para escribir programas para el sistema operativo Windows y se ejecuta como un lenguaje de programación interno en aplicaciones de Microsoft Office como Access, Excel, PowerPoint, Publisher, Word y Visio. VBA permite a los usuarios personalizar más allá de lo que normalmente está disponible con las aplicaciones host de MS Office. Se puede crear macros para automatizar funciones de procesamiento de datos y palabras repetitivas, y generar formularios, gráficos e informes personalizados. Una macro es esencialmente una secuencia de caracteres cuya entrada da como resultado otra secuencia de caracteres (su salida) que realiza tareas informáticas específicas. VBA no es un programa independiente. En su lugar, permite a los usuarios manipular funciones de la interfaz gráfica de usuario (GUI), como barras de herramientas y menús, cuadros de diálogo y formularios. Puede usar VBA para crear funciones definidas por el usuario (UDF), acceder a las interfaces de programación de aplicaciones (API) de Windows y automatizar procesos y cálculos informáticos específicos. [50]



CAP 3.- DESARROLLO METODOLÓGICO

En la sección siguiente se redacta los pasos realizados a lo largo de la construcción del proyecto hasta llegar a la conclusión del mismo, para dar a conocer un poco del trayecto que se fue realizando en cada etapa del trabajo.

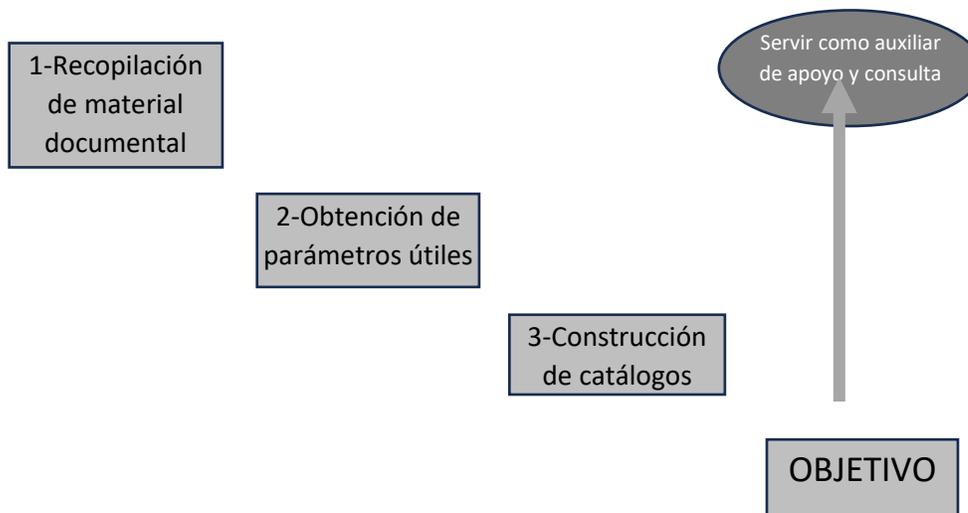


3.1.- Introducción

Para la realización de este proyecto fueron necesarias diferentes etapas mediante las cuales se iban generando una construcción cada vez más completa del proyecto, de igual forma perduró la recopilación de información en todas y cada una de las fases que fue de suma importancia para el avance en la construcción de los niveles siguientes. Todos estos pasos se van detallando en diferentes puntos a continuación.

3.2.- Catálogo de Componentes

La elaboración de este proyecto comenzó por la construcción de una serie de catálogos, en donde se expusieron distintos elementos que se encuentran inmersos en la instalación de un sistema fotovoltaico. La integración de estos equipos fue bajo la idea de que sirvieran de referencia tanto para la construcción del software, como de igual manera a los futuros usuarios que llegasen a operar el mismo. Visto así también como un apartado que brindara apoyo a aquellas personas con poco conocimiento en el área, tales productos fueron consultados en sitios especializados para su venta y distribución, principalmente en las páginas web de todos ellos.





3.3.- Construcción del Programa y Códigos

A partir de este punto inicia la producción de manera formal del proyecto, en adelante se describen los pasos que hacen referencia a los detalles inmersos en la construcción y el desarrollo de este programa de diseño fotovoltaico el cual es el eje principal mediante el cual se enfoca la elaboración del trabajo de investigación aquí presentado. Tanto las ecuaciones necesarias integradas dentro de cada fórmula, como también a los códigos de programación utilizados para la automatización y correcto funcionamiento del software. Se optó por dedicar a cada tipo de instalación una sección diferente en hojas individuales dentro del libro de trabajo, iniciando con la realización de las partes que atañen al dimensionado de los sistemas fotovoltaicos del tipo autónomo, para el cual existen dos métodos. El método de corriente – voltaje, y el método de potencia. Una vez concluidos ambos métodos se continuó con la creación del proceso empleado para los sistemas considerados de interconexión a la red. Cada uno de los temas anteriores descrito en el marco teórico presentado con anterioridad en este mismo documento.

3.3.1.- Tablas de Potencia Total (Hoja 1)

Se iniciaron los cálculos realizando dos tablas diferentes en cuanto al tipo de corriente ingresada en cada una calculando primero la potencia total del sistema. Para esto se creó una columna adicional en cada tabla, la cual posteriormente sería ocultada a la vista de otros usuarios. En ella se almacenó el resultado de la multiplicación de las dos columnas posteriores (“potencia” y “cantidad” respectivamente). Así se obtendría la potencia utilizada por todos los equipos que fueran del mismo tipo.



Finalmente, para encontrar los watts totales ocupados para la instalación solo restó sumar todos los valores encontrados en esta tabla de equipos en AC junto con el de la otra tabla de corriente DC y proyectar el resultado de la potencia final en el lugar asignado dentro del programa.

NO	EQUIPO	POTENCIA (W)	CANTIDAD	POTENCIA MAXIMA (W)	HORAS DE USO	DÍAS DE USO	ENERGÍA TOTAL (Wh)
----	--------	--------------	----------	---------------------	--------------	-------------	--------------------

Imagen 1: Encabezado de tabla de demanda de energía con todas sus columnas

NO	EQUIPO	POTENCIA (W)	CANTIDAD	HORAS DE USO	DÍAS DE USO
----	--------	--------------	----------	--------------	-------------

Imagen 2: Encabezado de tabla de demanda de energía con columnas ocultas

3.3.1.1.- Códigos Potencia Total

- a) Inicialmente se hizo uso del ciclo “Do While”, seleccionando la primera celda correspondiente a la columna oculta, e indicando al programa mediante el método “WorksheetFunction” y la propiedad “Offset” la indicación que mientras existan valores en la columna referente a la potencia de los equipos este realice la multiplicación de los datos existentes en dicha columna con la columna de “cantidad”. Rellenando así la columna vacía. Este ciclo y esta propiedad permiten ingresar todos los equipos que sean necesarios, incluso rebasando las 25 filas señaladas en la tabla, ya que mientras exista una cantidad en el espacio destinado a la potencia este código realizará su función.
- b) Una vez terminado el ciclo anterior prosigue la siguiente parte del código, para ello inicialmente se realiza una declaración de ciertas variables en donde guardar distintos parámetros necesarios en los procedimientos siguientes.
- c) Una vez asignados todos los elementos necesarios empleando herramientas como “CurrentRegion” y “Rows.Count” se concluyó con una suma entre los valores resultantes de la sumatoria anterior de las potencias entre ambas tablas para obtener la cantidad total.





3.3.2.- Demanda de Energía Total

Posterior a al cálculo de la potencia ahora los parámetros a encontrar son la demanda de energía en corriente directa y alterna, según corresponda a cada tabla. En primer lugar se hizo uso de las ecuaciones (1) y (2), con lo que al sustituir se obtienen las demandas de energía en AC y en DC si estas últimas existen. Una vez contando con ellos, reflejar los resultados en un apartado dentro de la hoja.

3.3.2.1.- Códigos Demanda de Energía Total

En cuanto a los códigos utilizados para programar la función anterior, se utilizó una estructura muy similar a la codificación previamente desglosada

- a) De igual manera se tomó uso del ciclo “Do While” y el método “WorksheetFunction” para indicar que mientras exista un valor dentro de la columna oculta se lleve a cabo el procedimiento, el cual consiste en la multiplicación de las cantidades encontradas en ella y las columnas posteriores (horas y días de uso)
- b) Para que una vez teniendo completa la última columna bacía que como en el caso pasado también se encuentra escondida a fin de economizar espacio en el área de trabajo, se proceda a la suma de dichos valores en ambas tablas para así tener la demanda total de energía individual para el consumo en corriente directa y en corriente alterna.

3.3.3.- Selección del Inversor de Corriente

Posterior a lo descrito en el paso anterior, corresponde ahora la selección del inversor. Dicha sección fue colocada a la par de las tablas de potencia y energía, esto debido a que la forma de selección es la misma en cuanto a los dos métodos de dimensionado para sistemas fotovoltaicos autónomos abordados en este programa y explicados más adelante, por lo que a manera de contar con una mejor practicidad se optó por empezar con este elemento antes de pasar con los otros propios de cada método.



Llamando a la macro que activara a la hoja con los cálculos para el uso de un controlador PWM o en el hecho de elegir la opción contraria activar la siguiente macro que activara la hoja para el caso de ocupar un controlador MPPT.

- c) No obstante, en el supuesto de ingresar un valor incorrecto fue creada otra macro para arrojar un mensaje mediante la función MsgBox para indicar el error y la corrección de la misma.

3.3.4.2.- Códigos Opciones de Botón “Siguiente”

Para la construcción de las macros que se activarían según cuál de las opciones fuera elegida dentro del cuadro de texto, fueron construidos códigos similares en ambas alternativas de los tipos de controlador de carga:

- a) En primera instancia se creó un código que permitiera la visibilidad de la hoja de destino dado que ambas hojas correspondientes a esta sección se encuentran ocultas dentro del libro de Excel.
- b) Una vez visible se procedió a realizar un código que indicara la activación de dicha hoja para continuar con los cálculos correspondientes.
- c) En cuanto al caso en que el usuario ingresara un valor incorrecto entonces tan solo fue creado un mensaje mediante la función MsgBox dentro del ciclo “if” descrito en el punto anterior, en cuyo contenido indicara el error, así como la corrección del mismo.

3.3.5.- Método I-V (Hoja 2)

Una vez concluida la selección del inversor de corriente se dio paso al dimensionado del arreglo FV. Para esto de entre los dos métodos abordados en la construcción de este proyecto, se decidió iniciar por el método de corriente y voltaje el cual emplea un controlador de carga PWM. Destinando para ello la segunda hoja dentro del libro de trabajo.



3.3.5.1.- Intensidad Total del Sistema

Antes del dimensionado propio de cada elemento de la instalación, es necesario calcular previamente el parámetro de la intensidad total la cual será utilizada más adelante en los procedimientos. Para esto se ubicó el área dentro de la hoja del libro en donde colocar este apartado y posteriormente combinar las celdas necesarias hasta conseguir la estructura requerida.

3.3.5.1.1.- Códigos Intensidad Total del Sistema

a) Se empezó por la declaración de las variables involucradas en el desarrollo del código, las cuales hacen referencia a la demanda de energía en AC y DC, el voltaje nominal y la eficiencia del inversor.

b) Posterior a esto se asignó el valor correspondiente a cada una. En el caso de la última variable se ocupó el método "InputBox" para crear el mensaje dentro de la ventana emergente después de accionar el botón e ingresar el dato requerido con cual calcular la cantidad buscada.

Con todo ello ya fue posible programar la ecuación propia de este procedimiento y arrojar el resultado en el sitio asignado.

3.3.5.2.- Banco de Baterías

Para los cálculos de estos elementos se realizó en la hoja del programa una tabla combinando y dando formato a algunas celdas en donde ingresar distintos parámetros propios de la batería, necesarios para el dimensionado. Así también realizando algo muy similar para elaborar el apartado en donde se reflejan los resultados.



3.3.5.2.1.- Códigos Banco de Baterías

En cuanto a los códigos utilizados para esta sección el proceso fue más sencillo:

- a) Se comenzó directamente por programar las ecuaciones inmersas en cada cálculo. Iniciando por la cantidad de baterías en serie con la que solo bastó hacer un cociente entre celdas.
- b) Para después pasar a las baterías en paralelo realizando un producto previo a una división.
- c) Concluyendo con el número total de las baterías mediante una multiplicación entre los resultados anteriores.

3.3.5.3.- Módulos Fotovoltaicos

Muy similar a lo hecho en el apartado anterior, se realizó con los métodos antes descritos una tabulación en donde colocar datos técnicos de las placas solares a utilizar para este diseño. Al igual que su respectivo apartado de resultados dentro de la misma hoja.

3.3.5.3.1.- Códigos Módulos Fotovoltaicos

Para el código utilizado en este apartado solo se programaron las operaciones matemáticas utilizadas para encontrar cada factor inmerso en el arreglo de los módulos.

- a) Empleando para la cantidad de placas en serie una división entre las celdas con los valores implicados en la fórmula.
- b) Mientras que para los paneles en paralelo se programó un cociente sobre un producto.
- c) Finalmente para el número total de ellos se ingresó al código la multiplicación de los valores previamente buscados.



3.3.5.4.- Controlador de Carga

A diferencia de lo que se pudo contemplar para el dimensionado de los equipos anteriores, para realizar esta sección tan solo fue necesario construir mediante la fusión de celdas un cuadro de texto. Ya que para el cálculo de la intensidad en el caso del controlador de carga todos los parámetros necesarios ya han sido obtenidos previamente.

3.3.5.4.1.- Códigos Controlador de Carga

En cuanto al código de este dimensionado:

- a) Se inició por declarar la variable que hace referencia a la intensidad del controlador de carga.
- b) Para posteriormente programar la ecuación que daría valor a este parámetro.
- c) Una vez contando con esto por último se crea el mensaje en las celdas propias de la ventana realizada en el programa, en la cual se incluye el valor antes encontrado junto con el texto que lo acompaña.



3.3.6.3.1.- Códigos Controlador de Carga

- a) Al igual que en los códigos pasados, se inició por la declaración de las variables que servirían más adelante en el programa.
- b) Una vez contando con estas, se procedió a elaborar las operaciones que darían valor a cada una. Realizando la división que otorgaría valor al factor de conversión, y al producto entre los demás parámetros para concluir con la ecuación de la intensidad del controlador.
- c) Y finalmente crear el mensaje que aparcería en el cuadro de texto como resultado después de correr el software.



3.3.7.- SFV-IR (Hoja 4)

Una vez concluidos los apartados enfocados al diseño de los sistemas solares de tipo autónomo, se procedió a la siguiente sección del programa en la hoja 4. La cual está enfocada para servir de apoyo en el dimensionado de una instalación fotovoltaica con interconexión a la red, misma que se explica más a profundidad en el marco teórico redactado previamente.

3.3.8.- SFV Interconectado a la Red Construcción

En cuanto a la metodología utilizada para la realización de la fase correspondiente a esta altura del proyecto, se emplearon las mismas técnicas usadas a lo largo del programa y descritas anteriormente. Nuevamente se hizo uso de tablas y cuadros de texto diseñados mediante diferentes formatos y la combinación de celdas. Así como de la adición de botones que se ocuparon de ejecutar los códigos para cada elemento del sistema como lo son para este caso los cálculos de la energía promedio diaria, potencia del inversor y número de módulos. Por lo que a continuación se procede directamente a la explicación de los códigos.

3.3.8.1.- Códigos Energía Promedio Diaria

En cuanto al código de esta sección:

- En primer lugar se declararon las variables necesarias para realizar los procedimientos descritos más adelante. Estos datos hacen referencia a los periodos de consumo a los cuales se les asignó el objeto "range".
- Posteriormente a cada una de ellas se le asignó la coordenada que le corresponde dentro de la hoja de cálculo en Excel, de aquí que se les haya asignado tal objeto en la declaración de las variables.
- Por último, se introdujo la operación matemática que definiría el resultado de la información buscada, para lo cual se ingresaron la suma de los valores anteriores sobre los días del año.



3.4.- Adecuaciones y Complementos

Siguiendo con la explicación de todos los aspectos involucrados en la construcción del proyecto, pero terminando con la redacción de la manera en que fueron construidos cada uno de los cálculos, así como el desglose de los códigos que se encuentran vinculados a ellos. Al programa también se le incorporaron diferentes particularidades con la intención de brindar al mismo con un mayor rango de funciones prácticas y con un diseño lo más accesible e intuitivo posible, todo lo anterior con el objeto de eficientizar el manejo en su operación. A continuación, se describen la totalidad de los detalles y adaptaciones realizadas a este software.

3.4.1.- Descripciones

A fin de aportar al proyecto tanto en lo estético como en lo práctico, en cada hoja del programa fueron colocados espacios ilustrativos, en donde poder consultar información respecto al apartado que le correspondiera. En ellos se plasmaron aspectos básicos de cada elemento o fenómeno presente en el dimensionado de la instalación fotovoltaica. Para lo cual se consultó en distintas fuentes en línea como páginas web y foros, hasta recabar los datos con mayor relevancia para crear la redacción que iría dentro de cada cuadro de texto, de la forma más útil y mejor resumida posible. Estos complementos se colocaron por encima de cada tabla, sección o cálculo al interior del software.

3.4.2.- Mensaje de Inicio

Debido a que este proyecto fue construido teniendo como uno de los objetivos el de ser empleado tanto para situaciones en las que se necesitara de un sistema fotovoltaico autónomo, como para sistemas interconectados a la red. Fue incorporado dentro del mismo software un mensaje inicial el cual pudiera ser apreciado al momento de abrir el programa.



3.4.3.1.- Códigos Instrucciones de Voz

En cuanto a los códigos que existen detrás de las macros que hacen funcionar a cada uno de estos comandos de apoyo auditivos.

- a) Se encuentra el uso del método “Speak”. El cual posee como característica de uso el leer en voz alta cualquier cadena de texto existente en una celda o rango dentro del libro de trabajo.
- b) Tan solo fue necesario realizar un número de macros equivalente a la cantidad de diálogos existentes, agrupados dentro de un módulo adicional a la hoja auxiliar dentro del editor de Visual Basic.
- c) Para después crear los atajos de teclado de la manera que se describe más adelante en la metodología destinada para esto.
- d) Y finalmente “llamar” a todos los atajos, los cuales fueron construidos dentro de un evento open para el libro y así poder tenerlos disponibles en todo momento al navegaen cualquier sección del programa.

3.4.4.- Botón “Calcular”

Este es el primero de los botones incorporados al software, se encuentra en cada uno de las secciones referentes al dimensionado y según las características del tipo de cálculo puede aparecer con la inscripción de “calcular” o “buscar”. Inscripción creada con una ilustración mediante las propiedades dentro del mismo a manera de brindar a este complemento con una mejor estética. Tiene como función activar las macros con las formulas inmersas en el programa, automatizando y acelerando todas las operaciones.

3.4.4.1.- Códigos Botón “Calcular”

La construcción de estos complementos fue una tarea sencilla:

- a) Para otorgarle a cada botón de cálculo su función, fue necesario en primera instancia haber concluido los códigos de la tarea a ejecutar dentro del editor de Visual Basic.





- b) Una vez terminada la macro bastó con solo crear nuevas referencias a cada botón en las que al ser activadas mediante dar click sobre cada uno de ellos en la hoja de Excel se activaran a estos códigos previamente realizados.

3.4.5.- Botón “Borrar”

Esta herramienta corresponde a uno de los dos botones siguientes al botón de cálculo, implementado con la intención de eliminar los valores ingresados en las tablas de cada apartado y así poder agregar nuevos datos a evaluar.

Además, mediante la opción de “propiedades” se le incorporó un símbolo con la figura de una escoba a manera de hacerlo más ilustrativo para el operador. Cabe mencionar que no todos los segmentos cuentan con esta funcionalidad a consecuencia de que existen apartados en los que se considera innecesario debido a la sencillez de limpiar algunos resultados manualmente.

3.4.5.1- Códigos Botón “Borrar”

Para el funcionamiento de este complemento, fue necesario la construcción de dos macros diferentes.

- a) La primera fue una en cuya función se seleccionan aquellas celdas en las que se encontraran los datos que se deseaban borrar, para que posteriormente a través del método “ClearContents” tales datos fueran eliminados sin afectar el formato de las casillas en las que se encontraban.
- b) Teniendo listo esto se procedió a la realización de la macro siguiente, en ella se ocupó la función “MsgBox” para arrojar un mensaje por medio del cual se le preguntara al operador si deseaba borrar los datos previamente ingresados, y en el caso de que la respuesta fuera positiva se procedería a correr la macro anterior para limpiar los valores seleccionados. Esto fue realizado de tal manera para evitar pérdidas accidentales de los datos agregados, ya que con esta medida siempre se le presentará un mensaje de confirmación antes de borrar cualquier valor ingresado.



3.5.3.- Atajos en Macros

Una vez resuelto el problema de la navegación accesible, el siguiente ajuste a tratar fue aquel enfocado a la manera de “llamar” a las macros inmersas en el libro sin la necesidad de pulsar directamente al botón de cálculo integrado a la par de cada segmento. Para esto, se hizo uso del evento “OnKey”, el cual ejecuta una macro después de presionar una combinación de teclas previamente asignadas, para este caso en específico se designó a las teclas: “Shift”, “Ctrl” y “All”, para usar como teclas desencadenadoras.

Eligiendo la combinación de teclas Shift + letra para activar los cálculos, la combinación Shift + Ctrl + letra para eliminar los valores ingresados y por último la combinación Shift + Ctrl + All + letra para desplegar las ventanas de ayuda e información. Siendo la letra el único carácter diferente en cada combinación para poder ejecutar distintos códigos. Además se agregó esta lista de combinaciones y letras dentro del menú de la hoja para su disposición de consulta en todo momento.

3.5.3.1.- Códigos Atajos en Macros

- a) Como ya se hizo mención en el punto anterior, para lograr estos atajos se utilizó el evento “OnKey”, en cuya construcción se implementó una simbología específica para designar que letra del teclado se activará en cada combinación.
- b) Siendo para este caso los signos “+”, “^” y “%” para las teclas: “Shift”, “Ctrl” y “All” respectivamente.
- c) Y posterior a ello la letra del alfabeto que identificara a cada macro seguido de la macro en cuestión, tal como se muestra en los ejemplos siguientes los cuales, indican la estructura empleada para los atajos de teclado empleados en el banco de baterías con controlador de carga PWM.





Destinando la letra “B” para especificar esta sección y los símbolos correspondientes a la combinación de teclas que activaría cada macro, para calcular, para borrar y consultar información.

Application.OnKey "+{B}", "**Baterías**"

Application.OnKey "+^{B}", "**SíNoLimpiarBatPWM**"

Application.OnKey "+^{%B}", "AyudaBatPWM"

"+{letra}" = "Shift{B}" = Shift + B → Acciona el cálculo

"+^{letra}" = "Shift,Ctrl{B}" = Shift + Ctrl + B → Borra los datos ingresados

"+^{%letra}" = "Shift,Ctrl,All{B}" = Shift + Ctrl + All + B → Solicita información

(Para crear la cancelación de un atajo, tan solo se reescribió la misma macro de activación pero eliminando el nombre de la macro entre las comillas. Con ello se le regresa a esa combinación su función original).

Application.OnKey "+{B}", "**Baterías**" → Asigna la macro “Baterías” a la combinación de teclas: Shift + B

Application.OnKey "+{B}", "" → Devuelve a la combinación de teclas: Shift + B su función original.

Debido a que constantemente se repetían algunas letras en diferentes hojas así como para evitar la activación de otra macro de manera accidental, se implementó a la par de los atajos de teclado la cancelación de las mismas al cambiar de hoja dentro del libro de Excel. Esto se logró por medio de los eventos “Activate” y “Deactivate” a nivel “Worksheet” (Hoja). Con esta función se indico al programa que cuando se activara cierta hoja a la misma vez se activaran los atajos correspondientes a través del evento Activate, pero que al cambiar de hoja se desactivaran tales macros a través del evento Deactivate y que a su vez se activaran los atajos pertenecientes a dicha hoja repitiendo el ciclo en cada cambio.





CAP 4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de describir la metodología empleada en la elaboración del proyecto, ahora se da paso en este capítulo a la presentación de los resultados obtenidos. Mediante la utilización de las capturas de pantalla propias del software para ilustrar la apariencia y funciones del mismo, dando idea de todo lo que es posible realizar con esta herramienta.





4.1.- Introducción

Una vez concluida la explicación metodológica a continuación, se presenta la etapa que atañe a los resultados que se obtuvieron en cada etapa de la construcción de todos los elementos dentro del proyecto. De la misma manera se anexan las conclusiones acerca del mismo, esto con la intención de proporcionar una visión mayor ilustrada en cuanto a cada detalle inmerso respecto a lo que se obtuvo en cada fase.

4.2.- Catálogo de Componentes

Posterior a lo que se detalló en el capítulo de metodología, respecto a la siguiente sección del programa, corresponde ahora exponer la manera en que todos los catálogos quedaron hechos una vez acabados cada uno de sus elementos.

4.2.1.- Tabla de Equipos Domésticos

En el primer catálogo, se colocaron distintos aparatos eléctricos comúnmente utilizados dentro de una casa habitación. Para cada uno de ellos fueron especificados el modelo así como las distintas potencias de trabajo con los que cuentan, esto tuvo como objetivo el poder tener una mayor variedad de opciones a elegir por el usuario y servirle como material ilustrativo al realizar su propio dimensionado según estos se adapten mejor a sus necesidades. Toda la búsqueda se hizo contemplando la diversidad de elementos que pueden intervenir al llevar el modelo a la práctica.

CATÁLOGO DE PRODUCTOS										
NO	ILUMINACIÓN									
1	EQUIPO	LED luz fría	LED luz fría	LED luz fría	LED luz cálida	LED luz cálida	LED luz cálida	Incandescente	Incandescente	Incandescente
	POTENCIA (W)	7	9	15	4,5	10	12	40	60	100
	EQUIPO	Halógeno	Halógeno	Halógeno	Fluorescente	Fluorescente	Fluorescente			
	POTENCIA (W)	35	50	100	9	11	20			
COCINA										
2	EQUIPO	Refrigerador 6.3 R3	Refrigerador 46.3 R3	Refrigerador 13.55 L	Licudadora	Licudadora	Licudadora	Microondas	Microondas	Microondas
	POTENCIA (W)	417	625	727	300	450	750	700	1050	1500
ENTRETENIMIENTO										
3	EQUIPO	Televisión	Televisión	Televisión	Bocinas	Bocinas	Bocinas			
	POTENCIA (W)	75	81	108	150	240	400			
LAVADO										
4	EQUIPO	Lavadora	Lavadora	Lavadora	Secadora	Secadora	Secadora			
	POTENCIA (W)	630	720	850	400	515	700			
OFICINA										
5	EQUIPO	Computadora	Computadora	Computadora						
	POTENCIA (W)	130	210	260						
Otros										
6	EQUIPO	Ventilador	Ventilador	Ventilador	Plancha	Plancha	Plancha	Cargador de celular	Cargador de celular	Cargador de celular
	POTENCIA (W)	75	105	160	170	220	350	5	8	10

Imagen 3: Tabla de equipos domésticos





4.2.2.- Catálogo de Inversores de Corriente

Para el diseño de esta sección fueron colocados diferentes modelos de inversores, indicando en cada uno datos relevantes para los cálculos del dimensionado en una instalación fotovoltaica. Tales como la potencia, el voltaje y la eficiencia. Así también fueron segmentados en dos clasificaciones, señalando por una parte aquellos equipos aptos para una instalación solar aislada y en el otro los adecuados para una instalación interconectada a la red.

CATÁLOGO DE INVERSORES						
AISLADOS				INTERCONEXIÓN A RED		
Inversor	Capacidad (kW)	Voltaje (V)	Eficiencia	Inversor	Capacidad (kW)	Eficiencia
Inversor 1	0.45	12	0.9	Inversor 1	1.5	0.96
Inversor 2	0.8	12	0.9	Inversor 2	2	0.96
Inversor 3	1	12	0.9	Inversor 3	2.5	0.96
Inversor 4	1.5	12	0.9	Inversor 4	3.1	0.96
Inversor 5	2.6	12	0.9	Inversor 5	3.8	0.95
Inversor 6	3	12	0.9	Inversor 6	5	0.955
				Inversor 7	6	0.96
Inversor 7	1	24	0.95	Inversor 8	7.6	0.96
Inversor 8	1.5	24	0.95	Inversor 9	8.2	0.965
Inversor 9	2	24	0.95	Inversor 10	10	0.96
Inversor 10	2.4	24	0.94	Inversor 11	11.4	0.96
Inversor 11	3	24	0.95	Inversor 12	12.5	0.96
Inversor 12	3.3	24	0.94	Inversor 13	15	0.965
				Inversor 14	17.5	0.975
Inversor 13	1.5	48	0.94	Inversor 15	20	0.975
Inversor 14	2.3	48	0.93	Inversor 16	22.7	0.975
Inversor 15	3	48	0.93	Inversor 17	24	0.975
Inversor 16	3.3	48	0.95			
Inversor 17	4.5	48	0.96			

Imagen 4: Catálogo de inversores de corriente





4.2.4.- Catálogo de Módulos Fotovoltaicos

Finalmente, se llegó al último catálogo en donde se encuentra la parte fundamental del sistema, los módulos que generarán la energía suficiente para poder alimentar la instalación. Al igual que en los apartados anteriores se colocaron diferentes equipos y con esto tener la ventaja de contar con una mayor cantidad de modelos para poder comparar y elegir, resaltando parámetros imprescindibles tales como la potencia, el voltaje a máxima potencia y la corriente de corto circuito, los cuales son datos que se requieren para los cálculos del dimensionado descritos a continuación.

CATÁLOGO DE MÓDULOS FV				
Módulo	Potencia (W)	Vmp (V)	Imp (A)	Isc (A)
Módulo 1	50	16.7	3	3.1
Módulo 2	85	17.4	5.02	5.34
Módulo 3	130	17.6	7.39	8.02
Módulo 4	175	23.6	7.42	8.09
Módulo 5	200	26.3	7.61	8.21
Módulo 6	250	30.35	8.24	8.69
Módulo 7	280	35.89	7.81	8.36
Módulo 8	335	37.9	8.84	9.16
Módulo 9	410	41.88	9.79	10.45
Módulo 10	415	42.18	9.84	10.51
Módulo 11	450	41.52	10.84	11.36
Módulo 12	455	41.82	10.88	11.41
Módulo 13	465	43.18	10.77	11.59
Módulo 14	525	40.78	12.88	13.5
Módulo 15	540	41.64	12.97	13.86

Imagen 6: Catálogo de módulos fotovoltaicos



4.3.- Primera Hoja (Tabla DET)

En la primera hoja del libro se constituyeron en diferentes espacios dentro de la misma, las dos tablas necesarias para obtener la demanda de energía total en corriente directa y alterna, los cuales son parámetros necesarios para realizar algunos cálculos de los siguientes elementos presentados más adelante. E igualmente fue incluido el apartado destinado al inversor de corriente en la misma sección debido a que, así como el cálculo de las dimensiones anteriores es un dato que se emplea para el diseño de los sistemas fotovoltaicos autónomos siendo lo mismo para los dos métodos (I - V y de potencia). Los cuales son expuestos más a profundidad conforme vaya avanzando el desglose de este capítulo.

1.- Tabla de demanda de energía

La potencia eléctrica hace referencia a la capacidad de la instalación para consumir una cantidad de kilowatts al mismo tiempo. Es decir, la potencia contratada es lo que nos permite utilizar varios electrodomésticos simultáneamente sin que salte el interruptor del centro de carga. Otro punto importante en la factura es la energía consumida. Lo que se pague por este término dependerá del precio del kWh y la cantidad de kilowatts que se consume a lo largo del mes.

La energía consumida se mide en kilowatts - hora (kWh), mientras que la potencia se mide en kilowatts (kW).

Con las tablas siguientes se podrá calcular tanto la potencia total, como la demanda de energía del sistema. En corriente alterna con la tabla de la izquierda y en corriente directa con la de la derecha, solo ingrese los datos solicitados en cada una.

TABLA DE DEMANDA DE ENERGÍA EN CORRIENTE ALTERNA					
NO	EQUIPO	POTENCIA (W)	CANTIDAD	HORAS DE USO	DÍAS DE USO
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Calcular

POTENCIA TOTAL (W):

DEMANDA TOTAL DE ENERGÍA en AC (Wh):

DEMANDA TOTAL DE ENERGÍA en DC (Wh):

El inversor de corriente funciona como el corazón en un sistema fotovoltaico, mediante dispositivos electrónicos y de potencia convierte la corriente directa del arreglo fotovoltaico en corriente alterna con las mismas características de la de la red pública.

Selección del Inversor

Ayuda

SIGUIENTE

TABLA DE DEMANDA DE ENERGÍA EN CORRIENTE DIRECTA					
NO	EQUIPO	POTENCIA (W)	CANTIDAD	HORAS DE USO	DÍAS DE USO
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Imagen 7: Primera hoja del libro (Tabla DET)





4.3.1.- Demanda de Energía y Potencia Total

Como ya se hizo mención para poder comenzar con los primeros pasos del programa se requieren ciertos parámetros propios de las cargas a alimentar. Esta es la razón por la cual se inició con la elaboración de distintas tablas en donde el usuario debe ingresar algunos datos técnicos de sus equipos eléctricos, tales como el tipo, potencia, cantidad, horas y días de uso. Realizando dos tablas con los mismos requerimientos, siendo la diferencia entre ellas el tipo de energía consumida, arrojando la primera una demanda de energía en corriente alterna que es la más comúnmente utilizada en los hogares y la otra una demanda de energía en corriente directa, para los equipos que así lo especifiquen. Esto fue mayormente explicado en la parte metodológica presentada con anterioridad.

TABLA DE DEMANDA DE ENERGÍA EN CORRIENTE ALTERNA						TABLA DE DEMANDA DE ENERGÍA EN CORRIENTE DIRECTA					
NO	EQUIPO	POTENCIA (W)	CANTIDAD	HORAS DE USO	DÍAS DE USO	NO	EQUIPO	POTENCIA (W)	CANTIDAD	HORAS DE USO	DÍAS DE USO
1						1					
2						2					
3						3					
4						4					
5						5					
6						6					
7						7					
8						8					
9						9					
10						10					

Imagen 8: Tablas de demanda de energía y tablero de resultados en AC y DC

4.3.2.- Selección del Inversor de Corriente

Para obtener los resultados respecto a la selección del inversor, basta con presionar el botón de búsqueda acoplado a esta sección, una vez realizado esto se desplegará una ventana solicitando el voltaje nominal del sistema. Ingresado tal dato el programa arrojará con que parámetros de potencia y voltaje debe contar dicho equipo en el espacio destinado para este propósito. En cuanto al valor de los Watts, tal dimensión puede encontrarse gracias a la potencia total calculada con anterioridad. O en caso de necesitar ayuda, también se acopló dentro del mismo un botón de ayuda para brindar información al respecto.



Imagen 9: Apartado para la selección del inversor

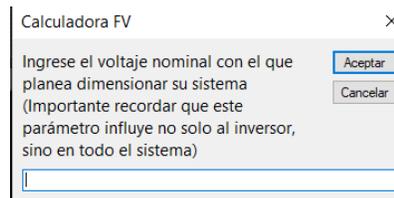


Imagen 10: Ventana arrojada en la selección del inversor





Concluido todo lo anterior es posible continuar con la siguiente parte del dimensionado presionando las teclas shift + s o el botón “siguiente” al final de esta primera hoja. Seguido de ello aparece un cuadro de diálogo indicando ingresar el tipo de controlador de carga a utilizar dentro de la instalación, y con ello poder redirigirse a la siguiente hoja según corresponda.

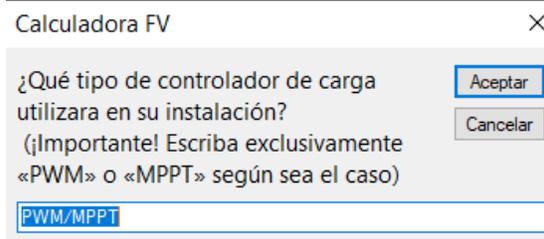


Imagen 11: Ventana arrojada para cambiar de hoja

4.4.- Segunda Hoja (Controlador PWM) Método I-V

Como ya se explicó anticipadamente, en este trabajo se abordaron dos métodos similares para el dimensionado de los sistemas autónomos. Iniciando el diseño con el método llamado de corriente – voltaje o I-V. Para lo cual se optó por dividir el espacio de la hoja de cálculo en distintos apartados, destinando a cada elemento del sistema fotovoltaico un área en específico. Requiriendo en todos ellos diferentes datos propios de los diferentes equipos o del lugar en donde se llevará a cabo el dimensionado.

2.- Sistema autónomo (Controlador PWM)

Un sistema fotovoltaico autónomo se encarga de producir energía eléctrica suficiente para satisfacer el consumo de los equipos eléctricos no conectados a la red, por medio de un sistema de acumulación energético para poder hacer frente a los periodos en los que la generación es inferior al consumo.

Por otro lado, los controladores de carga tipo PWM (Pulse width modulation - modulación por ancho de pulso) son reguladores sencillos que actúan como interruptores extra entre los módulos fotovoltaicos y el banco de baterías. Estos controladores fuerzan a los módulos a trabajar a la tensión de la batería, sin ningún tipo de instalación extra.

Cálculo de la Intensidad Total del Sistema Ayuda

Como el voltaje es "constante", el cual corresponde al voltaje nominal. Tomando la demanda de energía total, se puede obtener la intensidad de corriente que se requiere para alimentar los equipos.

I_{total} =

Los bancos de baterías se encargan del almacenamiento de la energía, para poder suministrarla independientemente de la producción eléctrica del generador fotovoltaico en ese momento. Sirve como reserva para los días nublados o cuando es de noche. Ingrese los datos requeridos a continuación para el cálculo de las baterías en su sistema ↓

Cálculo del banco de baterías	Ayuda
Voltaje de la batería:	
Intensidad de la batería:	
Profundidad de descarga:	
Eficiencia de la batería:	
Días de autonomía:	

Número de baterías en serie:
 Número de baterías en paralelo:
 Número total de baterías:

El módulo fotovoltaico es un dispositivo encargado de la producción de energía, transformando la radiación solar en energía eléctrica en forma de corriente continua. Llene los datos de la tabla siguiente para el dimensionado de los paneles solares ↓

Cálculo del arreglo Fotovoltaico	Ayuda
Voltaje a maxima potencia (Vmp):	
Intensidad a maxima potencia (Imp):	
Intensidad de cortocircuito (Isc):	
Hora solar pico (HSP):	

Número de módulos en serie:
 Número de módulos en paralelo:
 Número total de módulos:

Un controlador de carga es un elemento fundamental en un sistema fotovoltaico autónomo, debido a que adecuará la energía entregada por los módulos para cargar eficientemente al banco de baterías. Con los datos recopilados anteriormente puede ser calculado la intensidad del controlador ideal para esta instalación ↓

Cálculo del controlador de carga	Info

Imagen 12: Segunda hoja del libro





4.4.2.- Banco de Baterías

En lo que compete a la selección de estos elementos, se optó por organizar en una tabla cada parámetro, destinando apartados para almacenar los resultados, así mismo los datos necesarios para el cálculo dentro de los elementos propios de la instalación tales como su voltaje e intensidad entre algunos otros, como lo son los días de autonomía los cuales dependen del sitio a instalar. Con todo ello ya es posible encontrar los datos buscados de cantidad de baterías en serie y paralelo, así como el número total. Resultados que se verían reflejados en los lugares asignados para cada uno toda vez pulsado el botón de cálculo o las teclas Shift + B.

Cálculo del banco de baterías		Ayuda
Voltaje de la batería:		
Intensidad de la batería:		
Profundidad de descarga:		
Eficiencia de la batería:		
Días de autonomía:		
		
Número de baterías en serie		
Número de baterías en paralelo		
Número total de baterías		

Imagen 15: Área para el cálculo del banco de baterías en la segunda hoja

4.4.3.- Módulos Fotovoltaicos

Replicando algo muy similar al apartado anterior, se organizó cada factor importante en el cálculo de estos equipos dentro de las tablas construidas. Datos de los cuales destacan el voltaje a máxima potencia y las distintas intensidades, así como la hora solar pico el cual es un dato que depende de cada zona geográfica, en este caso del lugar a instalar el arreglo FV. Una vez contando con estos parámetros ya es posible echar a andar el programa para encontrar la cantidad de módulos que se requieren en serie y paralelo, como también el número total de ellos. Para que una vez teniendo los resultados se muestren reflejados en el lugar asignado para este fin.

Cálculo del arreglo Fotovoltaico		Ayuda
Voltaje a máxima potencia (Vmp):		
Intensidad a máxima potencia (Imp):		
Intensidad de cortocircuito (Isc):		
Hora solar pico (HSP):		
		
Número de módulos en serie		
Número de módulos en paralelo		
Número total de módulos		

Imagen 15: Área para el cálculo del arreglo FV en la segunda hoja





4.5.- Tercer Hoja (Controlador MPPT) Método de Potencia

Pasando ahora al segundo método, el cual consta de mucha similitud con el procedimiento anterior pero dejando en claro que, aunque el aspecto pueda tener cierto parecido con el método pasado en el que se empleó el controlador PWM, las distinciones como tal se encuentran en las ecuaciones propias de cada elemento de la instalación. A los cuales se les dio un lugar dentro de la hoja de cálculo, empleando como medio de apoyo el uso de tablas, ventanas emergentes y cuadros de texto. Sin mencionar las herramientas de apoyo como lo son los botones y combinaciones de teclas que accionan los códigos a los que ya se hizo mención anteriormente en este mismo documento.

2.- Sistema autónomo (Controlador MPPT)

Un sistema fotovoltaico autónomo se encarga de producir energía eléctrica suficiente para satisfacer el consumo de los equipos eléctricos no conectados a la red, por medio de un sistema de acumulación energético para poder hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo.

Por otro lado, los controladores de carga tipo MPPT (Maximum power point tracking - seguidor del punto de máxima potencia), lo que significa que hacen trabajar al panel en su mayor punto de potencia, independiza la tensión de funcionamiento de los módulos de la tensión de la batería, por lo que no hace falta que el panel tenga la misma tensión que la batería, pero sí que debe ser igual o superior. Por eso la nomenclatura de los modelos MPPT incluye una cifra de voltaje, que es el máximo que podremos usar en el campo solar.

Cálculo del arreglo Fotovoltaico

El módulo fotovoltaico es un dispositivo encargado de la producción de energía, transformando la radiación solar en energía eléctrica en forma de corriente continua. Llene los datos de la tabla siguiente para el dimensionado de los paneles solares →

Potencia (Pmax)	
Voltaje (Vmp)	
Intensidad de cortocircuito (Isc)	
Eficiencia del inversor (η inv)	
Hora solar pico (HSP)	

[Ayuda](#)

[Calcular](#)

Total de módulos
 Módulos en paralelo
 Módulos en serie

POTENCIA TOTAL

Cálculo del banco de baterías

Los bancos de baterías se encargan del almacenamiento de la energía, para poder suministrarla independientemente de la producción eléctrica del generador fotovoltaico en ese momento. Sirve como reserva para los días nublados o cuando es de noche. Ingrese los datos requeridos a continuación para el cálculo de las baterías en su sistema →

Potencia Bat (W)	
Voltaje Bat (V)	
Profundidad de descarga (%)	
Días de autonomía	

[Ayuda](#)

[Calcular](#)

Total de baterías
 Baterías en paralelo
 Baterías en serie

Esta hace referencia a la potencia total de la instalación eléctrica de los equipos a dimensionar.

Cálculo del controlador de carga

Un controlador de carga es un elemento fundamental en un sistema fotovoltaico autónomo, debido a que adecuará la energía entregada por los módulos para cargar eficientemente el banco de baterías. Con los datos recopilados anteriormente puede ser calculado la intensidad del controlador ideal para esta instalación →

[Info](#)

[Calcular](#)

Imagen 17: Tercer hoja del libro (Controlador MPPT)





4.6.- Cuarta Hoja (SFV Interconectado a Red)

Por último y después de haber concluido los dos métodos referentes al diseño de una instalación fotovoltaica de tipo autónoma. Ahora se presenta el procedimiento dirigido a la elaboración de un sistema FV con interconexión a red. En cuanto la presentación visual de este segmento en el libro, se optó como en los casos anteriores por dividir el espacio de trabajo en diferentes zonas, otorgando a cada elemento del programa su propio apartado para una mejor interpretación. Elementos los cuales son descritos cada uno por separado a continuación.

Sistema Interconectado a la Red

Un SFV-IR es aquel en el que los módulos fotovoltaicos están conectados a la red pública a través de una unidad inversora de energía que les permite operar en paralelo con la red eléctrica. Estos módulos proporcionan una o incluso la mayor parte de las necesidades de energía durante el día, mientras se sigue conectado a la red eléctrica local durante la noche. Por lo tanto, quienes usan estos sistemas pueden cubrir una parte o la totalidad de sus necesidades de energía con generación solar, y aun así usar la de la red eléctrica normal durante la noche o en días nublados y lluviosos, dando lo mejor de ambos métodos.

Consumo de Energía Promedio Diaria

El historial de consumo es una herramienta con elementos que sirven de apoyo para estudiar el consumo del hogar y determinar si el uso de la electricidad va en aumento o en disminución, lo cual se ve influenciado por la época del año y las condiciones de la zona donde se habita. Utilice estos datos de su factura eléctrica para llenar los campos siguientes.

Ayuda	
Sexto periodo	
Quinto periodo	
Cuarto periodo	
Tercer periodo	
Segundo periodo	
Primer periodo	

Calcular

EPD W/día

Potencia del inversor

El inversor de corriente funciona como el corazón en un sistema fotovoltaico, mediante dispositivos electrónicos y de potencia convierte la corriente directa del arreglo fotovoltaico en corriente alterna con las mismas características de la de la red pública.

Buscar

Info

Número de módulos

El módulo fotovoltaico es un dispositivo encargado de la producción de energía, transformando la radiación solar en energía eléctrica en forma de corriente continua.

Calcular

Info

Imagen 23: Tercer hoja del libro (sistema interconectado a red)





4.6.1.- Energía Promedio Diaria

Para darle comienzo a este método, se empleó el uso de una tabla en la cual fueron especificados los datos referentes a los periodos de consumo. Tales parámetros pueden ser fácilmente ubicados en la factura eléctrica, con la intención de que una vez contando con ellos en los campos correspondientes se proceda a accionar el código mediante el botón adjunto. Finalmente y cumplido lo anterior el resultado del promedio de consumo de energía diario se arroja en el espacio destinado para lograr este objetivo.

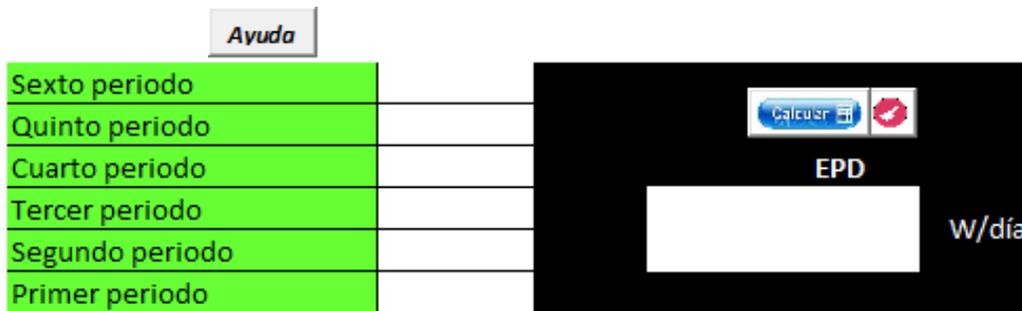


Imagen 24: Área para el cálculo de la demanda de energía promedio diaria.

4.6.2.- Potencia del Inversor de Corriente

La presentación de esta sección dentro de la hoja de Excel fue diseñada de manera muy sencilla, tan solo consistió en la combinación de diferentes celdas para poder crear una ventana de texto la cual tuviera la función de que una vez ingresado el valor de la hora solar pico del lugar, arrojara el mensaje que indicase la potencia con la que debería contar nuestro inversor de corriente y de esta manera ser de utilidad al sistema que se desea implementar.

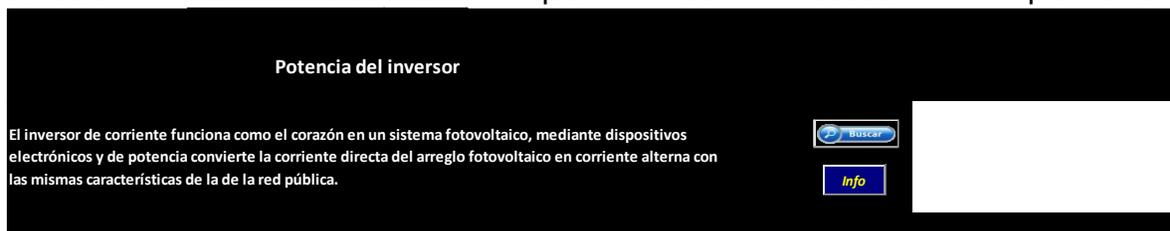


Imagen 25: Área para la selección del inversor de corriente

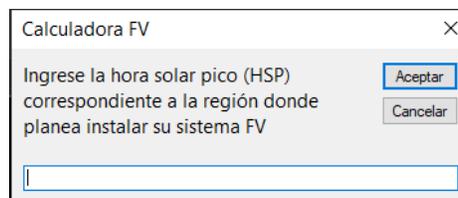


Imagen 26: Ventana arrojada en el cálculo del inversor de corriente





4.6.3.- Número de Módulos

De igual manera al diseño de la sección anterior, en lo concerniente a la realización de este apartado se decidió crear un cuadro de texto mediante la combinación de diferentes celdas de la hoja de cálculo en el libro de Excel. Como ya se ha explicado en ella se arrojaría el mensaje en donde una vez ingresada la potencia de los módulos fotovoltaicos utilizados, se pudiera visualizar el texto que indique la cantidad de placas solares necesarias para alimentar el sistema FV. Todo lo anterior una vez puesto en marcha el código.

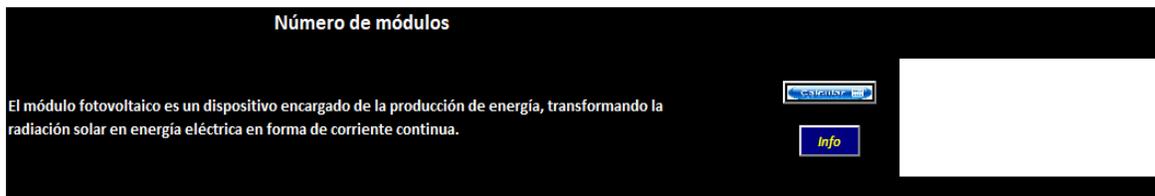


Imagen 27: Área para el cálculo del número de módulos FVs

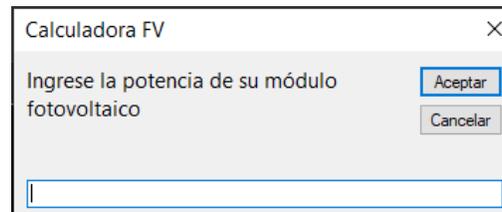


Imagen 19: Ventana arrojada en el cálculo del número de módulos FVs



CONCLUSIONES

Finalmente, con base a los resultados obtenidos después de todo el proceso de diseño y construcción de este proyecto y retomando los objetivos planteados al principio de este documento, es posible ahora plasmar cada una de las conclusiones a las que se ha llegado en todo este proceso, las cuales se redactan a continuación:

Como fue denotado con antelación, en la codificación del software se utilizó el lenguaje de programación: “ Visual Basic For Applications” que si bien no es de los recursos más modernos o eficientes dentro del ámbito de la programación, para este caso en concreto cubrió cada uno de los requerimientos solicitados. En el cual se disponía una herramienta óptima para la creación de un software que cumpliera con características idóneas y que sí pudieron ser encontradas en este lenguaje como lo son:

- Ser compatible con el entorno donde fue construido el programa, en este caso Microsoft Excel.
- Fácil disponibilidad sin necesidad de licencias especiales o instalaciones externas.
- De operación sencilla e intuitiva al momento de ser manejado.

Por todo lo anterior es que el uso de este lenguaje atendió los parámetros exigidos en cada segmento dentro de la elaboración del proyecto. Resultando efectivo para la construcción de todas las macros empleadas en los cálculos, complementos y adecuaciones. Cumpliendo así con su propósito y siendo totalmente efectivo para la culminación de este trabajo.



En cuanto a las ecuaciones incorporadas, tomando como referencia el funcionamiento del programa finalizado a la par de diferentes pruebas ejecutadas, se observa que cada una de las ecuaciones agregadas fueron incorporadas de forma correcta.

Haciendo posible que todos los cálculos fueran automatizados eficazmente y de esta manera permitir la inmediata activación segundos después de “llamar” a los códigos encargados de realizar tal tarea, presionando los botones dispuestos para ello o mediante las combinaciones de teclas asignadas.

Por lo tanto queda comprobada la efectividad que posee el software para realizar todas las operaciones en cada sección de los dimensionados FV, de manera autónoma, inmediata y eficaz.

Como fue establecido desde un inicio, la culminación del programa de cálculo FV quedó completado al menos en su forma básica al estar configurado para funcionar en el dimensionado de sistemas on grid y off grid. Lo cual resultó en un objetivo alcanzado con éxito, presentando en la sección correspondiente al diseño de sistemas autónomos, dos alternativas de dimensionado posibles esto según el controlador de carga a ser utilizado, ampliando así el abanico de aplicaciones y la utilidad del mismo.

Por otro lado, en lo que corresponde a la hoja destinada para los cálculos de una instalación con interconexión a red, cada uno de los códigos dentro de las macros trabajaron adecuadamente y conforme a lo esperado, respondiendo favorablemente en cada intervención. Cumpliendo así para la finalización de los tres métodos de diseño diferentes con la primera etapa en el desarrollo de este proyecto.





Encontrando buena efectividad en todos los cálculos incorporados, con una completa precisión e inmediatas por cada producto. Esto a la par del buen desempeño por parte de las herramientas de apoyo y complementos, incluyendo las funciones de accesibilidad para servir de ayuda a las personas con discapacidad visual que en determinado momento llegaran a operar el programa. Ello debido a la correcta aplicación de los mismos, tales como la síntesis de voz, los atajos de teclado y las guías para su ejecución.

Es por tanto que se sostiene la afirmación respecto al éxito presente en los resultados al finalizar con todo el proyecto. El cual queda satisfactoriamente terminado y listo para ser utilizado en cualquier instalación FV.



Referencias

- [1] Sinovoltaics. (2019, junio 22). *PV F-CHART*. <https://sinovoltaics.com/learning-center/system-design/pv-f-chart/>
- [2] Homer Energy. (2023, septiembre 06). *The HOMER Pro® microgrid software by UL Solutions*. <https://homerenergy.com/products/pro/index.html>
- [3] PVsyst. (2013, enero 08). *PVsyst Team*. <https://www.pvsyst.com/pvsyst-team/>
- [4] EnergyPLAN. (s. f.). *RETScreen*. <https://www.energyplan.eu/othertools/allscales/retscreen/>
- [5] Laplace System. (2014, octubre 02). *Photovoltaic System Simulation Software:Solar Pro*. <https://www.lapsys.co.jp/english/products/pro.html>
- [6] PVSolSoftware. (2018, diciembre 06). *PV*SOL – Plan and design better pv systems*. <https://pvsol.software/en/>
- [7] EU Science Hub. (2019, julio 19). *PVGIS background information*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-background-information_en
- [8] National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2014, marzo 17). *About - System Advisor Model - NREL*. <https://sam.nrel.gov/about-sam.html>
- [9] Creative Nurds. (2023, febrero 20). *Helioscope review - Comprehensive modelling designed for large scale, not residential*. <https://www.creativenurds.com/product-reviews/helioscope>
- [10] Utility Dive. (2020, octubre 14). *PVComplete Unveils PVSketch Mega: First and Only Web-Based Utility-Scale Solar Layout, Modeling and Proposal Software*. <https://www.utilitydive.com/press-release/20201014-pvcomplete-unveils-pvsketch-mega-first-and-only-web-based-utility-scale-so/>
- [11] PVSites. (s. f.). *Software and Catalogues*. <https://www.pvsites.eu/software/>
- [12] IEEE Xplore. (2017, junio 30). *PlantPredict: Solar Performance Modeling Made Simple*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8366450>



- [13] Veracity by DNV. (2023, noviembre 03). *SolarFarmer*.
<https://store.veracity.com/solarfarmer>
- [14] SolarEdge. (2021, agosto). *SolarEdge Designer - What's New*.
<https://marketing.solaredge.com/solaredge-designer-0-15#:~:text=As%20a%20SolarEdge%20project%20designer,string%20designs%2C%20and%20much%20more.>
- [15] Solar Power Portal. (2021, septiembre 15). *Midsummer relaunches solar design software Easy PV*.
https://www.solarpowerportal.co.uk/midsummer_relaunches_solar_design_software_easy_pv/
- [16] Steemit. (2017). *[Origen de la palabra ...] Sol - desde su definición al mito*.
<https://steemit.com/spanish/@luming/origen-de-la-palabra-sol-desde-su-definicion-al-mito>
- [17] National Geographic. (2023, enero 31). *El Sol: qué es, cómo afecta a la Tierra y cuándo se apagará*. <https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>
- [18] Fundación Aquae. (2020, junio 12). *¿Qué es la energía solar?*.
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/que-es-energia-solar/>
- [19] International Atomic Energy Agency. (2023, enero 25). *What is radiation good for? – Some examples*. <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-radiation>
- [20] US EPA. (2023, julio 18). *Radiation Basics*. <https://www.epa.gov/radiation/radiation-basics>
- [21] Iberdrola. (2021, agosto 19). *Solar radiation: what is its impact on the planet and on humans?*. <https://www.iberdrola.com/social-commitment/solar-radiation>
- [22] 8MSolar. (2019, marzo 27). *Peak Sun Hours for Solar Panels by Region*.
<https://8msolar.com/what-is-a-peak-sun-hour-psh/>
- [23] Department of energy. (2015, junio 22). *Solar Radiation Basics*.
<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>
- [24] BYJU'S. (2016, febrero 26). *The Photoelectric Effect - Definition, Laws, Applications*.
<https://byjus.com/jee/photoelectric-effect/>



- [37] Fallon Solutions. (s. f.). *What is a solar inverter and how does it work?*.
<https://fallonsolutions.com.au/solar/information/what-is-a-solar-inverter-and-how-does-it-work/>
- [38] Solar Direct. (s. f.). *PV System Batteries*.
<https://www.solardirect.com/archives/pv/batteries/batteries.htm>
- [39] Forbes. (2023, septiembre 14). *Everything You Need To Know About Solar Batteries*.
<https://www.forbes.com/home-improvement/solar/what-is-a-solar-battery/>
- [40] Alencon Systems. (s. f.). *PV Charge Controller*. <https://alenconsystems.com/learning/pv-charge/>
- [41] solar power secrets. (2018, octubre 20). *The Guide to Solar Charge Controllers: MPPT and PWM Charge Controllers in Off-Grid Solar Power Systems*. <https://solarpanelsvenue.com/mppt-and-pwm-charge-controllers-in-off-grid-solar-power-systems/>
- [42] Alternative Energy Tutorials. (s. f.). *grid connected PV system*. <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html>
- [43] Alternative Energy Tutorials. (2022, octubre 18). *How To Size A Solar Power System For The Home*. <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/how-to-size-a-solar-power-system.html>
- [44] Hernández, L. (2020). *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos autónomos método de corriente y voltaje (método I-V)*. Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables UNICACH.
- [45] Hernández, L. (2020). *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos autónomos método de potencia*. Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables UNICACH.
- [46] Hernández, L. (2020). *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos interconectados a la red*. Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables UNICACH.
- [47] Coursera. (2024, marzo 29). *What Is Programming? And How To Get Started*.
<https://www.coursera.org/articles/what-is-programming>
- [48] Codecademy. (2020, julio 22). *What Is a Programming Language?*.
<https://www.codecademy.com/resources/blog/programming-languages/>



- [49] Gillis, A. (2016, mayo 03). *What is Excel? Everything You Need to Know*.
<https://www.techtarget.com/searchenterprisedesktop/definition/Excel#:~:text=Excel%20is%20a%20spreadsheet%20program,calculate%20data%20in%20a%20spreadsheet.>
- [50] Kenton, W. (2024, mayo 14). *Visual Basic for Applications (VBA): definition, uses and examples*. [https://www.investopedia.com/terms/v/visual-basic-for-applications-vba.asp#:~:text=Visual%20Basic%20for%20Applications%20\(VBA\)%20is%20used%20to%20write%20programs,Publisher%2C%20Word%2C%20and%20Visio.](https://www.investopedia.com/terms/v/visual-basic-for-applications-vba.asp#:~:text=Visual%20Basic%20for%20Applications%20(VBA)%20is%20used%20to%20write%20programs,Publisher%2C%20Word%2C%20and%20Visio.)