



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**EVALUACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UNA MICRORRED (PV) CON
DIFERENTES TIPOS DE ALMACENAMIENTO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: Luis Alberto Macias Molina

Adrian Daniel Jaramillo Sanchez

TUTOR: Juan Carlos Lata García, PhD

Guayaquil – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Luis Alberto Macias Molina con documento de identificación N° 0958585853 y Adrian Daniel Jaramillo Sanchez con documento de identificación N° 0927697391 manifestamos que:

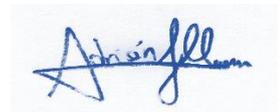
Somos los autores y responsables del presente trabajo y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 20 de agosto del año 2024

Atentamente;



Luis Alberto Macias Molina
0958585853



Adrian Daniel Jaramillo Sanchez
0927697391

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Luis Alberto Macias Molina con documento de identificación N° 0958585853 y Adrian Daniel Jaramillo Sanchez con documento de identificación N° 0927697391, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de lo que somos autores del **"Proyecto Técnico"** : **" EVALUACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UNA MICRORRED (PV) CON DIFERENTES TIPOS DE ALMACENAMIENTO"**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO EN ELECTRICIDAD**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

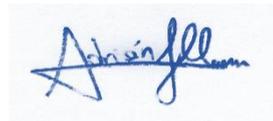
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en el formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 20 de agosto del año 2024

Atentamente;



Luis Alberto Macias Molina
0985858583



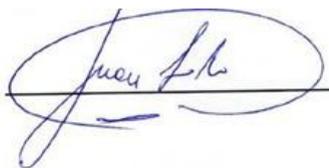
Adrian Daniel Jaramillo Sanchez
0927697391

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Carlos Lata García, PhD con documento de identificación N° 0301791893 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “EVALUACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UNA MICRORRED (PV) CON DIFERENTES TIPOS DE ALMACENAMIENTO”, realizado por Luis Alberto Macias Molina con documento de identificación N° 0958585853 y Adrian Daniel Jaramillo Sanchez con documento de identificación N° 0927697391, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 20 de agosto del año 2024

Atentamente;



Juan Carlos Lata García, PhD
0301791893

DEDICATORIA

Gracias a la comunidad científica, cuyo constante esfuerzo y dedicación han sido faro y guía en el camino del conocimiento, inspirando a nuevas generaciones a buscar respuestas y soluciones que transformen nuestro mundo. A los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, cuyo compromiso con la enseñanza y la formación de profesionales ha sido fundamental para mi crecimiento académico y personal. A ustedes, quienes con paciencia, sabiduría y pasión por la ciencia han forjado en mí la determinación y el espíritu crítico necesarios para enfrentar los desafíos de nuestra profesión. Gracias por ser el pilar en este viaje de aprendizaje y descubrimiento.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Mónica Molina y Luis Macías, quienes han sido mi mayor apoyo y fortaleza a lo largo de este recorrido. Su amor incondicional, sacrificio y confianza en mí han sido la base sobre la que he construido cada uno de mis logros. Gracias por ser mi inspiración y mi ejemplo de perseverancia.

A mis hermanos, quienes han estado a mi lado en cada etapa, brindándome su compañía, apoyo y motivación. Su fe en mí ha sido un motor constante que me ha impulsado a superar cada desafío. Al doctor Juan Carlos Lata, mi tutor de tesis, por su guía, paciencia y sabiduría. Su dedicación y compromiso han sido clave en el desarrollo de este trabajo. Agradezco profundamente su tiempo y esfuerzo, así como los valiosos consejos y orientaciones que me han permitido avanzar en mi formación académica.

Luis Alberto Macias Molina

DEDICATORIA

A mis padres Mónica Sánchez, Daniel Jaramillo y Rosario Cacuango por su gran apoyo ya que sin él mismo esta meta no se hubiera podido alcanzar.

A mi abuelita "Carmelita" por acogerme en su hogar en los momentos más difíciles de mi carrera.

Y a todos mis familiares en general y amigos que sin ellos no hubiera sido posible finalizar este trayecto de mi vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo agradecer a Dios la Virgen María por darme la fuerza suficiente carácter y voluntad para poder lograr culminar mis estudios y a su vez el trabajo de titulación presente.

A mi madre Mónica que ha sido una de mis principales motivaciones y sin su sacrificio y dedicación este logro no sería posible.

A mi padre Daniel que a pesar de todas las incertidumbres y problemas que hemos tenido con el paso del tiempo ha sabido apoyarme y estar siempre presente para mí.

Al ingeniero Juan Carlos Lata García por estar constantemente presente en las revisiones para el correcto avance del trabajo de titulación.

Y por último a mi amigo Luis por la dedicación, compromiso y esfuerzo que puso para poder finalizar correctamente el trabajo de titulación.

Adrian Daniel Jaramillo Sanchez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|--------------------|
| CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | <i>i</i> |
| CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA..... | <i>ii</i> |
| CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN | <i>iii</i> |
| DEDICATORIA..... | <i>iv</i> |
| AGRADECIMIENTO..... | <i>v</i> |
| DEDICATORIA..... | <i>vi</i> |
| AGRADECIMIENTO..... | <i>vii</i> |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS..... | <i>viii</i> |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | <i>xi</i> |
| ÍNDICE DE ECUACIONES..... | <i>xi</i> |
| ÍNDICE DE TABLAS | <i>xii</i> |
| RESUMEN..... | <i>xiii</i> |
| ABSTRACT | <i>xiv</i> |
| ACRÓNIMOS..... | <i>xv</i> |
| CAPÍTULO I | <i>1</i> |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 PROBLEMÁTICA..... | 1 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN..... | 3 |
| 1.3 DELIMITACIÓN..... | 3 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 5 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL..... | 5 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| CAPÍTULO II..... | <i>6</i> |
| 2 INTRODUCCIÓN A LAS MICRORREDES..... | 6 |
| 2.1 DEFINICIÓN DE UNA MICRORRED..... | 6 |
| 2.2 PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA MICRORRED..... | 6 |
| 2.2.1 EQUIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA..... | 7 |
| 2.2.2 TIPOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍAS..... | 8 |
| 2.2.3 SISTEMA DE CONTROL Y GESTIÓN DE ENERGÍA (EMS)..... | 9 |
| 2.2.4 DEMANDA DE CARGA | 10 |

| | | |
|--------------------------|---|-----------|
| 2.2.5 | DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN | 11 |
| 2.2.6 | CONEXIÓN CON LA RED PRINCIPAL | 12 |
| 2.3 | ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA HORA SOLAR PICO EN UN SISTEMA FOTVOLTAICO. | 12 |
| 2.3.1 | FACTORES QUE INFLUYEN EN EL HSP | 12 |
| 2.3.2 | APLICACIÓN DEL HSP EN UN SISTEMA PV | 13 |
| 2.4 | ÁNGULO ACIMUT PARA LOS SISTEMAS FOTVOLTAICOS..... | 14 |
| 2.4.1 | OPTIMIZACIÓN DE CAPTURA DE SOL | 15 |
| 2.4.2 | CORRECCIONES DE LAS VARIACIONES ESTACIONALES | 15 |
| 2.4.3 | MEJORA DE LA EVALUACIÓN DE SOMBRAS | 15 |
| 2.4.4 | CÁLCULO DEL ÁNGULO DE ACIMUT..... | 15 |
| 2.4.5 | SOFTWARE ESPECIALIZADO..... | 17 |
| 2.5 | SISTEMAS FOTVOLTAICOS Y SU CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA PÚBLICA..... | 17 |
| CAPÍTULO III..... | | 20 |
| 3 | METODOLOGÍA..... | 20 |
| 3.1 | CARACTERIZACIÓN DE UNA MICRORRED CON DIFERENTES TIPOS DE ALMACENAMIENTOS..... | 20 |
| 3.1.1 | EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA | 20 |
| 3.1.2 | ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR | 21 |
| 3.1.3 | DIMENSIONAMIENTO DE PANELES SOLARES..... | 23 |
| 3.1.4 | DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS | 23 |
| 3.1.5 | DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR | 24 |
| 3.2 | CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO | 24 |
| 3.2.1 | CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO | 24 |
| 3.2.2 | DEFINICIÓN DEL PERFIL DE CARGA..... | 25 |
| 3.2.3 | CONFIGURACIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS | 26 |
| 3.2.4 | CONFIGURACIÓN DE COMPONENTES PARA EL SISTEMA..... | 27 |
| 3.2.5 | DEFINICIÓN DE LAS RESTRICCIONES Y REGLAS DE OPERACIÓN: 30 | |
| 3.3 | DETALLE ESQUEMÁTICO BASE DEL SISTEMA FOTVOLTAICO. | 31 |
| CAPÍTULO IV | | 32 |
| 4 | RESULTADOS OBTENIDOS. | 32 |
| 4.1 | EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN CON ALMACENAMIENTO DE “ION - LITIO”..... | 32 |
| 4.1.1 | SUMARIO DE COSTOS..... | 32 |
| 4.1.2 | DATOS OBTENIDOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA..... | 33 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 4.1.3 | INFORMACIÓN DEL FLUJO DE CAJA..... | 34 |
| 4.1.4 | GRÁFICA PANEL SOLAR FRONIUS..... | 35 |
| 4.2 | EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN CON ALMACENAMIENTO DE “PLOMO - ACIDO” | 36 |
| 4.2.1 | SUMARIO DE COSTOS..... | 36 |
| 4.2.2 | DATOS OBTENIDOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA..... | 37 |
| 4.2.3 | INFORMACIÓN DEL FLUJO DE CAJA..... | 38 |
| 4.3 | EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN CON ALMACENAMIENTO DE “BATERÍA DE FLUJO DE VANADIO” | 39 |
| 4.3.1 | SUMARIO DE COSTOS..... | 39 |
| 4.3.2 | DATOS OBTENIDOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA..... | 40 |
| 4.3.3 | INFORMACIÓN DEL FLUJO DE CAJA..... | 41 |
| | CAPÍTULO V..... | 42 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 42 |
| 5.1 | CONCLUSIONES | 42 |
| 5.2 | RECOMENDACIONES..... | 42 |
| | CAPÍTULO VI | 44 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA | 44 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | Porcentaje de hogares con acceso a servicios básicos | 2 |
| Figura 2 | Precio referencial de paneles solares | 4 |
| Figura 3 | Esquema gráfico de un sistema híbrido | 6 |
| Figura 4 | Tipos de energía renovables | 7 |
| Figura 5 | Posición geográfica para la ubicación de paneles solares..... | 12 |
| Figura 6 | Ángulo óptimo para la ubicación de los paneles solares | 14 |
| Figura 7 | Software Pvsyst especializado para cálculos de paneles fotovoltaicos..... | 17 |
| Figura 8 | Sistema fotovoltaico híbrido con medición bidireccional..... | 18 |
| Figura 10 | Software de Nasa Power | 22 |
| Figura 11 | Datos obtenidos del software en un periodo de tiempo del 2021 - 2022 | 22 |
| Figura 12 | Imágenes tomadas del software Homer Pro para la ubicación geográfica ... | 25 |
| Figura 13 | Caracterización de la carga en el software Homer Pro | 26 |
| Figura 14 | Datos solares del año 2021 - 2022 | 26 |
| Figura 15 | Configuración del panel solar Fronius Galvo 3.1-1 | 27 |
| Figura 16 | Configuración de la batería BAE SECURA 900 | 28 |
| Figura 17 | Configuración de la batería Generic 1kWh Li-Ion [ASM] | 28 |
| Figura 18 | Configuración de la batería Generic Valadium Flow..... | 29 |
| Figura 19 | Configuración del inversor Ideal Power Grid-Resilent 30kW..... | 29 |
| Figura 20 | Datos del controlador según las especificaciones técnicas | 30 |
| Figura 21 | Esquema general del modelo con almacenamiento | 31 |
| Figura 22 | Gráfica de costos de los componentes | 32 |
| Figura 23 | Gráfica de datos de generación eléctrica mensual | 33 |
| Figura 24 | Gráfica detallada del flujo del dinero con el paso de los años..... | 34 |
| Figura 25 | Gráfica detallada de las características del panel solar | 35 |
| Figura 26 | Gráfica de costos de los componentes | 36 |
| Figura 27 | Gráfica de datos de generación eléctrica mensual | 37 |
| Figura 28 | Gráfica detallada del flujo del dinero con el paso de los años..... | 38 |
| Figura 29 | Gráfica de costos de los componentes | 39 |
| Figura 30 | Gráfica de datos de generación eléctrica mensual | 40 |
| Figura 31 | Gráfica detallada del flujo del dinero con el paso de los años..... | 41 |

ÍNDICE DE ECUACIONES.

| | | |
|-------------------|---|----|
| Ecuación 1 | Ecuación de la declinación solar..... | 16 |
| Ecuación 2 | Ecuación del ángulo horario | 16 |
| Ecuación 3 | Ecuación de la altitud solar..... | 16 |
| Ecuación 4 | Ecuación del ángulo de acimut | 16 |
| Ecuación 5 | Cálculo de energía necesaria para el sistema..... | 23 |
| Ecuación 6 | Dimensionamiento del número de paneles | 23 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Cuadro de cargas para las muestras de viviendas | 20 |
| Tabla 2 Cuadro de cargas para las muestras de viviendas | 21 |

RESUMEN

Actualmente en Ecuador existe un crecimiento significativo en la demanda energética (DM), y la necesidad de adoptar nuevas tecnologías para una generación sostenible. Por ello esto implica consideraciones técnicas al momento de buscar nuevas alternativas para la generación o almacenamiento de energía por ello la elección de una microrred (MR) fotovoltaica (PV), la cual debe ser analizada tanto en sus consideraciones técnicas, económicas y ambientales[1], [2].

De esta forma se puede realizar un análisis más detallado de la viabilidad de dicho sistema y los beneficiarios a los cuales se verá asociada. Además, se plantea diferentes tipos de almacenamiento para dicho sistema esto implica el estudio de las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de almacenamiento que serán presentados en el documento.

El software que se utiliza para el modelado de este sistema es el Homer Pro especializado para diseños y optimización de sistemas de energía (SE), en especial aquellos que incluyen fuentes renovables y de almacenamiento de energías por ello esta herramienta es clave para ofrecer una solución o el análisis al sistema energético que estamos presentando.

Por medio del software Homer Pro se busca el lograr simular los casos presentados para este documento técnico y de esta forma llegar a la conclusión de qué sistema de almacenamiento (SA), es más eficaz al momento de la instalación de nuestra microrred (MR) fotovoltaica (PV), analizando distintos aspectos ya sean económicos, ambientales o de instalación al momento de querer aplicar dicho proyecto.

Para poder realizar este proyecto con una mayor precisión al momento de presentar las conclusiones o resultado finales se busca utilizar equipos o componentes de fácil acceso al público en el país o de no ser posible, que se pueda obtener por otros medios para que los resultados sean lo más cercano posible a una realidad de la simulación.

ABSTRACT

Currently in Ecuador there is a significant growth in energy demand and the need to adopt new technologies for sustainable generation. Therefore, this implies technical considerations when looking for new alternatives for the generation or storage of energy, which is why the choice of a photovoltaic microgrid must be analyzed in terms of both its technical, economic and environmental considerations.

In this way, a more detailed analysis of the viability of said system and the beneficiaries to which it will be associated can be carried out. In addition, different types of storage are proposed for said system, this implies the study of the advantages and disadvantages of each of the storage systems that will be presented in the document.

The software that will be used for modeling this system is Homer Pro, specialized for designs and optimization of energy systems, especially those that include renewable sources and energy storage, which is why this tool is key to offering a solution or analysis to the energy system that we are presenting.

Through the Homer Pro software, we seek to simulate the cases presented for this technical document and in this way reach the conclusion of which storage system is most effective at the time of installing our photovoltaic microgrid, analyzing different aspects, whether economic, environmental or installation at the time of wanting to apply said project.

In order to carry out this project with greater precision when presenting the conclusions or final results, it is sought to use equipment or components that are easily accessible to the public in the country or, if not possible, that can be obtained by other means so that the results are as close as possible to a simulation reality.

ACRÓNIMOS

- **DM:** Demanda Energética
- **MR:** Microrred
- **PV:** Fotovoltaica
- **SA:** Sistema de Almacenamiento
- **SE:** Sistema de Energía
- **SNI:** Sistema Nacional Interconectado
- **RDU:** Red de Distribución Urbana
- **HOMER PRO:** Software de modelado y simulación para diseñar sistemas de energía
- **CNEL EP:** Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad
- **ARCONEL:** Agencia de Regulación y Control de Electricidad
- **MEER:** Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
- **EMS:** Sistema de Control y Gestión de Energía
- **PLC:** Controladores Lógicos Programables
- **DC:** Corriente Continua
- **AC:** Corriente Alterna
- **HSP:** Hora Solar Pico
- **INEC:** Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos
- **NPC:** Costo Neto Presente

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN.

Ante la creciente demanda de energía eléctrica y la urgente necesidad por el gran avance de adoptar fuentes de energía más sostenibles se ha visto impulsado el gran desarrollo de soluciones en el sector eléctrico y energético. Por ello el título de este trabajo está centrado en la evaluación técnica y económica del modelo presentado, dicha idea nace a partir del interés por contribuir otras opciones ante el avance de la energía renovable y su respectiva optimización en el sistema eléctrico nacional[3], [4].

A lo largo del avance en mi carrera técnica he presenciado distintas tecnologías capaces de ser utilizadas para la producción de energía renovable, una de las que más llamó la atención fue la fotovoltaica por sus distintas aplicaciones y usos al momento de su instalación junto a ello viene el análisis del tipo de almacenamiento el cual se utilizará para este sistema en cuestión. Por ello este trabajo representa el resultado y las conclusiones obtenidas a partir del análisis de las redes fotovoltaicas y equipos de almacenamiento para comprender los aspectos técnicos y económicos que abarcan estos sistemas al momento de su implementación.

El proceso de investigación nos ha permitido obtener distintos contactos y fuentes por las cuales hemos ampliado nuestro conocimiento en los campos de energías renovables durante este camino hemos contado con el apoyo de profesores, compañeros y familiares para el desarrollo de este documento[5].

1.1 PROBLEMÁTICA.

El constante crecimiento con respecto a la demanda energética se ha visto influenciada por la explotación de medios de energía no renovable especialmente en las áreas urbanas rurales como se puede observar en la **Figura 1** y plantas de gran capacidad esto plantea desafíos nuevos para los sistemas de energías convencionales en el Ecuador. Esto sumado a la vulnerabilidad de la red eléctrica e interrupciones constantes ya sean por eventos naturales o fallas técnicas ha causado la necesidad de explorar nuevas alternativas más sostenibles ante dicha problemática.

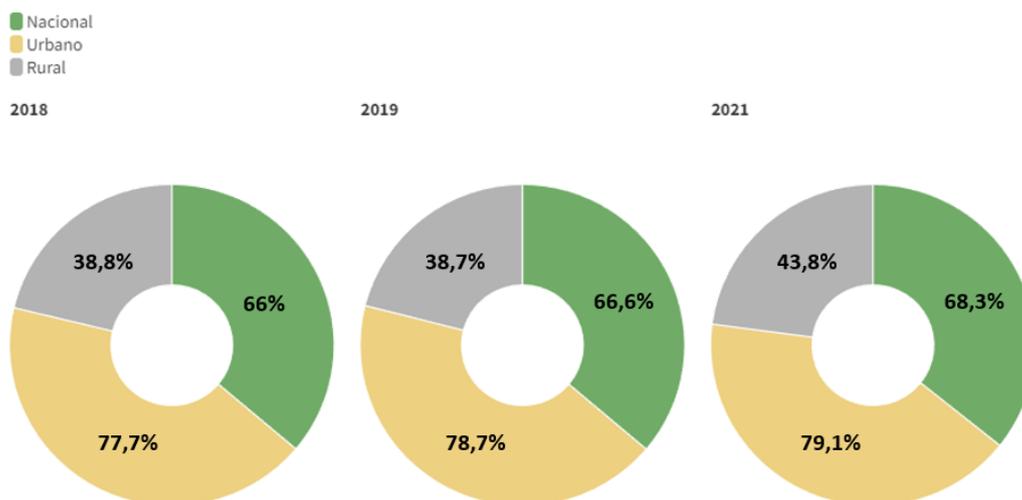


Figura 1

Porcentaje de hogares con acceso a servicios básicos

Fuente: PRIMICIAS – Un tercio de hogares ecuatorianos no tienen acceso a servicios básicos. (2023)

Los estudios del INEC revelan que el 31,7% de los hogares en Ecuador no poseen servicios básicos. Entre los principales problemas y desafíos que actualmente posee la red eléctrica en Ecuador:

Inconsistencia del suministro eléctrico:

Los constantes cortes en la red eléctrica nacional provocan grandes afectaciones a comunidades y empresas especialmente en las zonas menos remotas o de difícil acceso ya que las mismas no poseen alternativas para compensar dicha pérdida energética.

Afectación ambiental:

Se sabe que la generación de energía por medio de combustible fósiles son una de las principales razones de emisiones de gases por efecto invernadero y la principal causante del brusco cambio climático en la actualidad lo que incita al cambio de fuentes de energía más sostenibles y limpias.

Dificultad del acceso en zonas remotas:

Existen muchas comunidades en Ecuador que no poseen un fácil acceso a la red eléctrica nacional lo que dificulta y limita el desarrollo económico y social de dichas comunidades las cuales se verían beneficiadas con algún tipo de alternativa de generación energética renovable.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

La realización de una evaluación técnica y económica de una microrred fotovoltaica surge a partir del contexto actual donde hay un significativo crecimiento de la demanda energética y de esta forma adoptar nuevas tecnologías para una generación sostenible. A partir de evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar este sistema se busca proporcionar una solución energética que pueda proveer principalmente estos aspectos[6]:

- **Independización de la red eléctrica nacional:** esto implica los combustibles fósiles que en su mayoría son una de las razones principales de contaminación en el planeta para ofrecer una fuente de energía más estable y controlable.
- **Mejora del acceso de energía a comunidades rurales:** cómo se mencionó anteriormente al aplicar este sistema fotovoltaico ofrecemos una solución o alternativa de suministro energético autónomo a las comunidades rurales el cual es independiente de la red principal de CNEL.
- **Reducción de costos energéticos:** mediante el uso de distintos tipos de sistemas de generación y almacenamiento energía permitimos una gestión mejor de la energía generada y las demandas que la exigen en el hogar o industrias.

Debemos entender que este proyecto no solo está enfocado para resolver un problema actual sino a una transición que será inevitable a un futuro no tan lejano el cual es el paso de producción de energía a partir de combustibles fósiles por nuevas energías renovables y más amigables al medio ambiente lo cual permite que el sistema energético sea más sostenible resiliente y equitativo no solo en el país sino en el mundo[7].

1.3 DELIMITACIÓN.

El proyecto técnico está enfocado principalmente para el consumo energético de dos hogares con sus respectivos datos de demanda energética. Entre los distintos aspectos que tenemos para definir la delimitación del proyecto tenemos:

El ámbito geográfico:

Este se centra en la ubicación geográfica o localización del proyecto lo cual influye en la facilidad de encontrar equipos, información y recursos para sustentar el proyecto. A su vez también definimos el alcance del mismo el cual tendrá las condiciones del área determinada para la presentación del proyecto como su viabilidad técnica y económica por medio de la solución ofrecida de microrred fotovoltaica considerando distintas fuentes de almacenamiento.

El alcance técnico:

Para esto tenemos que enfocarnos en los equipos o componentes que se utilizarán para el desarrollo de la simulación como son las tecnologías fotovoltaicas y los distintos equipos de almacenamiento que Irán en conjunto con todo el sistema para de esta forma obtener nuestro proceso de microrred fotovoltaica y su análisis dependiendo del almacenamiento que tenga[8].

Alcance económico:

Para este punto se analiza los costos iniciales que serán necesarios para la implementación del proyecto en nuestro caso solo proveeremos marcas referenciales para su previa interpretación en costos de acuerdo a ellas.

Es necesario realizar una evaluación de escenarios en la cual se considera diferentes escenarios económicos incluyendo las variaciones que pueden tener en precios los componentes o equipos utilizados para la simulación ya que estos pueden variar dependiendo del proveedor o industria de la cual se obtenga los mismos como se puede observar en la **Figura 2** o en otros casos pueden verse afectados por subsidios o incentivos gubernamentales dependiendo de la capacidad del proyecto.



Figura 2
Precio referencial de paneles solares

Fuente: CronoShare – ¿Cuánto cuesta instalar paneles solares? (2024)

El rango de precios que cuesta la instalación de paneles solares varía dependiendo de condiciones como potencias de los paneles, tipo de paneles y sus características.

En resumen, el proyecto estará delimitado de acuerdo a las distintas variables que se menciona anteriormente las cuales nos presentan escenarios definidos con respecto a un enfoque económico y objetivo de acuerdo al sistema presentado, por ende, las tecnologías y condiciones analizadas nos proporcionarán una base sólida para la toma de decisiones en caso de realizar el proyecto a futuro.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar de forma técnica y económica el sistema de microrred fotovoltaica por medio del software de Homer Pro utilizando distintos tipos de almacenamiento determinando de esta forma el mejor escenario el sistema de energía por medio del software.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Caracterizar las microrredes y sus diversos tipos de almacenamiento para simulación del sistema.
- Desarrollar la simulación del comportamiento de la microrred con el software Homer Pro para la obtención del mejor escenario del sistema.
- Realizar un análisis económico detallado que incluya la estimación precisa de los costos de implementación, para poder demostrar los beneficios económicos para su implementación.

CAPÍTULO II

2 INTRODUCCIÓN A LAS MICRORREDES.

2.1 DEFINICIÓN DE UNA MICRORRED.

Se define a una microrred como una red local de producción y a su vez de distribución de energía la misma puede operar de forma independiente al momento de ser desconectada de la red eléctrica pública en caso de desconexión por causas atmosféricas como pueden ser una tormenta o un apagón por fallas técnicas los usuarios de estas microrredes podrán abastecerse de una red eléctrica automatizada para sus hogares o empresas como se puede observar en la **Figura 3** dependiendo del dimensionamiento del sistema[9].

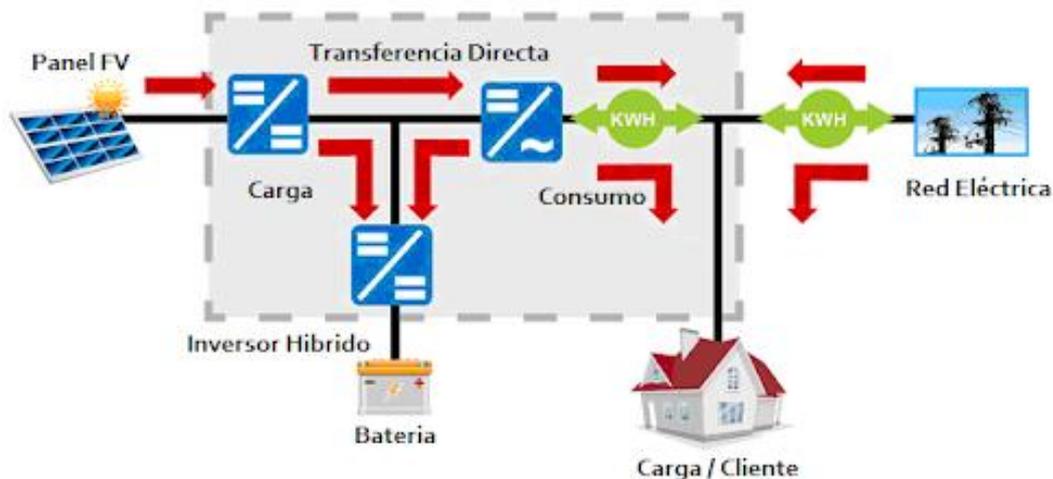


Figura 3

Esquema gráfico de un sistema híbrido

Fuente: EnergiasInteligentes – Sistema Híbrido. Principio de funcionamiento y preguntas frecuentes (2024)

Existen para este tipo de instalaciones dos modelos principales los cuales son: On Grid, que son los sistemas conectados a la red eléctrica pública para su venta y los Off Grid, que al contrario son sistemas independientes de la red eléctrica pública[10].

2.2 PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA MICRORRED.

Para el diseño de una microrred debemos de tener distintas consideraciones cómo son los componentes que conforman a la misma a continuación se presenta un listado de los principales equipos o partes que conforman un sistema de microrred típico:

2.2.1 EQUIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA.

Se entiende por un equipo de generación de energía a cualquier dispositivo o a su vez sistema que posee la capacidad de convertir una forma de energía como pueden ser: solar, eólica, química, térmica entre otras a energía eléctrica. Esta clase de equipos son de mucha ayuda para la producción de electricidad en distintos tipos de aplicaciones ya sean desde pequeños hogares hasta grandes industrias dependiendo del dimensionamiento y el tipo de equipo que se posea[11], [12].

Entre los distintos tipos de generación de energía podemos resaltar los siguientes:

- Generación de energía renovable: los cuales son principalmente conformados por paneles solares fotovoltaicos (PV), turbinas eólicas, microhidroeléctricas, sistemas de biomasa, como se puede observar en la **Figura 4**.
- Generación de respaldo: estos están conformados principalmente por motores de combustión internas o generadores de diésel esta clase de sistemas están principalmente enfocados en garantizar el suministro cuando las fuentes renovables no poseen los recursos para.
- Generación distribuida: principalmente se logra apreciar esta clase de generación en grandes industrias o empresas las cuales tienen múltiples unidades generadoras ubicadas muy cerca de las cargas de esta forma se reduce las pérdidas de distribución y transmisión en el proceso.



Figura 4
Tipos de energía renovables

Fuente: Economipedia – Energía Renovable (2019)

2.2.2 TIPOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍAS.

Nos referimos a almacenamiento de energía cuando se desea capturar o guardar energía producida en un momento dado para su uso posterior y de esta forma distribuirlo a las distintas cargas o demandas que posea el cliente. Cuando hablamos de sistemas de microrredes es un componente de mucha importancia en especial para los que dependen de fuentes de energía renovables como las mencionadas anteriormente ya que al no ser constante no se puede saber con certeza en qué momento podremos tener otra vez dicha generación y por ende es de suma importancia el almacenar la electricidad generada de las mismas[13].

El actual mercado posee distintos tipos de almacenamiento de energía los cuales poseen ventajas y desventajas dependiendo del sistema o equipo seleccionado a continuación se presenta distintas alternativas de almacenamiento con unas características fundamentales de cada uno:

Baterías:

- Iones de litio: este tipo de batería posee un extenso periodo de vida, gran densidad de energía y a su vez un tiempo de respuesta muy elevado son comúnmente utilizadas para aplicaciones de dispositivos electrónicos hasta almacenamientos a gran escala de red.
- Plomo-ácido: es la tecnología más antigua y menos costosa, pero posee una menor densidad de energía y a su vez de vida útil.
- Baterías de flujo: las mismas funcionan a partir de líquidos electroquímicos los cuales están almacenados en un tipo de tanque externo lo cual permite la generación de electricidad este tipo de batería es utilizada mayormente para almacenamientos en gran escala.

Las principales aplicaciones para este tipo de baterías son de almacenamiento residencial, comercial y en grandes proyectos de energía renovable.

Almacenamiento térmico:

Este tipo de almacenamiento está enfocado a la energía en forma de calor como ejemplo podemos incluir el almacenamiento de calor el cual es sensible al agua o sales fundidas y a su vez el almacenamiento de calor latente en materiales con un cambio de fase.

Su aplicación se ve enfocada mayormente en sistemas de calefacción, refrigeración y plantas de energía solar

Almacenamiento hidroeléctrico por bombeo:

La función principal de este tipo de almacenamiento es la de bombear agua a un reservorio elevado durante largos periodos de baja demanda y a su vez libera el mismo por medio de turbinas de esta forma generando electricidad cuando la demanda es mayor.

Podemos visualizar este tipo de almacenamiento cuando es a gran escala para poder estabilizar la propia red eléctrica pública y de esta forma lograr gestionar y administrar mejor los picos de demanda en el día.

Súpercondensadores:

Los súpercondensadores almacenan energía de forma electrostática por medio de un campo eléctrico lo cual permite una rápida carga y descarga del mismo podemos apreciar este tipo de aplicaciones principalmente para una rápida liberación de energía como lo puede ser la estabilización de una red eléctrica.

2.2.3 SISTEMA DE CONTROL Y GESTIÓN DE ENERGÍA (EMS)

Ese tipo de sistema de control y gestión está enfocado principalmente en supervisar, controlar y optimizar el uso de la energía tanto en la red pública como en nuestro caso presentado en un sistema de microrred. Estos sistemas son de mucha ayuda para poder asegurar la eficiencia al momento de la utilización del suministro energético generado ya que de esta forma podemos decidir qué cargas son más fundamentales que otras en nuestro sistema.

Entre los distintos tipos de sistemas de control y gestión de energía tenemos los dispositivos de hardware y software especializados en esta tarea los cuales supervisan y trabajan en conjunto para poder controlar y optimizar el uso correcto de la energía a continuación se presenta unos ejemplos de ellos:

- **Controladores lógicos programables (PLC):**

Estos son equipos de control industrial que suelen ejecutar tareas de automatización como son el monitoreo y control de equipos eléctricos. Los PLC reciben entradas de sensores y distintos dispositivos de medición que luego controlan salidas para de esta forma gestionar de mejor forma la generación, almacenamiento y futura distribución hacia las cargas.

- **Unidades de control de almacenamiento de energía:**

Principalmente se encargan de gestionar un proceso de carga y descarga de baterías o de otro tipo de sistema relacionado al almacenamiento de la energía generada. Estas monitorean el estado de la carga la salud de la propia batería y las condiciones en las cuales están operando para poder maximizar todos los aspectos de la misma.

- **Sensores y medidores inteligentes:**

Como su nombre lo dice se encargan de medir parámetros que son clave como son el voltaje, corriente, potencia, frecuencia y temperatura. Estos dispositivos principalmente nos proporcionarán datos necesarios para que nuestro sistema pueda tomar decisiones basadas en una mejor gestión de la energía hacia las cargas.

- **Inversores y convertidores de energía**

Estos son los más utilizados en el sistema fotovoltaico ya que convierte la energía de corriente continua (DC) de los paneles solares, baterías u otras fuentes hacia corriente alterna (AC), todo esto para poder ser utilizada por una red que alimentará las cargas los inversores también pueden ser regulados para una mejor calidad de la energía.

2.2.4 DEMANDA DE CARGA

Con respecto al contexto de una microrred entendemos el término de carga como un dispositivo, equipo o conjunto de dispositivos que tienen un alto consumo de energía eléctrica lo cual se puede representar como una demanda de energía dentro de la propia red por ello se puede proveer distintos tipos de fuentes a los hogares, edificios o industrias las cuales tienen un alto consumo eléctrico por distintas razones. Principalmente podemos apreciar tres tipos de cargas[14]:

Las cargas críticas:

Estas son equipos o sistemas que requieren un suministro eléctrico continuo y que presente pocas interrupciones en su proceso centradas principalmente para hospitales, centros de información o todo tipo de centros de emergencia.

Cargas no críticas:

Estas son cargas que pueden ser desconectadas temporalmente o que sus fallas pueden ser controlables y no tendrán una afectación significativa al momento de sus operaciones. Este tipo de carga son las más vistas en la actualidad ya que pueden ser para hogares, centros de diversión entre otras.

Cargas ajustables:

Están presentes en dispositivos cuyo consumo es más controlado o puede ser diferido según la disponibilidad de la energía eléctrica principalmente los vemos ejemplificados en sistemas de climatización o ciertos procesos industriales.

2.2.5 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN

En una microrred los dispositivos para la seguridad y protección están diseñados como una salvaguarda de la integridad total de los componentes electrónicos del sistema esto con la finalidad de garantizar una operación segura y completa del sistema. Dependiendo de los equipos estos pueden proteger contra fallas eléctricas, sobrecargas, cortocircuitos entre otro tipo de daños lo cual nos previene de interrumpir el suministro energético y a su vez proteger el sistema y su integridad en la totalidad.

En esta clase de sistema se puede prevenir distintas fallas que pueden darse o en su defecto proteger el sistema de otros inconvenientes externos se busca principalmente tener una protección de tipo:

- Protección de Sobre corriente
- Protección Contra Sobretensiones
- Protección de Tierra y Fallos a Tierra
- Protección de Frecuencia
- Protección de Inversores y Convertidores
- Sistemas de Aislamiento y Desconexión

Para nuestro caso de estudio nos podemos centrar más en la protección a partir de los dispositivos nombrados como inversores y convertidores los cuales son relés de protección específicos para proteger el sistema de daños debido a condiciones externas como armónicos, distorsión de señales, variación de detención y frecuencia.

2.2.6 CONEXIÓN CON LA RED PRINCIPAL

Por último, tenemos la conexión que nuestro sistema tendrá hacia la red principal de CNEL el cual dependiendo de nuestro sistema se ajustará por medio de inversores y convertidores los cuales podrán generar una corriente tipo DC a AC y de esa forma nos permitirá la inyección de la energía a la red principal. Existen otro tipo de métodos los cuales son por medio de transformadores o sistemas de conmutación que tienen la misma finalidad, pero para distintos niveles de tensión.

2.3 ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA HORA SOLAR PICO EN UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Al momento de hablar de la HSP sabemos que este es una forma más eficiente de saber la cantidad de energía solar que nuestro proyecto o instalación a proveer de un sistema fotovoltaico podrá captar en un día. Se puede definir a este concepto como el número de horas durante los cuales la irradiación solar impacta en una cierta zona designada. Para poder determinar la hora solar pico de nuestro proyecto tenemos que tener en cuentas distintos aspectos:

- La HSP puede cambiar según nuestra ubicación geográfica
- La HSP depende de igual forma de las condiciones climáticas

2.3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL HSP

Por otro lado, también tenemos distintos factores los cuales pueden beneficiar o de igual forma afectar al tiempo de hora solar pico que tengamos en nuestro sistema los cuales pueden ser **Figura 5**:

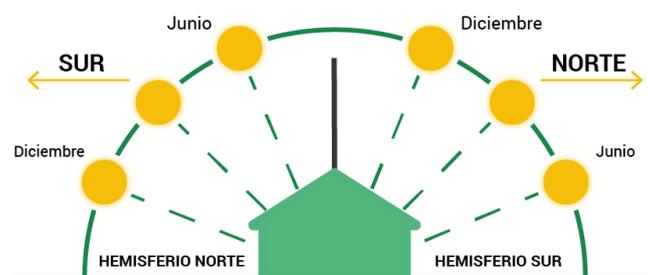


Figura 5

Posición geográfica para la ubicación de paneles solares

Fuente: AutoSolar – Como calcular la inclinación de un panel solar (2021)

Latitud y longitud:

Cuando nos referimos a estos aspectos de latitud y longitud tenemos que tener en cuenta que ante la hora solar pico este término tiende a ser mayor en distintos tipos de regiones cercanas al Ecuador.

Estación del año:

Con respecto a la estación del año generalmente afecta mayormente al sistema dependiendo de la inclinación del eje terrestre de igual forma todo esto varía con respecto al punto geográfico en que nos encontremos.

Condiciones atmosféricas:

Las condiciones atmosféricas son un aspecto muy crucial al momento de la instalación y ubicación de nuestros paneles debido a problemas que pueden significar el tener nubes, contaminación y la propia humedad que pueden recibir lo cual afecta a la HSP.

Inclinación y orientación del panel fotovoltaico:

Es muy importante saber los parámetros correctos para poder decidir la orientación de nuestro conjunto de paneles debido a que esto afectará en su totalidad a las horas solar pico que reciben nuestros paneles con respecto a la luz solar.

2.3.2 APLICACIÓN DEL HSP EN UN SISTEMA PV

- **Dimensionamiento de sistema fotovoltaico:** Por medio HSP podremos tener de forma más clara la producción diaria de energía que tendrá nuestro sistema fotovoltaico. El proceso a seguir es simple solo debemos multiplicar la potencia nominal de nuestro sistema por cada hora solar pico en la ubicación geográfica y de esta forma obtendremos la energía diaria en kilovatios hora que el sistema podrá generar.
- **Rendimiento del sistema fotovoltaico:** Con el correcto análisis de las horas solares pico podremos saber en qué épocas del año habrá mayor o menor rendimiento del sistema por ello se puede optimizar con respecto a esto la inclinación de los paneles o aplicaciones para automatizar el seguimiento solar y de esta forma se maximizará la captación de luz solar en el período del día.

- **Evaluación Económica del sistema fotovoltaico:** Por último, por medio del conocimiento de la HSP se puede realizar una estimación económica más precisa de nuestro sistema ya que la generación de energía estimada se ve influenciada directamente a los cálculos de inversión y ahorre facturas a futuro para el proyecto.

2.4 ÁNGULO ACIMUT PARA LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Se entiende como el ángulo de azimut al ángulo medido desde el plano horizontal en la proyección de la línea desde un observador hasta el propio objetivo para nuestro caso estudio dicho objetivo será un panel solar, y una línea de referencia que normalmente se lo toma como el norte geográfico[15].

Direcciones de las mediciones:

- 0° (o 360°): Norte geográfico.
- 90° : Este.
- 180° : Sur.
- 270° : Oeste.

De acuerdo a las mediciones dadas anteriormente podemos dar como ejemplo que un panel solar orientado hacia el sur tendrá un acimut de 180 grados mientras que otro orientado hacia el este tendrá un acimut de 90 grados **Figura 6**.



Figura 6

Ángulo óptimo para la ubicación de los paneles solares

Fuente: AutoSolar – Orientación e inclinación de los paneles solares (2020)

2.4.1 OPTIMIZACIÓN DE CAPTURA DE SOL

Una de las principales ventajas de la comprensión del acimut es la correcta orientación de los paneles solares de acuerdo al ángulo óptimo para poder de esta forma maximizar la captación de energía solar.

2.4.2 CORRECCIONES DE LAS VARIACIONES ESTACIONALES

Se entiende que durante las diferentes estaciones del año el sol se posiciona en el cielo de distintas formas por ello si tenemos un acimut fijo en nuestro sistema no será lo más ideal para la correcta captación de energía solar por ello el correcto análisis de dicho ángulo es crucial al momento de tener variaciones estacionales y con ello cambiar el ángulo de posición inicial de nuestros paneles solares.

2.4.3 MEJORA DE LA EVALUACIÓN DE SOMBRAS

Con el análisis del acimut también logramos resolver un importante problema el cual es el evitar sombras proyectadas ya sea por estructuras cercanas como pueden ser edificios o árboles y de esta forma logramos reducir la afectación que pueden tener nuestros paneles solares y aumentar su eficiencia en su totalidad.

2.4.4 CÁLCULO DEL ÁNGULO DE ACIMUT

Como se ha mencionado anteriormente una de las ventajas de realizar el cálculo de ángulo de acimut es el poder determinar la orientación óptima de un panel solar lo cual dependerá de distintos parámetros como pueden ser la posición del sol que puede variar dependiendo de la hora del día a continuación se muestran los parámetros necesarios para poder realizar el cálculo adecuado del acimut:

- Latitud del lugar (ϕ): Latitud geográfica del sitio donde se encuentra el panel.
- Longitud del lugar (λ): Longitud geográfica del sitio.
- Hora solar (ts): Hora solar verdadera del lugar.
- Declinación solar (δ): Ángulo entre los rayos solares y el plano del ecuador terrestre, que varía según la fecha del año.
- Ángulo horario (h): Es la diferencia entre el mediodía solar y la hora solar actual, medido en grados.

Fórmulas utilizadas:

1.- Declinación Solar (δ):

$$\delta = 23.75^\circ * \sin\left(\frac{360^\circ}{365} * (284 + N)\right)$$

Ecuación 1

Ecuación de la declinación solar

Dónde:

N es el número de días desde el 1 de enero.

2.- Ángulo Horario (h):

$$h = 15^\circ * (t_s - 12)$$

Ecuación 2

Ecuación del ángulo horario

Dónde:

t_s es la hora verdadera

3.- Altitud Solar (α):

$$\sin(\alpha) = \sin(\delta) * \sin(\phi) + \cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(h)$$

Ecuación 3

Ecuación de la altitud solar

Dónde:

α es el ángulo de elevación del sol

4.- Ángulo de acimut (A_z):

$$\sin(A_z) = \frac{\cos(\delta) * \sin(h)}{\cos(\alpha)}$$

$$\cos(A_z) = \frac{\sin(\alpha) * \sin(\phi) - \sin(\delta)}{\cos(\alpha) * \cos(\phi)}$$

Ecuación 4

Ecuación del ángulo de acimut

El ángulo de acimut A_z se obtiene resolviendo estas ecuaciones. Dependiendo del cuadrante en que se encuentra el sol, la fórmula del acimut se ajusta:

- Si $h < 0$ (mañana): $A_z = 180^\circ - \text{atan2}(\sin(A_z), \cos(A_z))$
- Si $h < 0$ (mañana): $A_z = 180^\circ + \text{atan2}(\sin(A_z), \cos(A_z))$

2.4.5 SOFTWARE ESPECIALIZADO

Para la mayoría de los proyectos solares, el cálculo preciso del acimut se realiza mediante software especializado, como Pvsyst, SAM (System Advisor Model), o aplicaciones en línea que ya tienen incorporadas estas fórmulas y pueden hacer los cálculos según las coordenadas específicas y la fecha como se observa en la **Figura 7**.

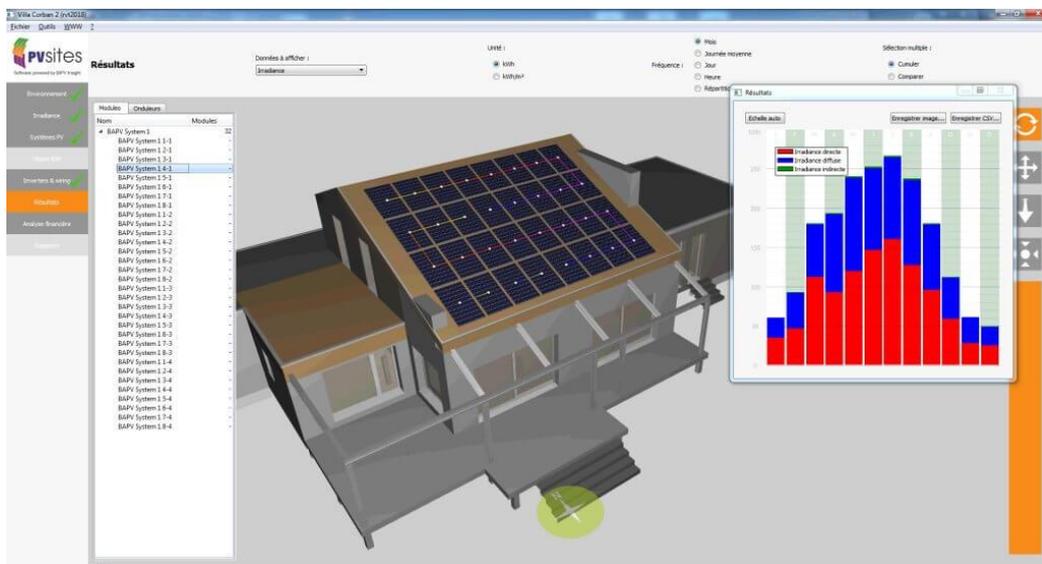


Figura 7

Software Pvsyst especializado para cálculos de paneles fotovoltaicos

Fuente: Software - Pvsyst

2.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS Y SU CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA PÚBLICA

Para nuestro caso de estudio se tiene un sistema de paneles solares o sistema fotovoltaico el cual genera electricidad a partir de la energía solar captada. Dicho sistema se encuentra interconectado con la red eléctrica pública de esta forma este nos permite que la energía generada por los paneles solares sea utilizada al momento por

cualquier carga generada en el hogar y cualquier excedente se pueda derivar a la red eléctrica pública.

Entre las principales partes que componen a nuestro sistema fotovoltaico podemos apreciar los siguientes:

- Generación de energía o paneles solares
- Inversor
- Carga o consumo interno
- Interconexión con la red
- Medición y facturación de consumo

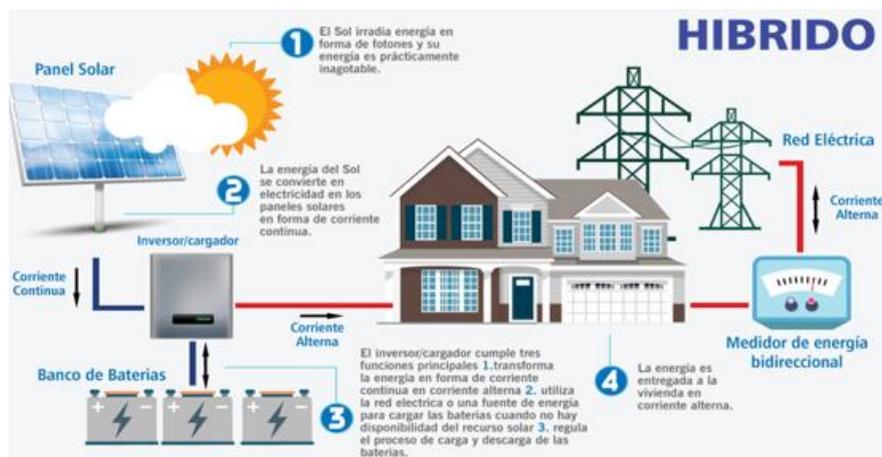


Figura 8

Sistema fotovoltaico híbrido con medición bidireccional

Fuente: EnergiaSolar - Ejemplo gráfico de un sistema de energía solar híbrido

Una vez instalado el sistema de conexión a la red pública podríamos obtener distintas ventajas ya sean económicas debido a que el usuario puede reducir significativamente el consumo de electricidad inyectado a la red utilizando su propio sistema de generación fotovoltaico. A su vez reduce la huella de carbono como una solución ambiental al poder generar electricidad por medio de una fuente renovable lo cual reduce la dependencia de combustible. Por último, gracias a este tipo de configuración el usuario no será dependiente de la red eléctrica pública en caso de haber cortes energéticos y tendrá una alternativa o reserva de energía eléctrica ante dichas situaciones.

Finalmente podemos recalcar los beneficios y desafíos planteados para este sistema los cuales son:

Beneficios:

- Ahorro energético de la red pública por ende ahorro en costos
- Una gran contribución a la sostenibilidad ambiental por medio de nuestro sistema
- Alternativa de potencial para poder generar ingresos o créditos energéticos por medio del proyecto

Desafíos

- Inversión inicial del sistema es relativamente alta
- Al ser un sistema fotovoltaico se tiene una dependencia de las condiciones climáticas
- Es necesario antes de plantear el proyecto un diseño y dimensionamiento adecuado para la carga estimada

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE UNA MICRORRED CON DIFERENTES TIPOS DE ALMACENAMIENTOS.

3.1.1 EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

- La caracterización de una microrred solar implica describir y analizar las propiedades y componentes esenciales de la microrred. Esto incluiría: Componentes principales, capacidad de generación, capacidad de almacenamiento, modo de operación, eficiencia.

Identificación de Cargas:

- Se debe elaborar una lista de todos los dispositivos eléctricos que se planea conectar a la microrred, incluyendo luces, electrodomésticos, etc.

Cálculo del Consumo Energético:

- Es necesario calcular cuánta energía consume cada dispositivo diariamente en kilovatios-hora (kWh).

Perfil de Consumo:

- Se debe crear un perfil de consumo energético que ayude a visualizar cómo varía el uso de energía a lo largo del día, la semana o el mes.

| Cuadro de carga vivienda 1 | | | | | |
|----------------------------|--------------|----------|---------------------|--------------------|-----------------|
| Equipo | Potencia (W) | Cantidad | Potencial Total (W) | Horas de Uso | Energía en Kw/h |
| Televisor 42" | 270 | 2 | 540 | 4 | 2160 |
| Nevera | 200 | 1 | 200 | 24 | 4800 |
| Microondas | 800 | 1 | 800 | 0,15 | 120 |
| Aspiradora | 1200 | 1 | 1200 | 0,3 | 360 |
| Focos | 11 | 10 | 110 | 5 | 550 |
| A/C | 877 | 2 | 1754 | 3 | 5262 |
| Cargador de celulares | 5 | 6 | 30 | 1,5 | 45 |
| Cargador de laptop | 60 | 2 | 120 | 1 | 120 |
| Licuadaora | 600 | 1 | 600 | 0,05 | 30 |
| Router | 25 | 1 | 25 | 24 | 600 |
| Potencia Max | | | 5379 | Energía Max Diaria | 14047 |

Tabla 1

Cuadro de cargas para las muestras de viviendas

| Cuadro de carga vivienda 2 | | | | | |
|----------------------------|--------------|----------|---------------------|--------------------|-----------------|
| Equipo | Potencia (W) | Cantidad | Potencial Total (W) | Horas de Uso | Energía en Kw/h |
| Televisor 36" | 175 | 2 | 350 | 2 | 700 |
| Televisor 42" | 190 | 1 | 190 | 2 | 380 |
| Nevera | 200 | 1 | 200 | 24 | 4800 |
| Microondas | 800 | 2 | 1600 | 0,15 | 240 |
| PS5 | 120 | 1 | 120 | 2 | 240 |
| Focos | 9 | 20 | 180 | 5 | 900 |
| A/C | 877 | 1 | 877 | 3 | 2631 |
| Cargador de celulares | 5 | 3 | 15 | 1,5 | 22,5 |
| Cargador de laptop | 60 | 2 | 120 | 1 | 120 |
| Lavadora | 500 | 1 | 500 | 1 | 500 |
| Licuadaora | 600 | 2 | 1200 | 0,05 | 60 |
| Tostadora | 950 | 1 | 950 | 0,05 | 47,5 |
| Ventiladores | 90 | 3 | 270 | 2 | 540 |
| Radio | 30 | 2 | 60 | 1 | 60 |
| Alexa | 4 | 1 | 4 | 24 | 96 |
| Router | 25 | 2 | 50 | 24 | 1200 |
| | Potencia Max | | 6686 | Energía Max Diaria | 12537 |

Tabla 2

Cuadro de cargas para las muestras de viviendas

Fuente: Autores

Las siguientes tablas corresponden al cuadro de carga de dos viviendas de muestra.

3.1.2 ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR

Recolección de Datos de Insolación:

- Es importante investigar los datos de irradiación solar (en kWh/m²/día) específicos de la ubicación donde se instalará la microrred. Estos datos pueden obtenerse de fuentes meteorológicas locales o herramientas en línea especializadas como en la **Figura 9**.

3.1.3 DIMENSIONAMIENTO DE PANELES SOLARES

Cálculo de la Energía Necesaria:

- Se debe determinar cuánta energía necesita generar el sistema solar para cubrir el consumo diario. Esto se calcula dividiendo el consumo energético diario total por la irradiación solar disponible.

$$\text{Energía real diaria} = \frac{\text{Energía máxima diaria}}{\text{Eficiencia del inversor}} = \frac{27371.5}{0.96} = 28511.98 \text{ KWh}$$

Ecuación 5

Cálculo de energía necesaria para el sistema

Para nuestro caso se necesita producir 28511.98 KWh

Determinación del Número de Paneles:

- Basándose en la energía necesaria y la potencia de cada panel solar, se determina cuántos paneles son necesarios. Por ejemplo, si un panel genera 300W y se necesitan 3 kWh al día, se calcula cuántos paneles se requieren para alcanzar ese objetivo.

$$\text{Corriente max diaria} = \frac{\text{Energía real diaria}}{\text{Tensión del sistema}} = \frac{28511.98}{48} = 593.99 \text{ AMP/h}$$

$$\# \text{ de paneles en paralelo} = \frac{\text{Corriente max diaria}}{\text{HSP} * \text{Corriente nomi}} = \frac{593.99}{45.9382} = 13$$

$$\# \text{ de paneles en paralelo} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje del panel}} = \frac{48 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 2$$

Ecuación 6

Dimensionamiento del número de paneles

3.1.4 DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS

Definición de la Autonomía:

- Es necesario decidir cuántos días debe poder funcionar el sistema sin sol (autonomía). Esto es importante para los días nublados o de baja insolación.

Cálculo de la Capacidad del Banco de Baterías:

- La capacidad total de las baterías se calcula multiplicando el consumo diario por los días de autonomía deseados, lo que dará la capacidad en kWh que se necesita almacenar[16], [17].

Número de Baterías:

- Basándose en la capacidad individual de las baterías, se calcula cuántas baterías se necesitan para alcanzar la capacidad total requerida.

3.1.5 DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR

Cálculo de la Potencia Pico:

- El inversor debe ser capaz de manejar la potencia máxima que pueden consumir simultáneamente los dispositivos conectados. Para ello, se suma la potencia de todos los dispositivos que podrían estar en uso al mismo tiempo.

Selección del Tipo de Inversor:

- Se debe seleccionar un inversor que pueda proporcionar una onda sinusoidal pura, adecuada para la mayoría de los equipos electrónicos sensibles.

3.2 CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO

3.2.1 CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO

Para poder dar inicio a la configuración correcta del proyecto se debe primero ingresar detalles básicos en el software de Homer Pro cómo pueden ser el nombre el cual vamos a designar para la simulación y a su vez la ubicación geográfica la cual está representada por estas coordenadas como se realizó en la **Figura II**: (-2.1333516 y -79.8968117)[18], [19], [20], [21].

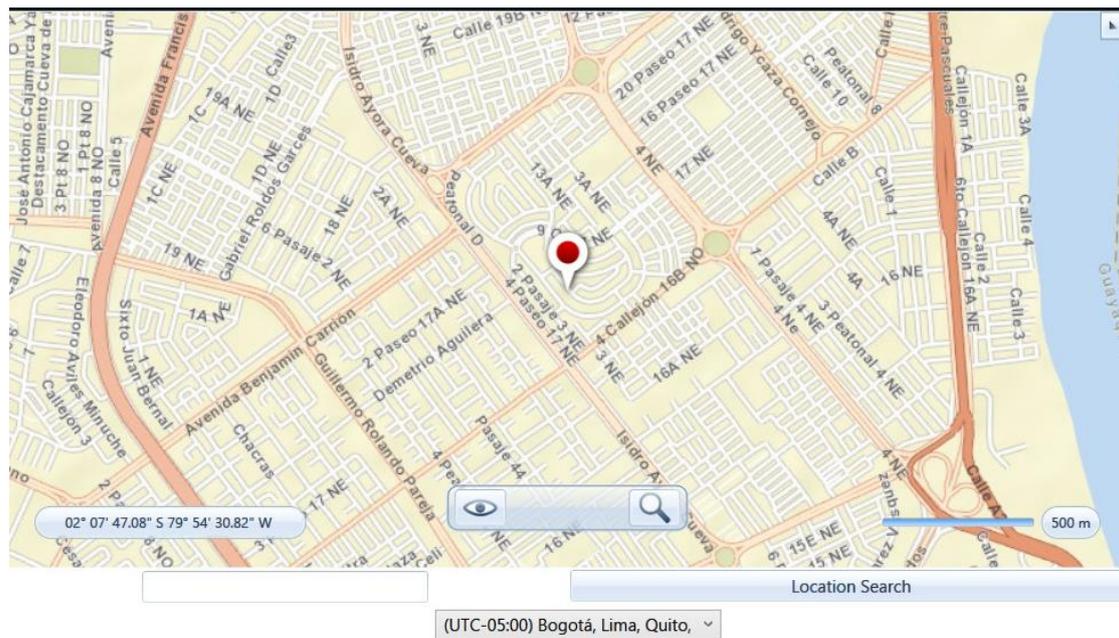


Figura 11

Imágenes tomadas del software Homer Pro para la ubicación geográfica

Fuente: Autores

Para poder realizar una simulación más exacta se debe ingresar las coordenadas dentro del software Homer Pro.

3.2.2 DEFINICIÓN DEL PERFIL DE CARGA

Carga eléctrica:

- Ingresar el perfil de demanda eléctrica del lugar. Esto puede incluir cargas diarias, semanales o mensuales. Se pueden cargar datos históricos si están disponibles, o definir un perfil de carga manualmente basado en estimaciones además de poder usar los datos de temperatura históricos, como se puede observar en la **Figura 12**.

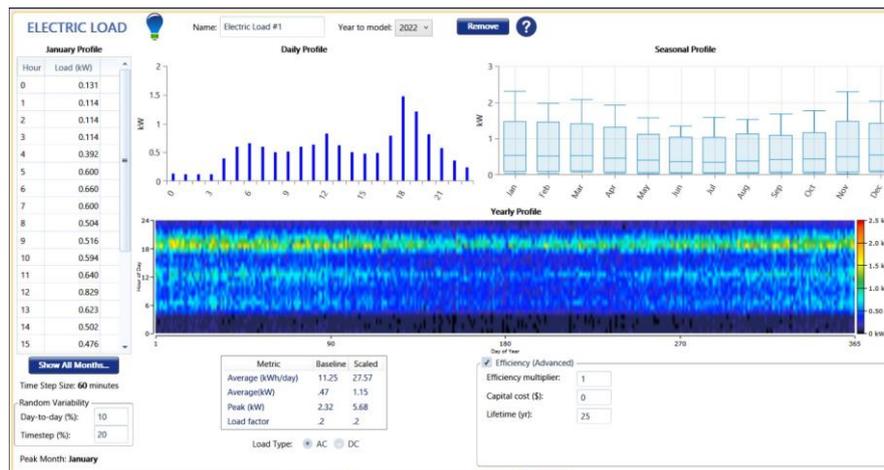


Figura 12

Caracterización de la carga en el software Homer Pro

Fuente: Autores

En la imagen podemos observar los diferentes tipos de perfiles de nuestra carga: diario, mensual y anual.

3.2.3 CONFIGURACIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS

Datos solares:

- Importar los datos de irradiancia solar del sitio específico. Estos datos se pueden obtener de fuentes como la base de datos NASA POWER, que se puede integrar directamente en Homer Pro, o se pueden cargar manualmente **Figura 13**.

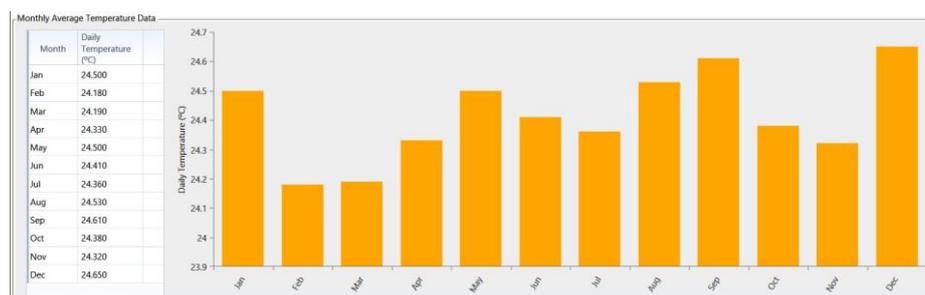


Figura 13

Datos solares del año 2021 - 2022

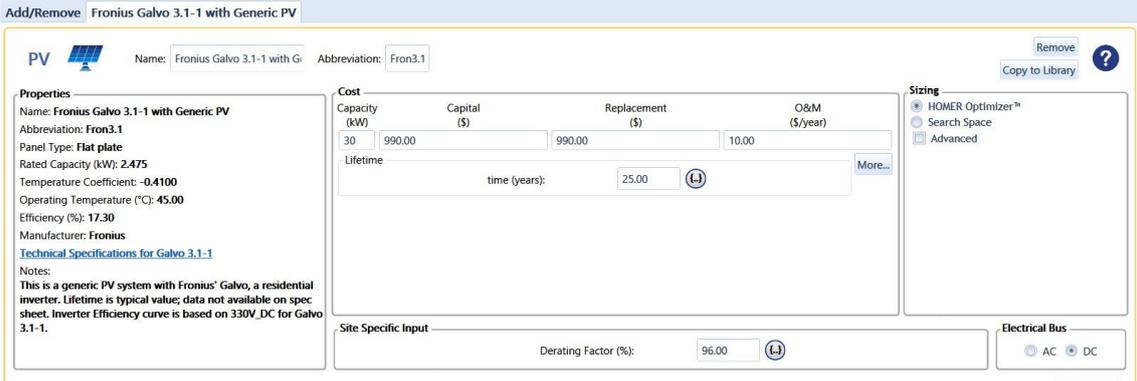
Fuente: Autores

En esta imagen se puede observar las diferentes temperaturas diarias y mensuales del año 2021-2022.

3.2.4 CONFIGURACIÓN DE COMPONENTES PARA EL SISTEMA

Paneles solares:

- Se debe seleccionar el correcto tipo de panel solar que se prevé utilizar para el proyecto de esta forma se debe especificar los parámetros como pueden ser la eficiencia, inclinación, orientación y la degradación anual del mismo **Figura 14**.



The screenshot shows the configuration window for a 'Fronius Galvo 3.1-1 with Generic PV' panel. The interface includes the following sections:

- Properties:** Name: Fronius Galvo 3.1-1 with Generic PV; Abbreviation: Fron3.1; Panel Type: Flat plate; Rated Capacity (kW): 2.475; Temperature Coefficient: -0.4100; Operating Temperature (°C): 45.00; Efficiency (%): 17.30; Manufacturer: Fronius.
- Cost:** Capacity (kW): 30; Capital (\$): 990.00; Replacement (\$): 990.00; O&M (\$/year): 10.00; Lifetime time (years): 25.00.
- Sizing:** Options include HOMER Optimizer™, Search Space, and Advanced.
- Site Specific Input:** Derating Factor (%): 96.00; Electrical Bus: AC (selected) or DC.

Figura 14

Configuración del panel solar Fronius Galvo 3.1-1

Fuente: Autores

En la imagen podemos observar la pestaña de configuración de nuestro panel solar en donde se introducen parámetros como el costo, operación y mantenimiento, costo de reemplazo y capacidad.

Baterías:

- Escogemos el correcto modelo o tipo de batería que se requiera para el sistema a simular de igual forma especificando parámetros como capacidad, voltaje, eficiencia de carga/ descarga y vida útil **Figura 15, Figura 16, Figura 17**.
- Se debe mostrar los 3 tipos de baterías a seleccionar:

STORAGE Name: BAE SECURA SOLAR 6 PVS Abbreviation: BAE 6 P

Properties
Kinetic Battery Model
 Nominal Voltage (V): 2
 Nominal Capacity (kWh): 1.61
 Maximum Capacity (Ah): 806
 Capacity Ratio: 0.15
 Rate Constant (1/hr): 4.18
 Roundtrip efficiency (%): 95
 Maximum Charge Current (A): 272
 Maximum Discharge Current (A): 831
 Maximum Charge Rate (A/Ah): 1

| Quantity | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$/year) |
|----------|--------------|------------------|---------------|
| 1 | 2,328.00 | 2,328.00 | 10.00 |

Site Specific Input
 String Size: 1 Voltage: 2 V
 Initial State of Charge (%): 100.00
 Minimum State of Charge (%): 35.00

Figura 15

Configuración de la batería BAE SECURA 900

Fuente: Autores

En la imagen podemos observar la pestaña de configuración de nuestra batería de plomo acido en donde se introducen parámetros como el costo, operación y mantenimiento, costo de reemplazo y capacidad.

STORAGE Name: Generic 1kWh Li-Ion [ASM] Abbreviation: LI ASM

Properties
Advanced Storage Battery Model
 Nominal Voltage (V): 3.7
 Nominal Capacity (kWh): 1.02
 Maximum Capacity (Ah): 276
 Capacity Ratio: 1
 Rate Constant (1/hr): 1
 Effective Series Resistance (ohms): 0.00036
 Other round-trip losses (%): 8
 Fixed bulk temperature (C): 20
 $1/N = A \cdot DOD^\beta$
 Cycle Life A: 0.000144
 Cycle Life beta: 1.79
 Estimated throughput (kWh): 2.43E+03
 $Capacity(T) = Capacity \cdot (d0 + d1 \cdot T + d2 \cdot T^2)$
 Capacity(Temperature) d0: 0.923
 Capacity(Temperature) d1: 0.00345
 Capacity(Temperature) d2: -3.75E-05
 $kt = B \cdot e^{-d \cdot (1/T)}$
 Arrhenius Degradation d: 0
 Arrhenius Degradation B: 2.28E-06
 Maximum Operating Temperature (C): 60
 Minimum Operating Temperature (C): 0
 Maximum Charge Current (A) 270
 Maximum Discharge Current (A) 810
 End of life determined by calendar or cycling degradation, whichever is greater

| Quantity | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$/year) |
|----------|--------------|------------------|---------------|
| 5 | 3,500.00 | 3,500.00 | 0.00 |

Site Specific Input
 Initial State of Charge (%): 100.00
 Minimum State of Charge (%): 20.00
 Replacement degradation limit (%): 30.00
 String Size: 1 Voltage: 3.7 V
 Consider temperature effects?

Figura 16

Configuración de la batería Generic 1kWh Li-Ion [ASM]

Fuente: Autores

En la imagen podemos observar la pestaña de configuración de nuestra batería de Ion litio en donde se introducen parámetros como el costo, operación y mantenimiento, costo de reemplazo y capacidad.

STORAGE Name: Generic Vanadium Flow Abbreviation: Flow

Properties
Idealized Battery Model
Nominal Voltage (V): 50

Cost

| Capacity (kW) | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$/year) |
|---------------|--------------|------------------|---------------|
| 1 | 5,000.00 | 1,000.00 | 100.00 |

Lifetime: time (years): 15.00

Cost

| Capacity (kWh) | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$/year) |
|----------------|--------------|------------------|---------------|
| 1 | 200.00 | 200.00 | |

Lifetime: time (years): 15.00

Variable O&M Cost (\$/kWh throughput): 0.0050

Site Specific Input
Initial State of Charge (%): 100.00
Minimum State of Charge (%): 20.00

homerenergy.com

The Idealized Power-Capacity storage model is intended to simulate certain kinds of storage systems that allow users to size energy and power independently. The nominal voltage, max charge rate, max charge current, max discharge current, min. state of charge, and conventional lifetime inputs are disabled for this storage type.

Figura 17

Configuración de la batería Generic Valadium Flow

Fuente: Autores

En la imagen podemos observar la pestaña de configuración de nuestra batería de flujo de vanadio en donde se introducen parámetros como el costo, operación y mantenimiento, costo de reemplazo y capacidad.

Inversores:

- Configurar los inversores que se necesitan para el sistema y controladores de carga con los parámetros de eficiencia, capacidad y configuración operativa **Figura 18**.

CONVERTER Name: Ideal Power Grid-Resilient Abbreviation: Ideal30

Properties
Name: Ideal Power Grid-Resilient 30kW
Abbreviation: Ideal30kW
Data Sheet for 30kW Converter

Notes:
Grid-forming and grid-following: Can convert AC/DC/AC to serve off-grid and grid-tied applications and to integrate solar and storage.
Power Packet Switching Architecture also provides transformerless insulation, reduces weight and size compared to conventional PV and battery solutions, and therefore lowers installation costs.
Converter nameplate rating of 30kW supports 480V AC / 60 Hz 3-phase North American grid standards, For 400 V AC / 50Hz 3-phase outside, nameplate rating is 25kW

Costs

| Capacity (kW) | Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$/year) |
|---------------|--------------|------------------|---------------|
| 30 | \$3,000.00 | \$3,000.00 | \$15.00 |

Click here to add new item

Multiplier:

Inverter Input
Lifetime (years): 25.00
Efficiency (%): 96.00

Rectifier Input
Relative Capacity (%): 100.00
Efficiency (%): 96.00

Parallel with AC Generator?

Capacity Optimization
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 Advanced

Figura 18

Configuración del inversor Ideal Power Grid-Resilient 30kW

Fuente: Autores

En la imagen podemos observar la pestaña de configuración de nuestra batería de flujo de vanadio en donde se introducen parámetros como el costo, operación y

mantenimiento, costo de reemplazo y capacidad eficiencia del inversor y tiempo de vida.

Costos de Capital y Operación:

- Ingresar los costos iniciales de instalación para cada componente, así como los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto.

Costos del Combustible:

- Definir el costo del combustible para los generadores de respaldo, incluyendo la variación esperada a lo largo del tiempo.

3.2.5 DEFINICIÓN DE LAS RESTRICCIONES Y REGLAS DE OPERACIÓN:

Estrategias de Control:

- Configurar cómo se operarán los diferentes componentes, incluyendo las prioridades de uso de energía renovable sobre los generadores de respaldo

Figura 19.

The screenshot shows the HOMER Controller configuration interface. At the top, it displays 'CONTROLLER' with a gear icon, and fields for 'Name: HOMER Load Following' and 'Abbreviation: LF'. Below this is a 'CAPABILITIES' table with columns for Component, Min Qty, Max Qty, and Bus. The table lists various components and their settings. To the right is a 'Cost' section with input fields for Capital (\$), Replacement (\$), O&M (\$/year), and Lifetime time (years). There are also checkboxes for operational rules.

| Component | Min Qty | Max Qty | Bus |
|---------------|---------|---------|----------|
| Generator | 0 | 20 | AC or DC |
| Storage | 0 | 10 | DC |
| PV | 0 | 10 | AC or DC |
| WindTurbine | 0 | 2 | AC or DC |
| Converter | 0 | 1 | AC or DC |
| Boiler | 0 | 1 | Thermal |
| Hydroelectric | 0 | 1 | AC or DC |
| Hydrokinetic | 0 | 1 | AC or DC |
| Reformer | 0 | 1 | Hydrogen |
| Electrolyzer | 0 | 1 | AC or DC |
| HydrogenTan | 0 | 1 | Hydrogen |
| Grid | 0 | 1 | AC |
| ThermalLoadC | 0 | 1 | AC |

| Capital (\$) | Replacement (\$) | O&M (\$/year) |
|--------------|------------------|---------------|
| 1,000.00 | 1,000.00 | 0.20 |

Lifetime time (years): 25.00

Allow diesel-off Operation
 Allow generators to operate simultaneously
 Allow systems with generator capacity less than peak load

Figura 19

Datos del controlador según las especificaciones técnicas

Fuente: Autores

La pestaña de configuración del controlador nos permite seleccionar los diferentes tipos de controles que se pueden llevar, además de colocar los diferentes parámetros ya nombrados como el costo.

Restricciones del sistema:

- Definir restricciones como el nivel mínimo de carga de las baterías, la capacidad de reserva, y las limitaciones de operación de los generadores.

Esta metodología asegura que se ingresen todos los parámetros necesarios de manera precisa, permitiendo que Homer Pro simule con exactitud el comportamiento del sistema y ayude a tomar decisiones informadas para el diseño de la microrred.

3.3 DETALLE ESQUEMÁTICO BASE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

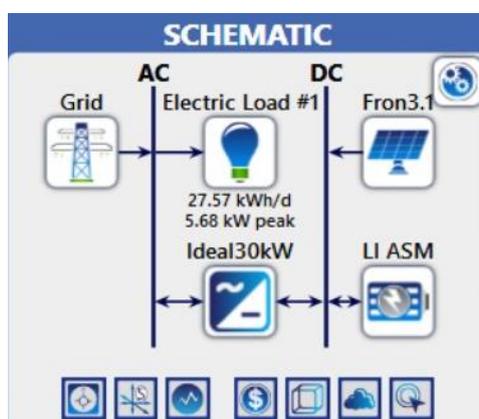


Figura 20

Esquema general del modelo con almacenamiento

Fuente: Autores

Al dar inicio al primero modelo de simulación se añaden distintos componentes los cuales serán necesarios para el modelo de un sistema fotovoltaico el cual está conformado por:

- **GRID:** es la red principal pública (CNEL) la cual estará conectada a la carga simulada del sistema.
- **Electric Load #1:** la cual es la carga que demandará el sistema.
- **Ideal 30 kW:** es el inversor necesario para pasar de corriente DC a AC.
- **Fron 3.1:** son todos los módulos fotovoltaicos necesarios para el sistema fotovoltaico.
- **LI ASM:** es el sistema de almacenamiento o banco de baterías que cambia con respecto a las tres simulaciones presentadas en el documento.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS OBTENIDOS.

4.1 EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN CON ALMACENAMIENTO DE “ION - LITIO”

4.1.1 SUMARIO DE COSTOS

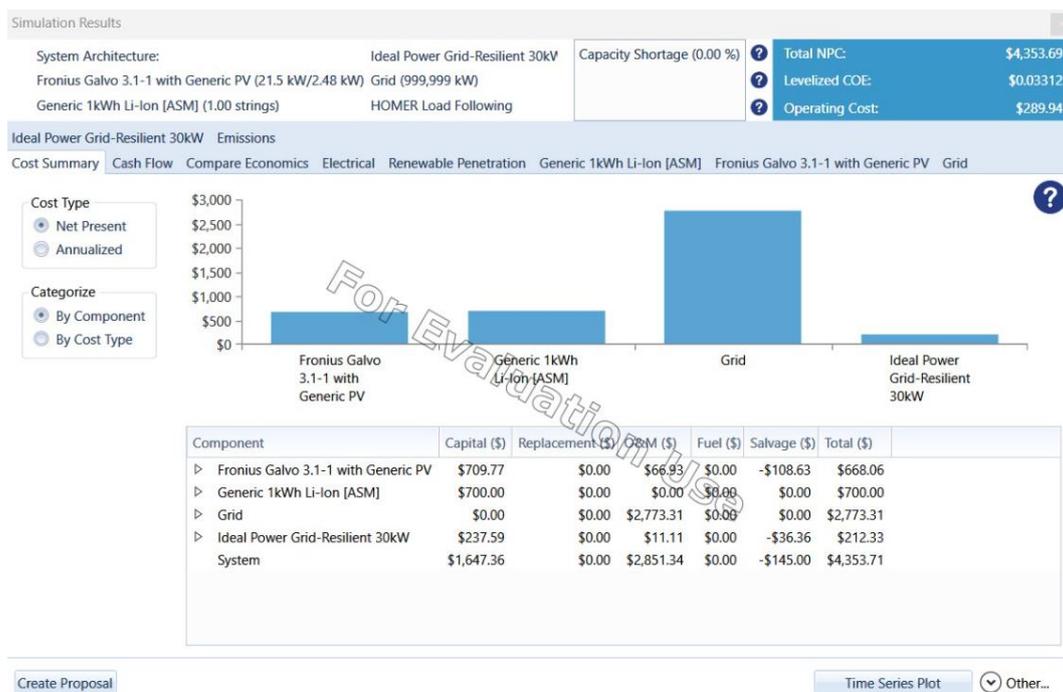


Figura 21

Gráfica de costos de los componentes

Fuente: Autores

En la imagen podemos apreciar los distintos componentes o equipos seleccionados para el sistema fotovoltaico, en la cual se muestran los costos individuales de los equipos en la tabla de componentes, además se visualizan los costos de operación.

La suma de los costos de equipos y de operación nos da un total de: \$4353.71

4.1.2 DATOS OBTENIDOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA.



Figura 22

Gráfica de datos de generación eléctrica mensual

Fuente: Autores

Esta gráfica nos brinda el desglose de generación mensual en el transcurso del año, en adición se logra visualizar tablas con información acerca de la producción y consumo del sistema de generación.

Datos de Producción:

- **Fronius Galvo 3.1-1:** Se generó por medio del sistema fotovoltaico un total de: 9.417 kWh/year o un 65.1%
- **Grid Purchases:** Se adquirió una total energía por medio de la red pública de: 5.004 kWh/year o un 34.9%.

Datos de Consumo:

- **AC Primary Load:** El consumo energético de nuestro sistema tiene un total de: 10.063 kWh/year o un 71.5%
- **Grid Sales:** Es la cantidad de energía que se inyectara a la red que tiene un total de: 4.021 kWh/year o un 28.5%.

4.1.3 INFORMACIÓN DEL FLUJO DE CAJA

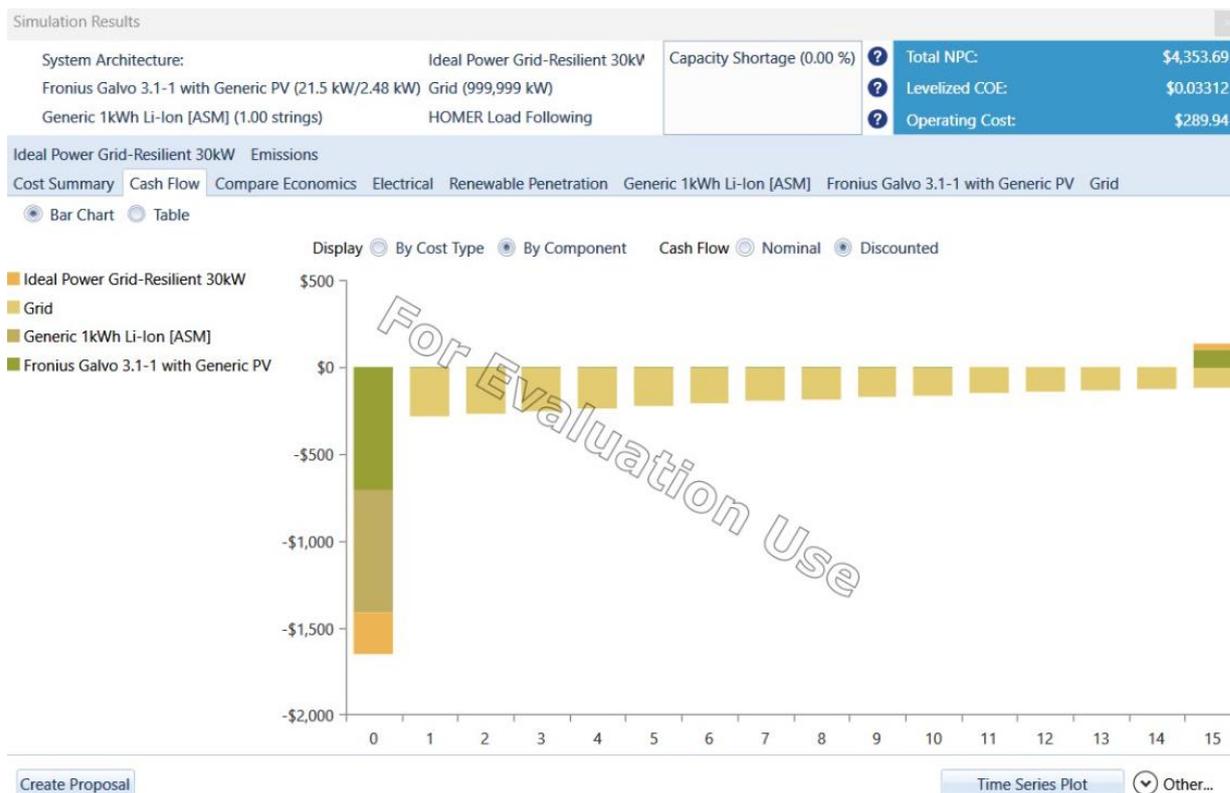


Figura 23

Gráfica detallada del flujo del dinero con el paso de los años

Fuente: Autores

El flujo está presentado a lo largo del tiempo de vida del proyecto por ello podemos apreciar en el año cero un mayor flujo de dinero a diferencia del resto de años ya que esto representa la inversión que se requiere para poder sustentar los costos de compra y mantenimiento del sistema.

Con el paso de los años este bajara y se recupera poco a poco con la generación producida gracias al sistema financiado del año cero.

4.1.4 GRÁFICA PANEL SOLAR FRONIUS.

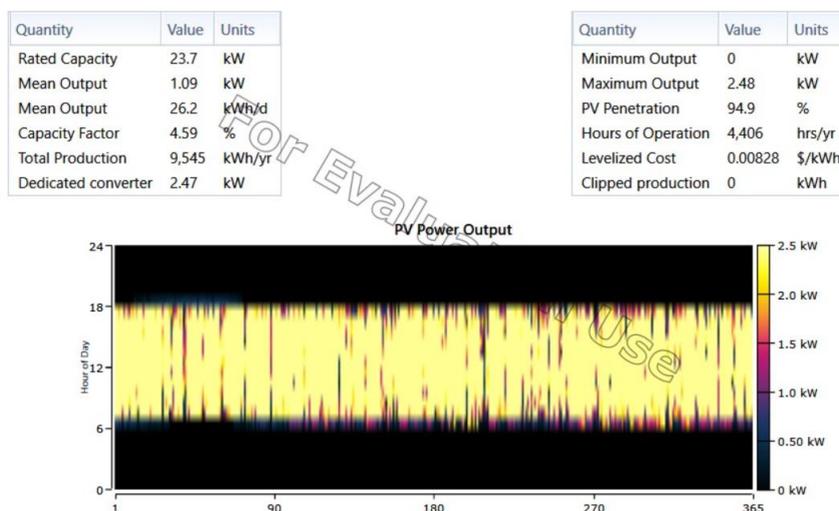


Figura 24

Gráfica detallada de las características del panel solar

Fuente: Autores

Se puede observar que tendremos una capacidad de 23.7 kW en el inversor y una producción total de 9.5 kWh/year además de una PV penetración de 94.9%, en la gráfica de pv power output podemos darnos cuenta que los picos de generación se encuentran entre 11 am y 1 pm y teniendo una producción que va desde 6 am a las 6 pm[22].

Se observa que el sistema cuenta con una capacidad instalada en el inversor de 23.7 kW y una producción total anual de 9.5 kWh/año. Además, se ha logrado una penetración fotovoltaica del 94.9%.

Al analizar la gráfica de salida de potencia fotovoltaica (PV Power Output), se puede notar que los picos de generación ocurren entre las 11:00 a.m. y la 1:00 p.m. La producción de energía comienza desde las 6:00 a.m. y se extiende hasta las 6:00 p.m., lo que indica que el sistema aprovecha al máximo las horas de luz solar disponibles.

4.2 EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN CON ALMACENAMIENTO DE “PLOMO - ACIDO”

4.2.1 SUMARIO DE COSTOS

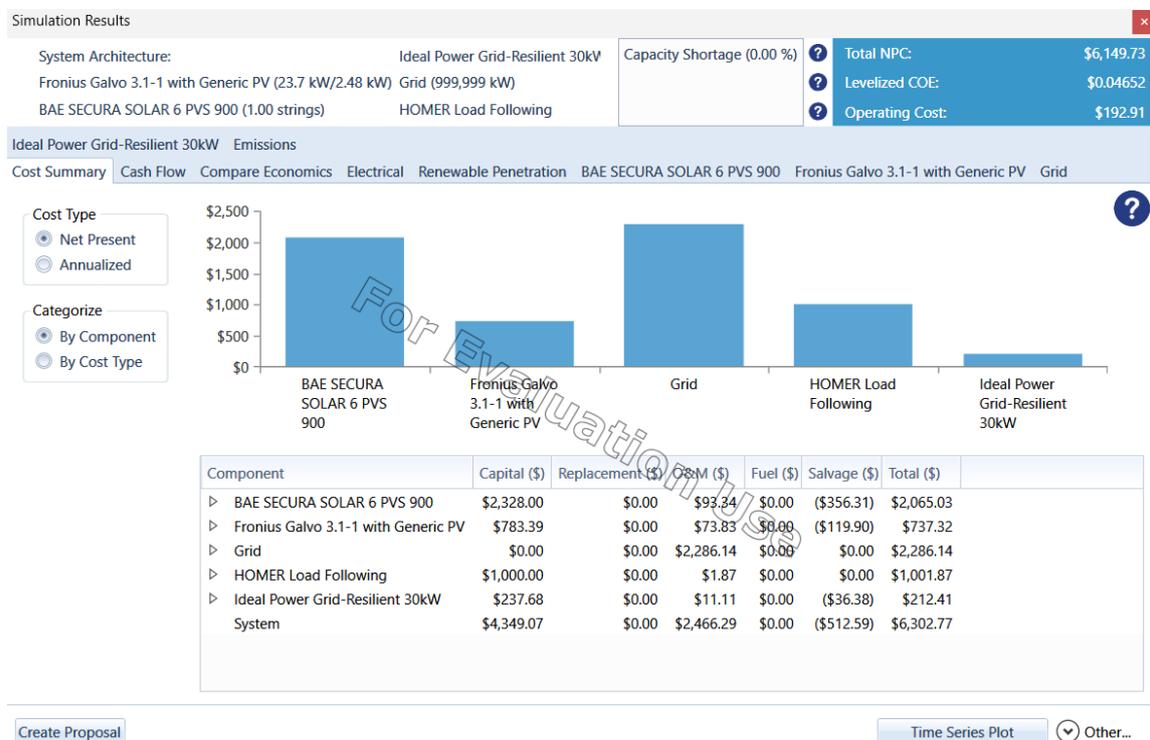


Figura 25

Gráfica de costos de los componentes

Fuente: Autores

En la imagen podemos apreciar los distintos componentes o equipos seleccionados para el sistema fotovoltaico, en la cual se muestran los costos individuales de los equipos en la tabla de componentes, además se visualizan los costos de operación.

La suma de los costos de equipos y de operación nos da un total de: \$6302.77

4.2.2 DATOS OBTENIDOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA.

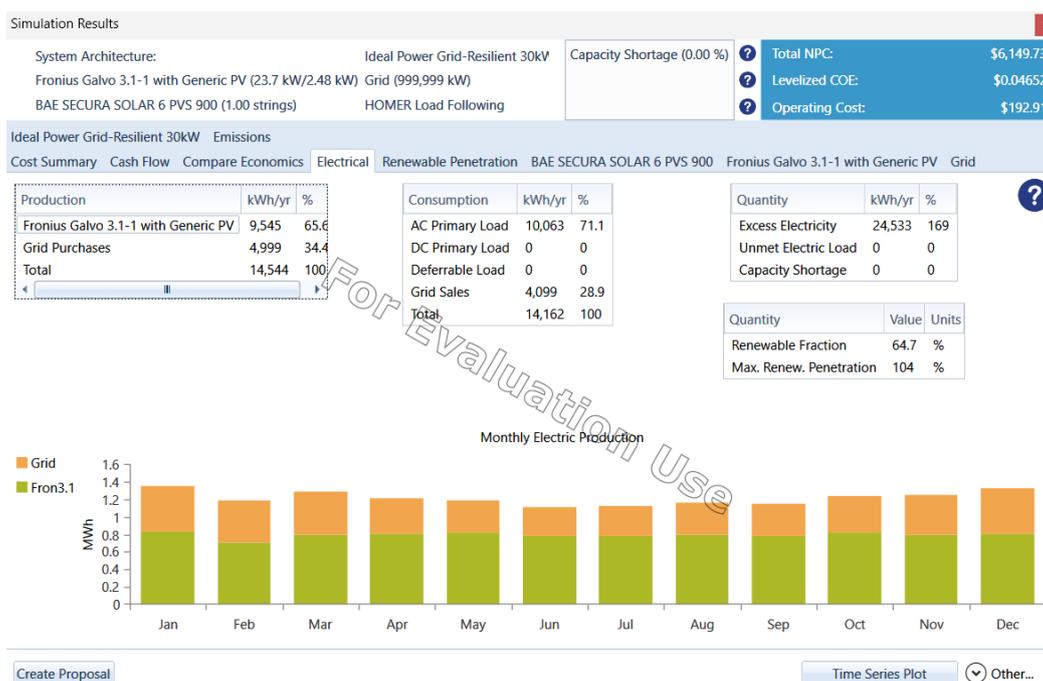


Figura 26

Gráfica de datos de generación eléctrica mensual

Fuente: Autores

Esta gráfica nos brinda el desglose de generación mensual en el transcurso del año, en adición se logra visualizar tablas con información acerca de la producción y consumo del sistema de generación.

Datos de Producción:

- **Fronius Galvo 3.1-1:** Se generó por medio del sistema fotovoltaico un total de: 9.545 kWh/year o un 65.6%
- **Grid Purchases:** Se adquirió una total energía por medio de la red pública de: 4.999 kWh/year o un 34.4%.

Datos de Consumo:

- **AC Primary Load:** El consumo energético de nuestro sistema tiene un total de: 10.063 kWh/year o un 71.1%
- **Grid Sales:** Es la cantidad de energía que se inyectara a la red que tiene un total de: 4.099 kWh/year o un 28.9%.

4.2.3 INFORMACIÓN DEL FLUJO DE CAJA

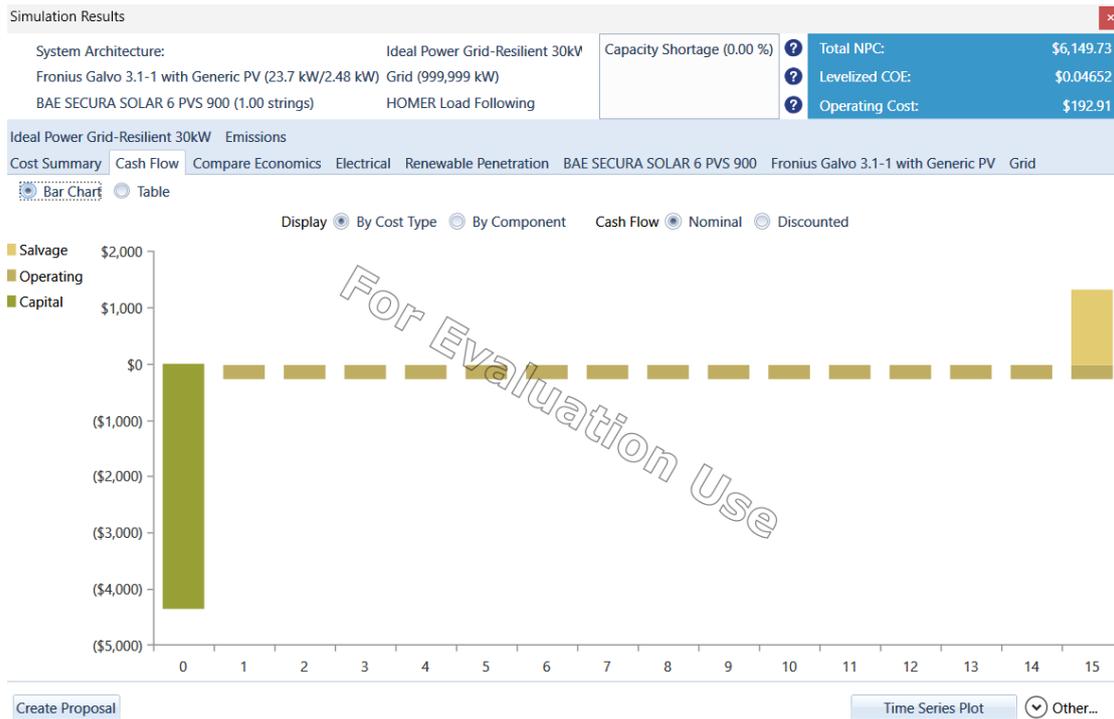


Figura 27

Gráfica detallada del flujo del dinero con el paso de los años

Fuente: Autores

El flujo está presentado a lo largo del tiempo de vida del proyecto por ello podemos apreciar en el año cero un mayor flujo de dinero a diferencia del resto de años ya que esto representa la inversión que se requiere para poder sustentar los costos de compra y mantenimiento del sistema.

Con el paso de los años este bajará y se recupera poco a poco con la generación producida gracias al sistema financiado del año cero.

4.3 EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN CON ALMACENAMIENTO DE “BATERÍA DE FLUJO DE VANADIO”

4.3.1 SUMARIO DE COSTOS

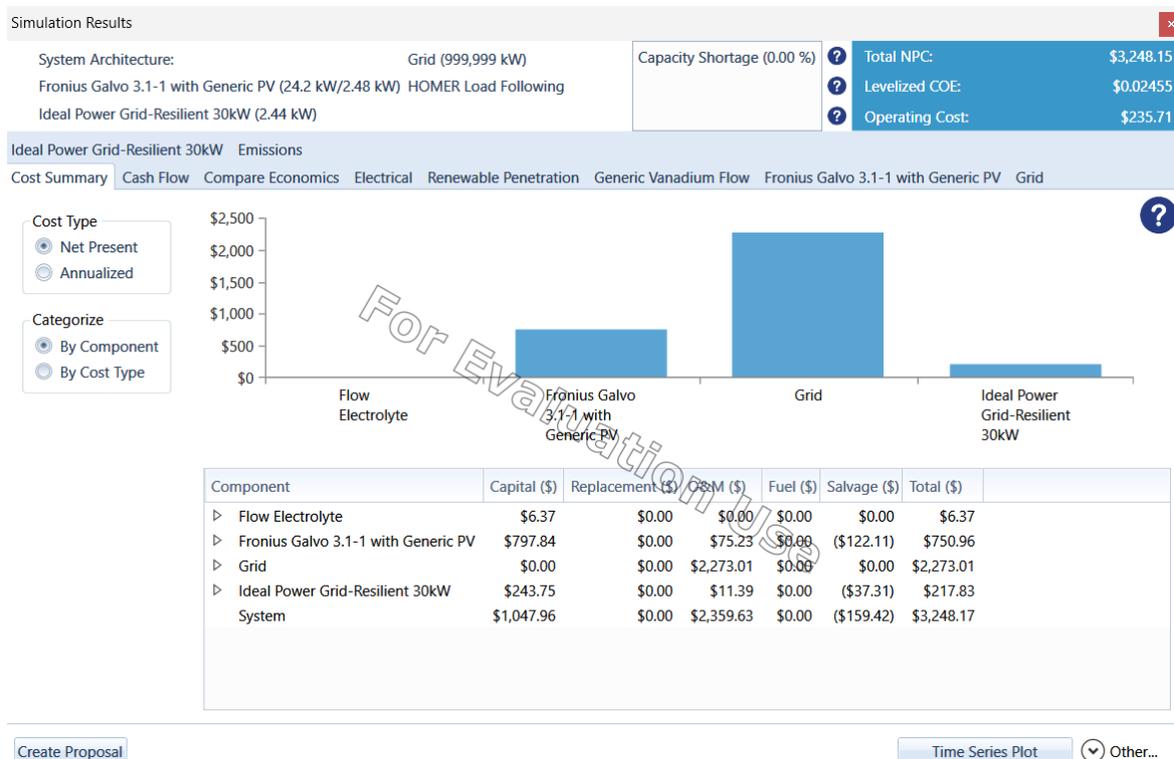


Figura 28

Gráfica de costos de los componentes

Fuente: Autores

En la imagen podemos apreciar los distintos componentes o equipos seleccionados para el sistema fotovoltaico, en la cual se muestran los costos individuales de los equipos en la tabla de componentes, además se visualizan los costos de operación[23].

La suma de los costos de equipos y de operación nos da un total de: \$3248.17

4.3.2 DATOS OBTENIDOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA.

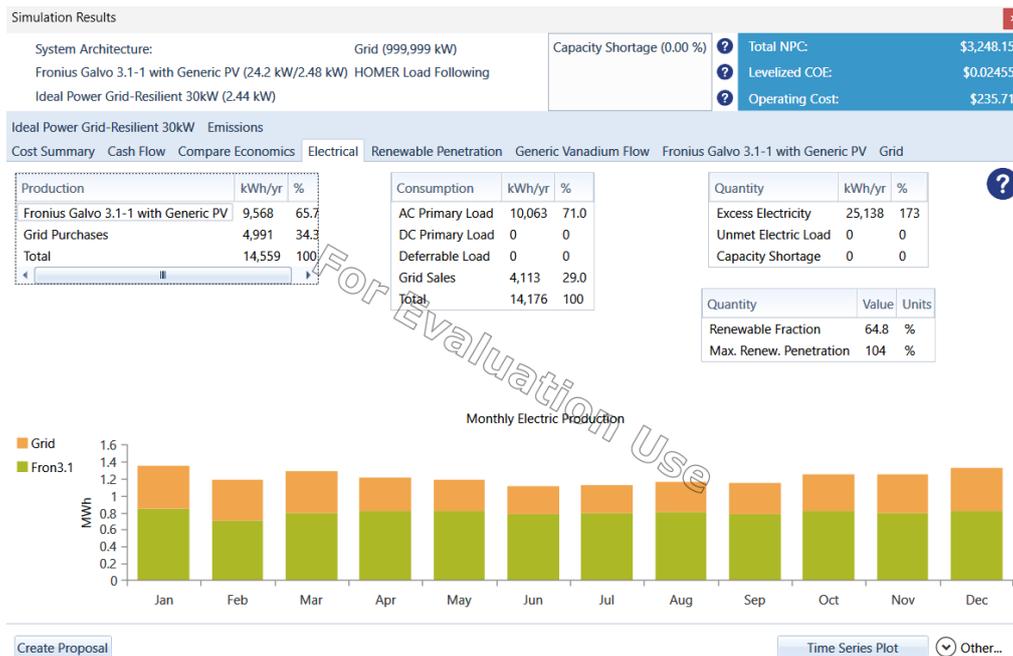


Figura 29

Gráfica de datos de generación eléctrica mensual

Fuente: Autores

Esta gráfica nos brinda el desglose de generación mensual en el transcurso del año, en adición se logra visualizar tablas con información acerca de la producción y consumo del sistema de generación.

Datos de Producción:

- **Fronius Galvo 3.1-1:** Se generó por medio del sistema fotovoltaico un total de: 9.568 kWh/year o un 65.7%
- **Grid Purchases:** Se adquirió una total energía por medio de la red pública de: 4.991 kWh/year o un 34.3%.

Datos de Consumo:

- **AC Primary Load:** El consumo energético de nuestro sistema tiene un total de: 10.063 kWh/year o un 71.0%
- **Grid Sales:** Es la cantidad de energía que se inyectara a la red que tiene un total de: 4.113 kWh/year o un 29.0%.

4.3.3 INFORMACIÓN DEL FLUJO DE CAJA

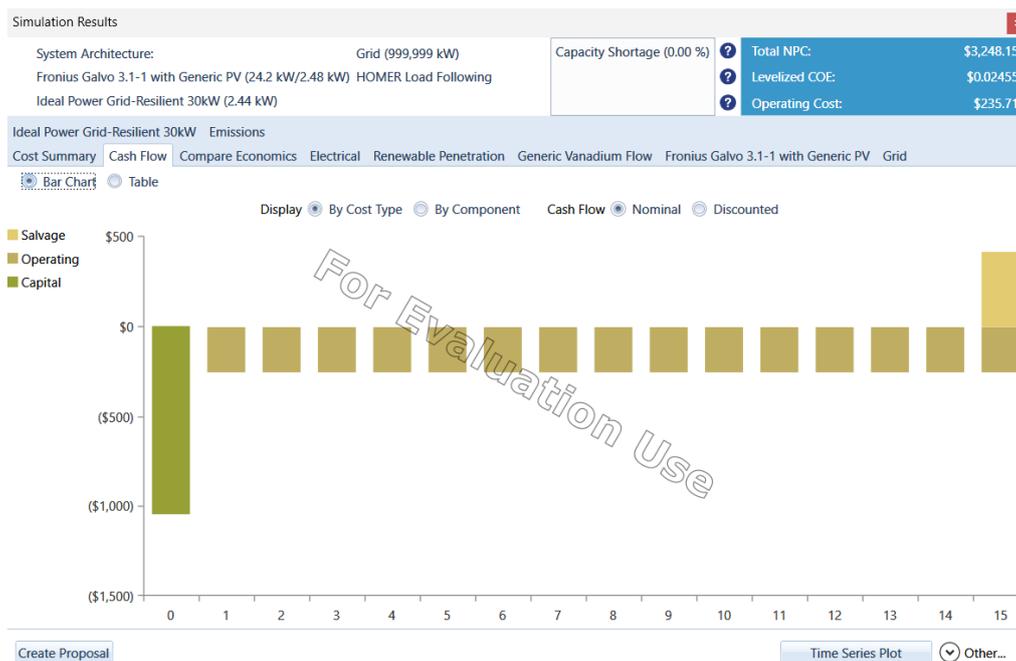


Figura 30

Gráfica detallada del flujo del dinero con el paso de los años

Fuente: Autores

El flujo está presentado a lo largo del tiempo de vida del proyecto por ello podemos apreciar en el año cero un mayor flujo de dinero a diferencia del resto de años ya que esto representa la inversión que se requiere para poder sustentar los costos de compra y mantenimiento del sistema. Con el paso de los años este bajará y se recupera poco a poco con la generación producida gracias al sistema financiado del año cero.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se logro identificar las mejores configuraciones y sus condiciones más óptimas para la correcta implementación de fuentes de energía renovable como lo es para nuestro caso de estudio un sistema fotovoltaico, además al haber analizado tres tipos de baterías o sistemas de almacenamiento nos permitió ver el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas, escenarios de demanda y costos totales del proyecto.
- Gracias a los resultados de generación eléctrica obtenido de cada uno de los casos, podemos observar que el impacto del sistema de almacenamiento es mínimo teniendo variaciones de generación que son despreciables
- A través de la simulación se pudo analizar el comportamiento y evaluar el desempeño de cada uno de los tipos de almacenamiento: ion Litio, Batería de flujo de vanadio, Batería de plomo acido. El análisis arrojó un Costo Neto Presente (NPC) de \$4353.69 para el sistema con baterías de ion-litio. Este valor se comparó con otros dos proyectos que utilizaron baterías de plomo-ácido y de flujo, los cuales presentaron NPC de \$6149.73 y \$3248.15, respectivamente. Sin embargo, aunque el proyecto con baterías de flujo presenta el menor NPC, este sistema no es el más rentable. Según el software Homer Pro, se desaconseja el uso de baterías de flujo debido a sus altos costos, lo que las convierte en una opción menos viable.
Por lo tanto, las baterías de ion-litio se destacan como la opción más adecuada para el almacenamiento en nuestra microrred, gracias a su costo moderado y su mayor vida útil.

5.2 RECOMENDACIONES

- Si se desea realizar la implementación de cualquiera de estos casos de estudios, antes debe revisarse la normativa vigente para la generación distribuida[24], [25].

- Para el correcto dimensionamiento del presupuesto total para la implementación del proyecto se debe realizar un estudio mercadotécnico de los componentes y equipos necesarios para la construcción del sistema.
- Se recomienda utilizar una herramienta especializada para obtener los datos de hora solar pico en diferentes partes del mundo, por ejemplo: PvSyst, Homer Pro, Nasa Power, etc.

CAPÍTULO VI

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] El Comercio, “La pandemia agudizó la pobreza en las zonas marginales y rurales de Ecuador.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/pandemia-pobreza-zonas-marginales-guayaquil.html>
- [2] Jonathan Machado - Primicias, “Un tercio de hogares ecuatorianos no tiene acceso a servicios básicos Para hacer uso de este contenido cite la fuente y haga un enlace a la nota original en <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/servicios-basicos-hogares-ecuador-inec/>.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/servicios-basicos-hogares-ecuador-inec/>
- [3] Luis Carlos Perez, Ariel Yopez, Michelle Hallack, and Enrique Chueca, “¿Qué tiene que ver la energía y la pobreza?” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://blogs.iadb.org/energia/es/que-tiene-que-ver-la-energia-y-la-pobreza/>
- [4] CENACE, “La demanda eléctrica del Ecuador aumentó en un 8,13%.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.cenace.gob.ec/la-demanda-electrica-del-ecuador-aumento-en-un-813/#:~:text=En%20Ecuador%2C%20de%20enero%20hasta,incidieron%20para%20registrar%20este%20incremento.>
- [5] Loiy Al-Ghussain, Onur Taylan, Remember Samu, and Murat Fahrioglu, “Techno-Economic Analysis of Photovoltaic-Hydrogen Fuel Cell/Pumped Hydro Storage System for Micro Grid Applications: Case Study in Cyprus.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/8523976/authors#authors>
- [6] Eduardo J. Salazar, Mauro Jurado E, and Mauricio E. Samper, “Análisis de Factibilidad Técnica y Económica de la Generación Fotovoltaica Distribuida para Autoabastecimiento en Ecuador.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/9940090>

- [7] Paúl Salazar and Paúl Vásquez, “Desarrollo de un modelo de evaluación técnico – económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica – caso usuarios comerciales en Ecuador.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/9940151>
- [8] Mateus Duarte Teixeira, Alexandre Rasi Aoki, Clodomiro Unsihuay Vila, and Marcos Aguiar Da Costa, “Microrredes como ferramenta na melhoria da qualidade da energia elétrica.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/10503986>
- [9] Zaijin Zhu, Zheng Fan, Fan Zhang, Min Wu; Jing Zhang, and Taiying Zheng, “Integrated Optimal Control System for a Household Photovoltaic-Battery Energy Storage System.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/10344964>
- [10] Tianyang Kan, Fengkai Gao, and Jiaxin Li, “Optimal configuration of the hybrid energy storage system for reducing the amount of discarded photovoltaic.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/8692303>
- [11] Industronic, “Todo lo que necesita saber sobre la instalación de paneles solares.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://grupoindustronic.com/instalacion-paneles-solares/>
- [12] IEEE, “Keynote - Panel Olade: ¿Qué tan renovable será el mercado eléctrico en Latino América en el 2040? [Not available in English].” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/9647319>
- [13] Jaime Mateo, “Tipos de almacenamiento de energía fotovoltaica.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://powen.es/tipos-almacenamiento-energia-fotovoltaica/>
- [14] Rodolfo Edgar Rosés, María Del Carmen Giménez, and Sasha Palacios, “Beneficios de la Transmisión de Energía Eléctrica en Corriente Continua en Sistemas con Alta Penetración de Energía Renovable.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/9940086>
- [15] Hoonjoo Choi *et al.*, “Optimal Inclination and Azimuth Angles of a Photovoltaic Module With Load Patterns for Improved Power System Stability.” Accessed:

- Aug. 17, 2024. [Online]. Available:
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/10488860/authors#authors>
- [16] BlogSEAS, “Sistemas de almacenamiento de energía solar: diferentes tecnologías.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available:
https://www.seas.es/blog/energias_renovables/sistemas-de-almacenamiento-de-energia-solar-diferentes-tecnologias/
- [17] David Romero-Quete, Andrés F. Peñaranda, Alvaro Avendaño Peña, and Camilo A. Cortés, “Herramienta para el Planeamiento e Integración de Sistemas de Almacenamiento -HEPISA.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available:
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/9939739>
- [18] Abdelkader Halmous, Youcef Oubbati, and Mohamed Lahdeb, “Techno-Economic Study of Grid-Connected Hybrid Renewable Energy Systems Optimized by Homer Pro.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available:
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/10576327>
- [19] Emile Niringiyimana, Sun Wanquan, Giovanni Dushimimana, and Jeanne baptiste Niyigena, “Hybrid Renewable Energy System Design and Optimization for Developing Countries Using HOMER Pro: Case of Rwanda.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available:
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/10125739>
- [20] Subhi Jain, Poonam Singh, Vishal Chaudhary, and Manjaree Pandit, “Optimal design of an off-grid hybrid system using HOMER Pro.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available:
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/10262800>
- [21] Sahil Mehta and Prasenjit Basak, “A Case Study on PV Assisted Microgrid Using HOMER Pro for Variation of Solar Irradiance Affecting Cost of Energy.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available:
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/9112894>
- [22] Arteaga Ocaña Johana Alejandra and López Y. Ulianov, “Análisis de Armónicos en un Sistema Solar Fotovoltaico Conectado a Red con Almacenamiento usando Baterías (SAEB).” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available:
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/10325732>

- [23] Ayrton Lucas Lisboa Do Nascimento, Bruno Santana De Albuquerque, Edilberto Oliveira Rozal Filho, Luiza Da Rocha Marum Jorge, Carminda Célia Moura de Moura Carvalho, and Maria Emília de Lima Tostes, “Estimativa de payback de um sistema fotovoltaico híbrido para um prédio público educacional.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/10503872/authors#authors>
- [24] AIRIS, “¿Cómo funciona la normativa legal para el uso de paneles solares en Ecuador?” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://airis.ec/como-funciona-la-normativa-legal-para-el-uso-de-paneles-solares-en-ecuador/#:~:text=octubre%202021-,%C2%BFC%C3%B3mo%20funciona%20la%20normativa%20legal%20para%20el%20uso%20de%20paneles,generar%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20para%20autoconsumo.>
- [25] “EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.”