

Análisis de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas en el Departamento del Cauca



Néstor Andrés Arciniegas Villamarin
Yony Alejandro Paganquiza Navia

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
programa de Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Cauca
2024

Análisis de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas en el Departamento del Cauca

Néstor Andrés Arciniegas Villamarin
Yony Alejandro Paguanquiza Navia

Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero en Automática Industrial

Director:
Mg. Francisco Franco Obando Díaz
Codirector:
Mg. Judy Cristina Realpe Chamorro

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
programa de Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Cauca
2024

Agradecimientos

En primera instancia agradezco a Dios por la vida y por la sabiduría que me brindó para culminar este proyecto. Agradezco a mi familia por el apoyo brindado en el transcurso de mi carrera y de este proyecto. De igual forma agradezco a la universidad y a los tutores, en especial al Mg. Francisco Franco, que fueron de gran ayuda para la culminación de este trabajo de grado.

Yony Alejandro Paguanquiza Navia

Agradezco a mi familia, especialmente a mis padres que, con todo su apoyo y ejemplo, me han permitido avanzar en cada uno de mis proyectos de la forma correcta. Agradezco el apoyo de nuestro director, por su gran ayuda y valiosas enseñanzas a lo largo de la carrera y de este trabajo.

Néstor Andrés Arciniegas

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. GESTIÓN ENERGÉTICA PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS	2
1.1. Sistema eléctrico Nacional.....	2
1.2. Zonas No Interconectadas	3
1.3. Planes de energización rural sostenible (PERS).....	4
1.3.1. PERS en desarrollo	5
1.3.2. Proyectos PERS para el departamento del Cauca.....	8
1.3.2.1. PERS Guapi	8
1.3.2.2. PERS Caloto	10
1.3.2.3. PERS Patía	11
1.3.2.4. PERS Timbiquí	13
3. NECESIDADES ENERGÉTICAS EN LAS ZNI DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA..	19
2.1. Demanda energética en viviendas.....	21
2.2. Requerimientos Energéticos Guapi	22
2.3. Requerimientos Energéticos Caloto.....	23
2.4. Requerimientos Energéticos Patía.....	24
2.5. Requerimientos energéticos Timbiquí.....	24
2.5.1. Corregimiento San Bernardo.....	25
2.5.2. Corregimiento Chacón Playa.....	26
4. FUENTES ENERGÉTICAS COMO ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO.....	30
3.1. Herramienta de Análisis: Homer Pro.....	30
3.1.1. Descripción de Homer Pro	30
3.1.2. Justificación de la Elección de Homer Pro.....	31
3.2. Recopilación de Datos para Homer Pro.....	31
3.2.1. Datos Climáticos y localización	31
3.2.2. Parámetros económicos.....	32
3.2.3. Perfil de carga Eléctrica.	32
3.2.4. Lista de componentes.	32
3.3. Metodología de Simulación	34
3.3.1. Simulación El Tunzo, Patía	35
3.3.1.1. Solución Fotovoltaica.....	36
3.3.1.2. Solución mediante expansión de red	37
3.3.2. Simulación López adentro, Caloto.....	39
3.3.2.1. Sistemas fotovoltaicos	39
3.3.2.2. Solución mediante expansión de red	40

3.3.3 Simulación de San Bernardo, Timbiquí	42
3.3.3.1 Sistemas Fotovoltaicos	42
3.3.3.2. Grupo Electrónico.....	45
3.3.4 Simulación de Chacón Playa, Timbiquí	45
3.3.4.1 Sistemas Fotovoltaicos	46
3.3.4.2 Grupo Electrónico.....	48
3.3.5 Simulación vereda El Rosario, Guapi	49
5. CONCLUSIONES	54
4.1 Proyecto vereda el Tunó, Patía	54
4.2 Proyecto vereda López adentro, Caloto.....	54
4.3 Proyecto vereda San Bernardo, Timbiquí	55
4.4 Proyecto vereda Chacón Playa, Timbiquí.....	55
4.5 Proyecto vereda el Rosario, Guapi.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de transmisión nacional en Colombia. Fuente [7]	3
Figura 2. Aportantes y socios estratégicos.....	5
Figura 3a. Proyectos PERS en desarrollo a nivel nacional 2014.....	6
Figura 3b. Proyectos PERS en desarrollo a nivel nacional 2019.....	6
Figura 4. Departamento del Cauca	7
Figura 5. Ubicación vereda el Rosario	9
Figura 6. Árbol de problemas Vereda el Rosario.....	9
Figura 7. Mapa resguardo López Adentro.....	10
Figura 8. Árbol de problemas resguardo López Adentro	11
Figura 9. vereda el Tuno, municipio de Patía	12
Figura 10. árbol de problemas el Tuno.....	13
Figura 11. Ubicación municipio Timbiquí.....	14
Figura 12. Vereda San Bernardo, municipio de Timbiquí	15
Figura 13. Árbol de problemas vereda San Bernardo.....	16
Figura 14. Ubicación Vereda Chacón Playa.....	17
Figura 16. Mapa Subregiones departamento del Cauca	20
Figura 17. Curva de carga estimada para zonas rurales. Basada en datos PERS	22
Figura 18. Ubicación proyectos PERS Cauca	28
Figura 19. Comparativa de costos de generación	52
Figura 20. Comparativa de inversión Inicial.....	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consumo eléctrico rural anual Cauca.....	20
Tabla 2. Consumos en zonas rurales interconectadas.....	21
Tabla 3. Consumo estimado de viviendas de zona rural	22
Tabla 4. Consumos registrados para Guapi.....	23
Tabla 5. Consumos registrados para Caloto. Fuente SUI	23
Tabla 7. Uso de electrodomésticos en San Bernardo.....	25
Tabla 8. Consumo estimado para San Bernardo.....	26
Tabla 9. Uso de electrodomésticos en Chacón Playa	27
Tabla 10. Consumo estimado para Chacón Playa	27
Tabla 11. Demanda energética en cada región.....	29
Tabla 12. Componentes generales para Homer pro.....	33
Tabla 13. Precios de los componentes para simulación.....	34
Tabla 14. Elementos del sistema	35
Tabla 15. Costo Inicial del sistema de generación	36
Tabla 16. Costos indirectos asociados.....	37
Tabla 17. Resultados Patía.....	37
Tabla 18. Valor de materiales para red. Fuente [47]	38
Tabla 19. Resultados de alternativa de red.....	38
Tabla 20. Componentes necesarios para el sistema.....	39
Tabla 21. Precio de los componentes del sistema	40
Tabla 22. Costos para el sistema fotovoltaico	40
Tabla 23. Costos de extensión de red.....	41
Tabla 24. Costos para el sistema de extensión de red.....	42
Tabla 25. Costos de los componentes de generación eléctrica.....	42
Tabla 26. Sistema solar fotovoltaico individual.....	43
Tabla 27. Costos para el sistema fotovoltaico.....	43
Tabla 28. Microrred Sistema solar fotovoltaico.....	44
Tabla 29. Costos para el sistema microrred.....	44
Tabla 30. Generador eléctrico.....	45
Tabla 31. Costos para el sistema grupo electrógeno.....	45
Tabla 32. Componentes necesarios para simulaciones.....	46
Tabla 33. Sistema solar fotovoltaico individual.....	46
Tabla 34. Costos para el sistema fotovoltaico.....	47
Tabla 35. Microrred Sistema solar fotovoltaico.....	48
Tabla 36. Costos para el sistema microrred.....	48
Tabla 37. Generador eléctrico.....	48
Tabla 38. Costos de generación grupo electrógeno.....	49
Tabla 39. Principales componentes del SISFV.....	49
Tabla 40. Dimensionamiento del SISFV Carga 1	50
Tabla 41. Costos de producción carga 1.....	50
Tabla 42. Costos de producción Carga 2.....	51
Tabla 43. Elementos requeridos para microrred.....	51
Tabla 44. Costos de alternativa microrred.....	52

SIGLAS

AC	Corriente Alterna
AOM	Administración, Operación y Mantenimiento
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
DC	Corriente Directa
FV	Fotovoltaico
HSP	Hora Solar Pico
ICEE	Índice de Cobertura de Energía Eléctrica
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IPSE	Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas
km	Kilómetro
kWh	Kilovatios Hora
kW	Kilovatios
kVA	Kilovoltio Amperio
m.s.n.m.	Metros sobre el Nivel del Mar
OCHA	Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios
PERS	Planes de Energización Rural Sostenible
PIEC	Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica
PRFV	Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SISFV	Solución individual de sistema Solar Fotovoltaico
STR	Sistema de Transmisión Regional
STN	Sistema de Transmisión Nacional
SUI	Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
V	Voltio
W	Vatio
Wp	Vatio Pico
ZNI	Zonas No Interconectadas

INTRODUCCIÓN

El acceso confiable y sostenible a la energía es esencial para el desarrollo de comunidades, especialmente en zonas no interconectadas donde la disponibilidad energética es un desafío significativo. Este trabajo, representa un esfuerzo clave para abordar las limitaciones energéticas en cinco comunidades específicas: Patía, Caloto, Guapi y dos localidades en Timbiquí. La carencia de acceso al sistema interconectado nacional ha generado la necesidad de explorar soluciones innovadoras, incluyendo propuestas de energía solar individual, soluciones colectivas con microrred, extensiones de red y el uso de generadores. Este proyecto, integrado en la iniciativa interinstitucional PERS-Cauca, busca proporcionar soluciones energéticas sostenibles y eficientes que mejoren la calidad de vida de estas comunidades.

Con el objetivo general de evaluar la viabilidad de estas soluciones, este estudio se adentra principalmente en los aspectos técnicos y en los vitales financieros. Se destacan objetivos específicos como definir los requerimientos de demanda energética en los proyectos PERS, proponer fuentes energéticas adaptadas a cada comunidad y contrastar cada alternativa mediante simulaciones en el software HOMER Pro. La relevancia de este informe radica en su potencial para informar decisiones estratégicas, ofreciendo un análisis detallado y multidimensional que aborda los desafíos únicos de cada región.

A través de los siguientes capítulos se desglosa la gestión energética en zonas no interconectadas, se analiza las necesidades energéticas específicas de las comunidades, se presentan varias fuentes energéticas como opciones viables y por último se concluye comparando los resultados obtenidos en las alternativas propuestas. La metodología utilizada incluyó la recopilación de datos provenientes de diversas fuentes, como informes en línea, revistas digitales y reportes del grupo de trabajo PERS Cauca, así como investigaciones propias y simulación para la obtención de datos relevantes al momento de seleccionar la mejor alternativa. Este análisis integral aspira a ser una herramienta valiosa para orientar el desarrollo sostenible y proporcionar soluciones energéticas adecuadas a las condiciones únicas de cada región en el Cauca.

CAPÍTULO 1

GESTIÓN ENERGÉTICA PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS

En este capítulo se expone la situación actual del sistema nacional de energía eléctrica, teniendo en cuenta las bases dadas por el sistema interconectado nacional, frente a las zonas no interconectadas que existen en el país. Se definen y se explican los proyectos de energización rural sostenible PERS, los cuales se han implementado en diferentes regiones del país.

1.1. Sistema eléctrico Nacional

En Colombia el medio de transmisión de energía eléctrica a través del cual se brinda el servicio público de electricidad en el territorio ha sido denominado Sistema Interconectado Nacional SIN, que incluye tanto la red de transmisión nacional o también denominada STN, como el sistema de transmisión regional o STR que interconecta las diferentes regiones para garantizar el suministro eléctrico de manera eficiente y confiable. El SIN inició desde el año 1967 con la creación de la empresa estatal de interconexión eléctrica S.A. ISA, la cual se encargó del desarrollo de la infraestructura necesaria para desplegar el mercado de la energía eléctrica. [7]

El SIN cuenta con más de 30 compañías encargadas de la generación, transmisión y distribución de energía en el país. Del mismo modo, este sistema cuenta con más de 200 plantas de generación eléctrica definidas como plantas hidráulicas, térmicas, solares, eólicas, cogeneradoras y autogeneradoras. A todo esto, se suman los más de 26.300 kilómetros de redes de energía que están distribuidos en el territorio nacional [8].

La mayor parte de la generación eléctrica del país se obtiene mediante fuentes limpias, llegando a alcanzar el 70% proveniente de generación hidroeléctrica, debido a que Colombia es uno de los países con mayor riqueza en fuentes hídricas del planeta y de Latinoamérica [9]. El 30% de la generación restante se obtiene principalmente de combustibles fósiles en algunas industrias y zonas donde el SIN está limitado por la gran diversidad geográfica y topográfica, con áreas montañosas, selvas, llanuras y zonas costeras, que hace que la construcción de líneas de transmisión y subestaciones eléctricas sea muy difícil y costosa en algunas zonas.

De acuerdo con los datos del Ministerio de Minas y Energía, a julio del año 2022 el índice de cobertura de energía eléctrica ICEE era de 97,17% de los hogares del país con conexión eléctrica, un avance de 63 puntos básicos frente a la cifra de 2018 que había sido de 96,54% [10]. La cobertura eléctrica llega aproximadamente al 34% del territorio nacional, en donde se concentra el 97.17% de la población, teniendo una cobertura urbana del 99.3% y rural del 84% [11]. En la figura 1 se muestra la concentración de las redes del sistema de transmisión, en la cual se puede evidenciar que la mayor cobertura de suministro eléctrico se encuentra en las regiones andina y caribe, siendo la Orinoquia y la amazonia las regiones con mayor carencia de este recurso energético.

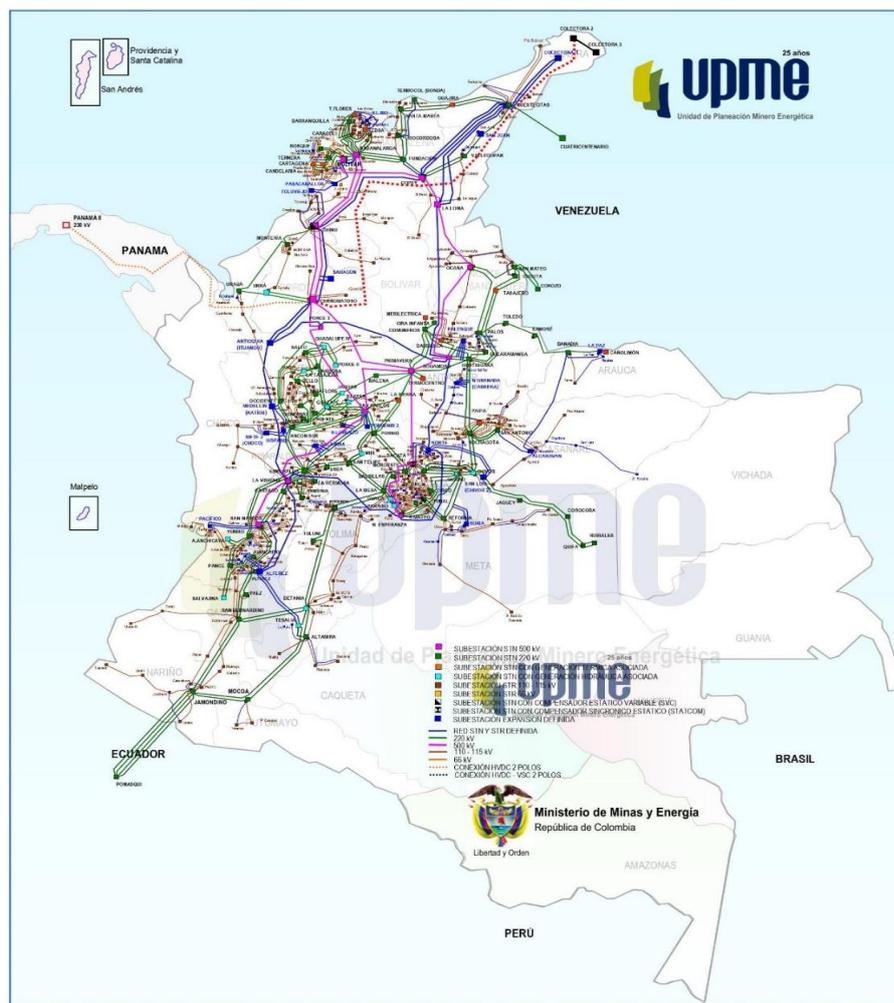


Figura 1. Sistema de transmisión nacional en Colombia. Fuente [7]

1.2. Zonas No Interconectadas

En contraparte al territorio que cuenta con el servicio de energía eléctrica mediante el SIN, existen zonas donde aún no hay cobertura por parte de este. Estas zonas, según son definidas por la ley 143 de 1994 artículo 11 [12], se denominan Zonas No Interconectadas ZNI y se definen como municipios, localidades, corregimientos o caseríos donde habita cerca del 3% de la población del país. En estos lugares no se presta el servicio público de electricidad como en el resto del territorio, en los que es posible, se recurren a medios alternativos ya sea mediante generadores, sistemas fotovoltaicos, o micro centrales hidroeléctricas. Estas zonas no interconectadas se encuentran clasificadas en localidades de la siguiente forma:

- Localidad 1: >301 usuarios o cabecera municipal
- Localidad 2: entre 151 y 300 usuarios
- Localidad 3: entre 51 y 150 usuarios
- Localidad 4: hasta 50 usuarios

Las zonas no interconectadas al suroccidente colombiano son las que más padecen las consecuencias de no contar con el servicio de energía eléctrica de forma estable y eficiente, ya que en zonas como el litoral pacífico que comprende los departamentos de Chocó, valle del Cauca, Cauca y Nariño se presentan los mayores índices de desconexión del SIN, lo que representa menor grado de industrialización con altos índices de desempleo, acceso limitado a las tecnologías de la información y la comunicación e índices más altos de necesidades básicas insatisfechas respecto al promedio nacional [13].

La solución, para la mayoría de estas zonas, sería la interconexión; sin embargo, esta es económicamente inviable en la actualidad y, adicionalmente, un gran porcentaje de localidades no es interconectable a mediano plazo. El proyecto interinstitucional PERS-Cauca busca abordar esta problemática a través de la implementación de soluciones de energización rural sostenible [14]. Sin embargo, es necesario establecer la viabilidad técnica y financiera de estas soluciones para asegurar su éxito a largo plazo.

1.3. Planes de energización rural sostenible (PERS)

Los planes de energización rural sostenible (PERS) son aquellos planes que, a partir de estudios regionales relevantes en materia de energización, productividad y emprendimiento, buscan establecer los lineamientos de política pública energética para lograr de manera eficaz la identificación, formulación y estructuración de proyectos que sean integrales y sostenibles en un determinado periodo de tiempo mínimo de 10 años. Con estos proyectos no solo se busca la generación de energía sino también el crecimiento y el desarrollo de las comunidades objeto de estudio. [15]

Estos proyectos están compuestos por aportantes y socios estratégicos conformados por el Gobierno Central, Academia, Actores Regionales, Cooperación Nacional e Internacional y Socios Estratégicos. En estos aportantes se encuentran incluidos organizaciones y entidades que se basan en el desarrollo energético y de producción para zonas rurales del territorio nacional, ellas son la UPME (unidad de planeación minero-energética), el IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas), y demás entidades que son expuestas en la figura 2.

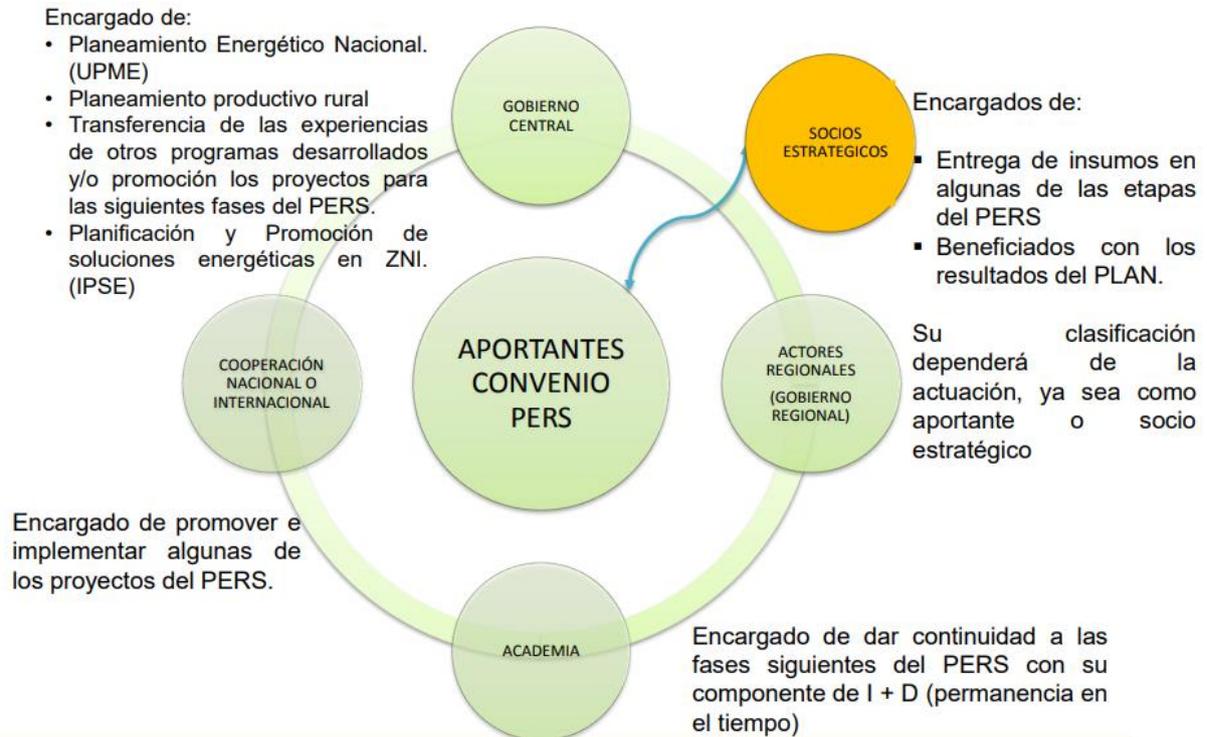


Figura 2. Aportantes y socios estratégicos. Fuente [15]

1.3.1. PERS en desarrollo

Los PERS son herramientas viables para soluciones energéticas en zonas rurales del país. En el año 2014 se inicia con la ejecución de proyectos PERS en los departamentos de Nariño, Guajira, Chocó y Tolima, tal como se muestra en la figura 3a. Para el año 2019 se inician nuevos proyectos PERS en departamentos como Norte de Santander, Cundinamarca, Cesar, Putumayo y Guaviare, que se muestran en la figura 3b.



Figura 3a. Proyectos PERS en desarrollo a nivel nacional 2014. Fuente [15]



Figura 3b. Proyectos PERS en desarrollo a nivel nacional 2019. Fuente [16]

Se resalta los PERS Nariño debido a que sus avances están en un 100%. En este proyecto se realizó un análisis de oportunidades energéticas para zonas rurales del departamento, dando como resultado la generación de energía aprovechando las

fuentes con mayor viabilidad del territorio. En este departamento se destacan los siguientes proyectos: [17]

- Factibilidad Granja Multipropósito, Piedemonte
- Factibilidad Solar Centros Educativos, Comunidades Negras
- Perfil Alumbrado Solar, Juanambú
- Perfil Energía Eólica, Guachucal
- Prefactibilidad Biodigestores, Ex provincia de Obando
- Prefactibilidad Biogás de Relleno Sanitario, Centro
- Prefactibilidad Biomasa Trapiches, Occidente
- Prefactibilidad Biomasa Residuos Forestales, Sanquianga
- Prefactibilidad Pequeña Central Hidroeléctrica, Piedemonte
- Prefactibilidad Solar Residencial Aislado, Abades
- Análisis Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño (ALTERNAR)
- Implementación de sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas y en la red de microscopios en Santa Bárbara de Iscuandé
- Acceso a la energía para el corregimiento de Nariño, Municipio de Leiva
- Awá sukín wat usan – Energía para un buen vivir en la selva Awá

Los demás proyectos PERS mostrados en la figura 3b están en proceso de ejecución, cabe resaltar que el departamento del Cauca está desarrollando estos proyectos en las diferentes ZNI y zonas de difícil acceso ubicadas en los municipios de Guapi, Caloto, Timbiquí y Patía, los cuales son objeto de estudio para planes de desarrollo energético, cultural y socioeconómico. En la figura 4 se observa el mapa del departamento del Cauca con sus respectivos municipios.



Figura 4. Departamento del Cauca. Fuente [18]

1.3.2. Proyectos PERS para el departamento del Cauca.

Los planes de energización rural sostenible del Cauca denominados PERS Cauca son proyectos de investigación multidisciplinarios liderados por la Universidad del Cauca y financiados por el IPSE y la UPME según convenio interadministrativo UPME No. CV-008-2021, IPSE No.147-2021. Estos proyectos buscan dar solución a algunas de las problemáticas en las comunidades por falta de acceso a la energía eléctrica. Como se mencionó anteriormente, los municipios de Guapi, Caloto, Timbiquí y Patía son objeto de estudio para el diseño de soluciones energéticas que permitan el desarrollo de dichas comunidades.

Este proyecto cuenta con un grupo interdisciplinario de trabajo del gobierno nacional, gobierno local, del sector académico y de organizaciones sociales propias de cada zona, estos son:

- Universidad del Cauca
- La Unidad de Planeación Minero-Energética UPME
- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas IPSE
- Alcaldía de cada municipio.

1.3.2.1. PERS Guapi

En el municipio de Guapi, se encuentra la vereda el Rosario que colinda con las veredas del Naranjo, San Vicente, Chiguero y Boca de Mundo, como se observa en la figura 5. Su ingreso mayoritario es dado por la actividad del cultivo, cosecha, secado y comercialización del arroz. En esta localidad se plantea la propuesta de dar promoción a los cultivos arroceros de mujeres emprendedoras del rosario con el objetivo de viabilizar, bajo una perspectiva multicriterio, un proyecto integral para ampliar la cobertura energética en un sistema de secado que optimice el cultivo de arroz. La vereda no cuenta con transporte terrestre hacia la cabecera municipal, solo cuenta con el transporte fluvial sobre el río alto Guapi. [19]

La problemática central que enfrenta la vereda El Rosario es la deficiente oferta energética para uso en actividades productivas y uso doméstico en las viviendas, causando así la baja productividad y competitividad en los cultivos de arroz como también en el desarrollo sociocultural. Esto se observa en el árbol de problemas mostrado en la figura 6.

Como primera alternativa para dar solución a la problemática de la vereda el Rosario, mediante el proyecto PERS se propone la generación solar fotovoltaica para suplir este servicio básico de forma eficiente en las viviendas, así como también para permitir el uso de máquinas secadoras que intervienen en la producción de arroz. Por otra parte, se plantea la conexión al operador de red más cercano como segunda alternativa, para comparar ambas soluciones se están realizando estudios basados en conceptos técnicos, financieros, productivos y ambientales que reflejen la viabilidad de cada una y la del proyecto mismo. [19]

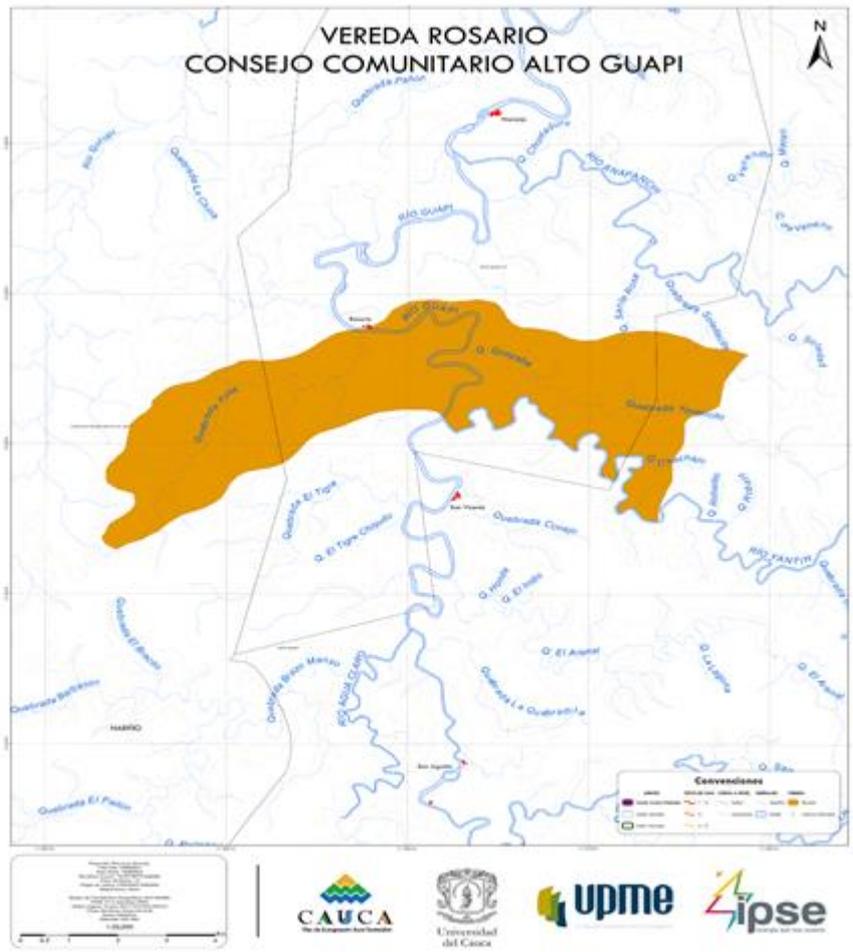


Figura 5. Ubicación vereda el Rosario. Fuente [19]

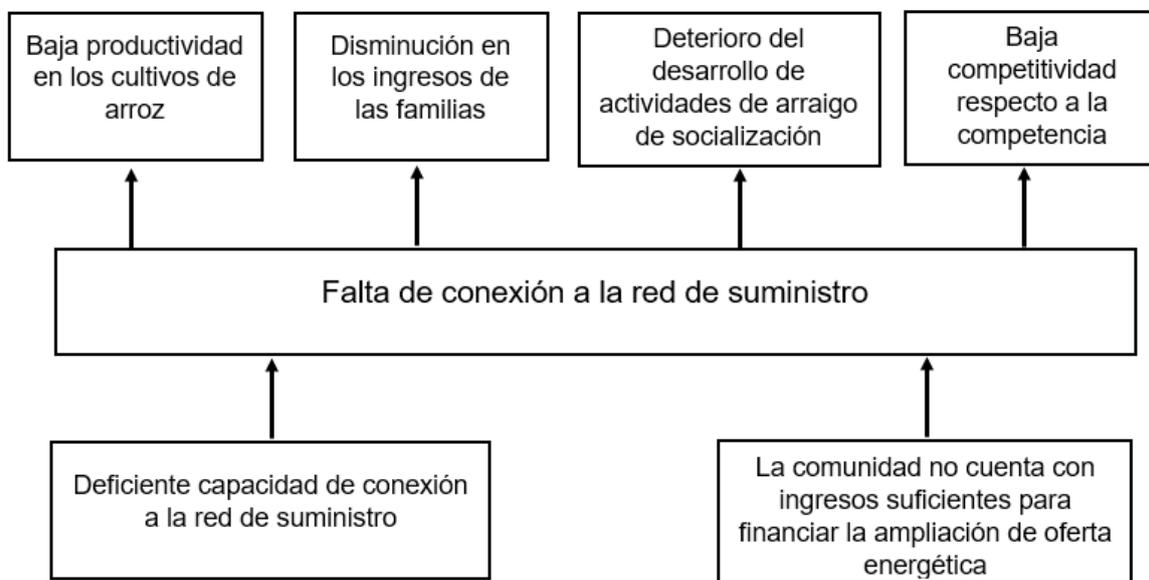


Figura 6. Árbol de problemas Vereda el Rosario. Fuente [19]

1.3.2.2. PERS Caloto

En el municipio de Caloto se encuentra el resguardo de López Adentro, ubicado al norte de la cabecera municipal de Santander de Quilichao, entre Caloto y Corinto. Se compone de 4 veredas las cuales son Guabito, Pílamo, López Adentro y Vista Hermosa, como se observa en la figura 7. Su economía depende principalmente del sector agrícola. [20]

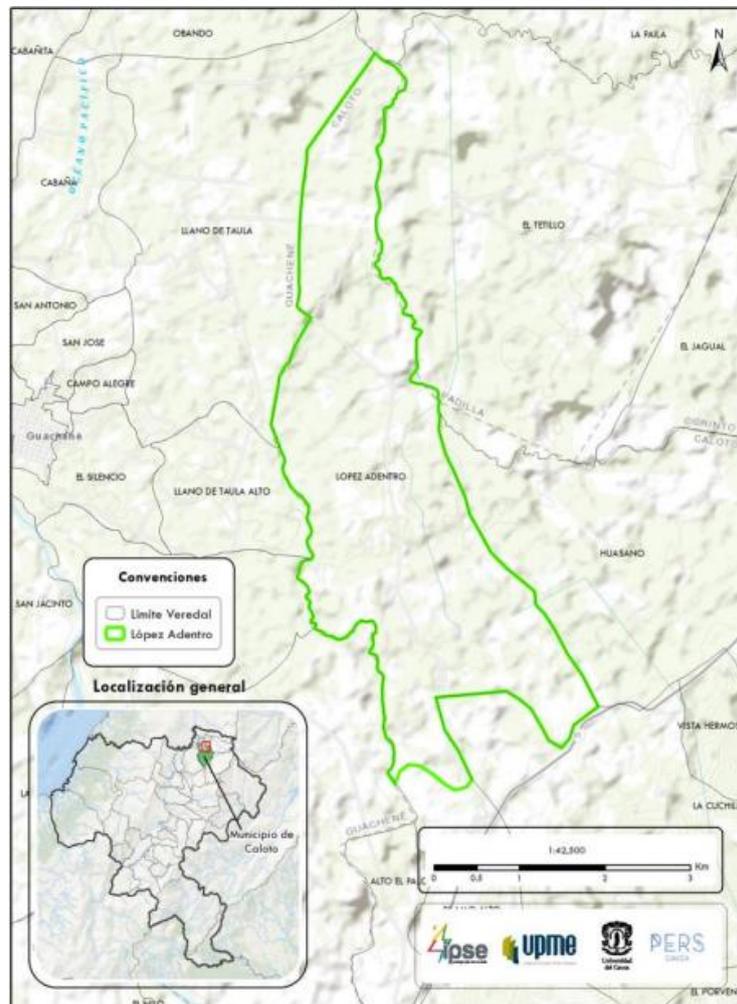


Figura 7. Mapa resguardo López Adentro. Fuente [20]

El municipio de Caloto presenta un deficiente acceso al servicio de energía de las viviendas en zonas rurales, este es el caso del resguardo López Adentro. En la figura 8 se describe esta problemática del territorio.

La propuesta planteada mediante el proyecto PERS es el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes del resguardo, a partir de soluciones energéticas fotovoltaicas. Esto se pretende lograr ampliando la cobertura energética a viviendas sin servicio o con conexiones informales que presentan algún tipo de riesgo para la comunidad. [20]

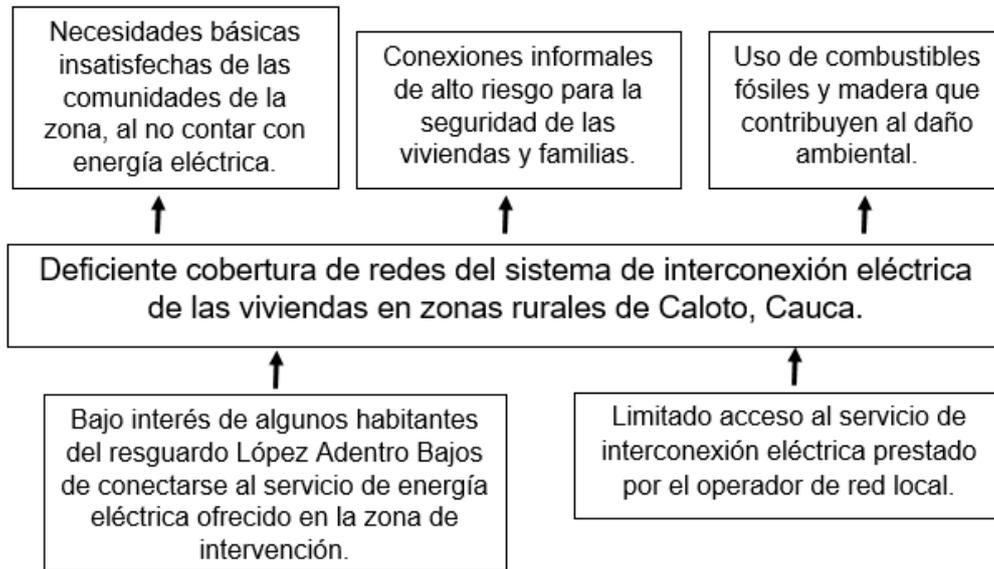


Figura 8. Árbol de problemas resguardo López Adentro. Fuente [20]

En este proyecto intervienen, además de las ya mencionadas, organizaciones como la Comunidad Indígena Vereda López Adentro y la Agencia de Renovación del Territorio.

Las alternativas que se proponen para este proyecto van encaminadas al análisis de los efectos sobre la salud y el medio ambiente, al funcionamiento técnico, la viabilidad económica y los impactos sociales. Es de mencionar que para la implementación de una metodología se debe escuchar, en primera instancia, a la comunidad esperando su aceptación, esto debido a que es un resguardo indígena donde existe una tradición cultural y ancestral. [20]

1.3.2.3. PERS Patía

El municipio de Patía está ubicado al sur del departamento del Cauca, situado entre la cordillera occidental y la cordillera central. Su principal vía de acceso es la carretera Panamericana que atraviesa gran parte de su zona rural. El proyecto PERS se centra en la vereda el Tunó, la cual se encuentra en la zona rural del municipio, colindando con seis veredas, las cuales son vereda Piedra de Moler, Cachaza, Méndez, Aguas Frías, El Pendal y la Ventica. Su economía está basada en la ganadería, la producción agrícola, el turismo y las artesanías. La ubicación de la vereda el Tunó se muestra en la figura 9 [21].

En esta vereda se propone la implementación de un sistema de riego con energía fotovoltaica que optimice las prácticas agrícolas, con el fin de aumentar la productividad y por ende mejorar la economía de la región. Para lograr este objetivo se debe aumentar la cobertura energética y lograr alimentar un distrito de riego, de igual forma se debe mejorar la infraestructura para la producción agrícola y se debe promover el uso eficiente del recurso hídrico. [21]

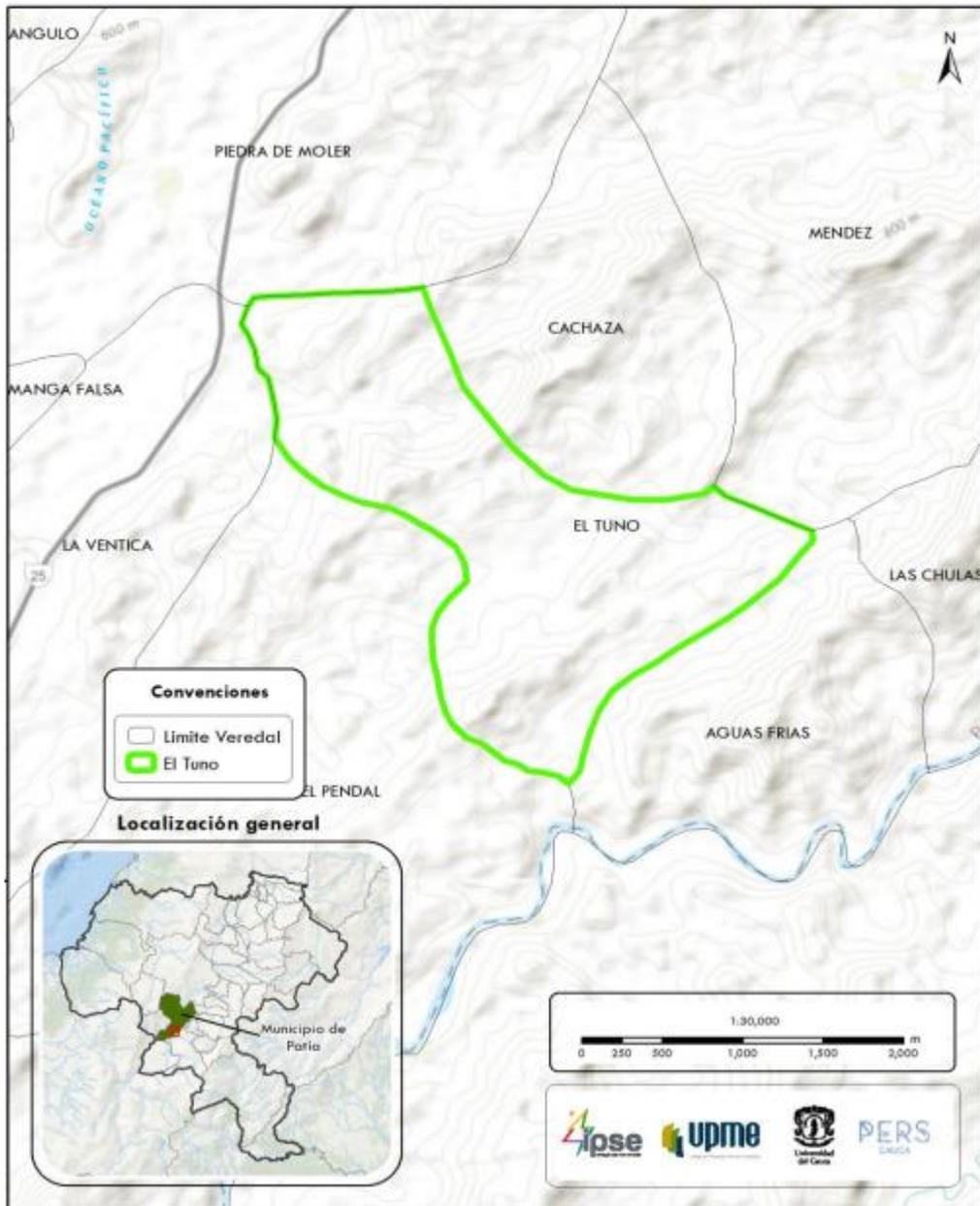


Figura 9. vereda el Tuno, municipio de Patía. Fuente [21]

El tuno es una zona árida que limita el uso del recurso hídrico para la producción agrícola, debido a esto se presenta una baja productividad ya que no cuenta con una fuente de abastecimiento energético convencional que alimente un sistema de riego, de igual forma la infraestructura no está debidamente adecuada para la producción y los cultivos agrícolas. La problemática central de la vereda el Tuno se presenta en la figura 10. [21]

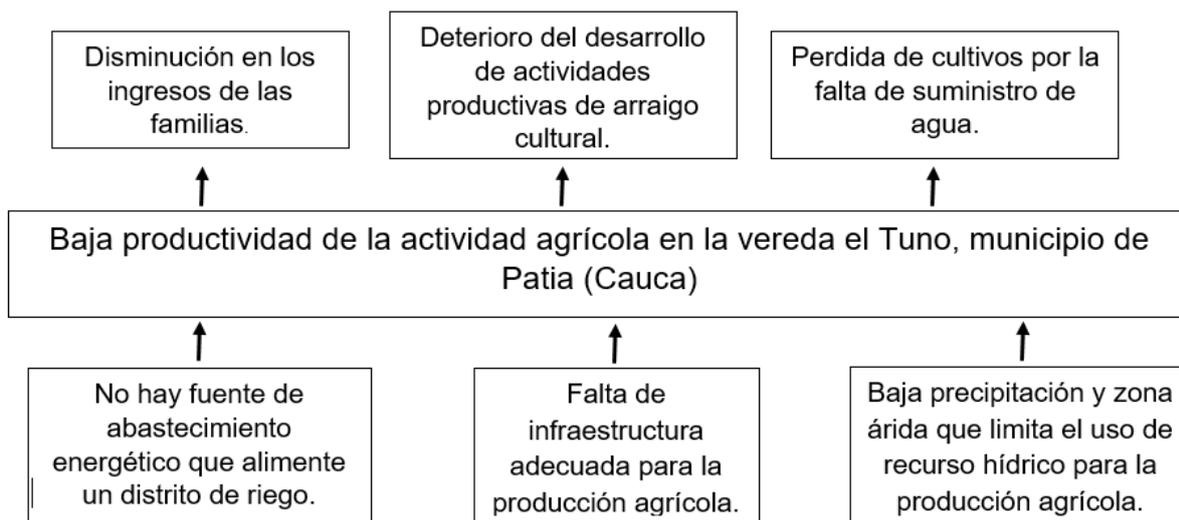


Figura 10. árbol de problemas el Tunó. Fuente [21]

La Junta de acción comunal de la vereda el Tunó y la agencia de renovación del territorio, son participantes adicionales a este proyecto que buscan la ampliación de la cobertura eléctrica con el fin de mejorar la calidad de vida de los agricultores presentes en la región. [21]

Las alternativas propuestas por PERS para el Patía se basan en fuentes energéticas fotovoltaicas sostenibles desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental, con el fin de exponer una propuesta integral que se pueda extender indefinidamente en el tiempo, donde factores tales como la administración, operación y mantenimiento del proyecto puedan ser cubiertos por las mismas comunidades. [21]

1.3.2.4. PERS Timbiquí

Timbiquí es un municipio del departamento del Cauca, sobre la costa pacífica, como se observa en la figura 11. Es una zona considerada de difícil acceso debido a que sus principales vías de acceso son de tipo marítimas y aéreas. Parte del territorio de Timbiquí es considerado como ZNI y actualmente cuenta con una cobertura parcial del servicio de energía eléctrica mediante interconexión con empresa del vecino departamento de Nariño, CEDENAR, con la cual tiene una cobertura en la cabecera municipal del 94% y en zona rural del 28.3%. [22]



Figura 11. Ubicación municipio Timbiquí. Fuente [22]

Dentro del proyecto PERS Cauca se tiene como objetivo satisfacer la demanda de energía eléctrica de las comunidades de dos zonas no interconectadas de la zona rural del municipio de Timbiquí, más exactamente en el corregimiento San Bernardo y en la vereda Chacón Playa. [22]

San Bernardo, Timbiquí

San Bernardo es un corregimiento de la zona rural del municipio de Timbiquí, como se muestra en la figura 12. Esta zona no está conectada a la red nacional de energía eléctrica, por lo que hace parte de las denominadas ZNI. A pesar de esto, en los últimos años ha habido importantes esfuerzos para suministrar el servicio mediante el uso de un generador diésel, pero con la limitante de solo contar con 5 horas diarias de servicio, que inician desde las 5 pm [23].

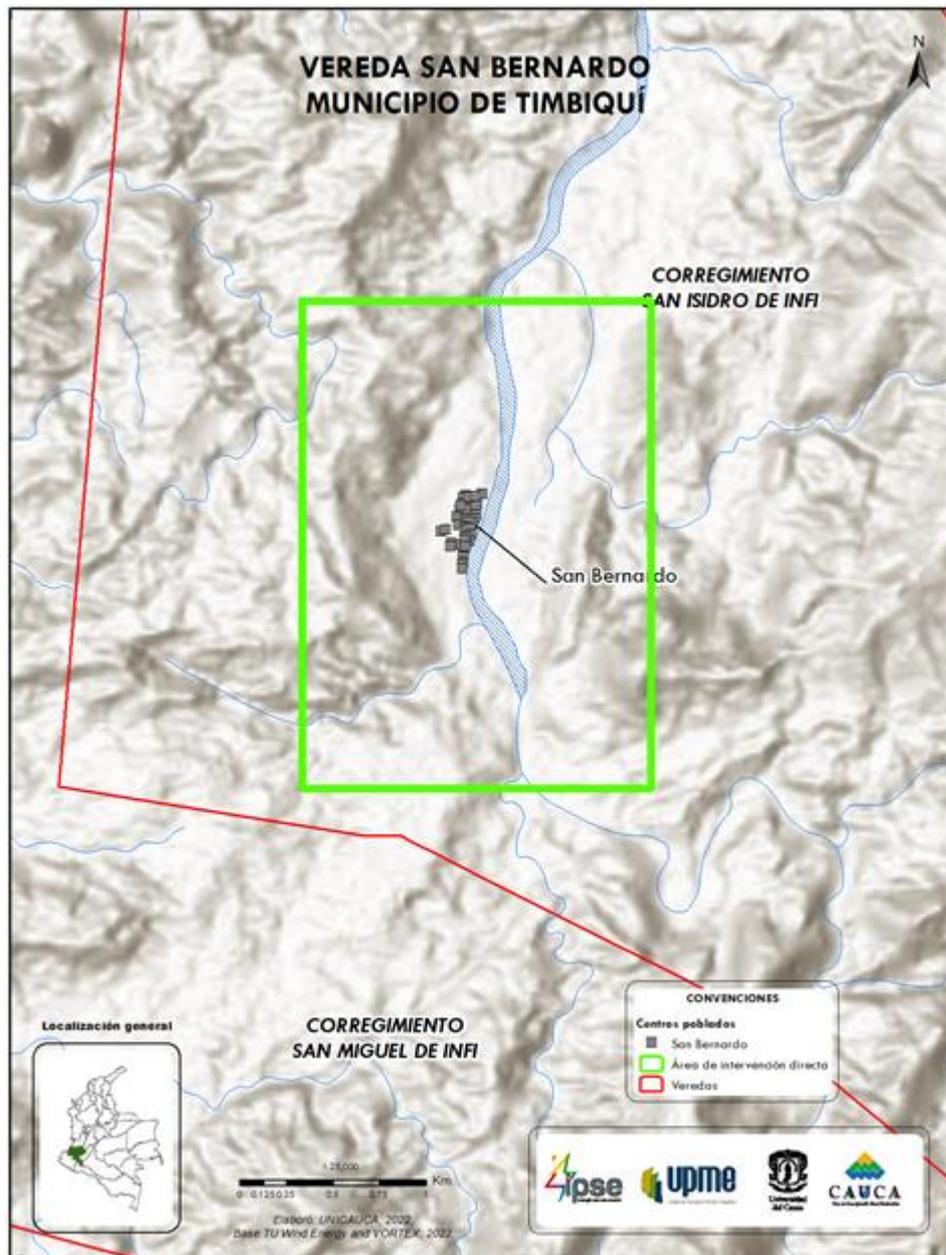


Figura 12. Vereda San Bernardo, municipio de Timbiquí. Fuente [23]

Esta situación de desconexión genera pérdida de oportunidades para la población, ya que limita las posibilidades, principalmente en el ámbito productivo, ya que las actividades económicas, la agricultura y la producción de bebidas tradicionales muy comercializadas y producidas en la región, como el viche, no cuentan con el debido soporte tecnológico por la carencia del recurso energético, esto se observa en el árbol de problemas en la figura 13. Dentro del proyecto PERS Cauca se busca suministrar energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos domiciliarios individuales, que permitan dar completa cobertura horaria en la prestación de este servicio básico, así como brindar soporte a las actividades económicas. [23]

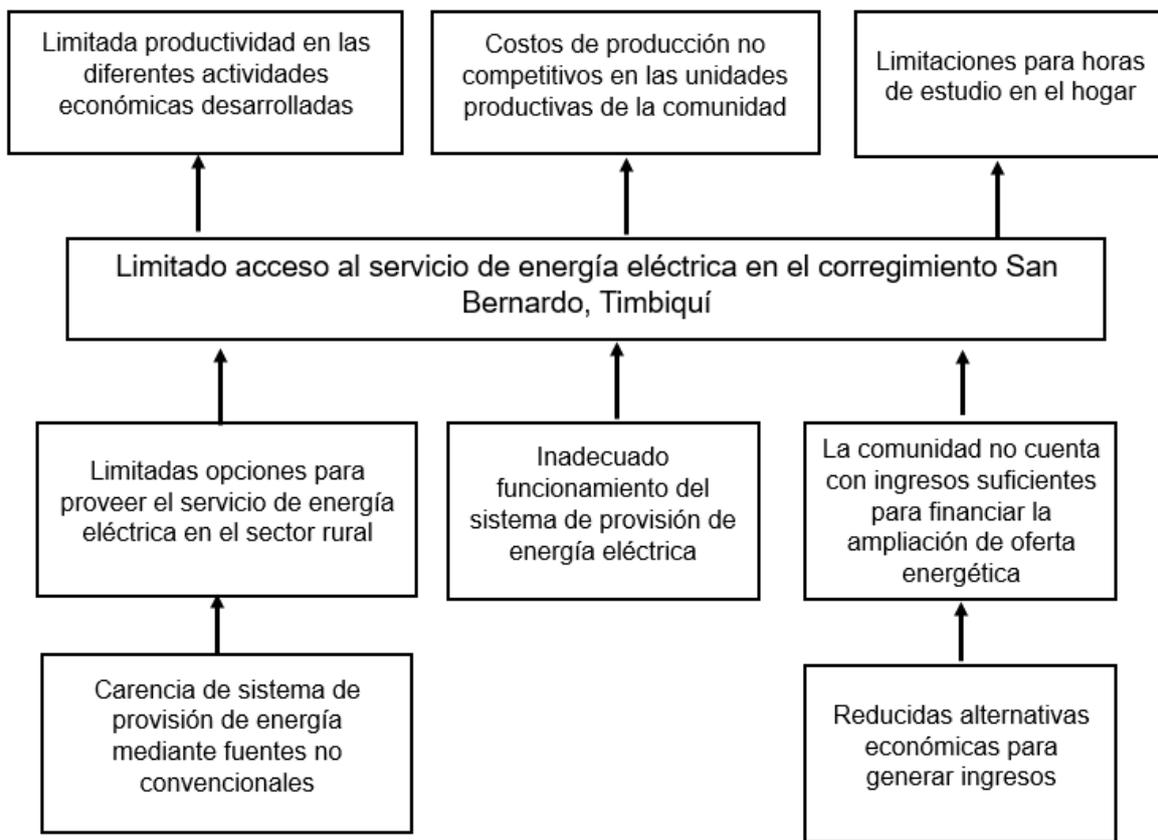


Figura 13. Árbol de problemas vereda San Bernardo. Fuente [23]

Este proyecto cuenta con la participación de organizaciones locales, tales como la asociación de Mujeres de Viche de San Bernardo y la comunidad en general, donde también serán los encargados de la operación y mantenimiento de la maquinaria utilizada. [23]

Chacón Playa

La vereda Chacón Playa hace parte de la zona rural del municipio de Timbiquí, estando ubicada sobre la costa pacífica, tal como se muestra en la figura 14, basando su economía mayoritariamente en la pesca artesanal. Hace parte de las zonas con mayor índice de necesidades básicas insatisfechas, al no contar con servicios públicos básicos, por estar en uno de los lugares más apartados del país, contando solo con transporte fluvial para comunicarse con la cabecera municipal. [24]

Es precisamente por el tipo de actividad económica ejercida por los habitantes de Chacón Playa, que se requieren de soluciones energéticas urgentes, que les permitan no solo conservar sus productos mediante la adecuada refrigeración de la pesca, sino para mejorar el proceso completo y dar un valor agregado. En la figura 15 se observa la problemática que afronta Chacón Playa del municipio de Timbiquí. [24]



Figura 14. Ubicación Vereda Chacón Playa. Fuente [24]

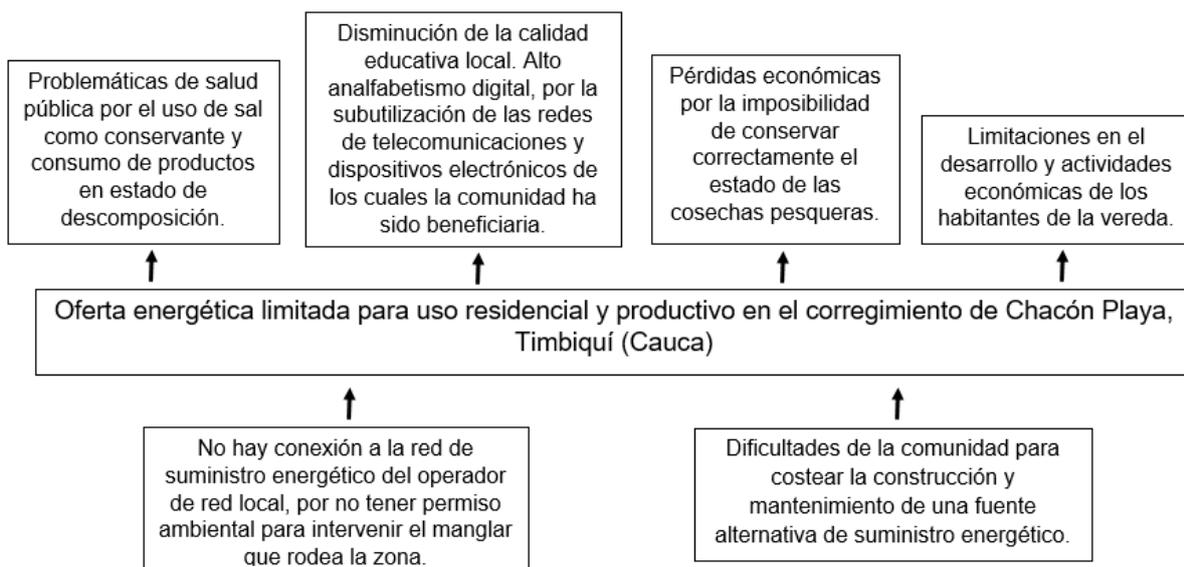


Figura 15. Árbol de problemas Chacón Playa. Fuente [24]

La comunidad de Chacón playa ha intentado dar solución a estas limitaciones que se derivan de la falta de suministro energético. En primera instancia, a través de la interconectividad, la cual por razones geográficas y ambientales no ha sido posible.

Luego, a través de iniciativas propias y de búsqueda de recursos y/o intervenciones de entidades afines a los procesos de desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida en comunidades como la descrita. Estas soluciones previas o fueron inviables o fueron reducidas en su capacidad de impacto. [24]

En este ámbito, el proyecto PERS en la zona rural de Timbiquí plantea ampliar la cobertura energética para uso residencial y productivo, mediante la implementación de una solución energética de generación fotovoltaica que no solo garantice el suministro continuo, sino también el uso de energías limpias y renovables para fortalecer el proceso de la pesca en la comunidad y permita mejorar la calidad de vida.

En conclusión, para llevar a cabo de forma exitosa cada uno de los proyectos planteados en las comunidades descritas, se deben tomar en cuenta las fuentes de energía que existen en cada territorio, así como las limitantes que han impedido desde hace mucho tiempo que no cuenten con el servicio. Por ende, este proyecto busca apoyar desde la parte técnica, la selección de la mejor alternativa energética para cada una de las zonas expuestas, esto con el fin de cumplir los objetivos propuestos por PERS Cauca.

CAPÍTULO 2

NECESIDADES ENERGÉTICAS EN LAS ZNI DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

En este capítulo se exponen las necesidades energéticas que sufren los habitantes de las zonas no interconectadas del departamento de Cauca, para ello se realizan estimaciones sobre la oferta energética que necesita cada corregimiento objeto de estudio para PERS Cauca. Se mencionan las actividades económicas correspondientes a cada vereda con el fin de mantener en marcha los proyectos que se establezcan.

Las áreas no conectadas a la red eléctrica principal a menudo enfrentan desafíos en el suministro de energía debido a su ubicación geográfica y a la falta de infraestructura de transmisión y distribución. Estas áreas suelen depender de fuentes de energía descentralizadas, como sistemas de generación Diesel, paneles solares, turbinas eólicas pequeñas o sistemas de microrredes. La demanda energética en estas zonas puede variar según diversos factores, como la densidad de población, el nivel de desarrollo económico, las actividades industriales y agrícolas, y las necesidades específicas de cada comunidad. En general, la demanda de energía en áreas rurales tiende a ser menor que en áreas urbanas debido a la menor concentración de infraestructuras y actividades industriales, esto también está influenciado principalmente por el estilo de vida y a que en las zonas rurales es amplia la población de estratos socioeconómicos bajos. En Colombia el sistema único de información de servicios públicos SUI registra y clasifica la información acerca del consumo de energía en el territorio nacional, además permite acceder a los reportes y datos relacionados al servicio de energía eléctrica, dividida en año; período; ubicación; departamento; municipio; reporte de consumo total, consumo promedio y factura promedio [25].

En el caso del departamento del Cauca, la demanda energética en las zonas no interconectadas está influenciada principalmente por la presencia de comunidades rurales, la agricultura y el consumo energético se divide principalmente entre servicios básicos como la iluminación, la refrigeración y la carga de dispositivos electrónicos. Por lo que al consultar el SUI en referencia al departamento del Cauca, se obtiene la información sobre el consumo de energía en la última década para todos los estratos de la zona rural, tal como se muestra en la tabla 1, donde se hace evidente que el mayor consumo se registra en los estratos 1 y 2 de la zona rural, así como también, que en la última década se ha registrado un incremento de cerca del 96% por lo que se hace necesario el aprovechamiento de los recursos energéticos propios de cada zona para cubrir la demanda básica, la cual, es de esperarse que siga aumentando en el tiempo.

Año	Estrato						Total GWh
	1	2	3	4	5	6	
2011	88.64	10.91	0.73	0.24	0.16	0.05	100.72
2012	96.37	11.06	0.79	0.21	0.15	0.04	108.62
2013	118.67	12.34	1.27	0.76	0.19	0.05	133.27
2014	143.69	13.96	2.31	2.13	0.27	0.07	162.44
2015	161.98	14.94	2.72	2.53	0.47	0.26	182.90
2016	163.59	15.16	2.47	2.56	0.58	0.30	184.65
2017	185.50	15.31	2.51	2.52	0.55	0.34	206.73
2018	181.41	15.23	2.48	2.50	0.58	0.40	202.61
2019	187.30	16.57	3.35	3.08	0.72	0.40	211.43
2020	142.95	16.43	3.88	2.41	0.49	0.23	166.39
2021	178.46	15.32	1.93	0.83	0.25	0.08	196.87

Tabla 1. Consumo eléctrico rural anual Cauca. Fuente [25]

Para realizar el análisis correspondiente a los requerimientos energéticos de cada una de las zonas del proyecto PERS, se toma como referencia que el departamento del Cauca está dividido por siete subregiones o provincias, las cuales son Centro, norte, sur, oriente, occidente, macizo y piedemonte amazónico [26]. Las comunidades objeto de estudio para este proyecto se encuentran ubicadas en las subregiones Norte para Caloto, sur para Patía y occidente para Guapi y Timbiquí, tal como se muestra en la figura 16.

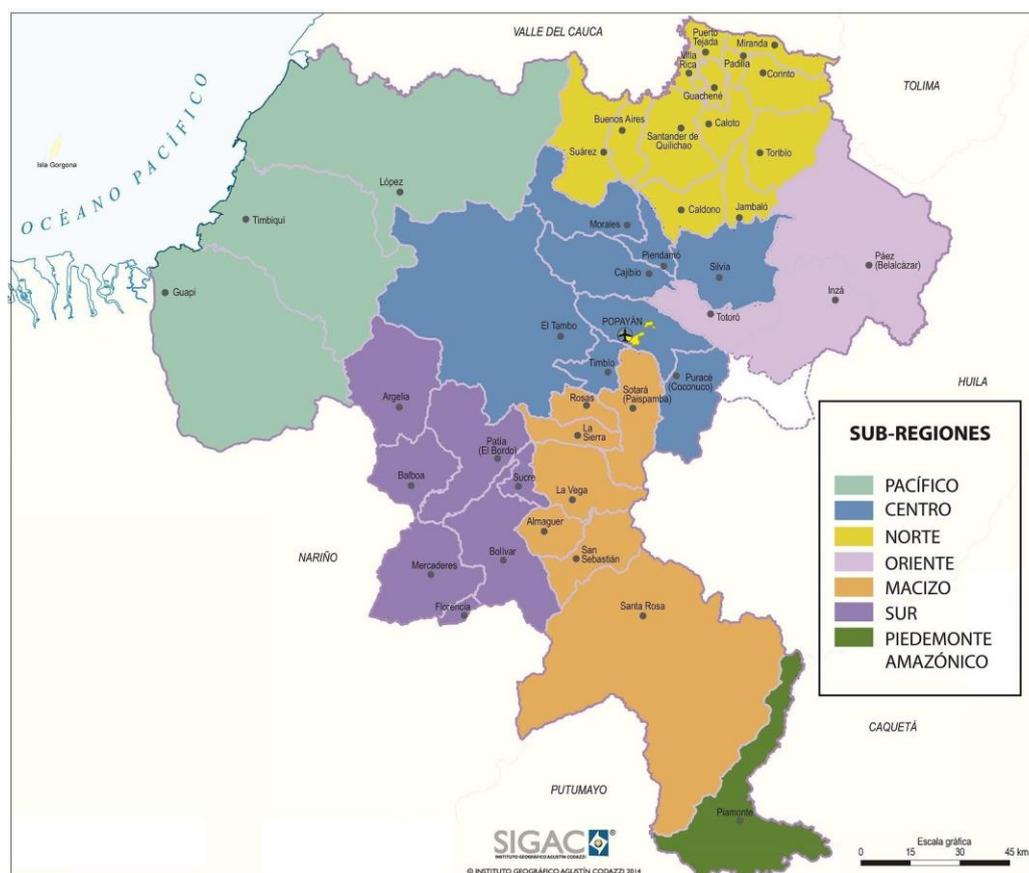


Figura 16. Mapa Subregiones departamento del Cauca. Fuente [27]

2.1. Demanda energética en viviendas

El enfoque del proyecto PERS se centra en proporcionar soluciones energéticas a comunidades rurales que por diversas razones carecen de acceso a una fuente de energía estable o continua. Por lo tanto, resulta imperativo realizar una investigación exhaustiva sobre la demanda de energía en cada comunidad para determinar los recursos necesarios para satisfacer estas necesidades energéticas básicas. Además, es fundamental considerar el apoyo requerido para actividades económicas que promuevan la sostenibilidad comunitaria y, en consecuencia, del proyecto en sí.

En el contexto de las viviendas, se observa que la mayoría de estas pertenecen al estrato socioeconómico 1, por lo que comparten características en relación con la demanda eléctrica debido a las condiciones que presentan y que se suman a factores como la disponibilidad limitada de horas de acceso a la electricidad a través de medios alternativos al sistema interconectado, la dependencia de grupos electrógenos o, en algunos casos, la ausencia total de este servicio básico.

En algunas de las comunidades bajo estudio, mediante encuestas realizadas por el grupo PERS Cauca se identifica que la electricidad con la que se cuenta en ciertas horas se utiliza principalmente para iluminación y para el funcionamiento de pequeños electrodomésticos esenciales. Sin embargo, en ningún momento esta demanda se iguala o supera a la de otras comunidades rurales que ya cuentan con el servicio eléctrico y cuyos hábitos de consumo están registrados en bases de datos, como las plataformas de la Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios, como se muestra en la tabla 2, en la cual se observa el consumo a lo largo del año 2023 en las zonas rurales del departamento del Cauca.

Empresa	Mes	NIVEL DE TENSIÓN	SUSCRIPTORES	Promedio de Consumo (kWh/Suscriptor)
23442 - COMPAÑIA ENERGETICA DE OCCIDENTE S.A.S. E.S.P.	ene / 2023	Nivel 1	7.225	78,6
	feb / 2023	Nivel 1	7.238	71,5
	mar / 2023	Nivel 1	7.255	70,7
	abr / 2023	Nivel 1	7.260	99,1
	may / 2023	Nivel 1	7.261	79,3
	jun / 2023	Nivel 1	7.263	72,7
	jul / 2023	Nivel 1	7.308	99,3
	ago / 2023	Nivel 1	7.377	80,7
	sep / 2023	Nivel 1	7.435	79,4
	oct / 2023	Nivel 1	7.466	76,5
	nov / 2023	Nivel 1	7.484	80,1
	dic / 2023	Nivel 1	7.523	81,3
PROMEDIO				80,8

Tabla 2. Consumos en zonas rurales interconectadas. Fuente [28]

Entre los datos de la tabla se evidencia que el promedio mensual de consumo es de 80.8 kWh. En base a este dato y otros proporcionados por el grupo PERS Cauca es posible estimar los elementos que generan consumo en una vivienda promedio, como se muestra en la tabla 3, con el fin de crear un perfil de carga diario con su correspondiente curva característica, tabla 4, que posteriormente permita realizar un proceso de comparación y simulación de diferentes soluciones.

Cant	Descripción	Uso en horas	Consumo kWh	kWh/día	kWh/mes
1	Refrigerador	24	0,05	1,2	36
1	TV 32-43 pulgadas	6	0,15	0,9	27
1	Licuada	0,1	0,15	0,015	0,45
5	Bombillas led 12 W	5	0,0124	0,31	9,3
1	Equipo de audio	4	0,05	0,2	6
4	Puntos de carga/Mixto	1	0,015	0,06	1,8
1	Otros posibles	2	0,05	0,1	3
TOTAL				2,785	83,55

Tabla 3. Consumo estimado de viviendas de zona rural. Basada en datos PERS Cauca

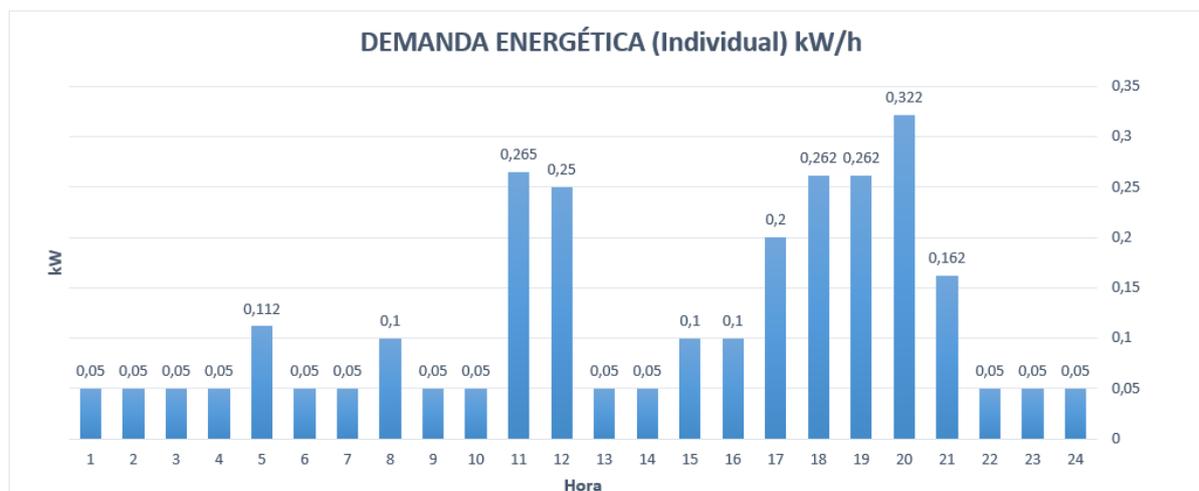


Figura 17. Curva de carga estimada para zonas rurales. Basada en datos PERS

2.2. Requerimientos Energéticos Guapi

El corregimiento del Rosario, municipio de Guapi, presenta deficiencias en el suministro energético para uso doméstico y para uso en actividades económicas; desde el proyecto PERS Cauca, se propone brindar 30 soluciones energéticas para beneficiar a cerca de 120 personas; además de las soluciones propuestas para el servicio domiciliario, se plantea la implementación de un sistema de secado de arroz mediante energía solar, pero este no será tenido en cuenta en el actual estudio debido a la complejidad del equipo y a que es una unidad que incluye su fuente de alimentación debidamente calculada y probada. Este proyecto busca mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comunidad y basar su sostenibilidad en la principal actividad económica de la vereda el Rosario que es la producción de arroz, el cual se transporta hasta la cabecera municipal para su procesamiento y comercialización [29].

Para conocer el consumo eléctrico que pueden tener a futuro las viviendas de la vereda el Rosario, se pueden usar como referencias los consumos registrados en el SUI de las viviendas más cercanas a la vereda el Rosario que ya cuentan con el servicio; además, el equipo PERS Cauca realizó una recolección de información, obteniendo datos sobre los dispositivos eléctricos con los que cuentan y por lo tanto permitiendo determinar el consumo promedio de los habitantes en la actualidad, teniendo un valor promedio de 56.69 kWh/mes [29], lo cual es coherente con los datos que se obtienen del SUI, el cual tiene un registro de 60 kWh/mes para viviendas del sector rural de estrato 1 que ya cuentan con el servicio en el municipio de Guapi, como se muestra en la tabla 4, sin embargo, en este caso es conveniente que se contemple un valor mayor al momento de dimensionar el sistema, tratando de cubrir un consumo acorde a lo necesario para garantizar un mínimo vital de energía para suplir sus necesidades básicas; este valor será considerado de acuerdo con el promedio de consumo de poblaciones rurales del departamento del Cauca, como se mostró en la tabla 3, es decir en base a los 83,55 kWh/mes.

TIEMPO	UBICACION_GEOGRAFICA	ESTRATO	EMPRESA
Mes	MUNICIPIO	ESTRATO	Empresa
abr / 2022	GUAPI	Estrato 1	520 - CENTRALES ELECTRICAS DE NARIÑO S.A. E.S.P.
Promedio de Facturación total (\$/Suscriptor)		Promedio de Facturación por consumo (\$/Suscriptor)	
17,580 (\$/susc)		42,639 (\$/susc)	
17,580 (\$/susc)		42,639 (\$/susc)	
		Promedio de Consumo (kWh/Suscriptor)	
		60.0 (kWh/susc)	
		60.0 (kWh/susc)	

Tabla 4. Consumos registrados para Guapi. Fuente [30]

2.3 Requerimientos Energéticos Caloto

En la zona norte del departamento del Cauca en Caloto, se encuentra el resguardo indígena López Adentro, en el cual, sus habitantes tienen como principal actividad económica la agricultura y la producción de panela. En esta localidad se tiene como objetivo crear 72 soluciones energéticas residenciales, para el mismo número de familias que aún no cuentan con el servicio mediante el sistema interconectado debido principalmente a diferencias socio culturales con las empresas prestadoras del servicio eléctrico en la región. Estas comunidades tienen estilos de vida propios de su cultura, por lo que la demanda energética puede diferir en gran medida debido a sus costumbres. Según datos recogidos por el equipo PERS Cauca, 84 kWh es el consumo promedio mensual en las zonas aledañas al resguardo que ya cuentan con el servicio de energía eléctrica [31], lo cual corresponde al promedio mensual que refiere la tabla 3 y que coincide con la tabla 5, de consumos en Caloto rural.

TIEMPO	EMPRESA	MERCADO	UBICACION	UBICACION	USO	ESTRATO	NIVEL DE
2023	22437 - COMPA	172-CAUCA	CALOTO	Rural	Residencial	ESTRATO	Nivel 1

EMPRESA	TIEMPO	NIVEL DE TENSION	Medidas
Empresa	Mes	NIVEL DE TENSION	Promedio de Consumo (kWh/Suscriptor)
23442 - COMPAÑIA ENERGETICA DE OCCIDENTE S.A.S. E.S.P.	ene / 2023	Nivel 1	79.1 (kWh/susc)
	feb / 2023	Nivel 1	72.2 (kWh/susc)
	mar / 2023	Nivel 1	71.1 (kWh/susc)
	abr / 2023	Nivel 1	99.5 (kWh/susc)
	may / 2023	Nivel 1	79.8 (kWh/susc)
	jun / 2023	Nivel 1	73.1 (kWh/susc)
	jul / 2023	Nivel 1	99.6 (kWh/susc)
	ago / 2023	Nivel 1	81.1 (kWh/susc)
	sep / 2023	Nivel 1	79.9 (kWh/susc)
	oct / 2023	Nivel 1	76.9 (kWh/susc)
	nov / 2023	Nivel 1	80.5 (kWh/susc)

Tabla 5. Consumos registrados para Caloto. Fuente SUI

2.4 Requerimientos Energéticos Patía

La deficiente oferta energética en la vereda el Tuno afecta no solo la calidad de vida de los habitantes sino también sus posibilidades de desarrollar actividades económicas y productivas. Mediante el proyecto Pers se plantea dar apoyo a la labor agrícola de la comunidad mediante la implementación de un sistema de riego apoyado en energía solar, la cual permita extraer el agua que requieren en las plantaciones existentes en esta zona. [32]

La vereda El Tuno depende principalmente de la agricultura, enfocada en el cultivo de limón variedad Tahití. Sin embargo, la disponibilidad de agua, extraída de un río cercano, afecta tanto los cultivos como la población durante las épocas de verano y bajas lluvias. Este río, la única fuente hídrica natural, experimenta una disminución drástica en su caudal durante la sequía, proporcionando un suministro adecuado solo de diciembre a marzo. Ante esta situación, se propone como plan de sostenibilidad la implementación de un sistema de bombeo de agua. Este sistema podría alimentarse mediante la extensión de redes eléctricas desde las fuentes más cercanas, o mediante la utilización de energía solar, aprovechando las condiciones favorables para la generación solar en la vereda El Tuno. [32].

El uso de energía solar tiene como ventaja que los meses de sequía coinciden con los de mayor radiación en esta zona del departamento del Cauca, lo que implica que las fuentes hídricas subterráneas puedan ser aprovechadas, ya que la energía necesaria estaría, teóricamente, disponible. De acuerdo con la cantidad de cultivos y la producción del limón, se tiene un estimado de 15.000 kg al año por cada hectárea, requiriendo en promedio 3000 litros de agua diarios por hectárea para suplir el riego, tanto para cultivos en etapa de desarrollo, etapa de siembra y en etapa de producción. Tras un análisis de PERS Cauca, se ha determinado que la electrobomba que se requiere tendrá un consumo nominal de 1.4 kW, y se espera que un día deba funcionar entre 6 y 8 horas, teniendo un consumo energético máximo diario de 11.2 kWh, es decir que de forma proporcional se puede obtener la demanda energética, como se muestra en la tabla 6 [32]

Horas uso al día	Consumo Estimado	
	Diario	Mensual
1	1,4	42
2	2,8	84
3	4,2	126
4	5,6	168
5	7	210
6	8,4	252
7	9.8	252
8	11,8	354

Tabla 6. Requerimientos energéticos electrobomba. Fuente Elaboración propia

2.5 Requerimientos energéticos Timbiquí

El servicio de energía eléctrica en el municipio de Timbiquí, ubicado en la subregión occidental del departamento de Cauca, es insuficiente para la comunidad en general debido a la falta de infraestructura necesaria para la implementación de cobertura

eléctrica. En este municipio se contemplan dos proyectos PERS ubicados en la vereda San Bernardo y Chacón Playa, respectivamente.

2.5.1 Corregimiento San Bernardo.

La prestación del servicio de energía eléctrica en el corregimiento de San Bernardo, municipio de Timbiquí, es limitada y no logra satisfacer las necesidades de la comunidad debido a que solo cuentan con 5 horas del servicio, esto debido a que solo se cuenta con una planta de energía eléctrica que utiliza ACPM como combustible; esta planta brinda el servicio de electricidad desde las 5 pm hasta las 10 pm aproximadamente. [33]

En el corregimiento de San Bernardo se realizan prácticas productivas y económicas que se basan en la fabricación y distribución de viche, bebida alcohólica propia de la región, de acuerdo con esto, se realiza una estimación de la demanda energética que requiere esta zona no interconectada. [33]

Se debe tener en cuenta que la estimación de consumo eléctrico se realiza en el uso domiciliario debido a que el punto central del proyecto es mejorar, con fuentes alternativas, el suministro de energía eléctrica en sus viviendas. Tomando los datos suministrados por PERS Cauca, son 145 viviendas que requieren la ampliación de la cobertura de energía eléctrica; una encuesta realizada a la población arrojó resultados sobre los electrodomésticos más usados en su día a día. En la tabla 7 se muestra la tendencia de los electrodomésticos usados en la región con su respectivo porcentaje de uso, en relación con la cantidad de usuarios encuestados para este caso, se destaca que se añaden nuevos electrodomésticos indispensables para las viviendas, de acuerdo con las costumbres en la región pacífica caucana. [33]

Electrodomésticos usados	Cantidad	Porcentaje
Celular	26	81%
Olla arrocera	1	3%
Lavadora	1	3%
Licuada	10	31%
Radio	2	6%
Equipo de sonido	3	9%
Televisor	12	38%
Computador	5	16%
Motor fuera de borda	2	6%
Planta eléctrica	0	0%

Tabla 7. Uso de electrodomésticos en San Bernardo. Fuente [33]

Con los anteriores datos se realiza la tabla 8 de consumo energético requerido para cada vivienda. Este consumo se realiza con la ayuda de la comunidad beneficiaria a partir del promedio de una zona rural, que permita satisfacer sus necesidades.

Equipo	Potencia (Wh)	Cantidad	Consumo (Wh)	Horas de uso día	kWh/día	kWh/mes
Nevera	80	1	80	24	1,92	57,6
Licadora	300	1	300	0,1	0,03	0,9
Iluminación	20	6	120	6	0,72	21,6
Sonido	50	1	50	4	0,2	6
Ventilador	60	1	60	6	0,36	10,8
Televisor	80	1	80	6	0,48	14,4
Tomas	20	3	60	5	0,3	9
TOTAL					4,01	120,3

Tabla 8. Consumo estimado para San Bernardo. Fuente [33]

Con los datos suministrados se tiene un consumo total de 120,3 kWh/mes; el valor de 4,01 kWh/día corresponde al consumo energético requerido para una vivienda y un total de 581,45 kWh/día para las 145 viviendas sujetas al proyecto en el corregimiento de San Bernardo.

2.5.2 Corregimiento Chacón Playa.

El corregimiento de Chacón Playa presenta falencias en el suministro energético para su uso doméstico y para sus actividades productivas. Los habitantes de esta vereda practican la pesca como una actividad que realizan para su subsistencia y para la parte productiva y comercial, en esta segunda actividad presentan mayor afectación debido a las deficiencias energéticas dado que no se cuenta con un suministro de energía permanente que permita la conservación de sus productos. [34]

La situación actual en Chacón Playa se resume en dos congeladores alimentados por energía solar, cada uno con una capacidad de almacenamiento de 250 kilogramos. La producción pesquera mensual de este corregimiento supera las 7,8 toneladas, lo que implica una pérdida significativa del producto debido a la falta de capacidad de almacenamiento. Además, la comunidad dispone de una planta comunitaria que suministra energía durante un período limitado, de 5 pm a 10 pm, lo que subraya las necesidades domésticas no cubiertas durante la mayor parte del día. [34]

El propósito central de este proyecto es extender la cobertura de energía eléctrica en las residencias de este corregimiento, beneficiando un total de 123 viviendas. Para lograrlo, se han llevado a cabo estudios basados en la población afectada, cuyos resultados se encuentran detallados en la tabla 9. En dicha tabla se expone la

cantidad de electrodomésticos de uso doméstico presentes en las viviendas de esta vereda.

Electrodomésticos	Cantidad	Porcentaje
Celular	29	94%
Olla arrocera	5	16%
Lavadora	26	84%
Licuadaora	31	100%
Radio	4	13%
Equipo de sonido	6	19%
Televisor	30	97%
Computador	1	3%
Motor fuera de borda	2	6%
Planta eléctrica	2	6%

Tabla 9. Uso de electrodomésticos en Chacón Playa. Fuente [34]

En general, el requerimiento energético promedio doméstico para suplir las necesidades del corregimiento de Chacón Playa es el que se expone en la tabla 10.

Equipo	Potencia (W)	Cant	Consumo (W)	Horas de uso día	kWh/día	kWh/mes
Nevera	80	1	80	24	1,92	57,6
Licuadaora	300	1	300	0,1	0,03	0,9
Iluminación	20	6	120	6	0,72	21,6
Sonido	50	1	50	4	0,2	6
Ventilador	60	1	60	6	0,36	10,8
Televisor	80	1	80	6	0,48	14,4
Punto Carga	20	3	60	5	0,3	9
TOTAL					4,01	120,3

Tabla 10. Consumo estimado para Chacón Playa. Fuente [34]

Con los datos proporcionados, se calcula un requerimiento energético diario total de 493,23 kWh para las 123 viviendas en conjunto. Este cálculo considera diversas variables, incluyendo el número de viviendas, sus necesidades eléctricas individuales

y el consumo promedio estimado. Este resultado sirve como punto de referencia fundamental para diseñar y dimensionar adecuadamente el sistema de energía eléctrica que satisfaga las demandas de la comunidad de manera eficiente y confiable.

En Chacón Playa, el enfoque del requerimiento energético se centra exclusivamente en el consumo de energía de las viviendas. Es importante destacar que, dentro del alcance de este proyecto, la parte productiva no ha sido objeto de estudio debido a la escasez de datos sobre sus necesidades energéticas. Por lo tanto, la investigación y análisis se han dirigido exclusivamente hacia el consumo residencial, dejando fuera de consideración cualquier otro aspecto energético relacionado con actividades productivas.

La Figura 18 presenta la ubicación geográfica de cada uno de los proyectos en el Cauca. Estos proyectos se enumeran en orden ascendente, comenzando por Guapi, seguido por Caloto, Patía, Timbiquí, San Bernardo y, finalmente, Chacón Playa.

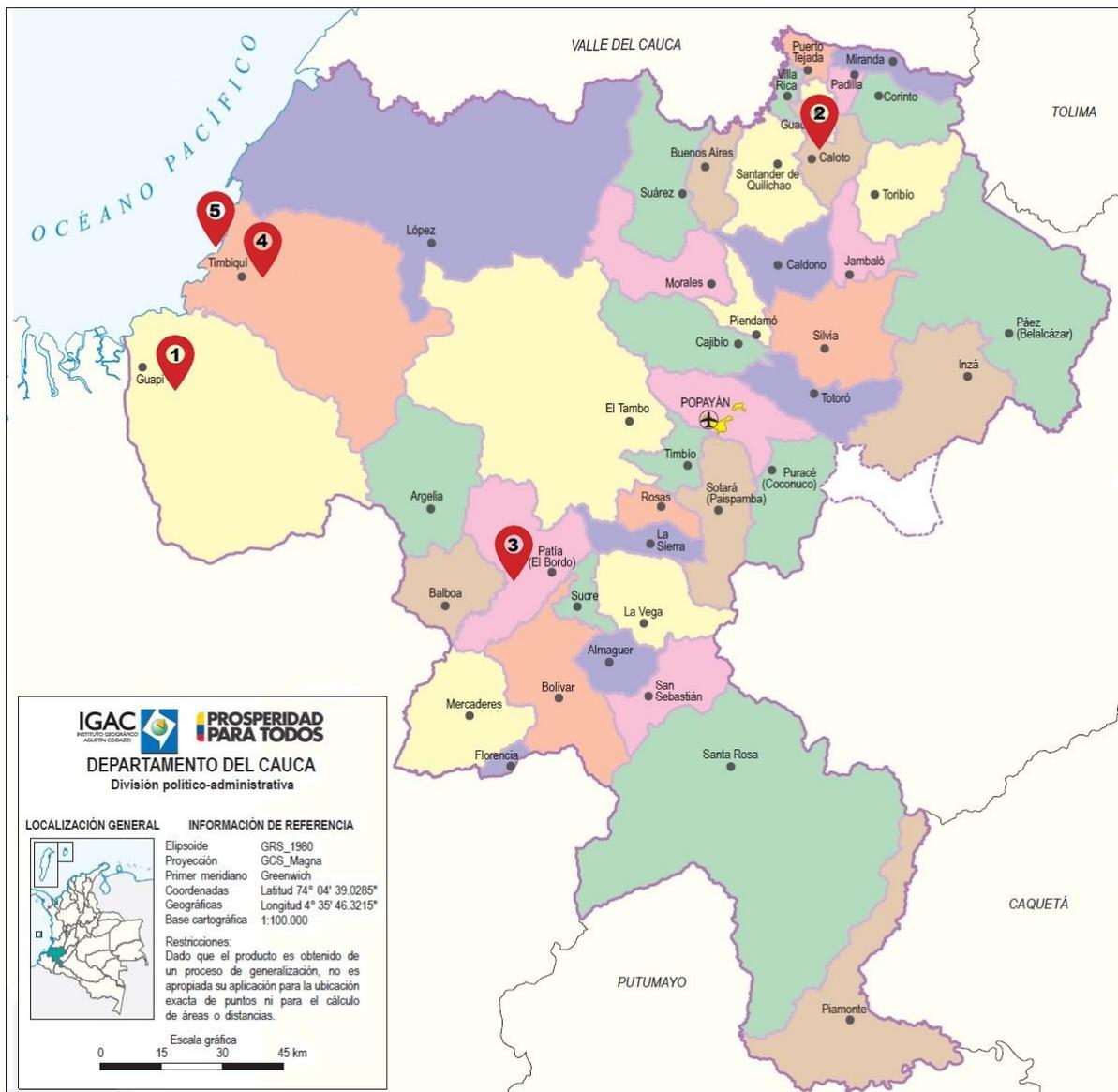


Figura 18. Ubicación proyectos PERS Cauca. Fuente [27]

En la tabla 11 se observa un resumen de la demanda energética necesaria para cada zona y su ubicación geográfica.

PERS	DEMANDA ENERGÉTICA				COORDENADAS
	Individual kWh/día	Conjunta kWh/día	Individual kWh/mes	Conjunta kWh/mes	
PATÍA	11,2	NA	336	NA	77° 03' 31.73" W 2° 01' 25.47" N 77° 03' 05.08" W 2° 01' 04.38" N
CALOTO	2,8	201,6	84	6.048	76° 21' 39.15" W 3° 09' 03.26" N 76° 19' 25.81" W 3° 04' 53.63" N
TIMBIQUÍ, Playa Chacón	4,01	493,2	120,3	14.796	77° 46' 11.493" W 2° 47' 55.648" N 77° 45' 06.801" W 2° 47' 06.5647" N
TIMBIQUÍ, San Bernardo	4,01	581,43	120,3	17.443	77° 23' 32.236" W 2° 42' 57.2047" N 77° 22' 05.518" W 2° 41' 51.5956" N
GUAPI Perfil 1 Perfil 2	1,88 2,78	56,65 83,55	56,65 83,55	1699 2.506	77° 46' 34.892" W 2° 21' 52.567" N 77° 45' 16.226" W 2° 20' 08.7974" N

Tabla 11. Demanda energética en cada región. Fuente elaboración propia

Con los resultados obtenidos en la tabla 11 se procede a realizar un estudio en el siguiente capítulo enfocado en las fuentes de energía que se puedan utilizar para obtener el abastecimiento de la demanda energética requerida en cada zona.

CAPÍTULO 3

FUENTES ENERGÉTICAS COMO ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO

En este tercer capítulo, se aborda la metodología que se empleará en el análisis de las alternativas energéticas propuestas para las distintas zonas de estudio previamente definidas. La elección de la metodología es un paso crucial en la investigación, ya que establece el marco y los procedimientos que permitirán evaluar de manera rigurosa y objetiva las soluciones energéticas bajo consideración.

En este sentido, este capítulo proporciona una visión general de cómo se llevará a cabo el análisis, incluyendo la herramienta central seleccionada para la simulación y evaluación de las alternativas, la recopilación de datos necesarios, la configuración del modelo, el enfoque de las simulaciones y la metodología de análisis de resultados.

La elección de la herramienta Homer Pro como parte fundamental de esta metodología se justifica por su capacidad para modelar y analizar sistemas energéticos complejos, lo que lo convierte en una herramienta idónea para nuestro estudio. Además, se detallará la obtención y gestión de los datos relevantes, así como la validación del modelo y la consideración de limitaciones y aspectos éticos. Como parte de la comparativa se emplearán 3 alternativas por cada caso, que nos permitirán definir pros y contras sobre cada una en casos particulares de aplicación en las zonas objeto de estudio.

3.1 Herramienta de Análisis: Homer Pro

La herramienta Homer Pro desempeñará un papel central en el análisis de las soluciones energéticas para las zonas no interconectadas. Este es un software ampliamente reconocido por su capacidad para modelar sistemas de energía y realizar análisis económicos de sistemas híbridos de generación y almacenamiento. A continuación, se proporciona una descripción detallada de esta herramienta y la justificación de su elección:

3.1.1 Descripción de Homer Pro

Homer Pro es un software de modelado y optimización de sistemas de energía desarrollado por HOMER Energy. Este software permite la simulación de sistemas energéticos complejos, teniendo en cuenta una amplia variedad de fuentes de energía, tecnologías de generación y almacenamiento, y perfiles de demanda [36]. Entre sus características clave se incluyen:

- Modelado de sistemas de energía híbridos, que pueden incluir fuentes de energía renovable como paneles solares y aerogeneradores, así como generación diésel o de otro tipo.
- Optimización para encontrar la configuración más eficiente y económica del sistema en función de los objetivos específicos del proyecto.
- Análisis económico que evalúa el costo nivelado de energía (LCOE) y otros indicadores financieros relevantes.
- Capacidad para simular sistemas a largo plazo y considerar factores como la variabilidad de la demanda y la disponibilidad de recursos renovables.

- Interfaz gráfica de usuario intuitiva que facilita la configuración y la visualización de resultados.

3.1.2 Justificación de la Elección de Homer Pro

La elección de Homer Pro como la herramienta principal para este estudio se basa en varias consideraciones fundamentales:

- **Capacidad de Modelado Completo:** Homer Pro permite representar de manera precisa sistemas energéticos complejos, lo que resulta esencial para evaluar soluciones energéticas en zonas no interconectadas, donde la diversidad de fuentes de energía y tecnologías es significativa.
- **Optimización Personalizada:** La capacidad de optimización de Homer Pro es crucial para encontrar la combinación óptima de tecnologías y configuraciones que se adapten a las necesidades específicas de cada zona, teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos y sociales.
- **Análisis Económico Riguroso:** La herramienta proporciona un análisis financiero sólido, lo que permite evaluar la viabilidad económica de las soluciones propuestas, considerando factores como el costo nivelado de energía (LCOE) y el retorno de la inversión (ROI).
- **Documentación y Comunidad de Usuarios:** Homer Pro cuenta con una amplia base de usuarios y una sólida documentación, lo que facilita el aprendizaje y la resolución de problemas.
- **Relevancia Internacional:** Homer Pro es ampliamente utilizado en proyectos de energía renovable y sistemas híbridos a nivel internacional, lo que lo convierte en una elección respaldada por la industria.

En resumen, Homer Pro se presenta como la herramienta idónea para llevar a cabo un análisis detallado y riguroso de las soluciones energéticas en zonas no interconectadas, permitiendo la optimización y evaluación integral de alternativas técnicas, económicas y sociales. Su versatilidad y capacidad de modelado lo hacen apto para abordar los desafíos específicos de este proyecto de investigación.

3.2 Recopilación de Datos para Homer Pro.

La metodología y la recopilación de datos es un paso crítico para asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados, de manera general, se mencionan los parámetros más relevantes que se necesitan para realizar la simulación de un proyecto energético; las fuentes de datos incluyen:

3.2.1 Datos Climáticos y localización

Para realizar cálculos en el software Homer Pro, es necesario especificar la latitud y longitud de la zona, esto define la ubicación exacta del caso de estudio en la superficie terrestre, siendo esencial para obtener los disponibles de la zona particular.

A través de esta localización es posible calcular la radiación que incide sobre una superficie inclinada; Homer utiliza esta ubicación para calcular el índice de claridad (Clearness Index). Este índice de claridad, propuesto originalmente por Liu y Jordan, evalúa la transparencia de la atmósfera y es fundamental en la mayoría de los métodos para estimar la radiación en superficies inclinadas [35]. Se define como la

relación entre la irradiación anual en una superficie horizontal en la Tierra y la irradiación anual en una superficie horizontal ubicada fuera de la atmósfera.

Una vez determinada la ubicación en la cual se realizará el proyecto, Homer facilita el acceso a los índices de radiación solar, temperatura, viento, entre otros, facilitando y agilizando el análisis y la selección de una fuente de energía, ya que hacerlo solo implica cambios básicos de parámetros dentro del software.

3.2.2 Parámetros económicos.

Homer Pro puede incluir variables económicas avanzadas para realizar una estimación que se adapten a la economía del lugar donde se lleve a cabo el proyecto, tales son, la inflación y la tasa de descuento, los cuales para este caso serán del 7% y del 12,18% respectivamente [31]. Se asignará el tiempo de vida del proyecto, el cual en todos los casos tratados será de 10 años.

3.2.3 Perfil de carga Eléctrica.

El siguiente elemento en la simulación corresponde al perfil de carga, los cuales se trataron en el capítulo anterior. Una vez establecidos estos perfiles, se conoce cuánta energía debe ser suministrada al sistema en diferentes horas del día, lo cual es un dato de vital importancia para no sobredimensionar el sistema por tener consumos bajos o para no subdimensionarlo debido a que existen horas pico de consumo. En la planificación de sistemas fotovoltaicos, el objetivo es lograr un equilibrio entre el tamaño del sistema y la demanda de energía real, de modo que se genere suficiente energía para satisfacer las necesidades sin un exceso significativo, evitando así los costos innecesarios asociados con un sistema sobredimensionado. Por tanto, es importante realizar un análisis adecuado de la demanda energética antes de diseñar un sistema fotovoltaico para asegurarse de que esté dimensionado de manera óptima, lo cual es el objetivo de este trabajo de grado.

3.2.4 Lista de componentes.

El uso del software Homer pro, requiere tener en cuenta todos los valores de los componentes necesarios y sus respectivos precios para la realización de cada uno de los proyectos en el sitio especificado. Es decir, que se debe disponer de los precios tanto de materiales como de mano de obra, administración y mantenimiento para poder obtener un resultado lo más cercano posible a la realidad. Cabe resaltar que estos valores son datos que varían para cada proyecto.

De forma general, en la tabla 12 donde se describen los componentes más importantes que requiere el software para lograr llevar a cabo el proceso de simulación.

FUENTES, ALMACENAMIENTO Y CARGAS NECESARIAS EN HOMER PRO	DESCRIPCIÓN GENERAL
Panel solar fotovoltaico (PV)	Permite ingresar el costo, el tamaño (kW) y las características de rendimiento para un panel solar fotovoltaico
Turbina eólica	Permite elegir el tipo de turbina eólica que desea modelar, especificar sus costos e indicar cuántas turbinas debe considerar mientras busca el sistema óptimo.
Generador: Diesel, gasolina, biogás, combustibles alternativos y a medida	Se ingresan las características de costos y tamaño (kW) para un generador, así como su tipo de combustible necesario para su funcionamiento. se debe ingresar el costo por litro de combustible utilizado.
Red eléctrica	Permite ingresar los valores del precio de energía constante, un precio de venta y una capacidad de venta.
Baterías de almacenamiento: Idealizadas	Es un modelo de almacenamiento simple supone una curva de descarga plana porque el voltaje de suministro permanece prácticamente constante durante el ciclo de descarga. Para este modelo, debe ingresar solo la capacidad nominal en amperios-hora.
Convertidor	Cualquier sistema que contenga elementos de CA y CC requiere un convertidor. Este ítem permite definir los costos del convertidor y su capacidad en kW.
Perfiles diarios con variación estacional	La carga primaria es la carga eléctrica que el sistema debe satisfacer inmediatamente para evitar cargas no satisfechas. En cada paso de tiempo, HOMER envía los componentes del sistema que producen energía para atender la carga primaria total.
Perfil de carga diferible	Una carga diferible es una carga eléctrica que requiere una cierta cantidad de energía dentro de un período de tiempo determinado, pero el momento exacto no es importante; puede esperar hasta que haya energía disponible

Tabla 12. Componentes generales para Homer pro. Fuente elaboración propia

3.3 Metodología de Simulación

En este apartado se ingresan los datos correspondientes a la fuente de energía; para el caso de los sistemas fotovoltaicos se emplearán paneles solares, para los sistemas basados en grupos electrógenos se emplearán generadores eléctricos y para la extensión de red se emplearán los costos asociados a esta alternativa.

Ya que, en la mayoría de los casos, se emplea fuente de energía solar, es necesario configurar en el software el valor correspondiente a "Annual Capacity Shortage" Escasez de Capacidad Anual, que está evaluando si la capacidad de generación de energía del sistema es suficiente para cubrir la demanda de energía durante todo el año; si la capacidad de generación es menor que la demanda anual, se produce una escasez de capacidad.

A continuación, en la tabla 13 se exponen, de manera general, los valores comerciales de los principales componentes a utilizar en las simulaciones de cada proyecto.

Producto/servicio	Valor comercial	Fuente
Panel solar 450 W	\$1.070.000	[38]
Batería litio 48v 100Ah Litio	\$7.990.000	[39]
Batería litio 48v 300Ah Litio	\$8.444.873	[40]
Regulador MPPT 150/35	\$1.803.030	[41]
Inversor 1200VA	\$2.280.000	[42]
Inversor híbrido 3000 W	\$3.719.005	[43]
Planta generadora 150 kW	\$121.208.687.77	[44]
Planta generadora 120 kW	\$116.000.000	[45]
Materiales de instalación	valor definido por cada proyecto.	

Tabla 13. Precios de los componentes para simulación. Elaboración propia

Un factor importante en los proyectos propuestos es la fuente de generación eléctrica, debido a esto, el componente asociado a esta variable tiene un valor económico mayor correspondiente a la suma de los materiales asociados a la generación eléctrica.

Homer Pro opera y genera valores relacionados a la parte técnica y económica del sistema propuesto, en consecuencia, los valores de transporte e instalación son valores que se deben agregar después de obtener los resultados en el software, esto debido a que Homer no brinda apartados específicos para ingresar estos datos y solo permite el ingreso de valores relacionados con el sistema eléctrico a desarrollar. Es conveniente aclarar que se hará uso del transporte tanto de personal como de materiales para más de un sistema fotovoltaico, esto con el fin de reducir costos.

El valor de mantenimiento que exige Homer pro se obtiene de los documentos suministrados por el grupo PERS. El ítem de administración, operación y mantenimiento (AOM) es un valor generalizado que incluye la parte técnica, operativa y administrativa, en nuestro caso solo necesitamos el valor de la parte técnica para realizar los cálculos relacionados con la solución energética.

Con estos datos obtenidos se procede a las simulaciones para cada proyecto propuesto; los componentes necesarios para cada simulación serán específicos para cada estudio en concreto.

3.3.1 Simulación El Tunzo, Patía

Para el caso de la vereda el Tunzo, en el municipio del Patía, es necesario aclarar que la electrobomba es equivalente a la carga a suplir por parte del sistema de generación, por lo que se ingresa la potencia de consumo energético que requiere este dispositivo para funcionar e incluso el software permite establecer unas cotas de funcionamiento que pueden ser obtenidas de la hoja de datos del fabricante de la electrobomba seleccionada, las cuales indican a qué porcentaje o rango, respecto a su potencia nominal, puede empezar su funcionamiento. En la tabla 14 se muestran los principales elementos requeridos para el sistema de bombeo del Tunzo, Patía.

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario
Panel Solar 450W		1	\$1.070.000
Controlador SqFlex CU200		1	\$4.204.750
Caja de protección Clamper 4 entradas 2 salidas		1	\$1.331.000
Cable Fotovoltaico 10 mm ²	metro	1	\$11.970
Cable 3x10	metro	1	\$17.375
Gabinete		1	\$480.103
Estructura Suelo 15°-30° 2 Paneles Falcat		1	\$372.923
Conector de Tierra para estructura Falcat		1	\$7.427

Tabla 14. Elementos del sistema. Fuente elaboración propia

Además de los mostrados anteriormente, existen costos asociados, los cuales deberán ser tenidos en cuenta al momento de realizar el análisis económico. Algunos de estos valores del proyecto se pueden obtener una vez se ha dimensionado el sistema y ya sean conocidos sus componentes, debido a que el volumen y peso de estos es conocido e implica que será de fácil estimación los costos.

Con los datos mostrados en la tabla 14, conociendo la carga a suplir y con el uso de Homer Pro, es posible hallar el dimensionamiento eléctrico del sistema, a nivel

técnico. Para este caso, el funcionamiento de la electrobomba seleccionada requiere de 1.4kW como potencia nominal, mientras que el rango de funcionamiento equivale al 60% de este valor, es decir alrededor de 0.840kW.

Como un punto de comparación respecto a la viabilidad del sistema fotovoltaico, también se realizará una simulación donde se incluya como fuente de energía el sistema eléctrico convencional y sus características propias en la región, como lo son costos estimados y distancia hasta el lugar de instalación de la electrobomba del proyecto.

3.3.1.1 Solución Fotovoltaica.

Una vez se ingresan los datos técnicos requeridos por el software, como los son ubicación geográfica, carga y datos de los paneles, como se muestra en los anexos A, se realiza la simulación en Homer Pro para calcular el número de elementos requeridos en el sistema de generación para suplir la demanda de la carga y permitir su adecuado funcionamiento de acuerdo con las condiciones propias del lugar donde se desarrolla el proyecto. Los resultados referentes a la potencia a instalar y otros elementos se muestran en la tabla 15.

Descripción	Unidad	Cant	Valor Total
Panel Solar 450W	UN	10	\$10.700.000
Controlador SqFlex CU200	UN	1	\$4.204.750
Caja de protección Clamper 4 IN 2 Out	UN	1	\$1.331.000
Cable Fotovoltaico 10mm2	Metro	30	\$359.100
Cable 3x10	Metro	50	\$868.750
Gabinete	UN	1	\$480.103
Estructura Suelo 15°- 30° 2 Paneles Falcat	UN	5	\$ 1.864.615
Conector de Tierra para estructura Falcat	UN	5	\$ 37.135
Total			\$ 19.845.453

Tabla 15. Costo Inicial del sistema de generación. Fuente elaboración propia

Una vez conocida la dimensión eléctrica del sistema y otros elementos requeridos, es posible calcular los costos asociados, tabla 16.

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario
Transportes materiales	Servicio	1	\$2.000.000
Instalación	Servicio	1	\$5.000.000
Mantenimiento Anual	Servicio	1	\$8.413.205

Tabla 16. Costos indirectos asociados. Fuente [34]

Con estos valores de transporte e instalación, los cuales se han obtenido de la información obtenida por el grupo PERS Cauca, sumados a los costos iniciales que arroja el software y que se detallan en el anexo A.5 (Resultados finales), se logra obtener la inversión inicial (CAPEX) requerida para implementar el sistema de generación. El costo por mantenimiento anual no se considera en este costo inicial, ya que este influye en el costo total del proyecto (NPC) durante sus 10 años de vida útil.

Descripción	Valor
Costo total del proyecto (NPC)	\$92.314.124
Costo kWh generado (LCOE)	\$4.269/kWh
Costo inicial CAPEX	\$26.845.453
Capacidad instalada	4,5 kW
Generación anual	4.596kWh

Tabla 17. Resultados Patía. Fuente elaboración propia

Cabe mencionar que, dentro de los valores anteriores no se tiene en cuenta el valor que tiene la carga, en este caso la electrobomba, cuyo precio es de \$17.611.300 y que se debe agregar también el valor correspondiente a los costos asociados de administración e imprevistos de acuerdo con el estudio económico del proyecto.

3.3.1.2 Solución mediante expansión de red

El costo unitario por kWh está establecido en el departamento del Cauca en \$975.22 [46], esto permite obtener un estimado del costo anualizado de red, ya que, en lugar de asumir un valor por mantenimiento, se asume un costo por prestación del servicio, esto sumado a un costo por la infraestructura requerida para la prestación de éste.

La distancia entre las coordenadas de ubicación de la electrobomba y el sitio más cercano con disponibilidad de líneas de media tensión para extender la red, es de 1 km. Ver anexo B1 (Ubicación del proyecto)

A continuación, se presentan los principales costos de extensión de red de 1 km que son tomados del Plan Indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica 2019 - 2023 de la UPME, del ministerio de minas y energía.

Descripción	Cantidad	Valor Unit	Total
km de conductor (3 fases) ACSR 2 AWG	1	\$13.540.955	\$13.540.955
Poste de PRFV de 12 m 750 kg – retención	4	\$ 6.603.004	\$ 26.412.016
Poste de PRFV de 12 m 750 kg – suspensión	10	\$ 5.199.961	\$ 51.999.610
Sistema de puesta a tierra diseño típico	10	\$296.109	\$ 2.961.090
Transformador Aéreo rural de 5 kVA	1	\$6.205.509	\$ 6.205.509
Poste de concreto -10 m - rural-suspensión - red trenzada	5	\$1.005.664	\$ 5.028.320
Poste de metálico - 10 m - rural-retención - red trenzada	5	\$2.002.577	\$ 10.012.885
km de conductor/fase aéreo rural - Trenzado - Aluminio - cal 4	1	\$6.325.655	\$ 6.325.655
Medidor trifásico	1	\$223.400	\$ 223.400
TOTAL			\$122.709.440

Tabla 18. Valor de materiales para red. Fuente [47]

Una vez se conocen los valores y los materiales estimados para lograr extender la red hasta el sitio del proyecto, se puede usar Homer Pro para simular los costos relacionados al consumo de la electrobomba. Una vez configurada la nueva fuente energética en el software, como se muestra en los anexos B.2 y B.3 los resultados de las simulaciones son los mostrados en la tabla 19, donde se evidencia que los precios en comparación con el sistema fotovoltaico son superiores debido principalmente a la inversión inicial, para más detalles sobre los resultados del software respecto a esta alternativa energética, remítase a los anexos B.4 (Resultados obtenidos mediante extensión de red).

Descripción	Valor
Costo total del proyecto (NPC)	\$131.504.802
Costo kWh generado (LCOE)	\$4.749/kWh
Costo inicial CAPEX	\$ 122.709.440
Costo Anual	\$1.130.628

Tabla 19. Resultados de alternativa de red. Fuente Elaboración propia

Dentro de los valores anteriores también es necesario agregar el valor que tiene la carga, en este caso la electrobomba, cuyo precio es de \$17.611.300

3.3.2 Simulación López adentro, Caloto

Para el caso del resguardo López Adentro, municipio de Caloto, se requiere analizar soluciones que permitan llevar el suministro energético hasta los hogares de cada una de las 72 familias beneficiarias del proyecto Pers, por lo que se realiza el análisis con relación a suplir la demanda energética desde soluciones fotovoltaicas individuales, así como una conexión a la red de media tensión.

3.3.2.1 Sistemas fotovoltaicos

Como primera alternativa se plantean soluciones fotovoltaicas individuales, por lo que se requieren datos de los elementos básicos para el sistema de generación y control de éste. Se muestran en la tabla 20 los elementos con los que es posible realizar la simulación para validar el diseño final del sistema.

Descripción	Cantidad	Valor Unit
Panel solar 450w	1	1.070.000
Batería 48v 100Ah Litio	1	7.990.000
Regulador Mppt 150/35	1	1.392.000
Inversor 1200VA	1	2.280.000
Otros Materiales	1	2.767.940

Tabla 20. Componentes necesarios para el sistema. Elaboración propia

El apartado “otros materiales” corresponde a los elementos mostrados en la tabla 14, entre los que se encuentran cables, protecciones, estructuras, entre otros de menor impacto económico para el proyecto. Tal como se abordó en el capítulo anterior, el perfil de carga promedio mensual para las viviendas de López Adentro es de 83.55 kWh/mes o el equivalente diario de 2.785kWh/día, por lo que esta será la carga que se ingresará en el software Homer Pro, como objeto de demanda, tal como se muestra en el anexo C.3 (Perfil de carga, López adentro).

Los costos que se obtienen mediante la implementación de tecnologías de generación eléctrica para la región se basan en las actividades que requieren las comunidades en el entorno eléctrico, en general, son costos que solo se basan en la generación y distribución eléctrica para las viviendas y los sistemas productivos.

Luego de ingresar los datos técnicos al software, como se muestra en los anexos C, se realiza la simulación en Homer Pro para calcular el número de elementos requeridos en el sistema de generación para suplir la demanda de la carga y permitir su adecuado funcionamiento. Los resultados referentes a la potencia a instalar y otros elementos se muestran en la tabla 21.

Descripción	Cantidad	Valor Unit	Total
Panel solar 450W	3	1.070.000	3.210.000
Batería 48v 100Ah Litio	1	7.990.000	7.990.000
Regulador Mppt 150/35	1	1.392.000	1.392.000

Inversor 1200VA	1	2.280.000	2.280.000
Materiales	1	2.767.940	2.767.940
Total			17.639.940

Tabla 21. Precio de los componentes del sistema. Fuente elaboración propia

Según los resultados obtenidos en simulación, para una vivienda con una demanda promedio de 2,785 kWh/día son requeridos 1.35kW instalados, lo que equivale a 3 paneles solares de 0,45 kW; también es necesario contar con 1 batería de 48V/100Ah, un regulador MPPT y un inversor de 1,2 kVA.

El software requiere un valor de mantenimiento anual para el sistema, en este caso, el valor de mantenimiento para la solución individual fotovoltaica es de \$639.994 (valor tomado de documentos PERS Cauca) por cada sistema instalado. [47]

Los resultados obtenidos en simulación con los anteriores datos se pueden observar en el anexo C.7, a continuación, en la tabla 22 se pueden observar los costos más relevantes del proyecto. Cabe mencionar que la duración de este proyecto energético es de 10 años.

Descripción	Valor
Costo total del proyecto (NPC)	\$22.620.160
Costo kWh generado (LCOE)	\$2.978,24/kWh
Costo inicial CAPEX	\$17.639.940
Capacidad instalada	1,35 kWh
Autonomía	>24 horas
Generación anual	1.584 kWh

Tabla 22. Costos para el sistema fotovoltaico. Fuente elaboración propia

El costo total para cada sistema fotovoltaico es de \$22.620.160 y según como se plantea en esta alternativa, para dar cobertura a las 72 viviendas que necesitan el servicio, se deben replicar estos sistemas en cada una, esto conlleva a un estimado de \$1.628.651.520, si el valor se toma proporcionalmente.

3.3.2.2 Solución mediante expansión de red

Para este apartado se tienen en cuenta los principales costos requeridos para la implementación del suministro de energía por la red eléctrica de la empresa que presta el servicio en el departamento. El costo unitario por kWh está establecido en el departamento del Cauca en \$975.22 [46], esto permite obtener un estimado del costo anualizado de red, ya que, en lugar de asumir un valor por mantenimiento, se asume un costo por prestación del servicio.

La distancia aproximada que hay desde la red eléctrica más cercana de media tensión y la ubicación del proyecto determinan el costo, en la tabla 23 se muestra el valor aproximado de extender la red 1 km según el plan de indicativo de expansión de

cobertura de energía eléctrica del ministerio de minas y energía, que entrega un aproximado del costo de los principales materiales requeridos.

Descripción	Cantidad	Valor Unit	Total
km de conductor (3 fases) ACSR 2 AWG	1	\$ 13.540.955	\$ 13.540.955
Poste de PRFV de 12 m 750 kg – retención	4	\$ 6.604.004	\$ 26.416.016
Poste de PRFV de 12 m 750 kg – suspensión	10	\$ 5.199.961	\$ 51.999.610
Sistema de puesta a tierra diseño típico	10	\$ 296.109	\$ 2.664.981
Transformador Aéreo Monofásico rural	1	\$ 6.204.508	\$ 6.204.508
Poste de concreto -10 m - rural- suspensión - red trenzada	5	\$ 1.015.606	\$ 5.078.030
Poste de metálico - 10 m - rural- retención - red trenzada	5	\$ 2.002.577	\$ 10.012.885
km de conductor/fase aéreo rural - Trenzado - Aluminio - cal 4	1	\$ 6.345.655	\$ 6.345.655
Medidor trifásico	1	\$ 223.400	\$ 223.400
Total			\$122.486.040

Tabla 23. Costos de extensión de red. Fuente [47]

Cabe mencionar que estas son estimaciones debido a que el valor tanto de instalación, transporte y mantenimiento varían de acuerdo con las condiciones del contexto geopolítico, entre las que se incluyen factores ambientales, topográficos, poblacionales, etc. Dada la variabilidad de estos factores, es complejo tratar de proporcionar un costo específico de esta alternativa, por lo que se recalca que se requiere un análisis detallado sobre aspectos como los costos asociados a contratación de personal, diseño de la red, transporte de los grandes volúmenes de materiales, instalación, estudios de suelos, adquisición de terrenos entre otros elementos relevantes que deben ser explorados con mayor profundidad para proporcionar una visión completa y precisa de la viabilidad técnica y financiera, así como de la sostenibilidad y eficacia a largo plazo de esta alternativa debido a la carga y demanda que requiere ser suministrada.

Para la implementación de la simulación en Homer PRO se ingresan los valores y los materiales estimados para lograr extender la red hasta el sitio del proyecto. Como punto de partida, se establece una distancia promedio de 1 km a la red eléctrica de media tensión más cercana, debido a la dispersión de las viviendas que se encuentran en este proyecto observándose en el anexo C.1 (Ubicación de viviendas resguardo

López Adentro). Los datos más relevantes se muestran en la tabla 24 y para más detalles sobre los resultados obtenidos en simulación remítase a los anexos D.

Descripción	Valor
Costo total del proyecto (NPC)	\$678.480.594
Costo kWh generado (LCOE)	\$1.191,67/kWh
Costo inicial CAPEX	\$122.486.040
Generación anual	70.190 kWh

Tabla 24. Costos para el sistema de extensión de red. Fuente elaboración propia

3.3.3 Simulación de San Bernardo, Timbiquí

San Bernardo es un corregimiento que cuenta con un total de 145 viviendas que necesitan un recurso energético para el desarrollo de su población. El perfil de carga que se estima para cada vivienda es de aproximadamente 4,01 kWh/día y un promedio estimado de 120,3 kWh/mes, para ello, los elementos requeridos para el sistema de generación eléctrica se pueden observar en la tabla 25 a continuación.

Descripción	Cantidad	Valor
Panel solar 450w	1	\$ 1.070.000
Batería 48v 100Ah Litio	1	\$ 7.990.000
Batería 48v 300Ah Litio	1	\$8.444.873
Inversor Híbrido 3000 W 48V LVM-ES	1	\$3.719.005
Inversor hibrido 100 kW	1	\$174.000.000
Planta generadora de 150 kW	1	\$ 121.208.687,77
Costo litro combustible (Diesel)	1	\$ 2.394

Tabla 25. Costos de los componentes de generación eléctrica. Fuente elaboración propia

El precio del litro del combustible Diesel es el valor establecido por el gobierno nacional, ahora bien, los costos que se obtienen mediante la implementación de tecnologías de generación eléctrica para la región se basan en las actividades que requieren las comunidades en el entorno eléctrico, en general, son costos que solo se basan en la generación y distribución eléctrica para las viviendas y los sistemas productivos.

3.3.3.1 Sistemas Fotovoltaicos

Se realizan simulaciones con sistemas solares fotovoltaicos donde se proponen dos alternativas, la primera consiste en la instalación de un sistema solar fotovoltaico

individual para cada vivienda y la segunda en la instalación de una microrred fotovoltaica para la población incluida en este proyecto.

Como primera alternativa se plantean soluciones fotovoltaicas individuales donde se hace necesario realizar una simulación en Homer Pro con el perfil de carga por vivienda el cual se observa en el anexo E.2 (Perfil de carga solución individual) con el fin de hallar la cantidad de componentes necesarios para suplir la carga. Se muestran en la tabla 26 los elementos con los que es posible realizar la simulación para validar el diseño final del sistema.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Panel solar 450w	5	\$ 1.070.000	\$ 5.350.000
Batería 48v 100Ah Litio	1	\$ 7.990.000	\$ 7.990.000
Inversor Híbrido 3000 W 48V LVM-ES	1	\$3.719.005	\$3.719.005
Total			\$17.059.005

Tabla 26. Sistema solar fotovoltaico individual. Fuente elaboración propia

Para una vivienda que demanda una carga promedio de 4,01 kWh/día se necesitan 5 paneles solares de 0,450 kW, una batería de 48 voltios a 100 Ah y un inversor híbrido que consta de una potencia de 3 kW.

El software requiere un valor de mantenimiento anual para el sistema, en este caso, el valor de mantenimiento para la solución individual fotovoltaica es de \$ 391.452 (valor tomado de los documentos PERS Cauca) por cada sistema instalado. [48].

Los resultados obtenidos en simulación con los anteriores datos se pueden observar en los anexos E.6 y E.7, a continuación, en la tabla 27 se pueden observar los costos más relevantes del proyecto. Cabe mencionar que la duración de este proyecto energético es de 10 años.

Descripción	Costos
Costo total del proyecto (NPC)	\$20.105.150
Costo kWh generado (LCOE)	\$1.880,91/kWh
Costo inicial CAPEX	\$17.059.005
Capacidad instalada	2,25 kWh
Autonomía	>24h
Generación anual	2.627 kWh

Tabla 27. Costos para el sistema fotovoltaico. Fuente elaboración propia

El costo total para cada sistema fotovoltaico es de \$20.105.150 y según como se plantea en esta alternativa, para dar cobertura a las 145 viviendas que necesitan el

servicio, se deben replicar estos sistemas en cada usuario, esto conlleva a un estimado de \$2.915.246.750, si el valor se toma proporcionalmente.

Como segunda alternativa se plantea la instalación de una microrred, para ello, se debe tomar como referencia de carga el total de las viviendas que se encuentran en el proyecto; entonces, para una vivienda el promedio de carga es de 4,01 kWh/día, por ende, para las 145 viviendas el promedio total de la carga estimado es de 581,45 kWh/día. Con estos valores se realiza una simulación en Homer Pro con el fin de hallar el número de componentes necesarios para satisfacer dicha carga, estos valores se presentan en la tabla 28.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Panel solar 450w	647	\$ 1.070.000	\$ 692.290.000
Batería 48v 300Ah Litio	80	\$8.444.873	\$675.589.800
inversor hibrido 100 kW	2	\$174.000.000	\$348.000.000
Total			\$1.715.879.800

Tabla 28. Microrred Sistema solar fotovoltaico. Fuente elaboración propia

El software requiere un valor de mantenimiento anual para el sistema, en este caso, el valor de mantenimiento para la solución basada en una microrred es de \$54.120.542 (valor tomado de los documentos PERS Cauca) por el sistema instalado. [41].

Los resultados obtenidos en simulación con los anteriores datos se pueden observar en los anexos F, a continuación, en la tabla 29 se pueden observar los costos más relevantes del proyecto. Cabe mencionar que la duración de este proyecto energético es de 10 años.

Descripción	Costos
Costo total del proyecto (NPC)	\$2.137.028.000
Costo kWh generado (LCOE)	\$1.330,79/kWh
Costo inicial CAPEX	\$1.715.879.800
Capacidad instalada	291,15 kWh
Generación anual	339.905 kWh

Tabla 29. Costos para el sistema microrred. Fuente elaboración propia

El costo total de la microrred para el conjunto de viviendas que se encuentran en este proyecto es de \$2.137.028.000 con una diferencia entre este resultado y el obtenido en la solución individual fotovoltaica de aproximadamente \$778.218.750.

3.3.3.2. Grupo Electrónico.

Como tercera alternativa se plantea la instalación de un generador eléctrico a base de combustible Diesel, por tanto, se toma como referencia el total de la carga que exigen las viviendas el cual es de 581,45 kWh/día mencionado anteriormente. La tabla 30 muestra los componentes necesarios para la simulación basada en esta alternativa.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Planta generadora de 150 kW	1	\$121.208.687,77	\$121.208.687,77
Combustible requerido anual (litros)	119.318	\$ 2.394	\$285.734.100

Tabla 30. Generador eléctrico. Elaboración propia

El consumo de combustible que requiere el generador para un óptimo funcionamiento es de 0,344 L/kWh, esto con el fin de suplir la carga mencionada, ahora bien, los resultados obtenidos en simulación con los anteriores datos se pueden observar en los anexos G, a continuación, en la tabla 31 se pueden observar los costos más relevantes del proyecto. Cabe mencionar que la duración de este proyecto energético es de 10 años.

Descripción	Costos
Costo total del proyecto (NPC)	\$2.474.205.000
Costo kWh generado (LCOE)	\$1.498,16
Costo inicial CAPEX	\$121.208.687,77
Capacidad instalada	150 kW
Generación anual	347.090 kWh

Tabla 31. Costos para el sistema grupo electrónico. Fuente elaboración propia

3.3.4 Simulación de Chacón Playa, Timbiquí

Chacón Playa es un corregimiento que alberga un total de 123 viviendas que requieren un suministro energético para impulsar su crecimiento y desarrollo. Se estima que cada vivienda tiene un perfil de consumo de aproximadamente 4,01 kWh por día, con un promedio mensual estimado de 120,3 kWh.

Descripción	Cantidad	Valor
Panel solar 450w	1	\$ 1.070.000
Batería 48v 100Ah Litio	1	\$ 7.990.000

Batería 48v 300Ah Litio	1	\$8.444.873
Inversor Híbrido 3000 W 48V LVM-ES	1	\$3.719.005
Inversor hibrido 100 kW	1	\$174.000.000
Planta generadora de 120 kW	1	\$ 116.000.000
Costo litro combustible (Diesel)	1	\$ 2.394

Tabla 32. Componentes necesarios para simulaciones. Fuente elaboración propia

El precio del litro del combustible Diesel es el valor establecido por el gobierno nacional, ahora bien, los costos que se obtienen mediante la implementación de tecnologías de generación eléctrica para la región se basan en las actividades que requieren las comunidades en el entorno eléctrico, en general, son costos que solo se basan en la generación y distribución eléctrica para las viviendas y los sistemas productivos.

3.3.4.1 Sistemas Fotovoltaicos

Se llevan a cabo simulaciones utilizando sistemas solares fotovoltaicos, donde se plantean dos alternativas para las viviendas. La primera opción implica la instalación de un sistema solar fotovoltaico individual para cada vivienda, mientras que la segunda propone la implementación de una microrred fotovoltaica para atender a toda la población incluida en este proyecto.

Como primera alternativa se plantean soluciones fotovoltaicas individuales donde se hace necesario realizar una simulación en Homer Pro con el perfil de carga por vivienda el cual se observa en el anexo H.2 (Perfil de carga solución individual) con el fin de hallar la cantidad de componentes necesarios para suplir la carga. Se muestran en la tabla 33 los elementos con los que es posible realizar la simulación para validar el diseño final del sistema.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Panel solar 450w	5	\$ 1.070.000	\$ 5.350.000
Batería 48v 100Ah Litio	1	\$ 7.990.000	\$ 7.990.000
Inversor Híbrido 3000 W 48V LVM-ES	1	\$3.719.005	\$3.719.005
Total			\$17.059.005

Tabla 33. Sistema solar fotovoltaico individual. Fuente elaboración propia

Para una vivienda que demanda una carga promedio de 4,01 kWh/día se necesitan 5 paneles solares de 0,450 kW, una batería de 48 voltios a 100 Ah y un inversor híbrido que consta de una potencia de 3 kW.

El software requiere un valor de mantenimiento anual para el sistema, en este caso, el valor de mantenimiento para la solución individual fotovoltaica es de \$548.500,89 (valor tomado de los documentos PERS Cauca) por cada sistema instalado. [48].

Los resultados obtenidos en simulación con los anteriores datos se pueden observar en los anexos H.6 y H.7, a continuación, en la tabla 34 se pueden observar los costos más relevantes del proyecto. Cabe mencionar que la duración de este proyecto energético es de 10 años.

Descripción	Costos
Costo total del proyecto (NPC)	\$21.327.250
Costo kWh generado (LCOE)	\$1.976,53/kWh
Costo inicial CAPEX	\$17.059.005
Capacidad instalada	2,25 kWh
Generación anual	2,833 kWh

Tabla 34. Costos para el sistema fotovoltaico. Fuente elaboración propia

El costo total para cada sistema fotovoltaico es de \$21.327.250 y según como se plantea en esta alternativa, para dar cobertura a las 123 viviendas que necesitan el servicio, se deben replicar estos sistemas en cada usuario, esto conlleva a un estimado de \$2.623.251.750, si el valor se toma proporcionalmente.

Como segunda alternativa se plantea la instalación de una microrred, para ello, se debe tomar como referencia de carga el total de las viviendas que se encuentran en el proyecto, entonces, para una vivienda el promedio de carga es de 4,01 kWh/día, por ende, para las 123 viviendas el promedio total de la carga estimado es de 493,23 kWh/día. Con estos valores se realiza una simulación en Homer Pro con el fin de hallar el número de componentes necesarios para satisfacer dicha carga, estos valores se presentan en la tabla 35.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Panel solar 450w	647	\$ 1.070.000	\$ 692.290.000
Batería 48v 300Ah Litio	80	\$8.444.873	\$675.589.840
inversor hibrido 100 kW	2	\$174.000.000	\$348.000.000

Tabla 35. Microrred Sistema solar fotovoltaico. Fuente elaboración propia

El software requiere un valor de mantenimiento anual para el sistema, en este caso, el valor de mantenimiento para la solución basada en una microrred es de \$67.465.609,31 (valor tomado de los documentos PERS Cauca) por el sistema instalado. [50].

Los resultados obtenidos en simulación con los anteriores datos se pueden observar en los anexos I, a continuación, en la tabla 36 se pueden observar los costos más relevantes del proyecto. Cabe mencionar que la duración de este proyecto energético es de 10 años.

Descripción	Costos
Costo total del proyecto (NPC)	\$1.945.304.000
Costo kWh generado (LCOE)	\$1.440,28/kWh
Costo inicial CAPEX	\$1.420.309.300
Capacidad instalada	329,4 kWh
Generación anual	384.560 kWh

Tabla 36. Costos para el sistema microrred. Fuente elaboración propia

El costo total de implementar la microrred para todas las viviendas involucradas en este proyecto asciende a \$1.945.304.000, con una diferencia de aproximadamente \$677.947.750 en comparación con la solución individual fotovoltaica.

3.3.4.2 Grupo Electrónico.

Como cuarta alternativa se plantea la instalación de un generador eléctrico a base de combustible Diesel, por tanto, se toma como referencia el total de la carga que exigen las viviendas, el valor total es de 493,23 kWh/día mencionado anteriormente. La tabla 37 muestra los componentes necesarios para la simulación basada en esta alternativa.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Planta generadora de 120 kW	1	\$116.000.000	\$116.000.000
Combustible requerido anual (litros)	83.615	\$ 2.394	\$ 200.234.900

Tabla 37. Generador eléctrico. Fuente elaboración propia

El consumo de combustible que requiere el generador para un óptimo funcionamiento es de 0,298 L/kWh, esto con el fin de suplir la carga mencionada, ahora bien, los resultados obtenidos en simulación con los anteriores datos se pueden observar en los anexos J, a continuación, en la tabla 38 se pueden observar los costos más relevantes del proyecto. Cabe mencionar que la duración de este proyecto energético es de 10 años.

Descripción	Costos
Costo total del proyecto (NPC)	\$1.798.105.000
Costo kWh generado (LCOE)	\$1.283,51/kWh
Costo inicial CAPEX	\$116.000.000
Capacidad instalada	120 kW
Generación anual	281.049 kWh

Tabla 38. Costos de generación grupo electrógeno. Fuente elaboración propia

3.3.5 Simulación vereda El Rosario, Guapi

Debido a las condiciones de difícil acceso que presentan limitadas opciones de transporte para las comunidades de la mayor parte del municipio de Guapi, para la vereda el Rosario se descartan las posibilidades de extender la red hasta este lugar, por lo tanto se plantean inicialmente tres alternativas con soluciones fotovoltaicas, las dos primeras son sistemas fotovoltaicos individuales para cada una de las 30 familias con una carga 1 de 60kWh/mes y una carga 2 de 83 kWh/mes, la tercera alternativa se plantea mediante una microrred, que permitan abastecer una demanda promedio de 83 kWh/mes por cada usuario. Al realizar la simulación de la carga 1 y carga 2 se pretende establecer si hay una notable diferencia en resultados al variar la carga en un 40%, teniendo así un notable margen de mejora en cuanto a los dispositivos y que puedan ser usados y que probablemente aumenten con el tiempo de acuerdo con las nuevas costumbres que adquieran los pobladores, una vez tengan una mayor disponibilidad del suministro. En la tabla 39 se muestran los dispositivos que serán usados en simulación, con los cuales se busca validar el diseño energético de las soluciones fotovoltaicas.

Descripción	Cantidad	Valor Unit
Panel solar 450W	1	1.070.000
Batería 48v 100Ah Litio	1	7.990.000
Regulador Mppt 150/35	1	1.392.000
Inversor 1200VA 120V	1	2.280.000
Otros Materiales	1	2.767.940

Tabla 39. Principales componentes del SISFV. Fuente elaboración propia

Una vez se ingresan los datos de carga de 60 kWh/mes en Homer, como se muestra en el anexo K.1, junto con los valores correspondientes a los paneles y controlador se procede a realizar la simulación para verificar si los elementos seleccionados inicialmente son los adecuados para este caso en cuanto a potencia. Los resultados nos muestran la potencia que se requiere para abastecer la carga 1, siendo la mostrada en la tabla 40, correspondiente a los resultados preliminares obtenidos tal como se muestra en el anexo K.2. Destaca el valor de autonomía calculado por el software, el cual es de 46 horas, es decir un sobredimensionamiento cercano al 62%, por lo que en este caso podrían usarse baterías de menor capacidad para adecuarse a una autonomía de 24 horas.

Descripción	Cantidad	Valor Unit	Total
Panel solar 450W	2	1.070.000	2.140.000
Batería 48v 100Ah Litio	1	7.990.000	7.990.000
Regulador Mppt 150/35	1	1.392.000	1.392.000
Inversor 1200VA	1	2.280.000	2.280.000

Tabla 40. Dimensionamiento del SISFV Carga 1. Fuente elaboración propia

Los costos de producción y de inversión para este caso se muestran a continuación.

Descripción	Costo Individual	Costo 30 soluciones
Costo total del proyecto (NPC)	\$16.883.400	\$506.502.000
Costo kWh generado (LCOE)	\$3.053/kWh	
Costo inicial CAPEX	\$13.802.905	\$414.087.150
Capacidad instalada	0.9 kWh	27 kWh
Autonomía	46 h	
Generación anual	1.051 kW	31,530 kW

Tabla 41. Costos de producción carga 1. Fuente elaboración propia

Una vez se conocen los costos de la carga uno, se puede realizar la simulación con el perfil de carga 2, obteniendo, como se muestra en los anexos K.3 y K.4, cambios en los resultados. Es notable el cambio en la autonomía, la cual disminuye a 32 horas, equivalente a un sobredimensionamiento del sistema del 28%, lo que implica un costo de producción menor respecto a la carga 1, como se muestra en la tabla 42. Este sobredimensionamiento en el diseño permitirá que los habitantes de la vereda El Rosario puedan usar durante un mayor periodo de tiempo el suministro, a la vez que deja abierta la posibilidad de usar una mayor cantidad de dispositivos eléctricos y electrónicos en comparaciones a con la que cuentan en la actualidad, precisamente por no tener un servicio constante y que limita sus posibilidades.

Descripción	Costo Individual	Costo 30 soluciones
Costo total del proyecto (NPC)	\$17.953.400	\$538.602.000
Costo kWh generado (LCOE)	\$2.373 /kWh	
Costo inicial CAPEX	\$14.872.905	\$446.187.150
Capacidad instalada	1.35 kWh	40.5kWh
Autonomía	32 h	
Generación anual	1.576 kW	47.280kW

Tabla 42. Costos de producción Carga 2. Fuente elaboración propia

Los costos anteriores corresponden a soluciones individuales, pero también se plantea como alternativa la creación de una microrred que permita abastecer las necesidades de todos los habitantes con un solo sistema solar unificado.

Para esto es necesario contar con elementos como los mostrados en la tabla 43, que son los adecuados para cargas mayores. En este caso, la carga total pasa a ser la suma de las cargas individuales de las 30 viviendas, es decir alrededor de 84 kWh/día. Estos elementos componen los más representativos de un sistema de microrred debido a su elevado precio.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario
Panel solar 450w	1	\$ 1.070.000
Batería 48v 300Ah Litio	1	\$8.444.873
Inversor hibrido 50 kW	1	\$46,875,000

Tabla 43. Elementos requeridos para microrred. Fuente elaboración propia.

Al ingresar estos valores en Homer y realizar la simulación se obtienen los resultados mostrados en los anexos L, los cuales dan evidencia del menor costo de generación de un sistema conjunto, tal como se muestra en la tabla 44. Pero al mismo tiempo conlleva mayor complejidad en el aspecto constructivo debido a requerir mayor área disponible para su instalación, aunque este último punto no es un factor limitante en la mayoría de las zonas rurales que abarca el proyecto PERS Cauca.

Descripción	Costos
Costo total del proyecto (NPC)	\$359.909.500
Costo kWh generado (LCOE)	\$1.641/kWh
Costo inicial CAPEX	\$179.827.659
Autonomía	24.5 h

Capacidad instalada	41.7 kW
Generación anual	48.631 kWh

Tabla 44. Costos de alternativa microrred. Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en simulación se puede comparar cada una de las alternativas propuestas, el costo de generación, la inversión inicial, la capacidad instalada y los principales elementos requeridos. Costos asociados a mantenimiento y transporte deben ser considerados con mayor detalle una vez sean seleccionadas las soluciones y por lo tanto sean definidos los volúmenes de equipos y materiales necesarios en cada ubicación, ya que este es un factor complejo por la condición de las vías de acceso hasta el lugar del proyecto.

A continuación, en la figura 19 y figura 20 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las soluciones propuestas para cada zona, donde se hace una comparativa de cada una según el costo de generación por kWh y según la inversión inicial requerida. Se recalca que para cada uno de los casos se busca que, al cubrir la demanda de energía, el costo de generación sea bajo, ya que esto indicaría que el dimensionamiento es adecuado.

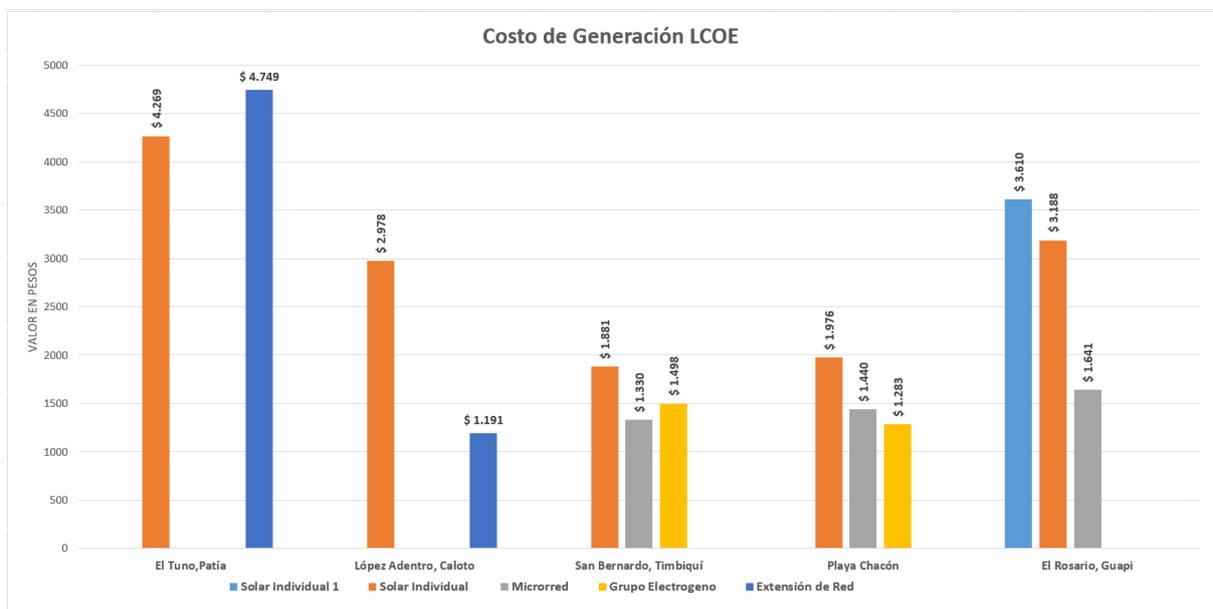


Figura 19. Comparativa de costos de generación. Fuente Elaboración Propia

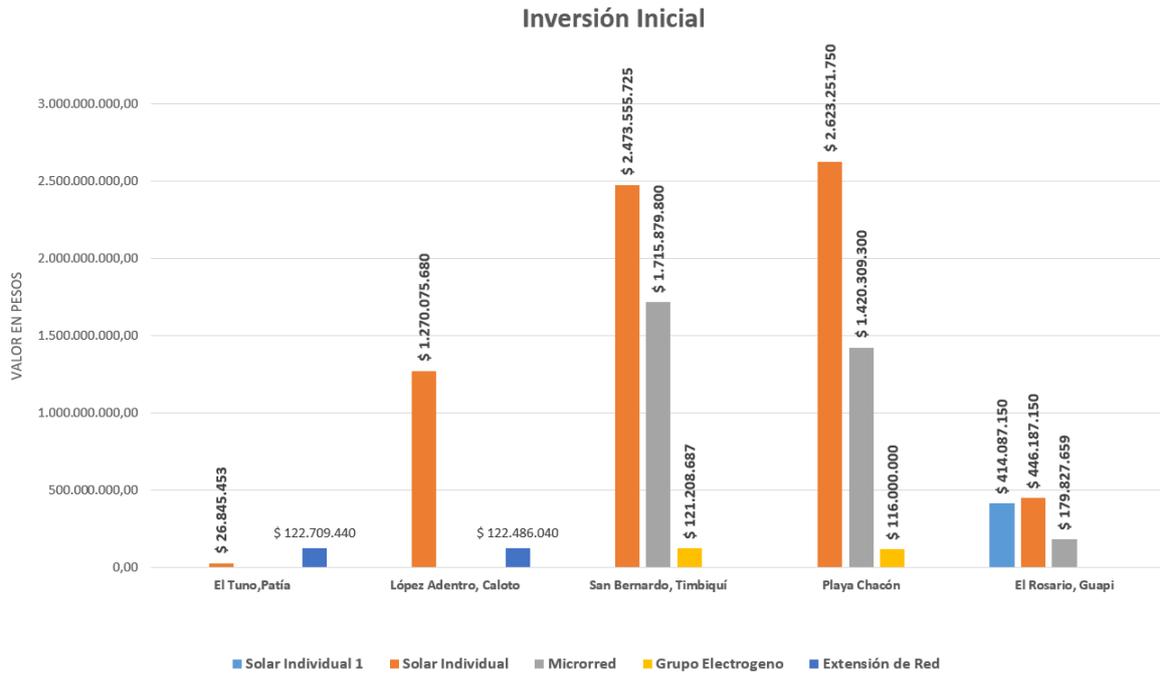


Figura 20. Comparativa de inversión Inicial. Fuente Elaboración Propia

CONCLUSIONES

El presente estudio se ha enfocado en analizar y comparar soluciones energéticas para abastecer de manera eficiente zonas no interconectadas a través de un análisis de cinco casos en el marco del proyecto PERS CAUCA. Se han evaluado diversas alternativas, con el fin de determinar la viabilidad técnica de la implementación de estas obteniendo diferentes datos que son explicados para cada caso a continuación.

4.1 Proyecto vereda el Tunno, Patía

Los resultados obtenidos demuestran claramente la viabilidad técnica y económica de las alternativas basadas en energía solar, destacando su alto rendimiento y ahorro en comparación con opciones como la extensión de red. En este primer caso, se compararon dos opciones: el suministro mediante energía solar y la extensión de red eléctrica disponible.

El Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE) para la opción solar se sitúa en \$4.269, con una inversión inicial en materiales de \$26.845.453 para el sistema de generación. Esto implica un ahorro considerable, aproximadamente del 78%, en comparación con la inversión inicial necesaria para la extensión de red eléctrica. Es importante señalar que este porcentaje refleja la eficiencia financiera de la opción solar, destacando su capacidad para proporcionar una solución más rentable en términos de inversión inicial. Cabe mencionar que estos cálculos no incluyen todos los costos sensibles de infraestructura y ambientales asociados con la extensión de red eléctrica.

En el contexto de una comunidad rural, como en la vereda El Tunno, inmersa en la riqueza natural de su entorno, la opción solar se destaca no solo por su eficiencia financiera, sino también por su mínimo impacto ambiental y alteración del paisaje.

En contraste, la alternativa de extensión de red presenta un LCOE de \$4.749, con una inversión inicial significativamente mayor, alcanzando los \$122.709.440 solo en materiales. No obstante, se requiere un análisis más detallado sobre aspectos como los costos asociados al transporte de grandes volúmenes de materiales, instalación, estudios de suelos, adquisición de terrenos, entre otros, para proporcionar una visión completa y precisa de la sostenibilidad y eficacia a largo plazo de esta alternativa debido a la baja carga y demanda que requiere ser suministrada para la labor de bombeo.

En resumen, los resultados del caso de estudio respaldan la elección de la solución basada en energía solar como la opción viable para abastecer de energía las electrobombas en zonas no interconectadas, marcando un hito significativo en la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles y económicamente viables para estas comunidades.

4.2 Proyecto vereda López adentro, Caloto

López Adentro, un resguardo indígena en Caloto, por lo que se prioriza la protección del medio ambiente. La extensión de red podría ser compleja debido a todos los cambios en el entorno que ocasionaría y los costos asociados con transporte e instalación. Además, es necesario tener en cuenta que la instalación de estructuras

puede requerir ocupar terrenos de particulares, lo que añade un mayor grado de complejidad debido a la necesidad de obtener permisos, comprar terrenos o abordar variables geopolíticas, aspectos que deben ser estudiados detenidamente.

La dispersión de las viviendas es un factor crucial para la extensión de red, ya que no se conoce con exactitud la distancia de las viviendas al punto de conexión, lo que incrementa los gastos asociados a la instalación.

El valor total en instalación y mantenimiento del proyecto en sistemas fotovoltaicos para energizar las 72 viviendas es de \$1.628.651.520, mientras que el valor inicial estimado para la extensión de red es de \$122.486.440 en materiales. Si se considera el consumo energético a la tarifa actual por kWh durante 10 años del proyecto, alcanza los \$678.704.100. Todo esto sin incluir los costos de instalación de la red, ya que estos dependen específicamente de la distancia y de la empresa encargada. Aunque la alternativa de extensión de red presenta un menor costo inicial en comparación con el sistema solar fotovoltaico, esta última solución resulta más económica en términos de instalación y materiales. Además, la opción solar fotovoltaica es más amigable con el entorno y el medio ambiente, ya que es menos intrusiva.

En conclusión, la alternativa de generación solar mediante paneles solares fotovoltaicos es la más indicada para la región, ya que no representa mayores costos en materiales e instalaciones en comparación con la alternativa de expansión de red

4.3 Proyecto vereda San Bernardo, Timbiquí

San Bernardo, un corregimiento en las zonas no interconectadas del Departamento del Cauca, ve en las energías renovables un punto clave para su desarrollo. La abundancia de energía solar ha impulsado propuestas de soluciones fotovoltaicas para las viviendas sin este servicio. Se consideraron soluciones individuales y la implementación de una microrred.

Los costos totales de los proyectos se derivan de la inversión inicial y los gastos durante la vida útil del proyecto. Así, las soluciones fotovoltaicas individuales tienen un valor estimado de \$20.105.150. Con 145 viviendas sin servicio, el costo total superaría los \$2.915.246.750. La microrred tiene un costo total de \$2.137.028.000. La diferencia en costos es de aproximadamente \$778.218.750, haciendo que, económicamente, la implementación de una microrred sea la mejor solución para San Bernardo, al exigir una inversión menor. Además, agrupar las soluciones fotovoltaicas es más viable estructuralmente, dada la falta de información sobre el estado y áreas disponibles en cada vivienda para soluciones individuales.

No se considera viable la opción del generador eléctrico debido a los altos costos de combustible y emisiones perjudiciales para el medio ambiente a largo plazo, sin olvidar el transporte costoso del combustible, como se muestra en los anexos G.

4.4 Proyecto vereda Chacón Playa, Timbiquí.

En el corregimiento de Chacón Playa, se evaluaron soluciones individuales y compuestas, obteniendo resultados concretos para la selección de la mejor alternativa. El costo estimado de las soluciones fotovoltaicas individuales es de \$21.327.250. Dado que la comunidad cuenta con 123 viviendas sin este servicio, el

valor total del proyecto, proporcional a la demanda, se estima en aproximadamente \$2.623.251.750. La implementación de una microrred presenta un costo total de \$1.945.304.000. La diferencia de costos entre ambas soluciones es de aproximadamente \$677.947.750, lo que indica que la opción más eficiente para el corregimiento es la implementación de una microrred, al ofrecer una solución más económica con una inversión inicial menor.

El costo asociado a la implementación de un generador eléctrico en Chacón Playa para suplir completamente las necesidades energéticas de los usuarios es de \$1.798.105.000. Aunque este valor es menor en comparación con otras alternativas, se descarta esta opción debido a las emisiones perjudiciales para el medio ambiente a largo plazo generadas por el grupo electrógeno, además del alto costo asociado al transporte de combustible, como se detalla en los anexos H.

4.5 Proyecto vereda el Rosario, Guapi.

La vereda el Rosario cuenta con abundantes recursos naturales, entre los que se encuentran la energía solar como potencial fuente de generación eléctrica, lo cual permitió plantear alternativas basadas en distintos sistemas fotovoltaicos para suplir sus necesidades básicas.

Al evaluar las distintas soluciones fotovoltaicas en estas zonas no interconectadas, los resultados muestran claramente que la implementación de una microrred emerge como la opción más acertada, para suplir las 30 viviendas beneficiarias del proyecto PERS. La microrred no solo presenta un costo de producción de kWh significativamente menor, situándose en \$1.641/kWh, en comparación con las soluciones individuales que alcanzan los \$3.188 /kWh, sino que también destaca por una inversión inicial más eficiente, totalizando \$179.827.659 en lugar de \$14.872.905. por cada una de las 30 soluciones individuales, que superarían los \$446.187.150.

Este hallazgo subraya la eficiencia y viabilidad económica que ofrece la implementación de una microrred en lugar de soluciones individuales. La consolidación de recursos permite una optimización de costos que no solo beneficia a los usuarios finales al reducir los costos de producción de electricidad, sino que también promueve una mayor sostenibilidad y accesibilidad a la energía en comunidades no interconectadas. Cabe mencionar que en la zona rural por lo general existe mayor disponibilidad de áreas para la implementación física de una microrred.

Como anotación final, se debe tener en cuenta para cada una de las soluciones propuestas que la retribución económica por parte de la comunidad deberá ser concertada con la misma, debido a las condiciones sociales tan particulares de cada zona, las cuales implican un poder adquisitivo bajo, que se debe en parte al bajo desarrollo económico y que en algunos casos podría verse más afectada si no se buscan alternativas como el pago subsidiado de este servicio de acuerdo a las normativas estatales y a la estratificación de cada usuario en estas zonas del proyecto PERS. Además de que debe buscarse sostener económicamente en el tiempo cada solución para que, una vez concluida la vida útil de los principales elementos del proyecto, como paneles y baterías, estos puedan ser renovados y así las zonas no se vean nuevamente afectadas con la ausencia de tan importante servicio básico como lo es la energía eléctrica.

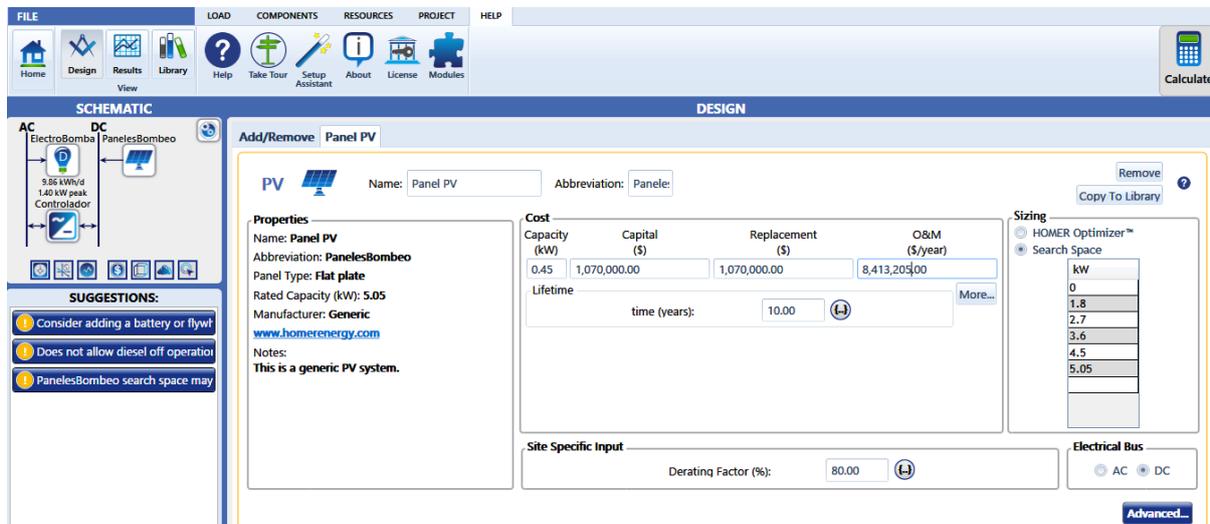
ANEXOS A

Anexo A.1 Interfaz inicial del software donde se ingresan los datos referentes a la ubicación del proyecto y los parámetros iniciales del software, como son nombre, autor, tiempo del proyecto, inflación esperada y tiempo permitido de desconexión.

Anexo A.2 Se selecciona el tipo de carga, la cual para este caso es de tipo diferible, debido a que requiere energía para cumplir un trabajo durante cualquier hora del día, lo que corresponde con la función de una electrobomba. Se ingresan los parámetros correspondientes a la carga particular, es decir que se obtienen a partir de la ficha técnica del dispositivo.

Month	Average Load (kWh/d)
January	9.300
February	9.400
March	9.500
April	9.700
May	9.600
June	10.000
July	9.500
August	10.000
September	9.700
October	9.400
November	9.300
December	9.200

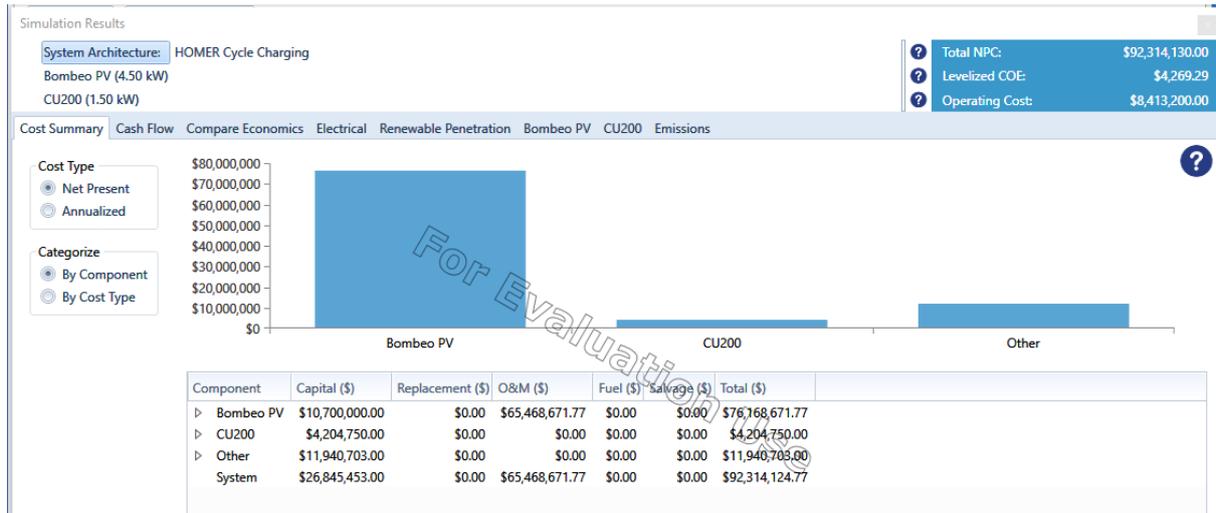
Anexo A.3 En este apartado de Homer Pro se ingresa las características de los paneles solares, tal como referencia, potencia en kW, precio para el proyecto, precio de reemplazo y costo de operación y mantenimiento, vida útil y cantidad de paneles disponibles.



Anexo A.4 Resultados parciales obtenidos mediante simulación Homer Pro, donde se muestran la potencia instalada requerida, los costos iniciales, la generación anual y el costo del kWh

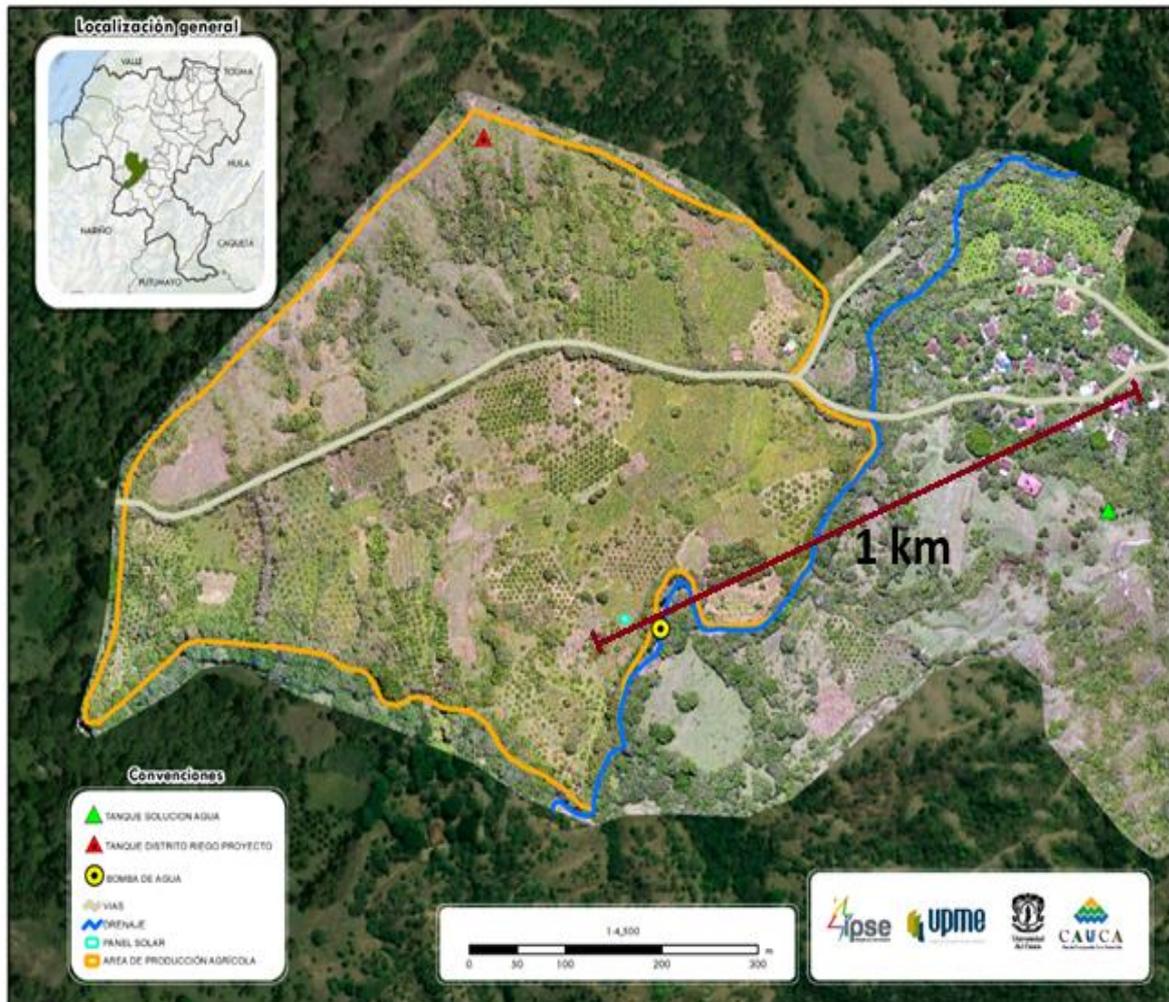
Architecture		Cost			System		PanesBombero			
PanesBo (kW)	Control (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Elec Prod (kWh/yr)	Clipped Energy (kWh/yr)	PV Capacity (kW)	CAPEX	Energy Production (kWh/yr)
4.50	1.50	\$92.3M	\$4,269	\$8.41M	\$26.8M	4,596	1,775	4.50	10,700,000	4,596

Anexo A.5 Resultados finales en simulación Homer Pro. En esta imagen se observan costos totales iniciales, costos de generación LCOE, energía generada, costos asociados a cada componente y costos total del proyecto durante los 10 años.

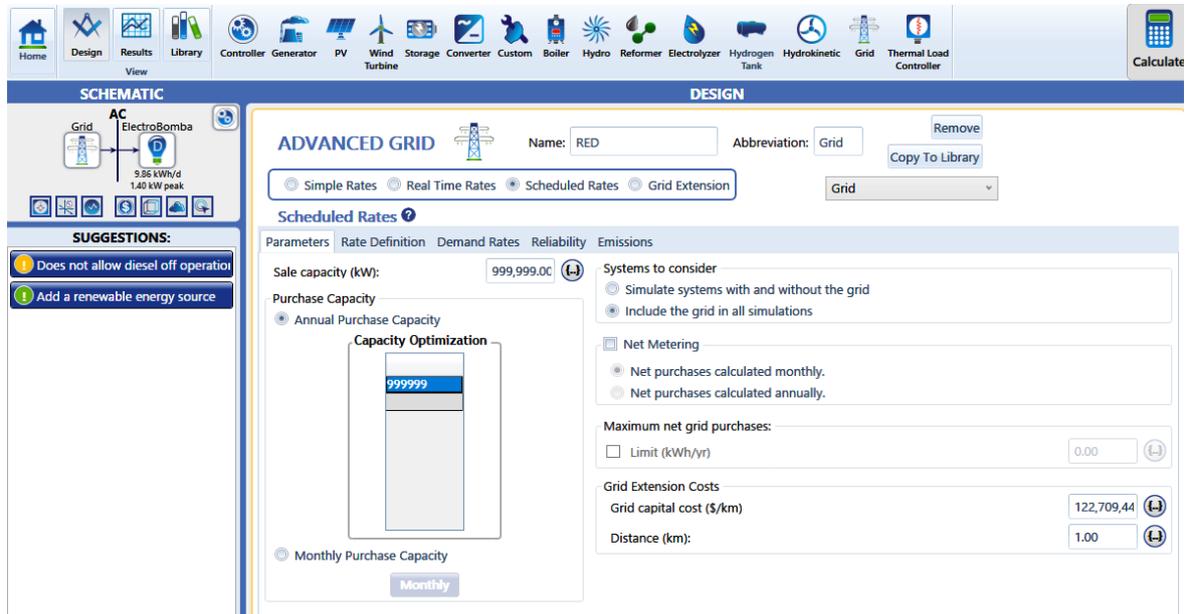


ANEXOS B

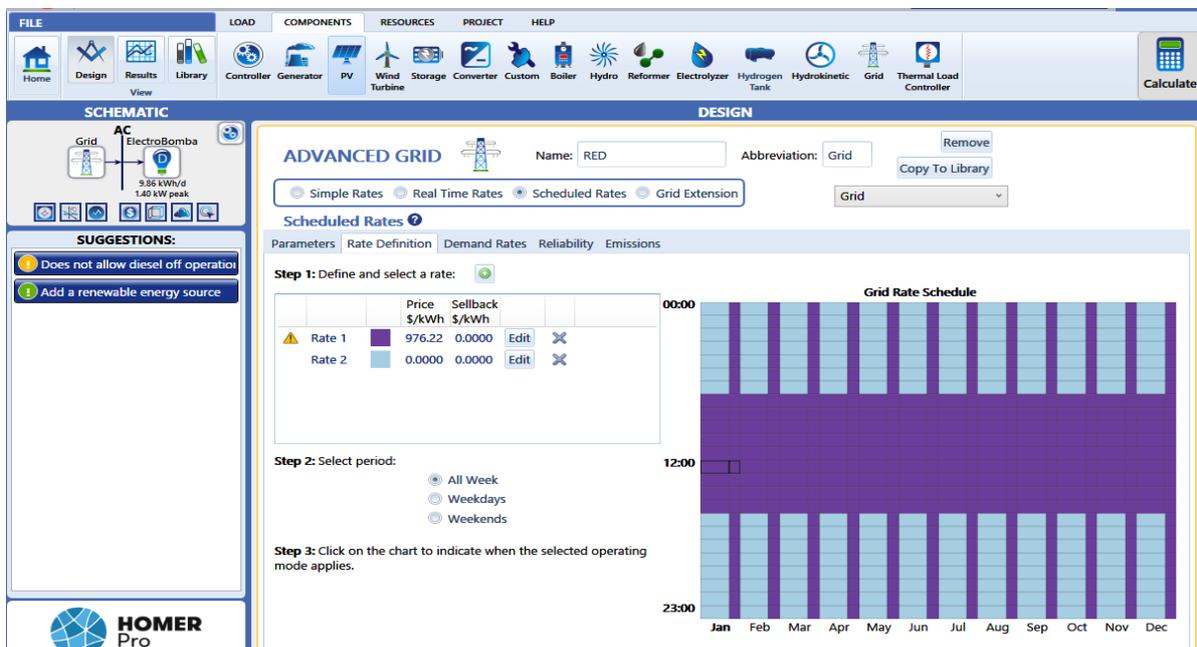
Anexo B1. Ubicación del proyecto en la vereda el Tuno, Patía en referencia al lugar de bombeo, para estimar la distancia a la cual se debería extender la red.



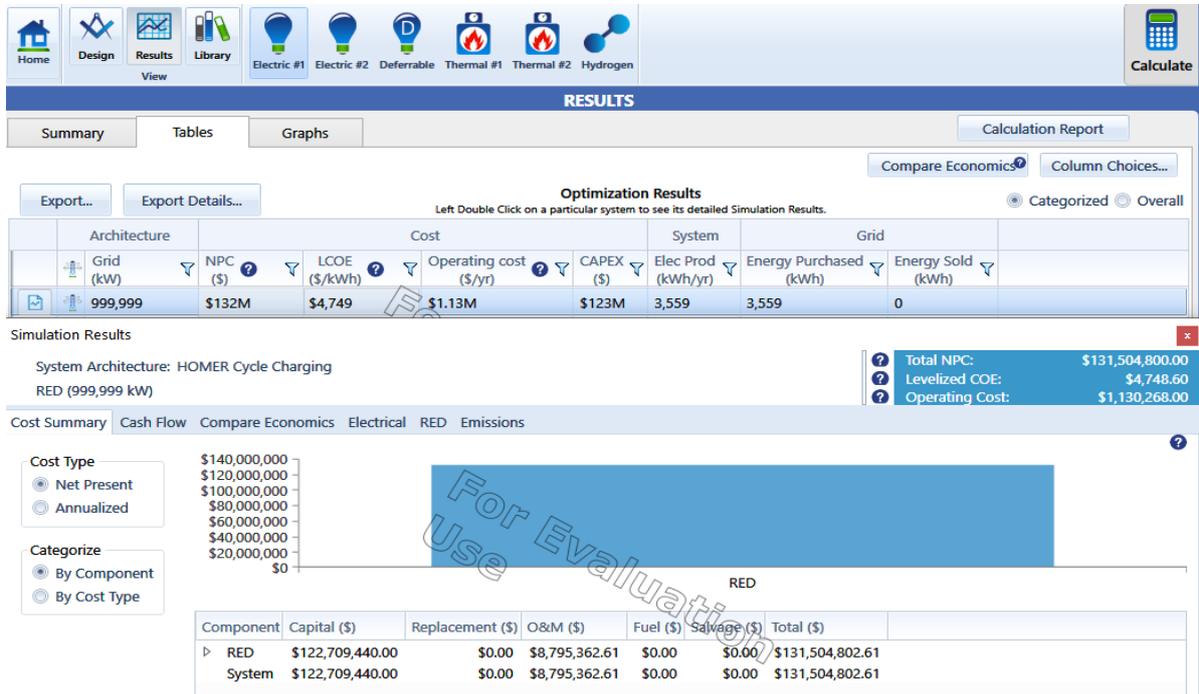
Anexo B2. Configuración parámetros de red para la simulación. En esta imagen se aprecian los parámetros básicos necesarios para Homer, como lo son la referencia o nombre para identificar el elemento, el costo por km, la distancia a la que se va a extender la red, el costo por kWh, la capacidad de suministro, entre otros. Es posible establecer un horario de disponibilidad energética por horas, además de que se pueden establecer las emisiones generadas por generación eléctrica en los casos que corresponda.



Anexo B3. Definición de tarifas para extensión de red en simulación, las cuales coinciden con los costos de kWh que se tengan en la zona por el operador de red encargado.

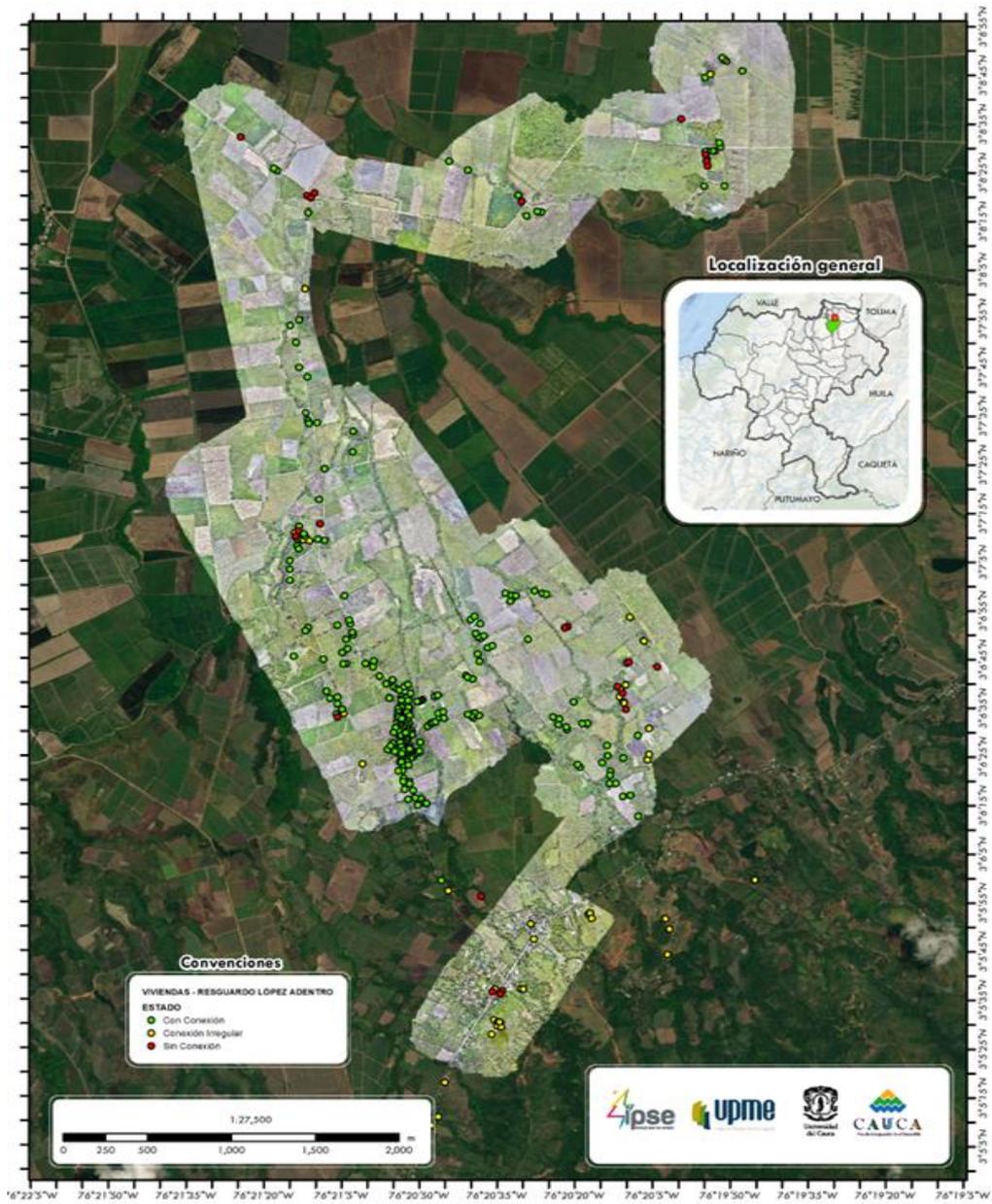


Anexo B4. Resultados obtenidos en simulación que muestran los costos iniciales por concepto de extender la red. Los costos de operación y mantenimiento corresponden a los costos que el operador cobra por la prestación del servicio en el periodo de tiempo establecido para el proyecto, por lo que son proporcionales a la cantidad de energía consumida.



ANEXOS C.

Anexo C.1 Ubicación de viviendas resguardo López Adentro que muestra la dispersión de cada una. Tomado de grupo Pers Cauca



Anexo C.2 Parámetros iniciales para López adentro caloto: Ubicación del proyecto, valor para la tasa de descuento, tasa de inflación, escasez de la capacidad anual para el suministro eléctrico, tiempo de vida del proyecto.

The screenshot shows the HOMER Pro software interface. The 'DESIGN' tab is active, displaying project details for 'Proyecto Caloto' located at 2HQX+V5 Caloto, Cauca, Colombia (3°2.4'N, 76°24.1'W). The project description includes 3 panels of 450W, 1 battery of 100Ah, and 1 converter. Financial parameters are set as follows:

- Discount rate (%): 12.18
- Inflation rate (%): 7.00
- Annual capacity shortage (%): 10.00
- Project lifetime (years): 10.00

The interface also shows a schematic of the system (AC/DC components), a map of the location, and a 'Microgrid News' banner.

Anexo C.3 Perfil de carga expuesto en el capítulo 2 para el resguardo López adentro, el cual muestra el consumo estimado en cada una de las viviendas.

The screenshot shows the 'ELECTRIC LOAD' configuration window in HOMER Pro. The load is named 'Carga Promedio' and is set for the year 2007. The interface displays four profiles:

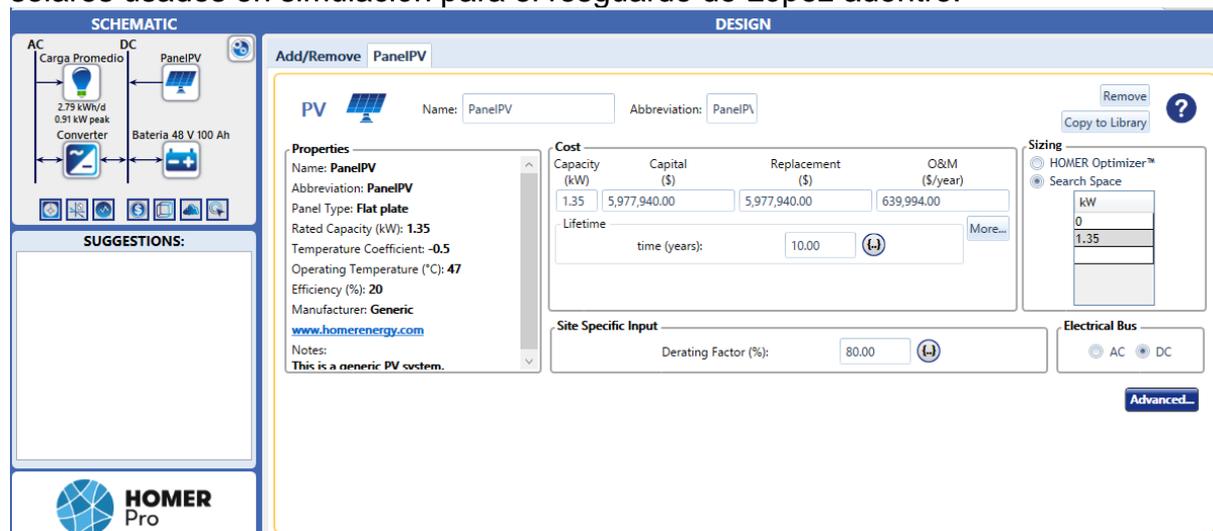
- January Profile:** A table showing hourly load (kW) for January. The peak load is 0.140 kW at hour 4.
- Daily Profile:** A bar chart showing the load profile for a typical day.
- Seasonal Profile:** A bar chart showing the load profile for each month of the year.
- Yearly Profile:** A heatmap showing the load profile for the entire year.

Summary metrics for the load profile are as follows:

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	2.79	2.79
Average(kW)	.12	.12
Peak (kW)	.91	.91
Load factor	.13	.13

Additional settings include a time step size of 60 minutes, random variability of 10%, and a lifetime of 10 years.

Anexo C.4 Datos técnicos de los paneles solares: Capacidad y costos de los paneles solares usados en simulación para el resguardo de López adentro.



PanelPV Configuration:

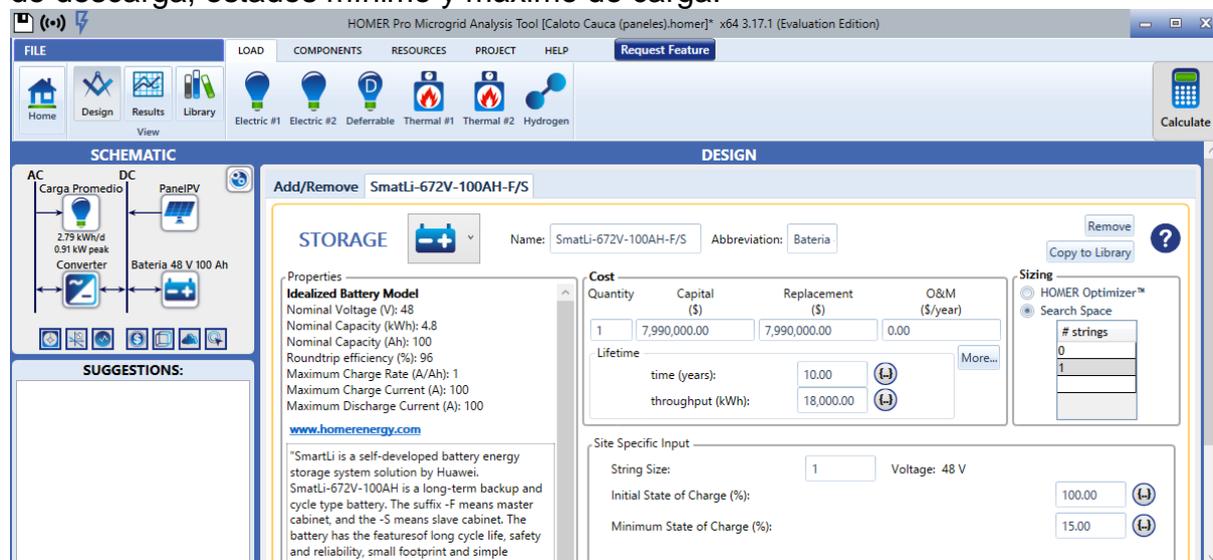
- Name: PanelPV
- Abbreviation: PanelPV
- Panel Type: Flat plate
- Rated Capacity (kW): 1.35
- Temperature Coefficient: -0.5
- Operating Temperature (°C): 47
- Efficiency (%): 20
- Manufacturer: Generic
- www.homerenergy.com
- Notes: This is a generic PV system.

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1.35	5,977,940.00	5,977,940.00	639,994.00

Lifetime: 10.00 years

Derating Factor (%): 80.00

Anexo C.5 Datos técnicos de las baterías usadas en simulación para el resguardo de López adentro, donde se incluyen precio, voltaje nominal, tiempo de vida, capacidad de descarga, estados mínimo y máximo de carga.



SmartLi-672V-100AH-F/S Configuration:

- Properties:
 - Idealized Battery Model
 - Nominal Voltage (V): 48
 - Nominal Capacity (kWh): 4.8
 - Nominal Capacity (Ah): 100
 - Roundtrip efficiency (%): 96
 - Maximum Charge Rate (A/Ah): 1
 - Maximum Charge Current (A): 100
 - Maximum Discharge Current (A): 100
- www.homerenergy.com
- Notes: SmartLi is a self-developed battery energy storage system solution by Huawei. SmartLi-672V-100AH is a long-term backup and cycle type battery. The suffix -F means master cabinet, and the -S means slave cabinet. The battery has the features of long cycle life, safety and reliability, small footprint and simple...

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	7,990,000.00	7,990,000.00	0.00

Lifetime: 10.00 years

throughput (kWh): 18,000.00

String Size: 1 Voltage: 48 V

Initial State of Charge (%): 100.00

Minimum State of Charge (%): 15.00

Anexo C.6 Capacidad en KW y de los costos relacionados con el convertidor regulador/Inversor usado en simulación para el resguardo de López adentro. Se debe asignar un nombre identificador, la capacidad en kW del convertidor, precio, tiempo de vida útil, costos de mantenimiento si lo amerita, y eficiencia de conversión.

The screenshot shows the HOMER Energy software interface in the 'DESIGN' tab. The main window displays the configuration for a 'CONVERTER' component. The 'Properties' section includes the name 'Control/Inversor', abbreviation 'Convert', and a note: 'This is a generic system converter.' The 'Costs' table is as follows:

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1.2	\$3,672,000.00	\$3,672,000.00	\$0.0

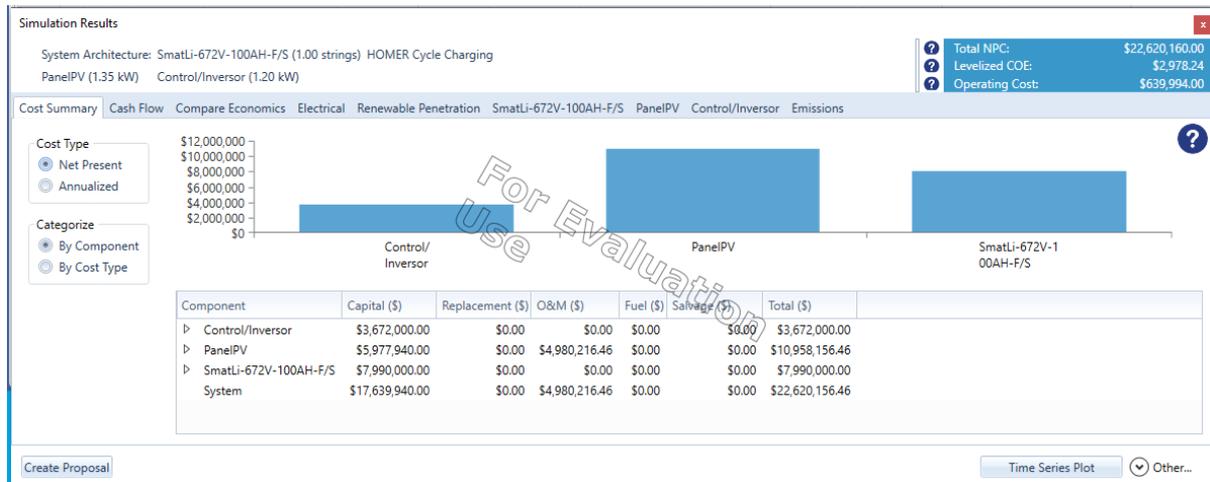
The 'Capacity Optimization' section shows the 'HOMER Optimizer™' selected, with a 'Size (kW)' dropdown menu currently set to 1.2. Other parameters include Lifetime (years) at 10.00, Efficiency (%) at 95.00, Relative Capacity (%) at 100.00, and Rectifier Efficiency (%) at 95.00. A checkbox for 'Parallel with AC generator?' is checked.

Anexo C.7 Resultados preliminares en simulación para el resguardo de López adentro.

The screenshot shows the HOMER Energy software interface in the 'RESULTS' tab. The 'Optimization Results' table is displayed, showing various metrics for the system architecture. The table is as follows:

Architecture			Cost				System		PanelPV		Bateria 48 V
PanelPV (kW)	Bateria 48 V 100 Ah (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	CAPEX	Energy Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)
1.35	1	1.20	\$22.6M	\$2,978	\$639,994	\$17.6M	100	0	\$,977,940	1,584	35.1

Anexo C.8 Resultados finales de los costos totales del proyecto para el resguardo de López adentro muestran los costos iniciales calculados para un sistema solar fotovoltaico individual. Se muestran también los costos de generación de acuerdo con la inversión inicial y los costos establecidos de mantenimiento.

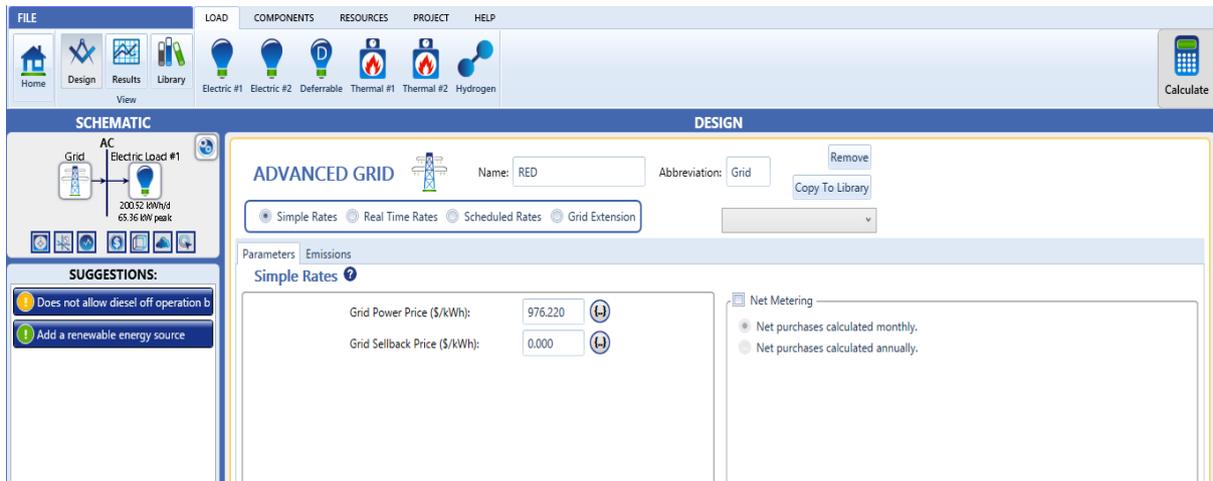


ANEXOS D

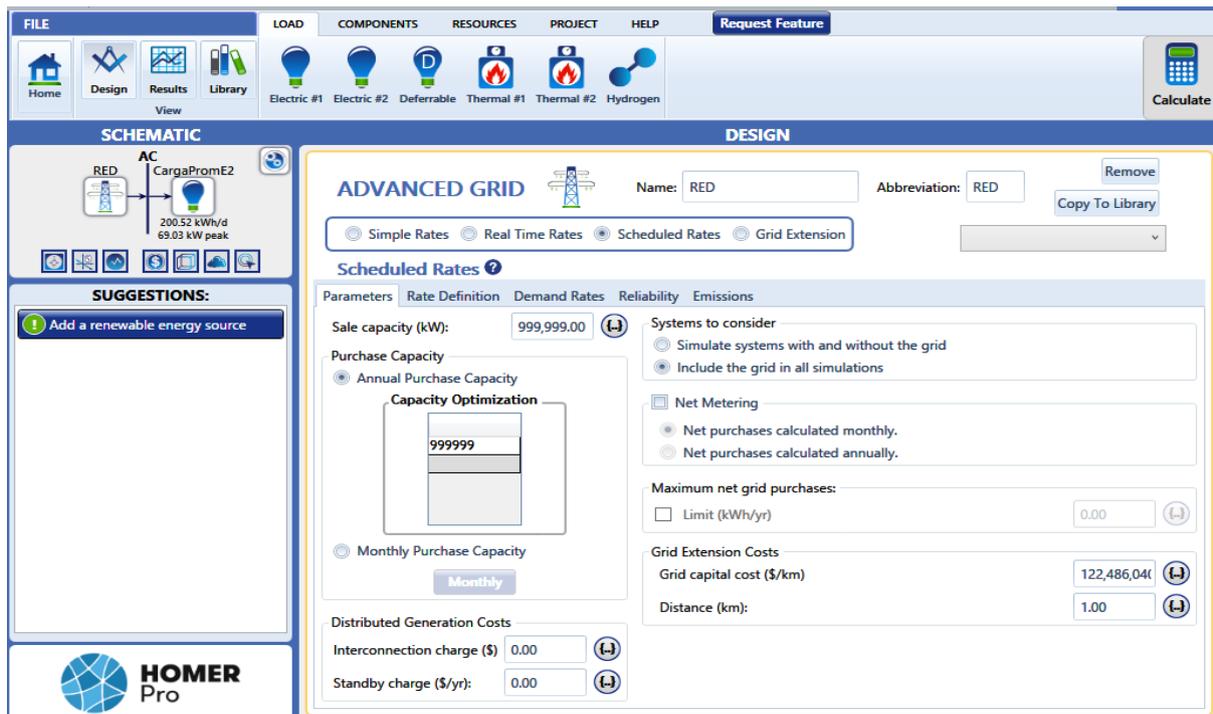
Anexo D.1. Definición de parámetros iniciales para extensión de red en el resguardo de López adentro. La configuración inicial incluye varios apartados, entre los que destacan ubicación, tasa de inflación y tiempo de vida del proyecto,

The screenshot shows the 'DESIGN' tab in HOMER Pro. The project name is 'Lopez adentro, Caloto, Cauca' and the author is 'Yony Paganquiza, Nestor Arciniegas'. The location is '4M52+FQ Caloto, Cauca, Colombia (3°6.5'N, 76°20.9'W)'. The description is 'Sistema de ampliación de red al resguardo Lopez Adentro, Caloto, Cauca'. The interface includes a 'SCHEMATIC' view on the left, a 'SUGGESTIONS' panel, and a 'DESIGN' panel with a map and location search. At the bottom, there are input fields for financial parameters: Discount rate (12.18%), Inflation rate (7.00%), Annual capacity shortage (10.00%), and Project lifetime (10.00 years). A 'Microgrid News' banner is also visible at the bottom right.

Anexo D.2 Configuración de costo compra de kWh del operador de red para realizar cálculos mediante simulación para el resguardo de López adentro. Como no se contempla la posibilidad de un sistema que inyecte energía a la red, se configura en cero el parámetro de venta de kWh



Anexo D.3 Configuración de costos para extensión red en simulación en el resguardo de López adentro, donde se deben ingresar costo de kWh, distancia desde el punto desde el cual se puede extender la red hasta la ubicación del proyecto. En este apartado es posible configurar la capacidad de suministro de la red, los horarios de disponibilidad de prestación del servicio, si existen costos por interconexión entre las redes y los cargos básicos del operador de red.



Anexo D.4 Perfil de carga para extensión red en el resguardo de López adentro que corresponde con el consumo estimado para las 72 viviendas, a partir del perfil de carga individual.

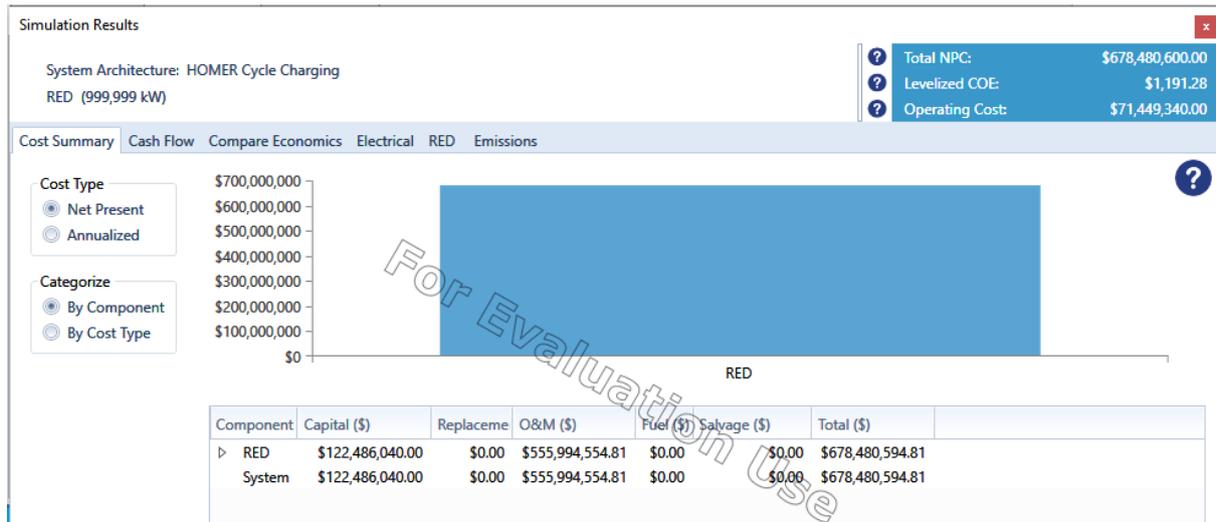


Anexo D.5 Resultados preliminares para la extensión de red en simulación para el resguardo de López adentro, donde se evidencian principalmente los costos por concepto de extensión de red y consumo. Costos referentes a matricula, accesorios o métodos de pago no son incluidos.

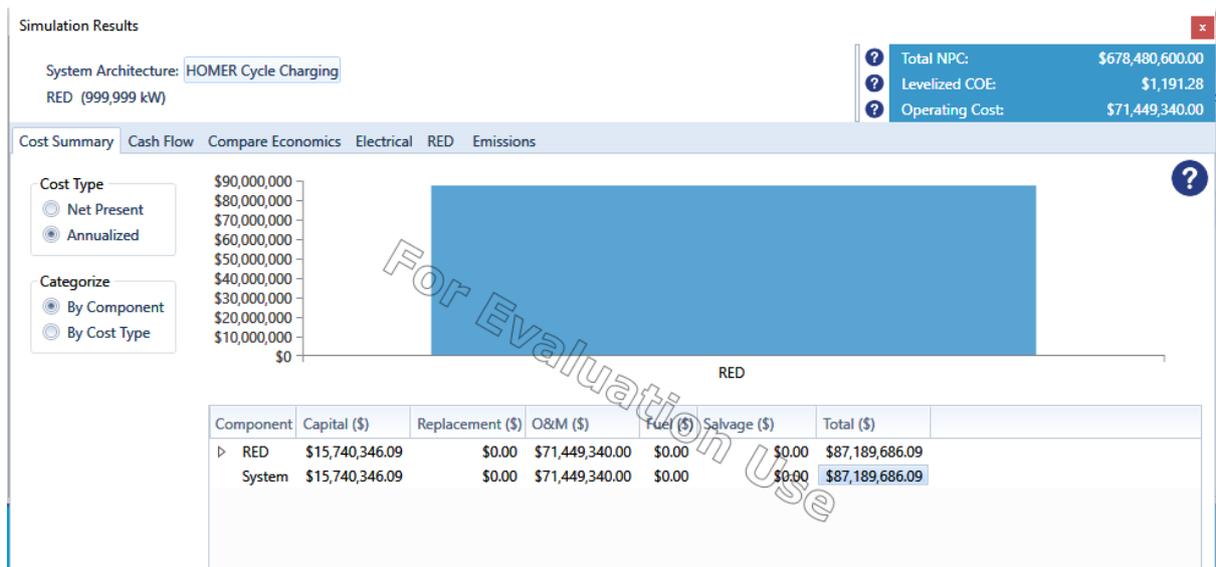
The 'Optimization Results' table is as follows:

Architecture	Cost	System	RED					
RED (kW)	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)
999,999	\$678M	\$1,191	\$71.4M	\$122M	0	0	73,190	0

Anexo D.6 Resultados finales para la extensión de red en simulación para el resguardo de López adentro de acuerdo con los costos asociados.



Anexo D.7 Resultados finales para la extensión red en el resguardo de López adentro donde se muestran los costos asociados al consumo de las 72 familias durante un año.



ANEXOS E

Anexo E.1 Definición de los parámetros iniciales para solución individual en San Bernardo: Ubicación del proyecto, valor para la tasa de descuento, tasa de inflación, escasez de la capacidad anual para el suministro eléctrico, tiempo de vida del proyecto.

DESIGN

Name: proyecto paneles solares
 Author: Alejandro Paganquiza, Nestor Arciniegas
 Description: proyecto de paneles solares para la vereda de San Bernardo, Timbiqui
 panel solar de 450 W
 batería de 48 V 100Ah
 controlador, convertidor de 3000 W

Q8HJ=3X Timbiqui, Cauca, Colombia (2°46.7'N , 77°40.1'W)

Discount rate (%): 12.18
 Inflation rate (%): 7.00
 Annual capacity shortage (%): 10.00
 Project lifetime (years): 10.00

Anexo E.2 Perfil de carga estimado para la solución individual en San Bernardo con un consumo promedio de 4.01 kWh/día.

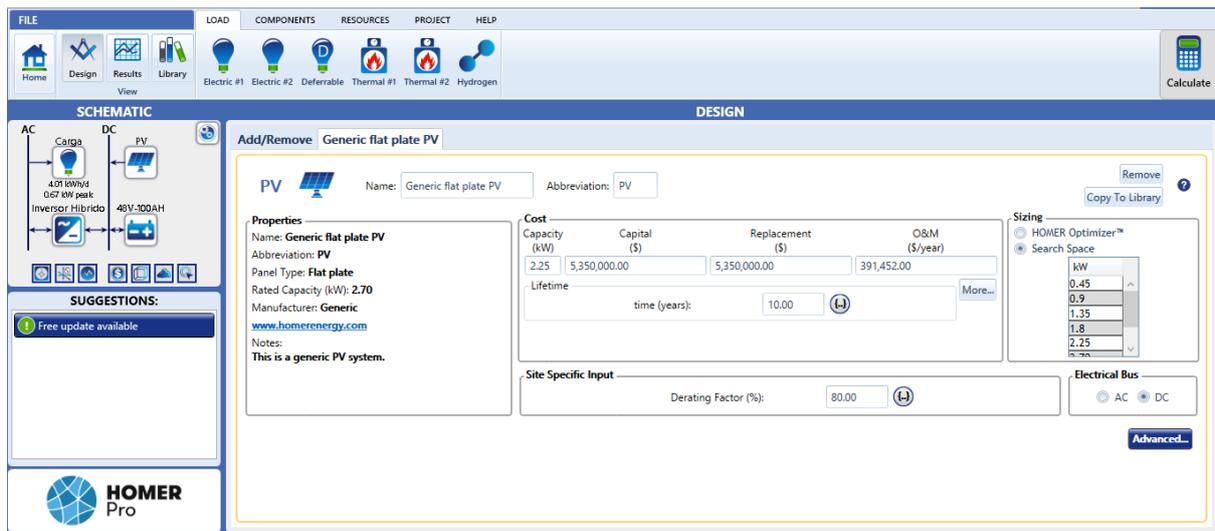
ELECTRIC LOAD

Name: Carga Year to model: 2007

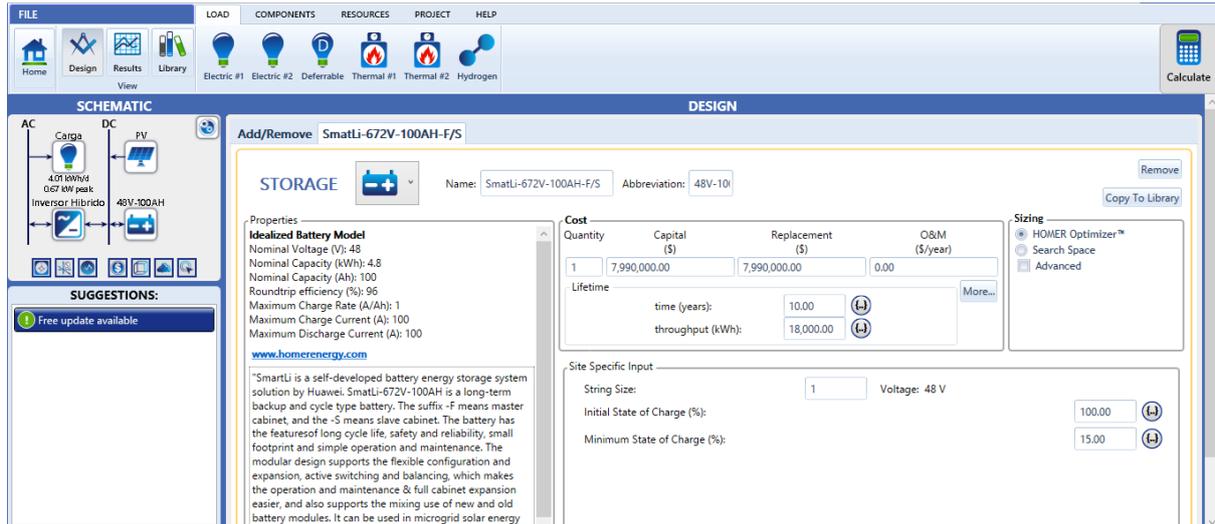
Hour	Load (kW)
0	0.140
1	0.140
2	0.140
3	0.140
4	0.200
5	0.200
6	0.080
7	0.080
8	0.140
9	0.140

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	4.01	4.01
Average(kW)	.17	.17
Peak (kW)	.67	.67
Load factor	.25	.25

Anexo E.3 Ingreso en el software de los datos técnicos de los Paneles solares para solución individual en simulación para San Bernardo. Los principales datos son: Nombre, precio capacidad de generación en kW, tiempo de vida y cantidad disponible.



Anexo E.4 En esta imagen se muestran los principales datos de las baterías para la solución individual en simulación para San Bernardo. Estos son, Nombre, precio, tiempo de vida, estados de carga y voltaje nominal.



Anexo E.5 Los datos primordiales del convertidor y regulador para la solución individual en simulación para San Bernardo son su capacidad nominal, costos y eficiencia de cada uno.

The screenshot shows the HOMER software interface in the 'DESIGN' mode. The central panel is titled 'CONVERTER?' and shows the configuration for an 'Inversor Híbrido' component. The configuration includes:

- Properties:** Name: Inversor Híbrido, Abbreviation: Inverso, www.homerenergy.com, Notes: This is a generic system converter.
- Costs:** Capacity (kW): 3, Capital (\$): \$3,719,005.00, Replacement (\$): \$3,719,005.00, O&M (\$/year): \$0.0.
- Capacity Optimization:** HOMER Optimizer™, Search Space, Size (kW): 0, 3.
- Inverter Input:** Lifetime (years): 10.00, Efficiency (%): 95.00, Parallel with AC generator? (checked).
- Rectifier Input:** Relative Capacity (%): 100.00, Efficiency (%): 95.00.

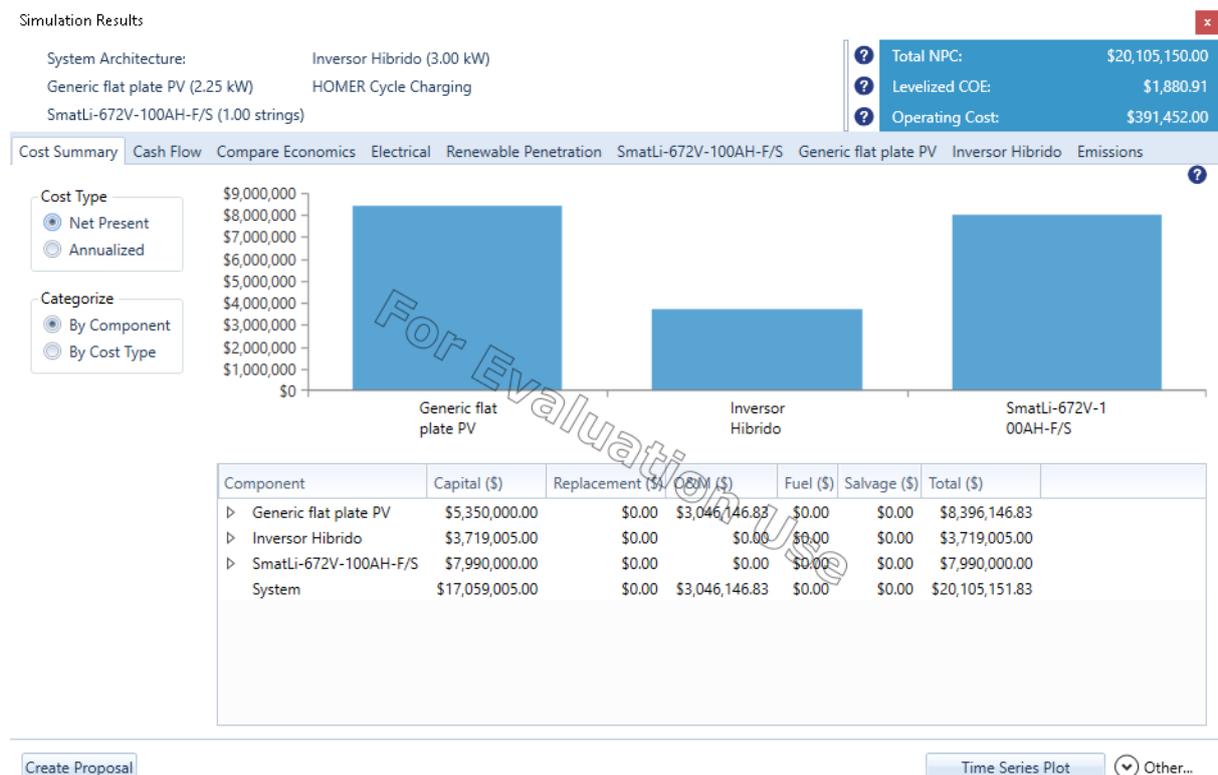
A banner at the bottom of the configuration panel reads: "Need help learning HOMER? Learn more about".

Anexo E.6 Resultados preliminares para la solución individual en simulación para San Bernardo.

The screenshot shows the HOMER software interface in the 'RESULTS' mode. The 'Optimization Results' table is displayed, showing various economic and performance metrics for the system. The table is categorized by 'Overall' and includes the following data:

Architecture				Cost				System		PV		48V-100AH	
PV (kW)	48V-100AH (#)	Inversor Híbrido (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	CAPEX	Energy Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)
2.25	1	3.00	CC	\$20.1M	\$1.861	\$391,452	\$17.1M	100	0	5,350,000	2,627	24.4	944

Anexo E.7 Resultados finales para la solución individual en simulación para San Bernardo, donde se muestran los costos totales del proyecto de acuerdo con la vida de este.



ANEXOS F

Anexo F.1 Parámetros iniciales microrred, San Bernardo: Ubicación del proyecto, valor para la tasa de descuento, tasa de inflación, escasez de la capacidad anual para el suministro eléctrico, tiempo de vida del proyecto.

FILE | LOAD | COMPONENTS | RESOURCES | PROJECT | HELP

Home | Design | Results | Library | Electric #1 | Electric #2 | Deferrable | Thermal #1 | Thermal #2 | Hydrogen | Calculate

SCHEMATIC | **DESIGN**

Name: Proyecto Timbiqui Cauca
 Author: Alejandro Paganquiza, Nestor Arciniegas
 Description: Simulación para una microrred paneles solares: 450 W batería de 48 V 300 Ah

Q8HJ+3X Timbiqui, Cauca, Colombia (2°46.7'N , 77°40.1'W)

02°45' 52.44" N 77°43' 12.42" W | Location Search | (UTC-05:00) Bogotá, Lima, Quito

Discount rate (%): 12.18
 Inflation rate (%): 7.00
 Annual capacity shortage (%): 10.00
 Project lifetime (years): 10.00

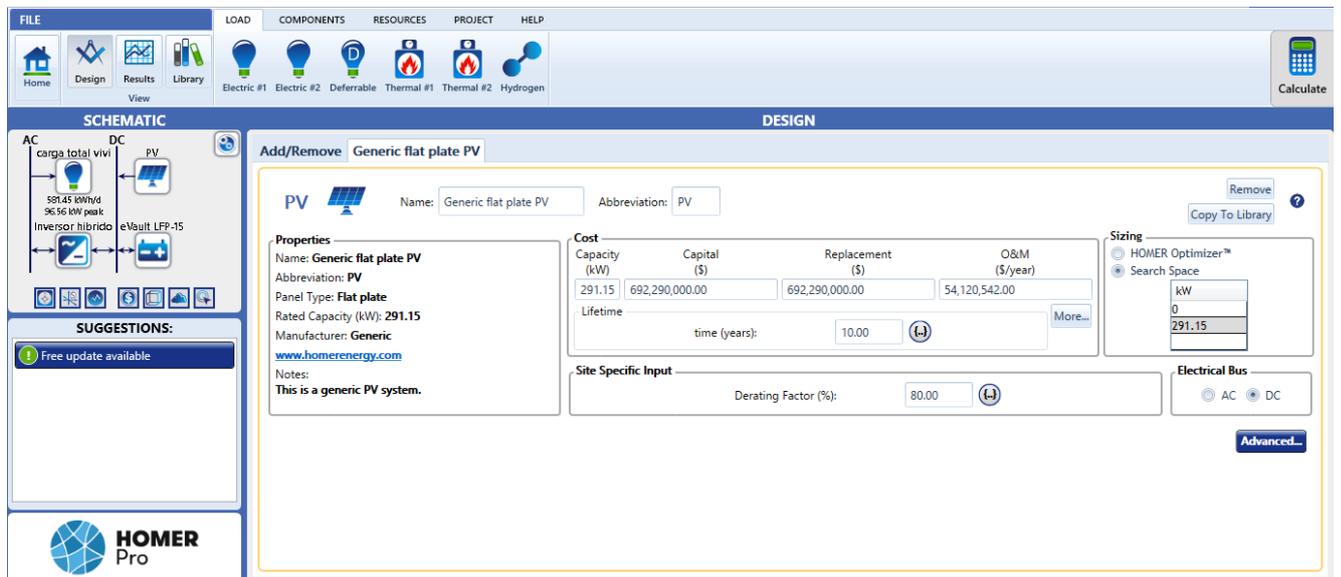
Free Video Training
 Click here for problem-solving strategies.

HOMER Pro

Anexo F.2 Perfil de carga para la microrred en simulación para San Bernardo para el total de las 145 viviendas objeto del proyecto en esta localidad.



Anexo F.3 Principales datos técnicos de los paneles solares usados para simular la microrred en San Bernardo.



Anexo F.4 Ingreso de los datos técnicos correspondientes a las baterías para la microrred en San Bernardo.

The screenshot shows the HOMER Pro software interface for configuring a battery component. The main window is titled "DESIGN" and shows a schematic on the left and a configuration panel on the right for the "Fortress Power eVault LFP-15".

Properties:

- Idealized Battery Model
- Nominal Voltage (V): 48
- Nominal Capacity (kWh): 14.4
- Nominal Capacity (Ah): 300
- Roundtrip efficiency (%): 98
- Maximum Charge Rate (A/Ah): 0.4
- Maximum Charge Current (A): 130
- Maximum Discharge Current (A): 150

Cost:

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	8,444,873.00	8,444,873.00	0.00

Lifetime:

- time (years): 10.00
- throughput (kWh): 60,000.00

Site Specific Input:

- String Size: 1
- Voltage: 48.00 V
- Initial State of Charge (%): 100.00
- Minimum State of Charge (%): 15.00
- Use minimum storage life (yrs): 5.00

Sizing:

- HOMER Optimizer™
- Search Space
- # strings: 80

Anexo F.5 Ingreso de los datos técnicos del convertidor, regulador/inversor para la microrred en San Bernardo. Se incluyen un nombre identificador del componente, la capacidad de conversión en kW, el precio tanto de regulador como de inversor, la eficiencia y la vida útil del dispositivo.

The screenshot shows the HOMER Pro software interface for configuring a converter component. The main window is titled "DESIGN" and shows a schematic on the left and a configuration panel on the right for the "System Converter".

Properties:

- Name: System Converter
- Abbreviation: Inversor hibrido
- Notes: This is a generic system converter.

Costs:

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
200	\$348,000,000.00	\$348,000,000.00	\$0.0

Capacity Optimization:

- HOMER Optimizer™
- Search Space
- Size (kW): 200

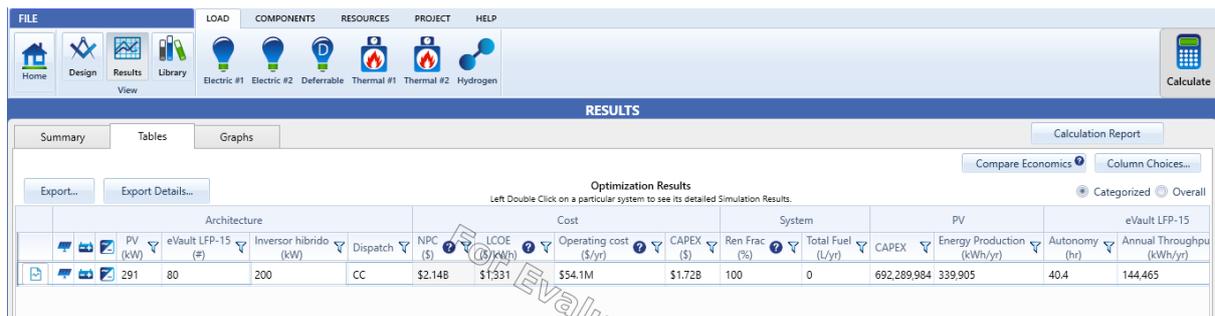
Inverter Input:

- Lifetime (years): 10.00
- Efficiency (%): 95.00
- Parallel with AC generator?

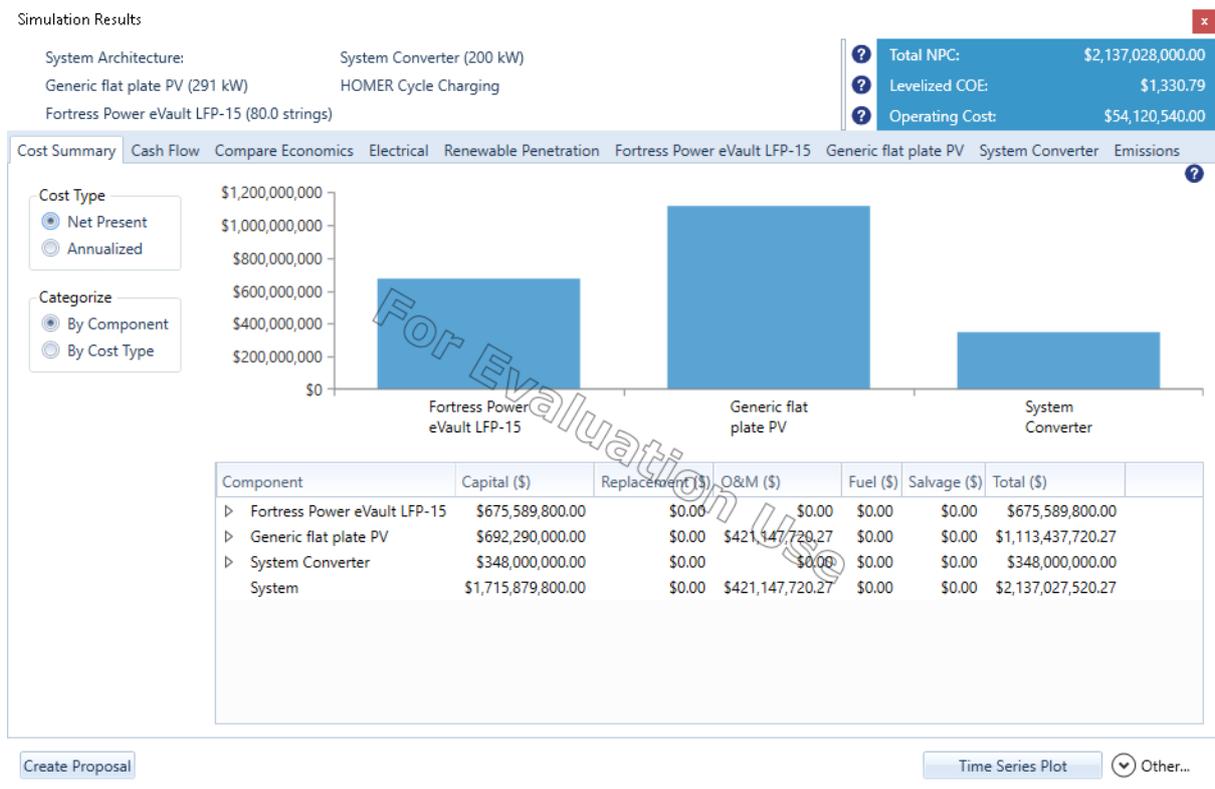
Rectifier Input:

- Relative Capacity (%): 100.00
- Efficiency (%): 95.00

Anexo F.6 Resultados preliminares en simulación para la microrred en San Bernardo.



Anexo F.7 Resultados finales en simulación para la microrred en San Bernardo donde se muestran costos, capacidad de generación y costo de generación por kW.



ANEXOS G

Anexo G.1. Parámetros iniciales grupo electrógeno. San Bernardo: Ubicación del proyecto, valor para la tasa de descuento, tasa de inflación, escasez de la capacidad anual para el suministro eléctrico, tiempo de vida del proyecto.

The screenshot shows the HOMER Pro software interface in the DESIGN tab. The project name is "Proyecto San Bernardo Timbiquí Cauca" and the author is "Alejandro Paganauiza, Nestor Arciniegas". The description is "Simulación para Generador de 150 kW." The location is "Q8H+3X Timbiquí, Cauca, Colombia (2°46.7'N, 77°40.1'W)". The parameters are:

- Discount rate (%): 12.18
- Inflation rate (%): 7.00
- Annual capacity shortage (%): 10.00
- Project lifetime (years): 10.00

A map shows the location of Timbiquí. A banner for "Free Video Training" is visible at the bottom right.

Anexo G.2. Perfil de carga usado en simulación para el grupo electrógeno en San Bernardo, correspondiente a la carga total de la población objeto del proyecto.

The screenshot shows the HOMER Pro software interface in the DESIGN tab, specifically the "ELECTRIC LOAD" section for "Carga Viviendas". The year to model is 2007. The load profile is displayed in four views:

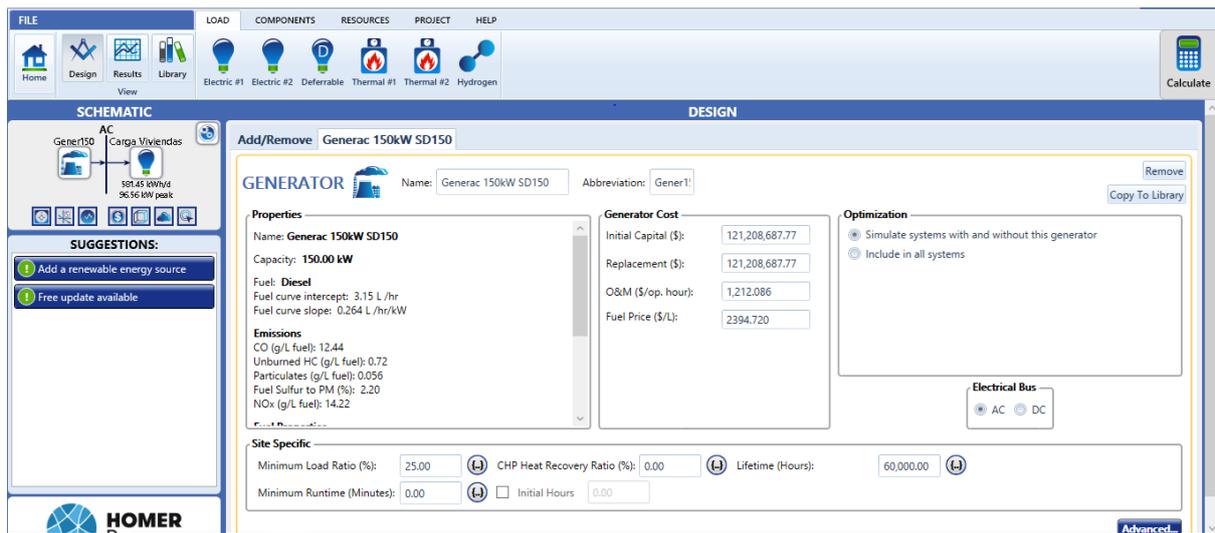
- January Profile:** A table showing load (kW) for each hour of the month.
- Daily Profile:** A bar chart showing the load profile for a typical day.
- Seasonal Profile:** A bar chart showing the load profile for each month of the year.
- Yearly Profile:** A heatmap showing the load profile for the entire year.

Key metrics for the load profile are:

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	581.45	581.45
Average(kW)	24.23	24.23
Peak (kW)	96.56	96.56
Load factor	.25	.25

Additional settings include Time Step Size: 60 minutes, Random Variability, Day-to-day (%): 10, and Timestep (%): 20.

Anexo G.3. Valor en costos del generador eléctrico en simulación para San Bernardo.

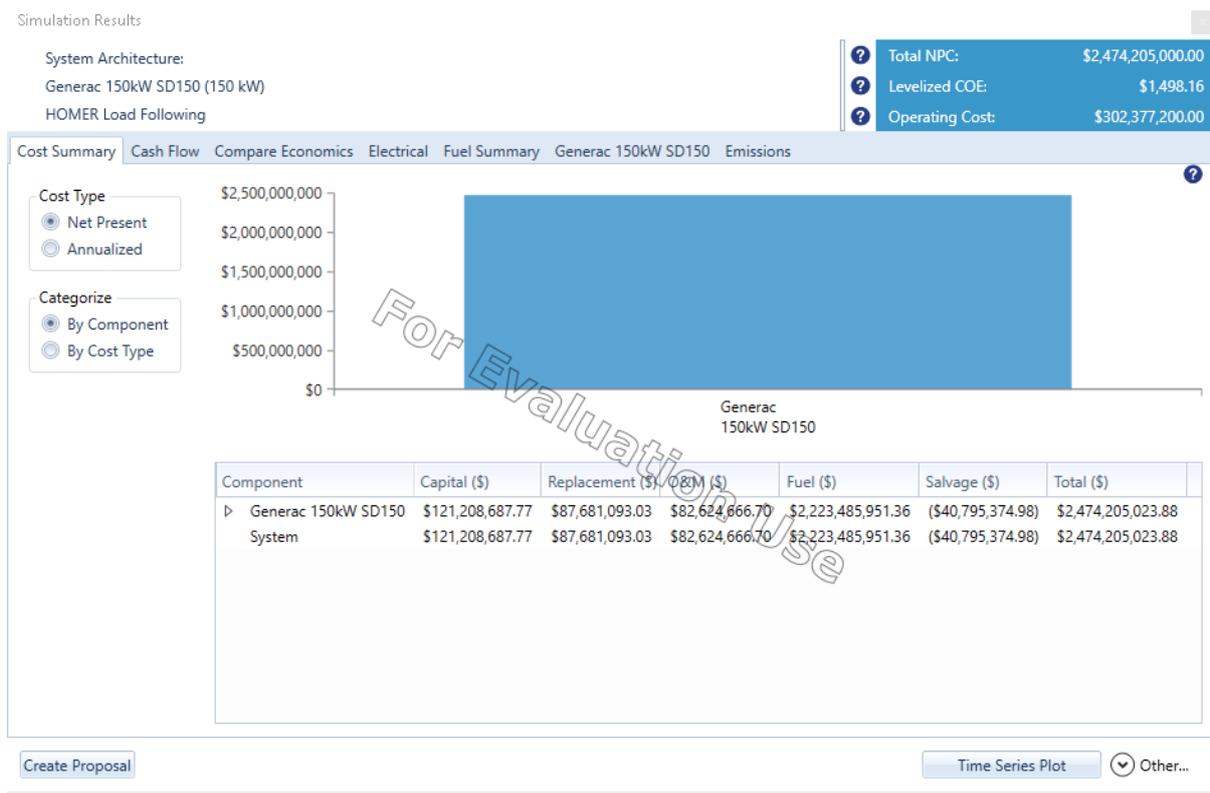


Anexo G.4. Resultados preliminares en simulación para el Grupo electrógeno en San Bernardo, de donde se obtiene los costos asociados a generación y consumo de combustible.

The screenshot shows the HOMER software interface in the 'RESULTS' mode. The main window displays the 'Optimization Results' table. The table is organized into columns for Architecture, Cost, System, and Generator-specific metrics.

Architecture		Cost			System			Gener150				
Gener150 (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)	
150	LF	\$2,478	\$1,498	\$302M	\$121M	0	119,318	8,760	347,090	119,318	10,617,873	285,734,144

Anexo G.5. Resultados finales en simulación para el Grupo electrógeno en San Bernardo, donde se puede observar el valor inicial total y el costo de combustible total durante la vida útil del proyecto.



Anexo G.6. Resultados en simulación para el Grupo electrógeno en San Bernardo, donde se puede observar la cantidad de emisiones de gases que produce el generador en el transcurso de un año de operación.

Simulation Results

System Architecture:
 Generac 150kW SD150 (150 kW)
 HOMER Load Following

Cost Summary | Cash Flow | Compare Economics | Electrical | Fuel Summary | Generac 150kW SD150 | Emissions

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	313,091	kg/yr
Carbon Monoxide	1,484	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	85.9	kg/yr
Particulate Matter	6.68	kg/yr
Sulfur Dioxide	765	kg/yr
Nitrogen Oxides	1,697	kg/yr

ANEXOS H

Anexo H.1. Parámetros iniciales solución individual, Chacón Playa: Ubicación del proyecto, valor para la tasa de descuento, tasa de inflación, escasez de la capacidad anual para el suministro eléctrico, tiempo de vida del proyecto.

The screenshot shows the HOMER Pro software interface. The 'DESIGN' tab is active, displaying the following information:

- Name:** proyecto paneles solares
- Author:** Alejandro Paganquiza, Nestor Arciniegas
- Description:** proyecto de paneles solares para la vereda de Playa Chacon, Timbiqui panel solar de 450 W bateria de 48 V 100Ah controlador, convertidor de 3000 W
- Location:** Q8HJ+3X Timbiqui, Cauca, Colombia (2°46.7'N, 77°40.1'W)
- Financial Parameters:**
 - Discount rate (%): 12.18
 - Inflation rate (%): 7.00
 - Annual capacity shortage (%): 10.00
 - Project lifetime (years): 10.00

The interface also shows a schematic diagram on the left and a map of the project location on the right.

Anexo H.2. Perfil de carga en simulación para la Solución individual en Chacón Playa.

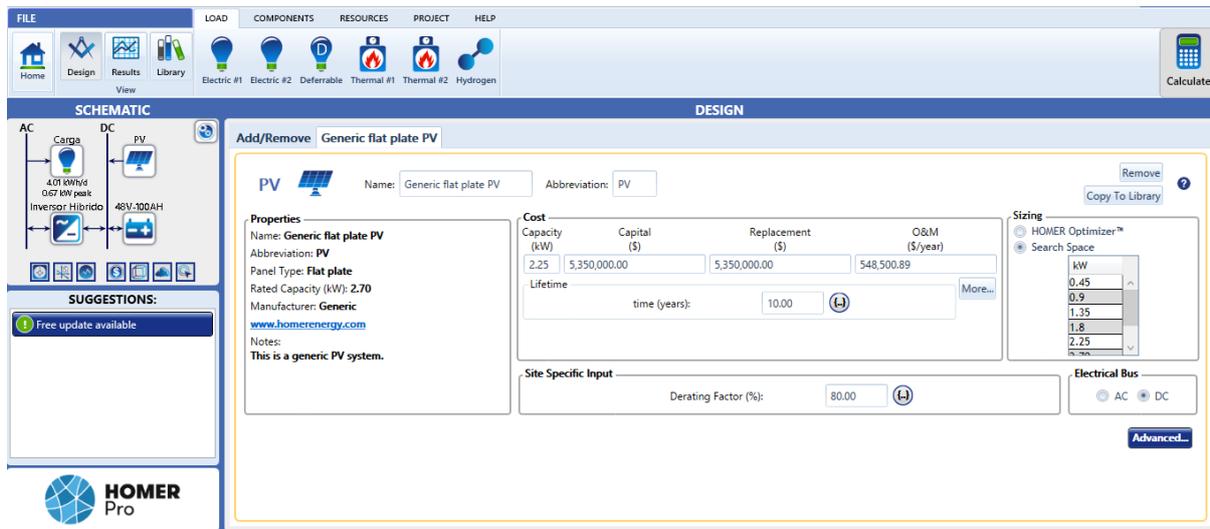
The screenshot shows the HOMER Pro software interface displaying the 'ELECTRIC LOAD' profile for 'Carga'. The 'Year to model' is set to 2007. The interface includes several charts and a table of metrics:

- January Profile:** A table showing load (kW) for each hour of the day.

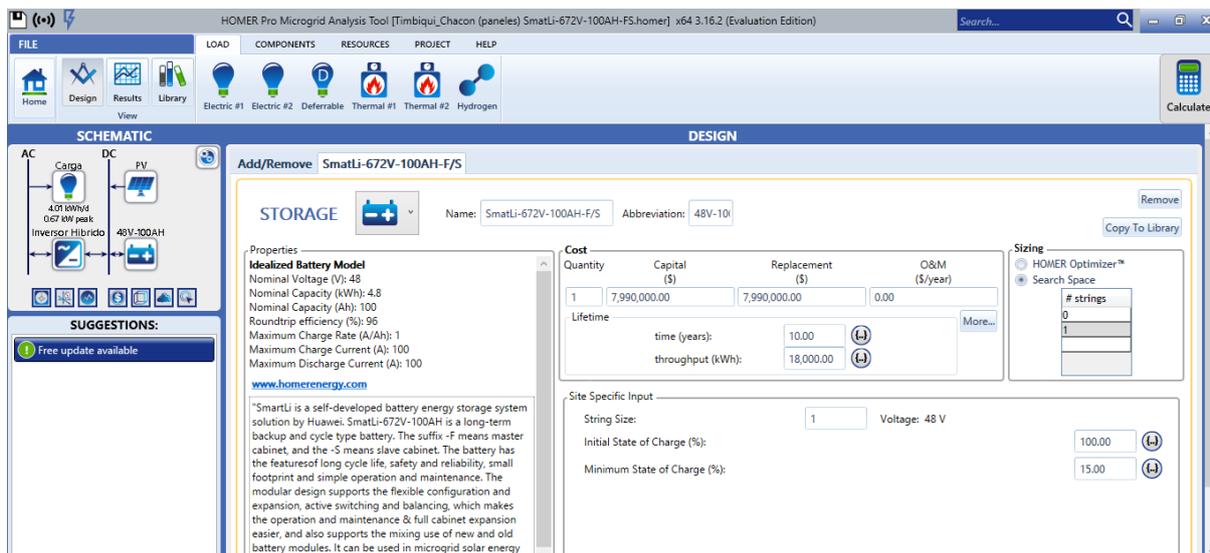
Hour	Load (kW)
0	0.140
1	0.140
2	0.140
3	0.140
4	0.200
5	0.200
6	0.080
7	0.080
8	0.140
9	0.140
- Daily Profile:** A bar chart showing the load profile for a single day.
- Seasonal Profile:** A bar chart showing the load profile for each month of the year.
- Yearly Profile:** A heatmap showing the load profile for the entire year.
- Metric Table:**

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	4.01	4.01
Average(kW)	.17	.17
Peak (kW)	.67	.67
Load factor	.25	.25
- Advanced Settings:**
 - Efficiency (Advanced):
 - Efficiency multiplier: 1
 - Capital cost (\$): 0
 - Lifetime (yr): 10

Anexo H.3. Ingreso de los datos técnicos para los paneles solares de simulación para la Solución individual en Chacón Playa, incluido nombre, costo cantidad y vida útil.



Anexo H.4. Datos de las baterías para la solución individual en Playa Chacón. Los principales datos requeridos por el software son: Precio individual, vida útil, voltaje nominal, porcentaje de carga mínimo e inicial. Se pueden agregar en la columna strings, la cantidad de baterías de las que se dispone o el máximo que pueden ser usadas en simulación.

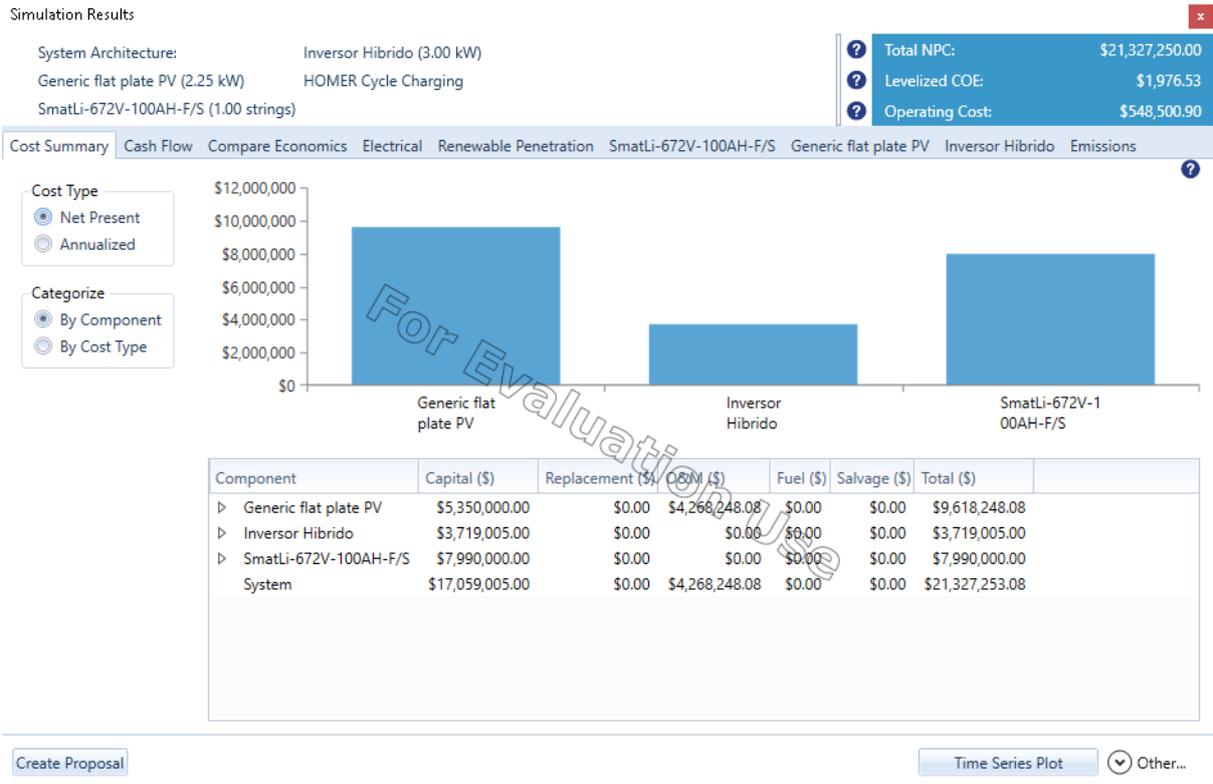


Anexo H.5. Características del convertidor, donde se incluye tanto el regulador como el Inversor para la solución individual en Chacón Playa. Se ingresan nombre, capacidad en kW, precio, eficiencia, vida útil, entre otros.

Anexo H.6. Resultados preliminares en simulación para la solución individual en Playa Chacón, donde se determina la capacidad de generación que se requiere instalar para abastecer la carga y si los dispositivos seleccionados inicialmente son adecuados. La autonomía calculada es de 24 horas.

Architecture		Cost				System		PV		48V-100AH			
PV (kW)	48V-100AH (#)	Inversor Hibrido (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	CAPEX	Energy Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)
2.25	1	3.00	CC	\$21.3M	\$1,977	\$548,501	\$17.1M	100	0	\$,350,000	2,833	24.4	952

Anexo H.7. Resultados finales en simulación para la solución individual, Playa Chacón. Se evidencian los costos de inversión inicial, costos de generación por kW.



ANEXOS I

Anexo I.1. Parámetros iniciales para simular la microrred de Chacón Playa: Se ingresan nombre, autores, ubicación del proyecto, valor para la tasa de descuento, tasa de inflación, escasez permitida de la capacidad anual para el suministro eléctrico, tiempo de vida del proyecto.

The screenshot shows the HOMER Pro software interface. The 'DESIGN' tab is active, displaying the following information:

- Name:** Proyecto Timbiquí Cauca
- Author:** Alejandro Paganquiza, Nestor Arciniegas
- Description:** Simulación para una microrred paneles solares: 450 W batería de 48 V 300 Ah
- Location:** Q8HJ+3X Timbiquí, Cauca, Colombia (2°46.7'N, 77°40.1'W)
- Discount rate (%):** 12.18
- Inflation rate (%):** 7.00
- Annual capacity shortage (%):** 10.00
- Project lifetime (years):** 10.00

The interface also includes a schematic diagram on the left showing AC and DC components, a map of the project location, and a 'Free Video Training' banner.

Anexo I.2. Perfil de carga en simulación para la Microrred correspondiente al consumo conjunto de la población de Chacón Playa.

The screenshot shows the HOMER Pro software interface with the 'ELECTRIC LOAD' profile selected. The 'Year to model' is set to 2007. The profile is displayed in four views:

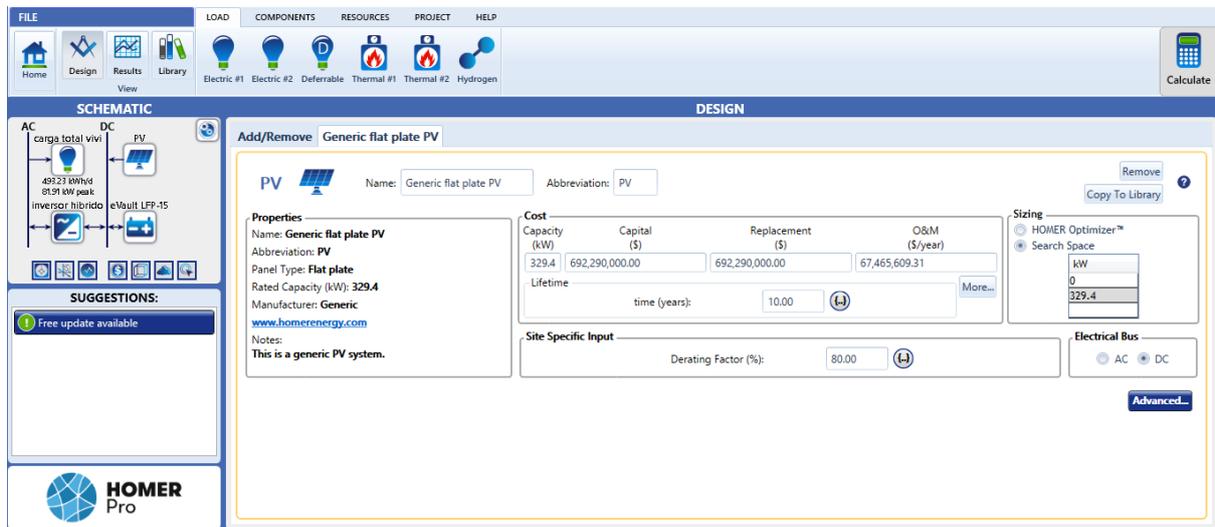
- January Profile:** A table showing hourly load (kW) for January. The load starts at 17.220 kW at 0:00 and increases to 24.600 kW by 5:00, then fluctuates between 9.840 kW and 17.220 kW for the remainder of the day.
- Daily Profile:** A bar chart showing the load profile for a single day, with a peak load of approximately 50 kW.
- Seasonal Profile:** A box plot showing the distribution of load profiles for each month of the year.
- Yearly Profile:** A heatmap showing the load profile for the entire year, with a color scale from 0 kW (blue) to 100 kW (red).

Summary metrics for the electric load are provided in a table:

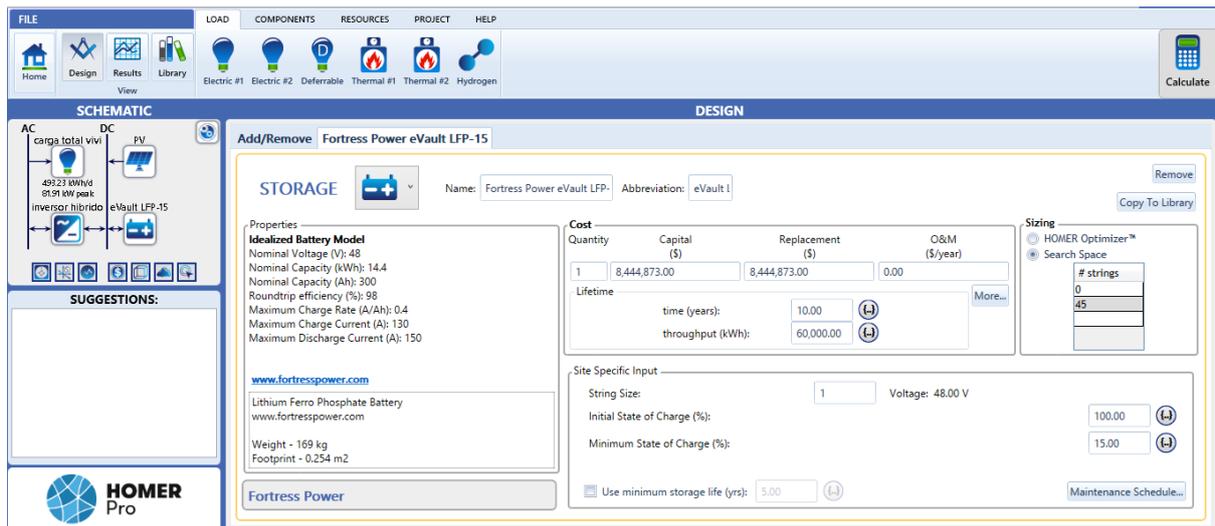
Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	493.23	493.23
Average(kW)	20.55	20.55
Peak (kW)	81.91	81.91
Load factor	.25	.25

Additional parameters shown include: Time Step Size: 60 minutes, Random Variability: Day-to-day (10%), Timestep (%): 20%, Efficiency multiplier: 1, Capital cost (\$): 0, and Lifetime (yr): 10.

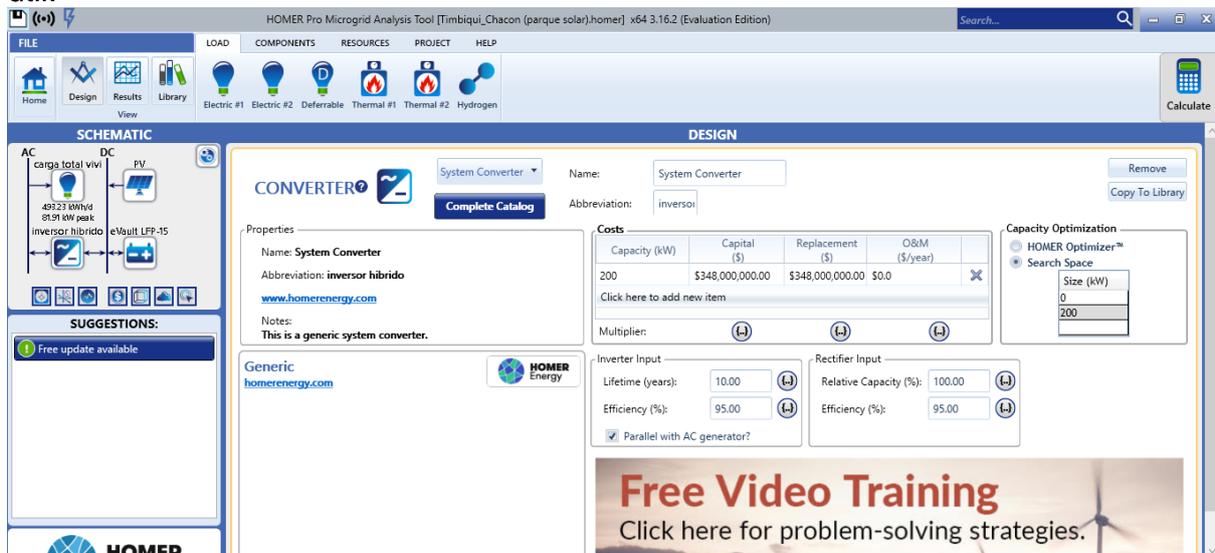
Anexo I.3. Principales datos de los paneles solares para la Microrred en Chacón Playa. Se ingresan en el software nombre de identificación de paneles, potencia nominal en kW, precio, vida útil, factor de degradación y cantidad de paneles disponibles para simulación.



Anexo I.4. Datos técnicos de las baterías para la microrred en Chacón Playa. Se ingresan cantidad de baterías disponibles, precio, carga mínima permitida, carga inicial, voltaje nominal y vida útil.



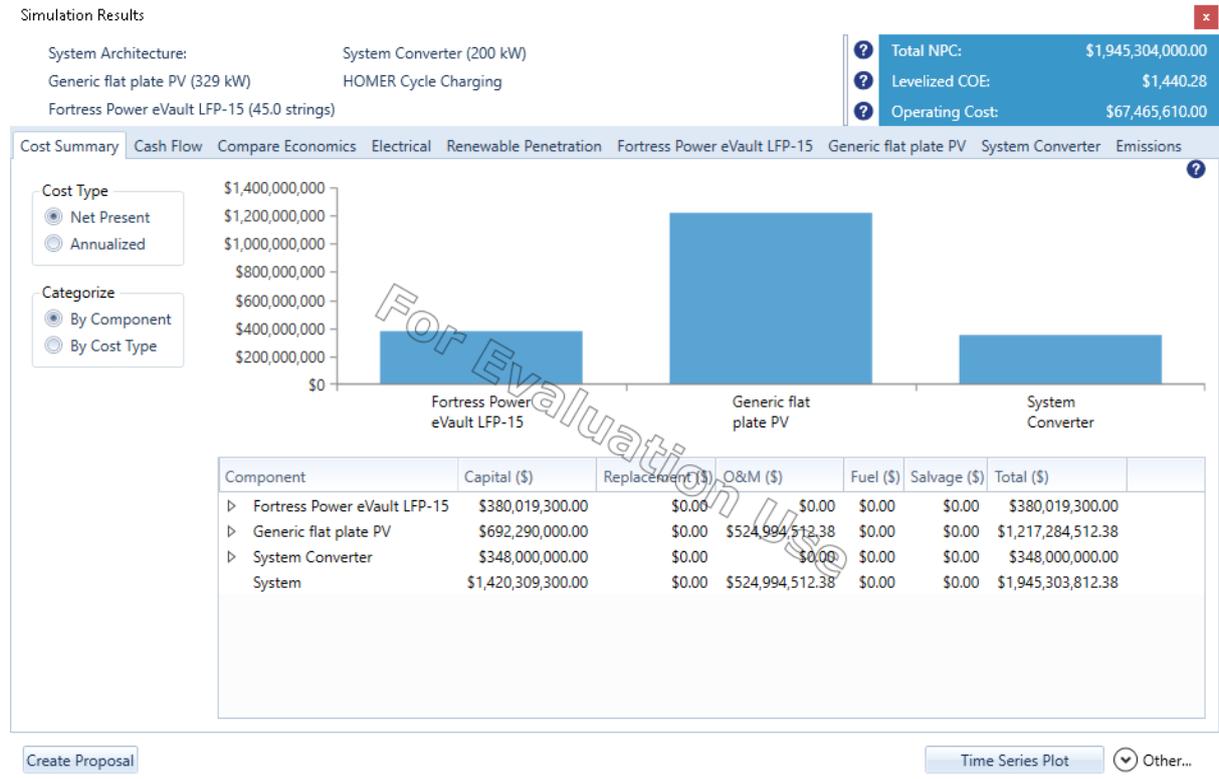
Anexo I.5. La información correspondiente a los dispositivos de regulación e inversión para la Microrred en Chacón Playa, son mostrados en la siguiente imagen, donde destacan los datos correspondientes a precio, capacidad nominal, eficiencia y vida útil.



Anexo I.6. Resultados preliminares en simulación para la microrred en Chacón Playa, donde se evidencia que la capacidad instalada, en conjunto con las baterías, permite una autonomía cercana a las 26 horas.

Architecture		Cost		System		PV		eVault LFP-15					
PV (kW)	eVault LFP-15 (#)	inversor hibrido (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren. Frac. (%)	Total Fuel (L/yr)	CAPEX	Energy Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)
329	45	200	CC	\$1,958	\$1,440	\$67.5M	\$1,428	100	0	692,289,984	384,560	26.8	118,266

Anexo I.7. Resultados finales en simulación para la microrred en Chacón Playa. El costo de generación, así como los costos de inversión inicial son mostrados a continuación.



ANEXOS J

Anexo J.1. Parámetros iniciales para la simulación del generador eléctrico para Chacón Playa, tales como ubicación del proyecto, valor para la tasa de descuento, tasa de inflación, escasez de la capacidad anual para el suministro eléctrico, tiempo de vida del proyecto.

FILE | LOAD | COMPONENTS | RESOURCES | PROJECT | HELP

Home | Design | Results | Library | Electric #1 | Electric #2 | Deferrable | Thermal #1 | Thermal #2 | Hydrogen | Calculate

SCHEMATIC | **DESIGN**

AC Carga Viviendas
 CAT-150
 493.23 kW/46
 81.91 kW peak

SUGGESTIONS:
 Add a renewable energy source
 Free update available

Project Information:
 Name: Proyecto Timbiquí Cauca
 Author: Alejandro Paganquiza, Nestor Arciniegas
 Description: Simulación para Generador de 120 KW.

Q8HJ+3X Timbiquí, Cauca, Colombia (2°46.7'N, 77°40.1'W)
 Timbiquí
 00° 00' 00.00" N 00° 00' 00.00" E
 Location Search
 (UTC-05:00) Bogotá, Lima, Quito

Discount rate (%): 12.18
 Inflation rate (%): 7.00
 Annual capacity shortage (%): 10.00
 Project lifetime (years): 10.00

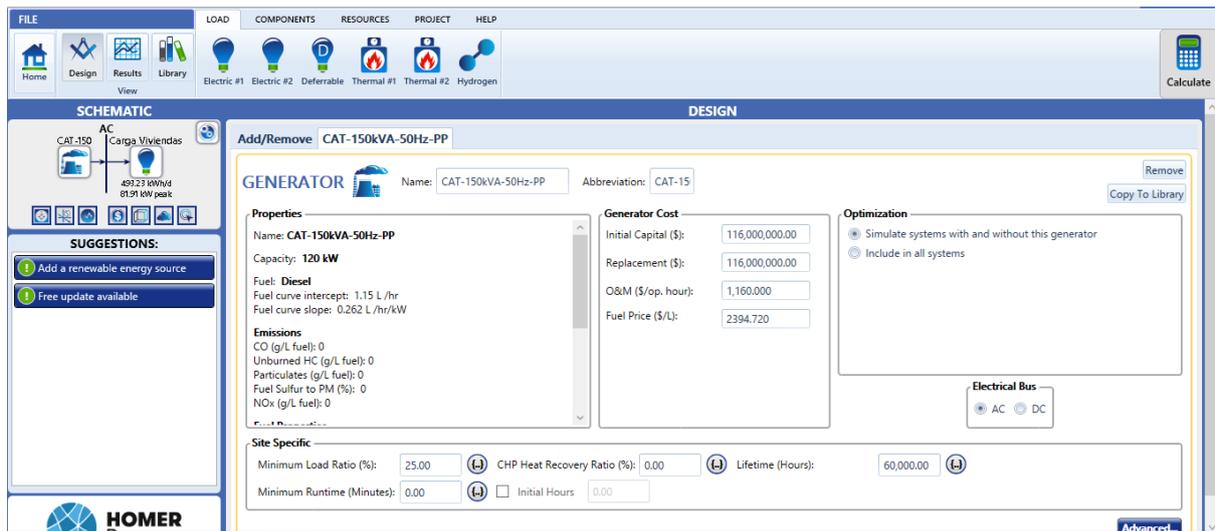
HOMER Pro

Microgrid News
 Learn about new technologies, innovative projects, and market trends.

Anexo J.2. Perfil de carga en simulación para el generador eléctrico en Chacón Playa, correspondiente al consumo conjunto esperado de las 123 viviendas objeto del proyecto.



Anexo J.3. Datos requeridos por el software acerca del generador eléctrico en simulación para Chacón Playa. Los más relevantes son: Costo inicial, costo de reemplazo, costo de operación por hora, precio del litro de combustible.



Anexo J.6. Resultados en simulación para el Grupo electrógeno en Chacón Playa, donde se puede observar la cantidad de emisiones de gases que produce el generador en el transcurso de un año de operación.

Simulation Results

System Architecture:
 CAT-150kVA-50Hz-PP (120 kW)
 HOMER Cycle Charging

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	221,235	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	549	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary CAT-150kVA-50Hz-PP Emissions

Total NPC:	\$1,798,105,000.00
Levelized COE:	\$1,283.51
Operating Cost:	\$216,162,700.00

ANEXOS K

Anexo K.1. Información sobre el perfil de carga 1 usado en simulación en la vereda el Rosario, que corresponde 60 kWh/mes

SCHMATIC

AC Carga 1 Guapi (2.00 kWh/d, 1.01 kW peak) → Converter → DC Panel/PV → Batería

DESIGN

ELECTRIC LOAD Name: Carga 1 Guapi Year to model: 2007

January Profile

Hour	Load (kW)
0	0.000
1	0.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.100
6	0.000
7	0.000
8	0.070
9	0.000
10	0.000
11	0.135
12	0.050
13	0.000

Daily Profile (Bar chart showing load peaks around 21h)

Seasonal Profile (Bar chart showing consistent load across months)

Yearly Profile (Heatmap showing load intensity over 365 days)

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	1.89	2
Average(kW)	.08	.08
Peak (kW)	.96	1.01
Load factor	.08	.08

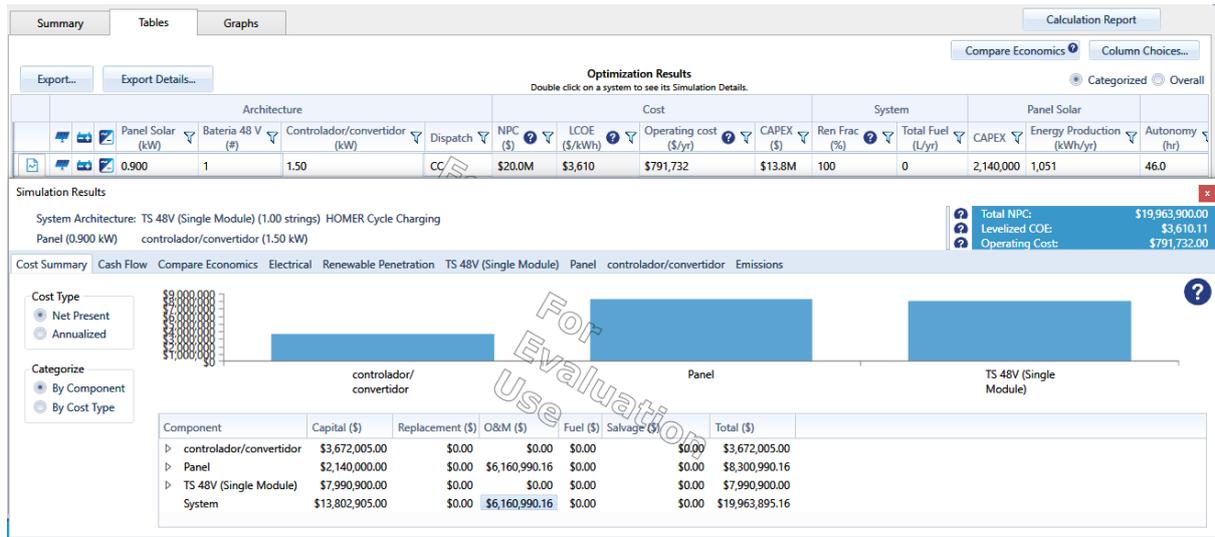
Time Step Size: 60 minutes
 Random Variability Day-to-day (%): 10
 Timestep (%): 20
 Peak Month: None
 Scaled Annual Average (kWh/day): 2.00

Efficiency (Advanced)
 Efficiency multiplier: 1
 Capital cost (\$): 0
 Lifetime (yr): 10

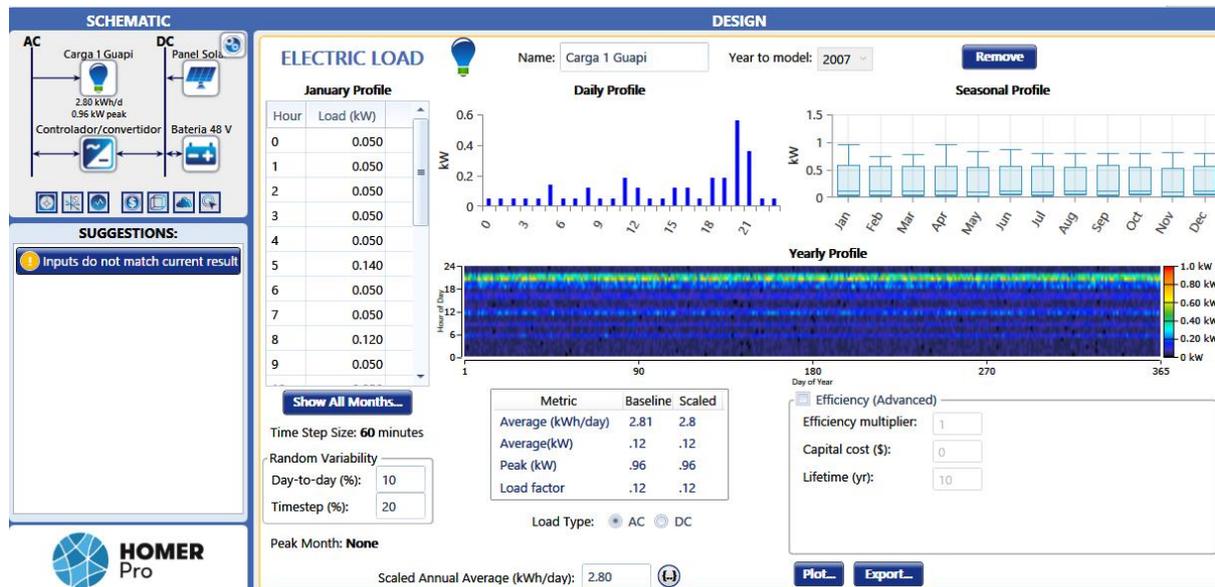
Load Type: AC DC

Buttons: Plot, Export

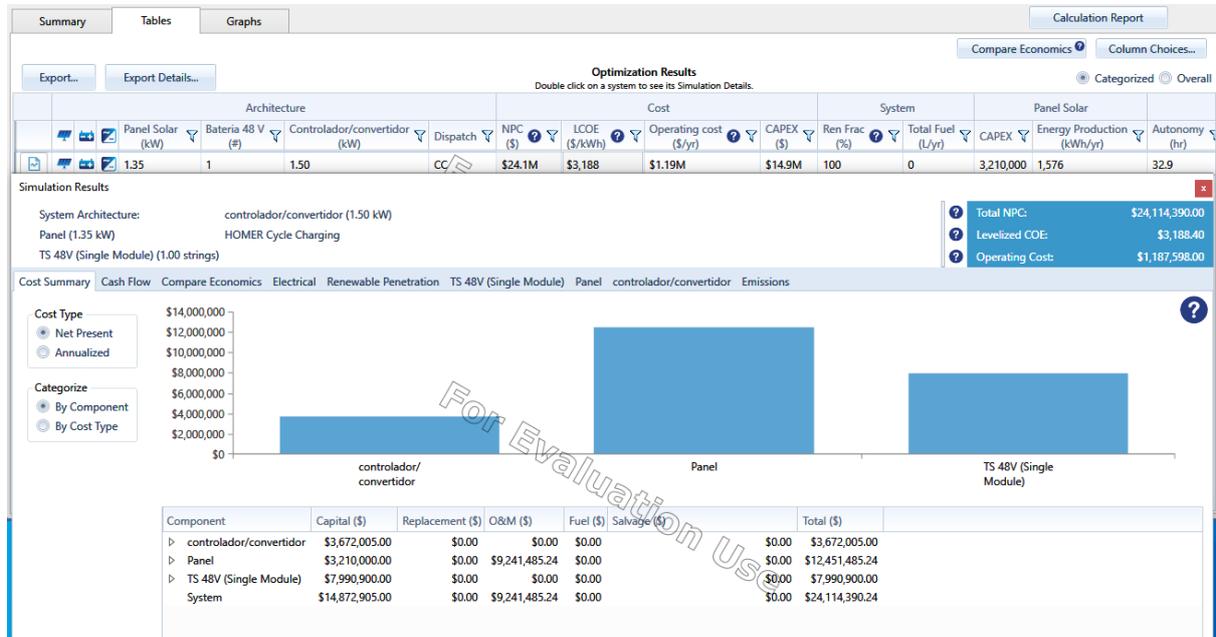
Anexo K.2 Resultados de simulación con la carga 1, donde se evidencian los costos de generación y costos totales, así como una autonomía de aproximadamente 46 horas, casi el doble de lo requerido en Colombia.



Anexo K.3. Perfil de Carga 2 usado en simulación para la vereda el Rosario, Guapi. El cual corresponde a 84 kWh/mes como consumo máximo.

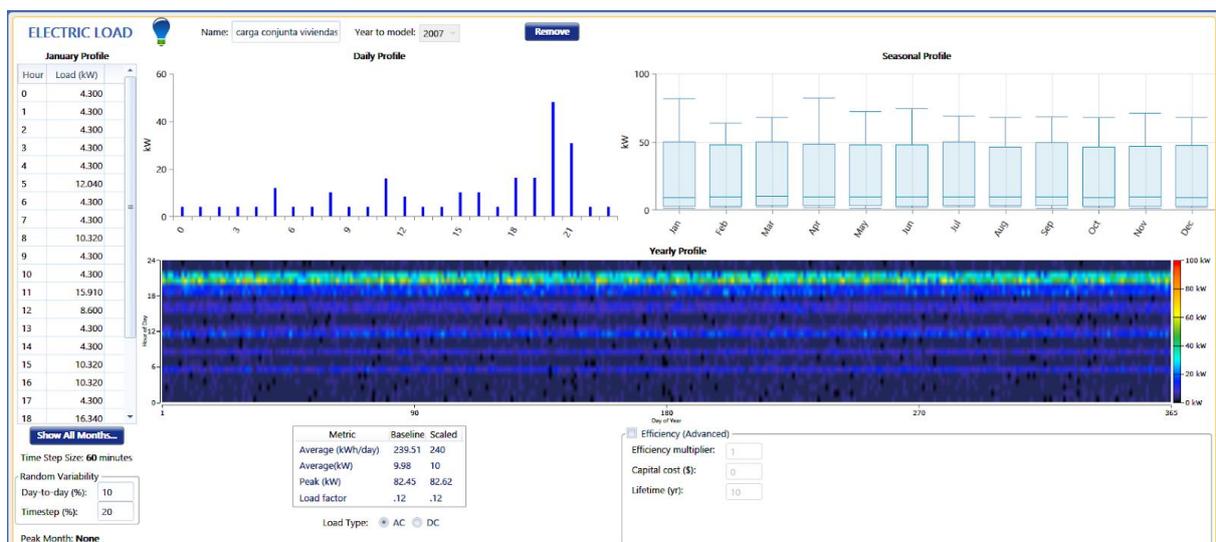


Anexo K.4 Resultados de simulación preliminares vereda el Rosario con el perfil de carga 2. Lo que evidencia que los costos y elementos requeridos que permiten usar una mayor carga, disminuyendo la autonomía hasta las 32 horas, lo que implica que el uso de más energía por parte de los habitantes estará respaldado incluso si este tuviera módicos aumentos.

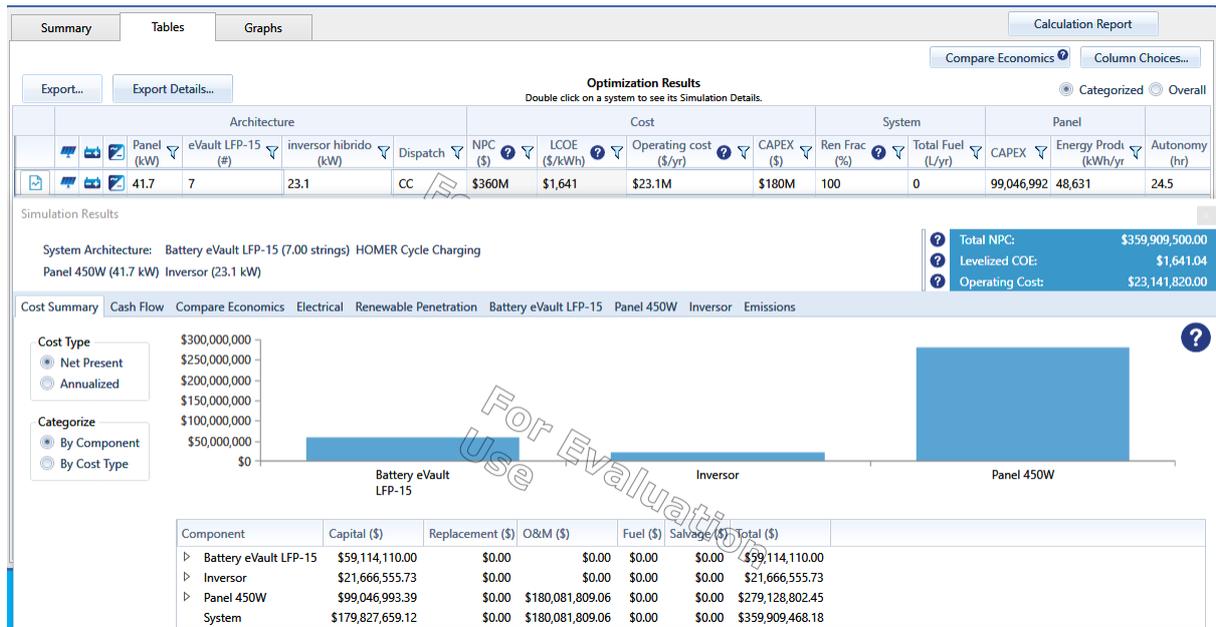


ANEXOS L

Anexos L.1 Perfil de carga conjunto con el que se puede realizar la simulación correspondiente a una microrred. En este perfil de carga, se incluyen los consumos estimados de todos los beneficiarios del proyecto.



Anexos L.2 Resultados de simulación de la Microrred que evidencian los costos iniciales asociados al sistema fotovoltaicos. Donde se incluyen los paneles solares, las baterías y accesorios requeridos. La autonomía calculada es de 24 horas.



Referencias Bibliográficas

- [1] Algarín, C. R., & Álvarez, O. R. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Espacios*, 39(10).
- [2] BNAMERICAS. Aumenta la demanda de energía en Colombia. Bnamericas [página web]. (22, septiembre, 2022). Disponible en Internet: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/aumenta-la-demanda-de-energia-en-Colombia>
- [3] Jiménez, J. B., & Pantoja, A. (2015). Desarrollo y sostenibilidad rural a través del análisis y el aprovechamiento de energías alternativas. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*.
- [4] Corredor, G. (2018). Colombia y la transición energética. *Ciencia política*, 13(25), 107-125.
- [5] Garzón, S. Y. (2015). Metodología para la identificación de soluciones energéticas sostenibles. *Energética*, (45), 67-81.
- [6] Plan de energización rural sostenible. (2019). Sistema de información del PERS. Recuperado 1 de enero de 2023, de <https://sig.upme.gov.co/SIPERS/>
- [7] UPME. "Sistema interconectado nacional STN". IIS7. http://sig.simec.gov.co/GeoPortal/images/pdf/UPME_EN_STN_STR_ACTUAL_2019.pdf (accedido el 24 de abril de 2023).
- [8] Documento de trabajo sobre Sistema Interconectado Nacional. Celsia empresa de energía | Grupo Argos Colombia. <https://www.celsia.com/wp-content/uploads/2021/02/Documento-de-trabajo-sobre-el-Sistema-Interconectado-Nacional.pdf> (accedido el 24 de abril de 2023).
- [9] M. C. Arango. "Panorama energético de Colombia". Bancolombia. <https://www.bancolombia.com/empresas/capital-inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia> (accedido el 24 de abril de 2023).
- [10] D. Morales Soler. "En el país 404.000 familias aún no cuentan con electricidad". Portafolio.co. <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/en-el-pais-404-000-familias-aun-no-cuentan-con-electricidad-569482> (accedido el 24 de abril de 2023).
- [11] Grupo de investigación XUÉ, "Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central", Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2020.
- [12] Constitución política de Colombia, artículo 11, ley 143 de 1994.
- [13] Reflexiones en tiempos de pandemia: un modelo diferencial de atención en salud, Voces Pacífico Cuarta Sesión, octubre de 2020. Accedido el 29 de abril de 2023. [En línea]. Disponible: <https://rap-pacifico.gov.co/wp-content/uploads/2020/09/Voces-Pacifico-4-insumo.pdf>

[14] "Sistema de información del PERS". IIS Windows Server. <https://sig.upme.gov.co/SIPERS/> (accedido el 29 de abril de 2023).

[15] o. l. rey luengas, j. a. Cuenca, a. d. pantoja, d. fajardo, w. achicanoy y g. chavez, "Planes De Energización Rural Sostenible –pers- la Energía: Un Medio Para El Desarrollo Productivo Rural". En: XI Jornada de Distribución de Energía Eléctrica, 2014.

[16] "PERS en Colombia". IIS Windows Server. <https://sig.upme.gov.co/SIPERS/Home/ShowPersMap> (accedido el 8 de mayo de 2023).

[17] J. Barco Jiménez y A. Pantoja, «DESARROLLO Y SOSTENIBILIDAD RURAL A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS», *EIEI ACOFI*, jul. 2015.

[18] https://www.familysearch.org/es/wiki/Cauca,_Colombia_-_Genealogía (accedido el 8 de mayo de 2023).

[19] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *Promoción a los cultivos arroceros de mujeres emprendedoras del Rosario, municipio de Guapi (Cauca)*. Versión Diciembre 2022

[20] Universidad del Cauca, Agencia de renovación del territorio, UPME, IPSE. *Mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes del resguardo López adentro municipio de caloto (Cauca), a partir de soluciones energéticas fotovoltaicas*. Versión Octubre 2022

[21] Universidad del Cauca, Agencia de renovación del territorio, UPME, IPSE. *Implementación de un sistema de riego con energía fotovoltaica que optimice las prácticas agrícolas en la vereda el Tunó, municipio del Patía (Cauca)*. Versión Octubre 2022

[22] OCHA UMAIC, "Colombia – Inundaciones en el municipio de Timbiquí (Cauca)", Flash No. 1 (03/11/2017), marzo de 2017. Accedido el 6 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible:https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/171103_flash_update_inundacion_Timbiqui_de_octubre_rv_lzsesrda.pdf

[23] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *Ampliación de la cobertura de demanda de energía eléctrica de viviendas en zonas no interconectadas de la zona rural del municipio de Timbiquí- Cauca, corregimiento de San Bernardo*. Versión octubre 2022

[24] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *Energía comunitaria para la promoción de la pesca artesanal y cobertura de necesidades básicas en viviendas de la vereda Chacón playa, (Timbiquí, Cauca)*. Versión diciembre 2022

[25] Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. (s.f.). *Sistema Único de Información*. <http://sui.superservicios.gov.co/Que-es-el-SUI>

[26] Cardona Arenas, C. D., Osorio Barreto, D., & Sotelo Zemanate, D. Y. (2020). Desempeño de las subregiones del departamento del Cauca y su contribución al

desarrollo territorial (2015-2017). *Revista Facultad De Ciencias Económicas*, 28(2), 161–179.

[27] IGAC, Instituto geográfico Agustín Codazzi. *Mapa subregional del departamento del Cauca*. (20 de agosto del 2023) <https://sedCauca.gov.co/la-secretaria/dependencias/planeacion-educativa/mapa-del-Cauca/>

[28] Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. *Sistema Único de Información*. herramienta de análisis 03, consumos departamento del Cauca. http://bi.superservicios.gov.co/o3web/browser/showView.jsp?viewDesktop=true&source=SUI_COMERCIAL_ENERGIA/VISTA_FACTURACION_ENERGIA%23_public

[29] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *Promoción a los cultivos arroceros de mujeres emprendedoras del Rosario, municipio de Guapi (Cauca)*. Versión junio 2023

[30] Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. *Sistema Único de Información*. herramienta de análisis 03, promedio de facturación total municipio Guapi. http://bi.superservicios.gov.co/o3web/browser/showView.jsp?viewDesktop=true&source=SUI_COMERCIAL_ENERGIA/VISTA_FACTURACION_ENERGIA%23_public

[31] Universidad del Cauca, Agencia de renovación del territorio, UPME, IPSE. *Mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes del resguardo López adentro municipio de caloto (Cauca), a partir de soluciones energéticas fotovoltaicas*. Versión Mayo 2023

[32] Universidad del Cauca, Agencia de renovación del territorio, UPME, IPSE. *Implementación de un sistema de riego con energía fotovoltaica que optimice las prácticas agrícolas en la vereda el Tuno, municipio del Patía (Cauca)*. Versión Mayo 2023.

[33] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *Ampliación de la cobertura de demanda de energía eléctrica de viviendas en zonas no interconectadas de la zona rural del municipio de Timbiquí- Cauca, corregimiento de San Bernardo*. Versión Abril 2023

[34] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *Energía comunitaria para la promoción de la pesca artesanal y cobertura de necesidades básicas en viviendas de la vereda Chacón playa, (Timbiquí, Cauca)*. Versión Abril 2023

[35] Wright Gilmore, J. (1988). Estimación de los promedios diarios y mensuales de la radiación difusa sobre un plano horizontal en Alajuela, Costa Rica. 39-46

[36] Universidad Carlos III de Madrid. (s.f.). Software Homer Pro. Informática y Comunicaciones. <https://www.uc3m.es/sdic/software/homer-pro#:~:text=El%20software%20de%20microrred%20HOMER,la%20red%20y%20bases%20militares.>

[37] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS: CHACÓN PLAYA*. Versión abril 2023

[38] Mercado libre Colombia. (s.f.). *Panel Solar 450w Monocristalino 9 Busbar Tier1 Znshine*. Recuperado el 26 de mayo de 2023 de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1054874074-panel-solar-450w-455w-monocristalino-9-busbar-tier1-znshine-_JM#backend=item_decorator&backend_type=function&client=history-polycard

[39] Mercado libre Colombia. (s.f.). *Batería Litio 48v, 100ah, Up5000, Pylontech*. Recuperado el 26 de mayo de 2023 de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1635002730-bateria-litio-48v-100ah-up5000-pylontech-_JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=5ce178b7-eb6d-45bd-9c03-71d8d77d24dd

[40] Alibaba. (s.f.). *Batería Solar de 48V, 300Ah, 15 KWH, lifepo4, energía de pared, 15kw*. Recuperado el 12 de agosto de 2023 de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Felicity-Solar-battery-48V-300Ah-15KWH-1600292328589.html>

[41] Autosolar Colombia (s.f.). *Controlador Carga BlueSolar MPPT 150/35 Victron Energy*. Recuperado el 26 de mayo de 2023 de <https://autosolar.co/controladores-de-carga-mppt/controlador-carga-bluesolar-mppt-15035-victron-energy>

[42] Ecogreen solar. (s.f.). *Inversor 1200w Phoenix Victron Energy 48v VE.Direct NEMA 5-15R*. Recuperado el 26 de mayo de 2023 de <https://www.ecogreensolar.co/producto/inversor-1200w-phoenix-victron-energy-48v-ve-direct-nema-5-15r/>

[43] autosolar. (s.f.). *Inversor Cargador Growatt SPF 3000TL 48V LVM-ES*. recuperado el 7 de agosto de 2023 de <https://autosolar.co/inversores-cargadores-48v/inversor-cargador-growatt-spf-3000tl-48v-lvm-es>

[44] Mercado libre Mexico. (s.f.). *Generador Grupo Electrogeno Planta Emergencia Cummins 150 Kw*. Recuperado el 15 de enero de 2024 de https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-2186376282-generador-grupo-electrogeno-planta-emergencia-cummins-150-kw-_JM#position=15&search_layout=grid&type=item&tracking_id=4e68c3f4-4c2a-4118-a75c-d1908687414c

[45] Ineldec Ingeniería Eléctrica. (s.f.). *Planta Eléctrica 150 KVA CUMMINS ENERMAX*. Recuperado el 15 de enero de 2024 de <https://ineldec.com/producto/planta-electrica-150-kva-gdc150ss-ma/>

[46] Compañía Energética de occidente CEO. (Octubre de 2023). *Tarifas (\$/kWh) vigentes para el mercado regulado del departamento del Cauca*. https://www.ceoesp.com.co/tarifas/-/document_library/uvwr/view_file/3640010?_com_liferay_document_library_web_portlet_DLPortlet_INSTANCE_uvwr_redirect=https%3A%2F%2Fwww.ceoesp.com.co%2Ftarifas%2F-%2Fdocument_library%2Fuvwr%2Fview%2F1502350%3F_com_liferay_document_library_web_portlet_DLPortlet_INSTANCE_uvwr_redirect%3Dhttps%253A%252F%252Fwww.ceoesp.com.co%252Ftarifas%253Fp_p_id%253Dcom_liferay_document_li

brary_web_portlet_DLPortlet_INSTANCE_uvwr%2526p_p_lifecycle%253D0%2526p_p_state%253Dnormal%2526p_p_mode%253Dview

[47] Ministerio de Minas y. Energía. (2023). Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica.

[48] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *Modelo de sostenibilidad, Caloto PERS Cauca*. Versión mayo 2023

[49] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *Modelo de sostenibilidad, San Bernardo Timbiquí PERS Cauca*. Versión abril 2023

[50] Universidad del Cauca, UPME, IPSE. *Modelo de sostenibilidad, Chacón Playa Timbiquí PERS Cauca*. Versión abril 2023