

Análisis de los requerimientos energéticos y exploración de posibles soluciones basadas en sistemas de generación de energía renovable para la vereda Chocoa del municipio de Girón.

Dayan Fernando Castiblanco Parra, Karen Julieth Grajales Arévalo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingenieros Electricistas

Director

Gabriel Ordóñez Plata

Doctor en Ingeniería Industrial, área Ingeniería Eléctrica

Codirector

Cesar Antonio Duarte Guadrón

Doctor en Ingeniería eléctrica

Diana María Villalobos Orduz

Ingeniera Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería eléctrica

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mi madre, aunque no se encuentre en este mundo físicamente, su amor y su apoyo incondicional me acompañan siempre. A través de los recuerdos y el poco tiempo que compartimos juntas, ella me brindó la fuerza para levantarme cada día, sin importar cuán difícil fuera la situación. A mi querida abuela Ana María, quien también partió de este mundo, pero cuyo legado de amor y cuidado sigue vivo en mí. Su presencia y sabiduría dejaron una huella imborrable en mi camino. A mi papá, Mauricio, hermanas Alejandra y Johana y mis sobrinos Dominik, Derek, Joseph e Ian, quienes son mi motivación día a día.

Karen Julieth Grajales Arévalo

A Dios por concederme la sabiduría y la disciplina para afrontar los desafíos de mi carrera. A mi familia, por su fe inquebrantable, su apoyo incondicional y su amor que me iluminó en los momentos difíciles. A mi abuelita, desde el cielo, su presencia me acompañó y su recuerdo me dio la fortaleza para perseverar y seguir en este proceso.

Dayan Fernando Castiblanco Parra

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por brindarme la fuerza y sabiduría necesarias para enfrentar y superar los desafíos de esta carrera. También deseo agradecer sinceramente a FLM Ingeniería por su invaluable apoyo, que me permitió continuar trabajando mientras estudiaba. Mi especial agradecimiento va para mi jefe, Fabio Leonardo Martínez, por su paciencia y ayuda durante este tiempo. Además, quiero reconocer al Dr. Gabriel Ordóñez Plata y al Magíster Wilman Morales por su acompañamiento y orientación en todo el proceso. Además, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis tías Stella, Beatriz y Rosa María, les agradezco de corazón por brindarme sus consejos y fortaleza, incluso a pesar de la distancia física; su apoyo fue fundamental en cada momento. Por último a cada uno de mis compañeros de universidad que siempre estuvieron dispuestos a brindarme su ayuda desinteresada, su paciencia y su comprensión. Vuestra disposición para escuchar, orientarme y apoyarme ha sido invaluable durante este tiempo. Juntos hemos formado una red de apoyo que ha hecho posible mi crecimiento y éxito.

Karen Julieth Grajales Arévalo

Le agradezco, a Dios por haberme concedido la salud, la sabiduría para cumplir con éxito este proceso académico. A mis padres Myriam y Alfonso por haberme apoyado en este sueño que desde muy niño tuve presente, por su amor, sus regaños. A mi hermana Catalina por estar siempre presente y brindarme su apoyo. A toda mi familia por ser mi motivación, sus sabios consejos fueron mi guía. A Vanessa Sierra por acompañarme y motivarme en momentos difíciles de frustración que se apoderaron en los momentos más cruciales de la carrera. A mis amigos por comprender y

apoyarme en las situaciones complejas sus consejos y motivación fueron determinantes. A mis compañeros de universidad, por compartir la disciplina y la dedicación que nos llevó a culminar esta etapa. Al Dr. Gabriel Ordoñez por su acompañamiento y guía no solo en este trabajo de grado si no en el transcurso de los semestres cursados. Al Máster Wilmam Morales por su colaboración y guía en la elaboración de este proyecto. Y a todas las personas que intervinieron de una u otra forma en mi formación académica.

Dayan Fernando Castiblanco Parra

Tabla de Contenido

		Pág.
	Introducción	15
1.	Alcance y metas de la investigación	19
1.1	Alcance del proyecto.....	19
1.2	Objetivo General	20
1.3	Objetivos Específicos.....	20
2.	Marco Referencial.....	21
2.1	Necesidades energéticas de una comunidad	21
2.2	Fuentes no convencionales de energía.....	22
2.3	Tendencias de política pública en Colombia concernientes a la provisión de energía eléctrica en Colombia	22
2.4	Experiencia de otros países con energías limpias	24
2.5	Comunidades Energéticas (CE)	26
3.	Caracterización de la Vereda Chocó, Girón - Santander, sector Brujas	28
3.1	Sector social	28
3.2	Sector económico.....	29
3.3	Localización	29
3.4	Uso del suelo.....	30
3.5	Riesgos sísmicos e inundaciones	30
3.6	Identificación de las necesidades energéticas de la Vereda Chocó, sector Brujas..	31

3.6.1.	Gas natural	31
3.6.2.	Energía eléctrica.....	32
4.	Análisis de la viabilidad de los recursos energéticos renovables en la vereda Chocóa	
	34	
4.1	Evaluación de la disponibilidad del recurso solar.....	34
4.2	Evaluación de la disponibilidad hidráulica	35
4.3	Evaluación de la disponibilidad del recurso eólico.....	35
4.4	Evaluación de la disponibilidad del recurso de biomasa	35
4.5	Selección de la mejor alternativa energética.....	36
4.6	Análisis de alternativas para el suministro de energía eléctrica	37
4.6.1.	Alternativa No.1	37
4.6.2.	Alternativa No.2.....	38
4.7	Criterios para el análisis de alternativas.....	38
4.7.1.	Estudio técnico.....	38
4.7.2.	Espacio	39
4.7.3.	Mantenimiento	39
4.7.4.	Escalabilidad	39
4.7.5.	Costo de inversión.....	40
4.7.6.	Costo de operación.....	40
4.8	Selección del sistema más favorable para el suministro de energía eléctrica en	
	Vereda Chocóa, sector Brujas.....	40
5.	Análisis de conexión de las fronteras comerciales eléctricas existentes, consumo	
	(demanda), costos y tarifas de energía actuales para la comunidad energética	42

5.1	Fronteras comerciales eléctricas existentes.	42
5.2	Perfiles de la demanda de energía.....	42
5.3	Agregación de la demanda de los participantes de la comunidad energética	45
5.4	Costos y tarifas de energía actuales	46
6.	Dimensionamiento inicial de la planta.....	46
6.1	Demanda	46
6.2	Espacio disponible y disposición física de los paneles fotovoltaicos	47
6.3	Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico	47
6.4	Diagrama unifilar	48
6.5	Estructura	49
6.6	Estudio de sombras	49
6.7	Estimación de la producción de energía	50
7.	Análisis de la prefactibilidad del sistema de Autogeneración Colectiva (AGRC). ..	53
7.1	Simulación del sistema solar fotovoltaico propuesto.....	53
7.2	Estimación de gastos de la implementación del sistema	56
7.2.1	Estimación del CAPEX.....	56
7.2.2	Estimación del OPEX	57
7.2.3	Costos estimados de producción – LCOE	57
8.	Características del sistema fotovoltaico propuesto	59
9.	Conclusiones	61
10.	Recomendaciones	63
	Referencias Bibliográficas	65
	Apéndices	68

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Pérdidas relacionadas a los paneles fotovoltaicos</i>	50
Tabla 2 <i>Producción real de la planta mensualmente</i>	51
Tabla 3 <i>Costos nivelados de la energía generada con el sistema fotovoltaico considerando los impuestos</i>	58
Tabla 4 <i>Comparación de precios de energía</i>	60

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Comparación de Duración de Interrupciones entre una zona rural y zona urbana.....</i>	32
Figura 2 <i>Comparación de frecuencia de interrupciones entre una zona rural y zona urbana ...</i>	33
Figura 3. <i>Consumo horario usuarios estrato 2 y curva de demanda máxima.....</i>	44
Figura 4. <i>Consumo horario usuarios comerciales y curva de demanda máxima.....</i>	44
Figura 5 <i>Curva demanda máxima diaria total.....</i>	45
Figura 6 <i>Disposición física de paneles Fotovoltaicos correspondientes al proyecto.....</i>	47
Figura 7 <i>Curvas horarias superpuestas de la demanda diaria de la carga y la potencia inyectada por el sistema FV</i>	54
Figura 8 <i>Intercambio de energía.....</i>	55

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Girón Santander	68
Apéndice B. Perfiles Topográficos Vereda Chocó	68
Apéndice C. Riesgos Sísmicos y de Inundaciones	68
Apéndice D. Fotografías de la Vereda	68
Apéndice E. Estudio Radiación Solar	68
Apéndice F. Estudio de Disponibilidad Eólica	68
Apéndice G. Frontera Comercial	68
Apéndice H. Disposición Física de los Paneles	68
Apéndice I. Diagrama Unifilar	68
Apéndice J. Simulación del Sistema de Autogeneración Colectiva	68
Apéndice K. Presupuesto Estimado	68
Apéndice L. Informe de Prefactibilidad	68
Apéndice M. Análisis de alternativas para el suministro de energía eléctrica	68

Glosario

Transición energética: Proceso hacia un sistema energético más sostenible y menos dependiente de combustibles fósiles, optando por fuentes de energía renovable y limpia.

Acuerdo de París (COP21): tratado internacional sobre cambio climático adoptado en París en 2015, cuyo objetivo principal es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el aumento de la temperatura global.

Energías limpias: Fuentes de energía que generan un impacto ambiental mínimo y reducen las emisiones de GEI, como las energías renovables.

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI): liberación de gases como el CO₂, metano, óxido nitroso, entre otros, que contribuyen al calentamiento global al limitar el calor en la atmósfera terrestre.

Energías renovables: Recursos energéticos naturales e inagotables, como la solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa, utilizadas para generar electricidad.

Combustibles fósiles: recursos energéticos formados a partir de restos orgánicos como petróleo, gas natural y carbón, utilizados para la generación de energía.

Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE): Recursos energéticos alternativos y sostenibles que no forman parte de los combustibles fósiles tradicionales.

Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER): Variantes de FNCE provenientes de fuentes naturales y sostenibles, como la solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa, que pueden ser utilizadas para generar energía.

Comunidades energéticas: Los usuarios o potenciales usuarios de servicios energéticos podrán constituir Comunidades Energéticas para generar, comercializar o usar eficientemente la energía a través del uso de fuentes no convencionales de energía renovables -(FNCER)-, combustibles renovables y recursos energéticos distribuidos.

Resumen

Título: Análisis de los requerimientos energéticos y exploración de posibles soluciones basadas en sistemas de generación de energía renovable para la vereda Chocoa del municipio de girón.**

Autor: Dayan Fernando Castiblanco Parra, Karen Julieth Grajales Arévalo††

Palabras Claves: Caracterizar, auto-sostenible, desarrollo, variables.

Descripción:

Los requerimientos energéticos en la Vereda Choca, sector Brujas, en Girón Santander, se refieren a la necesidad de energía eléctrica y gas para las actividades diarias de sus habitantes, buscando una calidad de vida óptima. La ley 142 de 1994 establece que los municipios deben garantizar los servicios públicos domiciliarios como electricidad y gas, enfatizando la importancia de la confiabilidad y calidad de estos servicios. Este trabajo de grado tiene como fin caracterizar las necesidades energéticas con información primaria y secundaria, para entender mejor la situación y desarrollar dos propuestas autosostenibles para la demanda eléctrica y ofrecer sugerencias para la demanda de gas. Se reconoce que la información sobre cocinas autosostenibles es insuficiente para soluciones definitivas en la cocción de alimentos. Por lo tanto, se considerarán variables, criterios y restricciones para elegir la solución más viable al problema energético.

** Trabajo de Grado

†† Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Gabriel Ordóñez Plata. Codirectores: Cesar Antonio Duarte Guadrón, Diana María Villalobos Orduz

Abstract

Title: Analysis of the energy requirements and exploration of possible solutions based on renewable energy generation systems for the Vereda Chocóa in the Municipality of Girón.^{‡‡}

Author(s): Dayan Fernando Castiblanco Parra, Karen Julieth Grajales Arévalo^{§§}

Key Words: Characterize, Self-sustainable, Development, Variables.

Description:

The energy requirements in Vereda Chocóa, Brujas sector, in Girón Santander, refer to the need for electricity and gas for the daily activities of its inhabitants, seeking an optimal quality of life. Law 142 of 1994 establishes that municipalities must guarantee home public services such as electricity and gas, emphasizing the importance of the reliability and quality of these services. The purpose of this degree work is to characterize energy needs with primary and secondary information, to better understand the situation and develop two self-sustainable proposals for electricity demand and offer suggestions for gas demand. It is recognized that information on self-sustainable kitchens is insufficient for definitive solutions in food cooking. Therefore, variables, criteria and restrictions are considered to choose the most viable solution to the energy problem.

^{‡‡} degree work

^{§§} Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Engineering Engineering Telecommunications. Director: Gabriel Ordóñez Plata. Codirectores: Cesar Antonio Duarte Guadrón, Diana María Villalobos Orduz.

Introducción

La electrificación rural cumple un papel fundamental en el avance del desarrollo sostenible, lo que se traduce en mejoras significativas en la calidad de vida de las comunidades locales. Para lograrlo, es imperativo tomar en consideración los requisitos energéticos, que abarcan la descentralización, la fiabilidad del suministro, la demanda, la educación y la concienciación. Estos factores forman la base para plantear alternativas de solución sostenibles que aseguren la materialización de los principios mencionados de forma eficiente.

En un contexto global cada vez más enfocado en la sostenibilidad y la disminución de la dependencia de fuentes de energía convencionales, la transición energética ha surgido como un enfoque esencial para transformar el sector energético. Este proceso, conformado por individuos, empresas y comunidades locales, representa una respuesta innovadora y promisoría a los desafíos energéticos contemporáneos, permitiéndoles desempeñar un papel activo en la generación, administración y distribución de energía a nivel local. Esto impulsa la autonomía energética y facilita la adopción de fuentes de energía más limpias y sostenibles.

La transición energética desempeña un papel crucial en el proceso de cambio hacia un futuro energético que se caracteriza por ser sostenible, descentralizado y participativo. Más allá de su contribución en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, esta iniciativa otorga poder a las comunidades locales al involucrarlas activamente en la toma de decisiones y en la gestión de su propio suministro energético. A medida que la tecnología avanza y la conciencia ambiental sigue creciendo, se prevé que el papel de la transición energética continúe expandiéndose en el panorama energético global.

En una sociedad en constante cambio, la demanda de energía sigue aumentando. Las zonas rurales, como la vereda Chocóa en el municipio de Girón, no son una excepción. En estas zonas, donde la población depende en gran medida de la energía para su bienestar y desarrollo económico, el acceso a una fuente de energía segura y sostenible es un desafío urgente. Además, la dependencia de fuentes de energía no renovable contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero en la región, con un impacto directo en el medio ambiente local.

Por otra parte, Colombia se comprometió ante la comunidad internacional (en la Conferencia de las Partes (COP) de 2015, realizado en París) a implementar un conjunto de medidas concretas destinadas a fortalecer su capacidad de adaptación frente a los desafíos del cambio climático. Colombia acordó reducir sus emisiones de gases efecto invernadero en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030. El PEN (Plan energético Nacional) 2020-2050, es un documento en el cual se expone a largo plazo la transición energética para habilitar el desarrollo sostenible en el país, descentralizando y descarbonizando el sector energético, teniendo en cuenta tres objetivos: el crecimiento económico, la protección al medio ambiente y todos los aspectos sociables de cada uno de los proyectos.

A partir de estas consideraciones, este trabajo de grado se propone explorar y presentar alternativas que puedan generar un impacto positivo en el entorno medioambiental. Esto se logrará a través de la consideración y posible implementación de un sistema energético autónomo. Es fundamental destacar que la elección de fuentes de energía renovable ya sea mediante la generación solar, eólica o biomasa, será el pilar central para la satisfacción de las necesidades energéticas de la comunidad.

El trabajo de grado se focaliza en el análisis de los requerimientos energéticos y explorar las alternativas de solución centradas en energías renovables para la vereda Chocóa de Girón

Santander. De acuerdo con esto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo abordar de manera eficiente los requerimientos de energía en la Vereda Chocoa del Municipio de Girón a través de la implementación de sistemas de generación de energía renovable, teniendo en cuenta las particularidades de la comunidad y las restricciones energéticas locales?

La realización de este trabajo de grado implica la obtención y análisis de datos, lo que proporcionará la base para la toma de decisiones informadas. Asimismo, estos datos facilitarán la implementación del proyecto por parte de las autoridades locales, regionales y nacionales encargadas de esta materia.

El estudio de la vereda Chocoa ofrece una solución viable que sirve como ejemplo para los desafíos que enfrentan otras comunidades rurales en su búsqueda de un futuro más sostenible.

La contextualización del problema energético en áreas rurales, junto con la revisión de teorías e investigaciones pertinentes en el campo de generación de energía renovable y la electrificación rural, constituyen elementos esenciales para el marco teórico de este estudio. Además, se lleva a cabo la recopilación de datos a partir de fuentes tanto secundarias como primarias. Entre los datos recolectados se incluyen los requerimientos energéticos, demandas específicas de la vereda y la evaluación de la infraestructura energética preexistente, con un enfoque en identificar sus limitaciones.

El análisis de los recursos ambientales disponibles para la producción de energía desempeña un papel fundamental en la exploración de soluciones basadas en la generación de energía renovable. Esto incluye la evaluación de la viabilidad técnica y económica de implementar sistemas de generación sostenible en la vereda Chocoa.

En última instancia, los resultados de un estudio de prefactibilidad se presentan en detalle, lo que brinda una base para la posterior discusión y las conclusiones de este trabajo de grado.

1. Alcance y metas de la investigación

A continuación, se define el alcance y se establecen los objetivos del trabajo de grado, definiendo así sus límites y áreas de enfoque.

1.1 Alcance del proyecto

El alcance del trabajo de grado se enfoca en dos aspectos principales: identificar las necesidades energéticas de la Vereda Chocóa y proponer soluciones basadas en energías renovables. Entendiendo que la energía puede provenir de diversas fuentes, como la electricidad para iluminación, refrigeración, climatización, actividades diarias en el hogar, actividades agrícolas e industriales, así como el gas por el tema de la cocción de alimentos y el petróleo para el sector transporte.

El objetivo principal del trabajo de grado es abordar la solución para la generación de energía eléctrica en la Vereda Chocóa. Esto se logrará a través de cuatro etapas fundamentales: 1) interacción con la comunidad, entendiendo su problemática desde una perspectiva social obteniendo información primaria, 2) Caracterización de la demanda eléctrica de la vereda Chocóa, sector Brujas, 3) Análisis de energéticos disponibles en el lugar y 4) Propuesta de prefactibilidad de la alternativa de solución seleccionada.

Se ofrecerán sugerencias para trabajos futuros relacionadas con la utilización del gas como energético para cocción de alimentos y finalmente el sector transporte quedará excluido de este trabajo, al ser este un campo de investigación amplio y global, el cual, ya está siendo abordado en investigaciones a nivel mundial para contrarrestar su impacto por la emisión de los gases de efecto invernadero.

1.2 Objetivo General

Analizar las necesidades energéticas de la Vereda Chocóa en el Municipio de Girón, Santander, para realizar una propuesta de prefactibilidad para la instalación de un sistema de generación con fuentes no convencionales de energía para cubrir la demanda de energía actual.

1.3 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de requerimientos energéticos actuales de la Vereda Chocóa en el Municipio de Girón, Santander, incluyendo la evaluación de los patrones de consumo y demanda de energía, basados en información primaria.
- Analizar la demanda energética y los diferentes tipos de usuarios presentes en la comunidad, para establecer las posibles alternativas de un sistema de suministro de energía eléctrica para la vereda Chocóa, considerando los recursos energéticos disponibles en la región.
- Diseñar la prefactibilidad del sistema de suministro de energía con fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) para la Vereda Chocóa para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad y analizar la viabilidad de la solución.

2. Marco Referencial

En este capítulo se exponen conceptos clave, investigaciones previas relevantes y otros trabajos que proporcionen el contexto necesario para comprender y abordar la problemática planteada en este trabajo de grado.

2.1 Necesidades energéticas de una comunidad

En un contexto social, las necesidades energéticas se refieren a la dificultad que enfrenta una comunidad para acceder a servicios básicos como electricidad, calefacción, refrigeración y cocina, lo que afecta su calidad de vida aceptable. Este concepto también está ligado al tema de pobreza energética que se refiere a la incapacidad de un hogar para satisfacer sus necesidades básicas de energía de manera adecuada, segura y asequible. Westreicher, G. (2022, enero 8). *Pobreza energética*. Economipedia.

Recientemente, Promigas, una empresa dedicada al transporte y distribución de gas natural, llevó a cabo un trabajo sobre la pobreza energética en el país a través del Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE). Según su estudio de 2022, en Colombia existe un 18,5% de pobreza energética, y dentro de ese total, el 10,2% corresponde al departamento de Santander. Promigas (2022).

Según la investigación llevada a cabo por Olarte y Cruz (2023), se desarrolló una metodología específica para la caracterización de la pobreza energética. Dentro de esta metodología, se identificó que aproximadamente el 31% de las viviendas en Santander están afectadas por la pobreza energética, particularmente en lo que respecta a los servicios públicos, con especial énfasis en el suministro de gas natural. Este hallazgo subraya la relevancia de abordar de manera integral los desafíos relacionados con el acceso y la asequibilidad de los servicios energéticos en la región.

2.2 Fuentes no convencionales de energía

Las fuentes no convencionales de energía se refieren a métodos de generación energética que son menos comunes en su aplicación en comparación con las fuentes tradicionales como el petróleo, el gas natural y el carbón. Ofrecen ventajas significativas en términos de sostenibilidad y democratización de energía.

Entre ellas se encuentra: 1) Energía solar, esta puede ser fotovoltaica que convierte la luz solar directamente en electricidad mediante paneles solares y solar térmica que utiliza el calor del sol para generar electricidad o para calentar agua o aire para uso residencial o industrial, 2) Energía eólica, se obtiene mediante el aprovechamiento del viento a través de aerogeneradores, los cuales giran con el viento y accionan un generador para producir electricidad, 3) Energía geotérmica, aprovecha el calor natural del interior de la Tierra para generar electricidad o proporcionar calefacción, utilizando el vapor de depósitos subterráneos de agua caliente para mover las turbinas que generan la electricidad, 4) Energía mareomotriz, utiliza las corrientes de agua que causan la marea para el movimiento de turbinas que generan electricidad y 5) La biomasa, energía que se obtiene a través de la materia orgánica, por medio de procesos como la combustión, la gasificación, la fermentación o la pirólisis, se puede convertir en electricidad, calor, biocombustibles y fertilizantes. (Ministerio de Minas y Energía, 2023)

2.3 Tendencias de política pública en Colombia concernientes a la provisión de energía eléctrica en Colombia

A continuación, se describen algunas de las leyes colombianas relacionadas con la provisión de energía eléctrica para todos los colombianos:

Ley 142 de 1994: Esta ley establece los parámetros mínimos necesarios para la implementación del régimen de servicios públicos. Algunos de ellos son de particular interés para el tema abordado en el trabajo de grado: 1) Artículo 4º, menciona que todos los servicios públicos que trata la ley se consideran esenciales y 2) Artículo 15.2, menciona todas las personas naturales o jurídicas pueden producir electricidad para consumo propio.

Ley 143 de 1994: Esta ley establece los parámetros relacionados con la interconexión, generación, transmisión, distribución y comercialización de servicios públicos, mencionando algunos de particular interés para el tema abordado en el trabajo de grado: 1) Artículo 6º, el cual menciona que las actividades asociadas con el servicio de energía eléctrica deben tener en cuenta factores tales como: calidad, continuidad, eficiencia, adaptabilidad, equidad y solidaridad, 2) Artículo 29, el cual menciona las pautas de conexión al STR o SDL, 3) Artículo 50, menciona las obligaciones ambientales de las actividades mencionadas en la ley y 4) Artículo 66, menciona la gestión y uso eficiente de la energía como aspecto fundamental para el desarrollo de las actividades del sector eléctrico.

Constitución política de Colombia, Artículo 365: Este artículo establece que la prestación de servicios públicos puede ser realizada por particulares o comunidades organizadas, pero siempre bajo la regulación del Estado.

Ley 2294 de 2023– Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026 Colombia Potencia Mundial de la Vida: Esta ley menciona lo relacionado a las comunidades energéticas, en cuanto a definición, disposiciones generales como lo son: 1) Tipo de entidad legal, el cual sigue las leyes y regulaciones del país, 2) También se encuentra descrito el objetivo claro de una comunidad energética, 3) Lineamientos de la operación, la cual puede ser como AC (Autogeneración colectiva) o GDC (Generación distribuida colectiva), 4) Condiciones de conexión y entrega de

excedentes a la red, 5) Compra y remuneración de excedentes de energía y 6) Beneficiarios de los recursos financieros destinados para el desarrollo del proyecto (en la presente fecha aún es objeto de estudio ya que aún no se ha definido la regulación pertinente sobre este aspecto. Esta regulación es responsabilidad del Ministerio de Minas y Energía y las entidades asociadas).

Ley 1715 de 2014: Esta se enfoca en la integración de energías no convencionales, principalmente renovables, con el objetivo de diversificar la matriz energética de Colombia. Esta ley aborda aspectos como el establecimiento de metas de participación, la promoción y financiamiento de energías renovables, la facilitación del acceso a la red eléctrica (STN, STR o SDL), los incentivos tributarios y el fomento de la investigación para la producción y uso de energías renovables como fuente de generación en el país.

2.4 Experiencia de otros países con energías limpias

La falta de confiabilidad y los altos costos del servicio de energía eléctrica han llevado a muchos países a implementar fuentes de generación con recursos renovables. Esto no solo ayuda a abordar los problemas locales, sino que también contribuye al panorama global de transición hacia fuentes de energía limpias y sostenibles. Esta transición energética está en línea con el acuerdo de París, adoptado en la COP21, que busca limitar el aumento de la temperatura global y promover la acción climática a nivel mundial. (COP21 2015).

Es por ello por lo que varios países se han sumado a la iniciativa con políticas energéticas. Por ejemplo, España cuenta con el "Plan de Acción Nacional de las Energías Renovables, PANER", y el "Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, PNIEC", que promueven el uso de energías renovables. Estas fuentes de energía representan más del 50% de la producción energética en España, lideradas por la energía eólica con un 22,1% y la solar fotovoltaica con un

10,1%, según un informe de “Red Eléctrica, el operador del sistema eléctrico en España”, para el año 2021. (PANER 2011-2020) (PNIEC 2021-2030)

Por otro lado, se encuentra el “plan + seguridad energética, +SE”, que tiene como objetivo proteger al consumidor vulnerable mediante medidas de ahorro energético y la sustitución de fuentes convencionales de energía por fuentes autosostenibles. Esto se hace para hacer frente a los altos precios de la energía en los hogares.

Se encuentra el “Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, IDEA”, el cual tiene como misión contribuir a mantener los objetivos de gestión de la energía en España, mejorando la eficiencia energética, promoviendo las energías renovables y otras tecnologías de bajas emisiones de carbono. A través de sus programas de difusión, asesoramiento técnico y financiación de proyectos, el IDAE busca fomentar el ahorro energético. En su página web, se puede encontrar información sobre recomendaciones para el ahorro energético en hogares, con el objetivo de reducir los altos consumos de energía eléctrica.

Brasil se ha destacado como una potencia en la producción de biogás, desde el año 2007, como la de Geo Biogas & Tech. Estas iniciativas buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al utilizar el biogás para producir energía eléctrica, biofertilizantes y biometano. Este último es importante, ya que puede sustituir al gas licuado de petróleo (GLP), que es utilizado por muchas familias para la cocción de alimentos. (Geo Biogas & Tech 2022).

Bolivia, Perú, India, China y varios países africanos, están adoptando las cocinas solares. Según la organización "Solar Cookers International", SCI, hay más de cuatro millones de estos sistemas en uso en todo el mundo, con una respuesta positiva. Uno de los proyectos más destacados es el diseño de la empresa "Gadhia Solar Energy Systems" para el templo Shirdi Saibaba en Shirdi, Maharashtra (India), que utiliza cocinas solares para alimentar alrededor de 50.000 personas al día.

Es importante destacar que estos sistemas no están limitados a familias con escasez de energía. Por ejemplo, una panadería en Remhala, Líbano, ha instalado concentradores parabólicos en su terraza para aumentar la eficiencia energética. Esto se debe a que el precio de su producción ha aumentado debido a los altos costos de energía. Estos concentradores calientan un fluido a temperaturas de hasta 400°C, que luego se conduce a través de tuberías para calentar un horno industrial, es así como esta panadería aporta a reducir la huella de carbono y al mismo tiempo reduce costos de producción.

2.5 Comunidades Energéticas (CE)

Mediante el Decreto 2236 del 22 de diciembre de 2023, el Ministerio de Minas y Energía definió las comunidades energéticas como los “grupos organizados de usuarios naturales o jurídicos que pueden asociarse para generar, comercializar y/o usar eficientemente la energía a través del uso de fuentes no convencionales de energía renovable, combustibles renovables y recursos distribuidos” (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

El Decreto 2236, además, trae una serie de definiciones y requisitos que deben cumplir las CE para su constitución y operación:

Autogeneración colectiva (AGRC): Actividad realizada por la comunidad energética que produce energía, principalmente, para atender su propia demanda de energía. En el evento en que se generen excedentes de energía a partir de tal actividad, estos podrán entregarse a la red, en los términos que establezca la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para tal fin (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

Autogenerador colectivo (AC): Usuarios o potenciales usuarios de servicios energéticos que constituyen una comunidad energética para desarrollar la actividad de autogeneración colectiva (Ministerio de Minas y Energía, 2023). De acuerdo con lo anterior la actividad de

producir energía a cargo de una comunidad energética para atender la demanda de su propia comunidad se conoce como “Autogeneración colectiva”; por otro lado, la agrupación de los habitantes de una comunidad energética para desarrollar la actividad de autogeneración colectiva, se le llama “Autogenerador colectivo”.

Generación Distribuida Colectiva (GDC): Es la producción de energía eléctrica realizada por la comunidad energética, cerca de los centros de consumo, conectada a un sistema de distribución local (SDL) o a una micro-red eléctrica. La entrega de la energía al Sistema de Distribución Local (SDL) se rige bajo la regulación que establezca la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para tal fin, dentro del plazo de tres (3) meses siguientes a la expedición del decreto (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

3. Caracterización de la Vereda Chocóa, Girón - Santander, sector Brujas

Describir y analizar los rasgos distintivos de una comunidad, población o lugar, implica la descripción de su situación social, geográfica, demográfica, económica y energética, que ayuda a comprender mejor sus necesidades. Para ello, es necesario establecer un diálogo cercano con la comunidad o sus representantes. Este acercamiento no solo permite identificar las necesidades específicas de la población, sino que también contribuye a construir una relación de confianza obteniendo una visión completa de cada aspecto que detalla una comunidad.

3.1 Sector social

En el sector de Brujas de la Vereda Chocóa, se encuentran un total de 45 viviendas que albergan aproximadamente a 180 personas. La comunidad cuenta con un acueducto que funciona de manera eficiente, suministrando agua potable. Además, tienen infraestructura eléctrica proporcionada por el operador de red territorial, ESSA, aunque el servicio tiene una baja confiabilidad y su costo es alto para la comunidad de la vereda. Como desafío social cabe resaltar que no cuentan con servicio de gas natural, lo que lleva a la utilización de cilindros de gas, aproximadamente uno por familia cada mes, o en su defecto, la cocción en leña.

No se cuenta con un centro de educación o escuela dentro del centro poblado, pues este se encuentra en un sector aledaño, a una distancia de 1 kilómetro. Asimismo, en cuanto a seguridad, no existe presencia cercana de personal policial ni instalaciones asociadas, hallándose el CAI más próximo en el municipio de Nuevo Girón, ubicado aproximadamente a 15 kilómetros de distancia.

En cuanto a salud, no se cuenta con un centro de atención primaria. En su lugar, se lleva a cabo una brigada de salud mensual en el centro poblado. En caso de emergencia, los habitantes deben dirigirse al municipio de Girón.

La vereda se encuentra constituida como persona jurídica por medio de una Junta de Acción Comunal, la cual, actualmente está debidamente conformada.

3.2 Sector económico

En la vereda Chocóa sector Brujas, se han implementado prácticas agrícolas sostenibles con el fin de preservar la calidad del suelo y contribuir a la conservación de la biodiversidad local. La producción de cítricos (limón Tahití, la piña oro miel, y el mango), la cual se convierte en su principal actividad económica.

Además de la agricultura, los habitantes de la vereda Chocóa generan ingresos a través de diversos negocios locales, como tiendas, panaderías. Estos establecimientos conforman su infraestructura economía local, al proporcionar bienes esenciales y servicios a la comunidad.

Se proyecta una oportunidad de desarrollo económico, ya que cuenta con un gran espacio para recibir la llegada o descanso de muchos de los ciclistas que transitan a diario por la carretera vía Zapatoca. También posibilidad de implementación de fuentes de energía sostenibles como opción de ahorro energético.

3.3 Localización

Girón, es un municipio situado en el departamento de Santander, alberga a una población de 174 465 habitantes. Bajo su jurisdicción, Girón cuenta con diversas veredas aledañas, entre ellas se encuentra La Vereda Chocóa, específicamente en el sector Brujas, a una distancia aproximada de 20 Kilómetros, en las coordenadas Latitud: 6.952222 y Longitud: 73.156944, a una altitud de 856 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Cuenta con tres vías de acceso desde la carretera principal que comunica a Girón con Zapatoca. La carretera que conecta Girón con la vereda Chocóa sector de Brujas tiene la mitad de su extensión pavimentada, mientras que la otra mitad es una carretera destapada. Esta vía de acceso

está habilitada para todo tipo de vehículos, incluyendo carros, motocicletas, buses y camiones, los detalles de ruta de llegada y delimitación del sector de estudio se presentan en el **Apéndice L**.

3.4 Uso del suelo

De acuerdo con el POT (Plan de Ordenamiento Territorial), que tiene como objetivo orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y el uso de suelo, la vereda Chocóa, sector de Brujas se considera como “Suelo de producción sin restricciones” según el POT decretado por la alcaldía municipal en el año 2009. Lo que implica que es apto para cualquier uso, sin limitaciones significativas impuestas por normativas o restricciones legales o ambientales. En el **Apéndice A** se encuentra el POT.

Desde una perspectiva urbana, el núcleo poblacional exhibe una disposición heterogénea en su zona urbana. En este entorno conviven tanto viviendas unifamiliares como plurifamiliares, reflejando una estructura residencial diversa. Además de las residencias, se aprecia una variedad de establecimientos comerciales que abarcan desde panaderías hasta tiendas minoristas.

El perfil topográfico, el cual se encuentra detallado en el **Apéndice B**, indica que es relativamente plano, con una pendiente general suave y sin evidencia de superficies irregulares o elevaciones pronunciadas. La variación altitudinal en la zona es de apenas 4 metros, esto le confiere un carácter predominante de llanura a la superficie de la vereda.

3.5 Riesgos sísmicos e inundaciones

Utilizando el mapa de intensidad sísmica esperada, del Servicio Geológico Colombiano, el municipio de Girón registra un nivel de aceleración pico del terreno (PGA) entre 34% y 65% de la aceleración de la gravedad. Esta representa la aceleración máxima que experimenta el suelo durante un sismo y es asociada con un potencial de daño moderado. Esta información se encuentra detallada en el **Apéndice C**.

Por otro lado, la consulta del mapa de Intensidad Sísmica Observada para eventos previos muestra que en el municipio de Girón los movimientos telúricos han provocado un grado de daño calificado como moderado y fuerte sobre las estructuras existentes. Esto indica que Girón enfrenta niveles relevantes de amenaza sísmica, catalogada en la escala moderada, tanto por las aceleraciones máximas de suelo modeladas como por los antecedentes de destrucción provocada por temblores.

En cuanto al riesgo de inundaciones, la evaluación realizada indica que la vereda Chocóa presenta una condición de amenaza baja en este aspecto, pues no se identifican cauces de ríos, quebradas o arroyos cercanos que puedan producir inundación en el terreno.

3.6 Identificación de las necesidades energéticas de la Vereda Chocóa, sector Brujas

Una vez realizado el proceso de caracterización integral de la comunidad objeto de estudio, se logra obtener un diagnóstico de las necesidades energéticas que enfrenta actualmente la población residente en este territorio.

3.6.1. Gas natural

La falta de una infraestructura que suministre gas natural lleva a la dependencia total de combustibles contaminantes para cocción, como madera o gas propano, afectando la salud de la comunidad. Por otro lado, deben utilizar Gas Licuado de Petróleo (GLP), cuyos elevados costos resultan difíciles de solventar para muchas familias en situación de vulnerabilidad socioeconómica.

Se resalta entonces tanto el daño ambiental/salud por uso de leña como la carga económica por depender del costoso GLP.

3.6.2. Energía eléctrica

En la Vereda Chocóa de Girón, los pobladores pagan tarifas de energía eléctrica elevadas, lo que afecta la economía de numerosas familias. En comparación con los hogares urbanos, los residentes de Chocóa pagan más por los cargos de generación, restricciones, pérdidas y distribución.

Las necesidades energéticas actuales representan un desafío global que va más allá de simplemente satisfacer la demanda. Además, ofrecer un servicio de calidad y continuo es crucial. Esto se refleja en las facturas eléctricas, donde los indicadores DIUG (duración anual en horas de interrupción) y FIUG (número anual de eventos de interrupción) son evaluados (CREG 015 2018).

En el caso de Chocóa, estos indicadores muestran valores más altos en comparación con una residencia en una zona urbana, como se muestra en las figuras 1 y 2.

Figura 1

Comparación de Duración de Interrupciones entre una zona rural y zona urbana

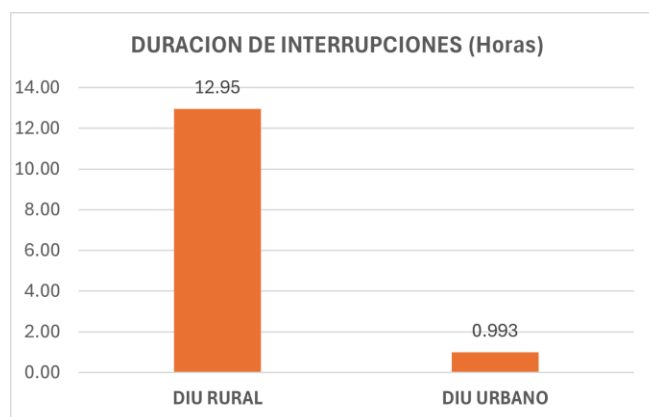
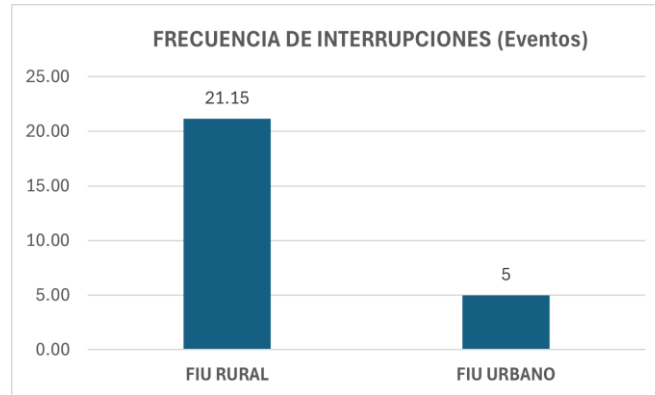


Figura 2

Comparación de frecuencia de interrupciones entre una zona rural y zona urbana



Nota: Los diagramas anteriores comparan la zona rural de estudio, Vereda Chocóa sector Brujas, con el casco urbano de Bucaramanga en términos de los valores DIU y FIU. Estos valores representan el total acumulado en horas y el número total acumulado de eventos de interrupción percibidos por el usuario respectivamente, en un periodo de doce meses que termina en el mes de evaluación, el cual corresponde al mes de agosto de 2023. Como se puede observar, el área rural supera al área urbana en más del 50%. Es probable que estos valores se deban a diferencias en el grupo de calidad, esta información está disponible con el operador de red, en este caso, la ESSA.

Es fundamental abordar estas cuestiones para garantizar un acceso equitativo y sostenible a la energía eléctrica en las áreas rurales. La colaboración entre las autoridades locales y la comunidad es esencial para encontrar soluciones que beneficien a todos.

4. Análisis de la viabilidad de los recursos energéticos renovables en la vereda

Chocóa

La vereda de Chocóa tiene acceso a diversas fuentes de energía no convencionales, como el agua, el sol, el viento y los residuos orgánicos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la disponibilidad de estas fuentes también conlleva ciertas limitaciones para el desarrollo de sistemas de generación energética basados en ellas. Por lo tanto, se ha realizado un análisis de todos los factores relacionados con la utilización de estas fuentes energéticas, incluyendo la evaluación de aspectos climáticos y datos socioeconómicos recopilados durante visitas técnicas en la zona.

4.1 Evaluación de la disponibilidad del recurso solar

La energía solar, una fuente de energía limpia y sustentable que proviene del Sol en forma de luz y calor, se aprovecha a través de dos tecnologías: la fotovoltaica (que convierte la luz en electricidad) y la térmica (que captura el calor). Sus beneficios incluyen su limpieza, renovable, descentralizado y económica. Entre sus desventajas se encuentran la dependencia del clima y la necesidad de espacio para los paneles solares. Se emplea para producir electricidad, calentar agua, climatizar edificios, desalinizar agua, bombear agua y cocinar alimentos.

Para este trabajo de grado se realiza el estudio enfocado en la energía solar fotovoltaica, por lo cual se realizó una investigación secundaria en diversas plataformas como lo son software Power Data Access Viewer (NASA, 2023) el software PVGIS (PVGIS, 2023), y el atlas de radiación solar de Colombia proporcionado por la UPME (UPME, ATLAS VELOCIDAD DEL VIENTO DE COLOMBIA, 2023). Se emplearon estas herramientas para obtener los datos de radiación solar desde el año 2018 hasta el 2022, en la vereda Chocóa. El estudio de irradiación solar se encuentra detallado en los **apéndices E y L**.

4.2 Evaluación de la disponibilidad hidráulica

Se considera el estudio de la UPME (UPME, Atlas de potencial hidro-energético de Colombia, 2023) para el análisis del recurso hídrico, el cual se encuentra detallado en el **Apéndice L**. Donde se consideran las limitaciones ambientales (si existen) y luego se categoriza el potencial por sub-áreas y sub-cuencas, así se determina el potencial hidro-energético.

4.3 Evaluación de la disponibilidad del recurso eólico

La energía eólica, obtenida del viento, se aprovecha mediante aerogeneradores que convierten la energía cinética en electricidad. Es una fuente limpia, renovable y descentralizada con ventajas como la no emisión de contaminantes. Sin embargo, para que el sistema de generación sea eficiente se necesita que el viento en la zona donde se piensa implementar esta tecnología alcance unos niveles de velocidad mínimos. El análisis se realizó con el uso del software Power Data Access Viewer (NASA, 2023), se logró calcular la velocidad del viento en el período que abarca desde 2018 hasta 2022, es decir, durante los últimos cinco años en la vereda Chocoa, y el atlas del viento en Colombia proporcionado por la UPME (UPME, ATLAS VELOCIDAD DEL VIENTO DE COLOMBIA, 2023). Los **apéndices F y L**, detallan el estudio de disponibilidad eólica, en el cual se determinó que la velocidad promedio del viento en la zona de estudio es de aproximadamente 1,57 [m/s] de forma mensual.

4.4 Evaluación de la disponibilidad del recurso de biomasa

La biomasa, una fuente de energía renovable y sostenible, se define como materia orgánica de origen vegetal o animal. Se aprovecha para generar electricidad, calor y combustible a través de procesos como la combustión, la gasificación y la digestión anaeróbica. Entre sus ventajas se tienen su carácter renovable, la reducción de emisiones contaminantes y la generación de empleos en zonas rurales. Las desventajas incluyen la competencia con el uso de la tierra para la agricultura

y la emisión de gases de efecto invernadero durante la combustión. La biomasa se presenta como una alternativa viable para diversificar la matriz energética y contribuir a la sostenibilidad ambiental. (Agencia internacional de la energía 2023).

En la **Tabla 3 del apéndice L**, tomada de OVACEN (OVACEN 2022), un diario especializado en noticias sobre eficiencia energética y arquitectura del año 2022, se explican los distintos métodos usados para transformar la biomasa en energía.

La vereda Chocóa, sector de Brujas, se dedica principalmente a la agricultura, cultivando mango, piña y limón Tahití. Estos cultivos representan el 90% de la producción agrícola de la zona. Es importante indicar que estos cultivos no producen residuos que se puedan aprovechar para la producción de biomasa.

Por lo tanto, se concluye que no es factible instalar un sistema de generación de energía eléctrica que use como fuente los residuos orgánicos en este lugar, es decir la biomasa. Se destaca que en el sector se tiene previsto construir un relleno sanitario, el cual podría ser un potencial significativo de biomasa, se sugiere hacer un estudio cuando el relleno esté construido y se conozca la cantidad de desechos que tiene dicho lugar de almacenamiento de residuos.

4.5 Selección de la mejor alternativa energética

Entre las diferentes fuentes de energía que se evaluaron en la vereda Chocóa, se determinó que la **energía fotovoltaica** era la más viable y eficiente. Esta decisión se basó en varios factores, como la radiación solar disponible, el mantenimiento, el impacto ambiental y la demanda energética de la comunidad.

4.6 Análisis de alternativas para el suministro de energía eléctrica

Para el análisis de alternativas se presentan dos propuestas de solución con tecnologías basadas en el aprovechamiento del recurso solar, ya que al realizar el estudio de potencial de distintos energéticos en la Vereda Chocóa, la energía solar presenta un balance favorable entre disponibilidad efectiva y ausencia de limitaciones determinantes para su aprovechamiento.

De este modo, las dos alternativas solares planteadas comparten el hecho de aprovechar el alto potencial solar de la zona mediante sistemas interconectados, pero difieren en si la generación se logra a partir múltiples sistemas distribuidos de menor tamaño o mediante una sola planta de generación solar de escala relativamente grande.

4.6.1. Alternativa No.1

La generación solar fotovoltaica basada en microrredes consiste en la instalación de pequeños sistemas independientes ubicados a nivel de cada vivienda o en grupos cercanos de viviendas dentro de la vereda que cuenten con condiciones adecuadas de espacio e iluminación solar.

El exceso de energía, en los casos en que la producción instantánea supere el consumo interno de esas viviendas o conglomerados, puede inyectarse a la red eléctrica general, produciendo beneficios por venta de excedentes. Del mismo modo, si la generación propia no alcanza en algún momento, la red seguiría estando disponible como respaldo y suministro complementario.

De esta manera se plantea un sistema solar distribuido que contribuya con energía fotovoltaica a nivel residencial para aliviar parcialmente la dependencia actual de la red y el consumo de la costosa electricidad convencional en la vereda.

4.6.2. Alternativa No.2

La segunda opción implica un parque solar, sistema centralizado de gran escala el cual funcionaría como una planta de generación para el consumo y también podría inyectar la electricidad a la red general. Ésta se basaría en una granja o parque de paneles solares, aprovechando grandes extensiones de terreno con alta irradiación para producir electricidad, concentrando un número de módulos fotovoltaicos interconectados con una ubicación seleccionada con condiciones óptimas de radiación, orientación e inclinación. También es importante tener en cuenta la cercanía a la red eléctrica, sobre todo la ubicación del transformador al que se hará la conexión por baja tensión.

Asimismo, el potencial excedente de energía solar no utilizada en la zona también se podría inyectar a la red eléctrica general, representando ingresos adicionales para el proyecto por la venta de dichos excedentes a la empresa distribuidora local o regional.

4.7 Criterios para el análisis de alternativas

Tras describir las dos opciones de sistemas solares fotovoltaicos planteados para la zona, se procede a evaluar comparativamente ambas opciones considerando varios criterios estratégicos que se pueden evidenciar en el **Apéndice M** que buscan determinar de manera integral los pros y contras relativos entre los dos sistemas propuestos.

4.7.1. Estudio técnico

Al comparar los criterios técnicos de viabilidad entre las dos opciones, se obtiene que el sistema centralizado está bien adaptado al perfil de la comunidad, pues su mayor ventaja es la posibilidad de usar la estructura eléctrica actual en cuanto a medidores, acometidas y demás elementos que hacen parte de la conexión. El sistema de microrredes, aunque presenta más

simplicidad en su diseño, tiene deficiencias en la instalación de un mayor número de equipos, tales como inversores y medidores. Por lo tanto, la conclusión técnica favorable en mayor medida para la alternativa 2.

4.7.2. Espacio

Al comparar criterios de espacio, se tiene que la alternativa 1 parece ser la más viable principalmente por disponibilidad de la instalación, ya que no requiere gran cantidad de espacio. El sistema centralizado, aunque cuenta con ventajas significativas como, cercanía al punto de conexión, disponibilidad del espacio y aprovechamiento de la estructura de la instalación, presenta gastos adicionales en la obtención del terreno, ya que se tendría que pagar por el alquiler o su obtención total. Por lo tanto, los sistemas de microrred parecen ser la mejor opción en este criterio.

4.7.3. Mantenimiento

El sistema centralizado presenta facilidad para el mantenimiento, menos personal capacitado para ello y es que, aunque una microrred presente un mantenimiento más simple en cuanto a tamaño, presenta mayor exigencia en montaje de equipo, ya que los paneles se encuentran en lugares de difícil acceso como lo es los techos de las casas. Es por ello por lo que este criterio favorece a la alternativa 2, el cual no presenta desventajas por mantenimiento.

4.7.4. Escalabilidad

Ambas alternativas tienen una vida útil similar de 20 a 25 años, por lo que en este aspecto son iguales. Sin embargo, la alternativa 2 parece ser más favorable debido a su capacidad de escalabilidad, lo que significa que puede adaptarse a un crecimiento futuro en el consumo de energía. Esto es importante porque permite que el sistema se ajuste a las necesidades cambiantes de los hogares a lo largo del tiempo, proporcionando una solución más sostenible a largo plazo.

4.7.5. Costo de inversión

Ambas alternativas comparten la importante ventaja de utilizar fuentes renovables de energía limpia, lo cual abre posibilidades de financiamiento gubernamental al alinearse con políticas de transición energética. Sin embargo, el sistema de microrredes distribuidas tiene mayores costos relativos debido a la necesidad de adquirir múltiples inversores y medidores avanzados para cada sistema residencial.

4.7.6. Costo de operación

El sistema centralizado propone la creación de un fondo comunitario que garantice recursos financieros para el mantenimiento, lo que podría ser una solución más sostenible a largo plazo. Sin embargo, esta opción requiere capacitación especializada para asegurar que el mantenimiento se realice de manera efectiva, lo que podría ser una barrera para algunas comunidades. Por otro lado, el sistema de microrred propone que cada usuario asuma el costo de mantenimiento de forma independiente, responsabilizándose de cuidar su propio sistema. Sin embargo, este enfoque puede resultar en una carga financiera desigual y puede no garantizar un mantenimiento adecuado en todos los casos. Por tanto, se considera que es mejor que la responsabilidad sea compartida por toda la comunidad, lo que podría promover un uso más eficiente y sostenible de la infraestructura fotovoltaica a largo plazo.

4.8 Selección del sistema más favorable para el suministro de energía eléctrica en

Vereda Chocóa, sector Brujas

El sistema fotovoltaico centralizado promete ser la mejor alternativa para el suministro energético en Vereda Chocóa debido a varios criterios de selección que favorecieron esta alternativa. Se espera que sea la opción más eficiente, con menor impacto ambiental y de menor costo para su funcionamiento. Además, esta alternativa dos (2), se adapta de manera óptima a la

implementación de una comunidad energética que reciba incentivos del gobierno nacional. En este contexto, la comunidad podría beneficiarse plenamente al cubrir la totalidad de los costos de inversión. Sin embargo, actualmente se está a la espera de la regulación que permita aclarar los detalles sobre los incentivos y el financiamiento. Esta situación representa una oportunidad significativa para fomentar la adopción de energías limpias y sostenibles en el ámbito local.

El sistema consiste en una configuración centralizada de paneles solares que proporcionará energía eléctrica a alrededor de 45 viviendas en el sector, con una capacidad instalada de menos de 1 MW. Según la CREG, este sistema se clasifica como un Autogenerador a Pequeña Escala (AGPE).

5. Análisis de conexión de las fronteras comerciales eléctricas existentes, consumo (demanda), costos y tarifas de energía actuales para la comunidad energética

Este apartado se enfoca en analizar la situación actual del suministro de energía eléctrica en el sector, en cuanto infraestructura, consumo y costos. Lo cual es fundamental para una visión amplia que permita determinar la conexión y el dimensionamiento del sistema solar, al igual que el estudio de los costos actuales del suministro eléctrico en la vereda para determinar cómo se negociará el intercambio de energía eléctrica en la frontera comercial y así estimar los posibles ahorros que se podrían obtener.

5.1 Fronteras comerciales eléctricas existentes.

La frontera comercial de esta comunidad está ubicada en el transformador presentado en el **Apéndice G**. Se plantea cambiarlo por uno de 75 kVA para conectar el sistema fotovoltaico por el lado de baja tensión. Además, se debe hacer un estudio de conexión con ayuda del mapa de disponibilidad de red se encuentra en la página web de la empresa operadora de red (OR), en este caso, la ESSA. Este mapa según la CREG 174 de 2001, detalla las características técnicas básicas del punto de conexión, donde se encuentran los indicadores de viabilidad de conexión al sistema para verificar si hay fallas en esta propuesta de frontera comercial.

5.2 Perfiles de la demanda de energía

Para cualquier proyecto que implique la construcción de un sistema de generación eléctrica destinado a alimentar una carga, se requiere un análisis que estime la demanda total que el sistema debe cubrir. Se enfatiza que la información presentada se obtuvo mediante acercamientos con la comunidad por medio la visita a la vereda.

El sector Brujas de la vereda Chocóa tiene usuarios residenciales de estrato 2 y usuarios comerciales, cuyo consumo se conoce por las facturas de energía del comercializador de red. Con estos datos se calcula la demanda máxima usando las tablas de la norma técnica del operador de red ESSA.

En la visita al sector se obtuvieron 33 facturas de energía, 30 de usuarios residenciales y 3 de usuarios comerciales. Sin embargo, el transformador tiene 45 usuarios conectados. Con esta información se estima la demanda, asumiendo 42 usuarios residenciales y 3 usuarios comerciales.

El consumo total se obtiene sumando el consumo promedio de cada usuario, y se divide entre 30 para hallar el consumo diario. Luego, se usa la información de las tablas de demanda promedio por hora en por unidad de la norma técnica de la ESSA para estimar el valor de energía eléctrica en Wh. Las figuras 3 y 4 muestra las curvas típicas de la demanda máxima del estrato 2 y de los usuarios comerciales de la ESSA.

Figura 3.

Consumo horario usuarios estrato 2 y curva de demanda máxima

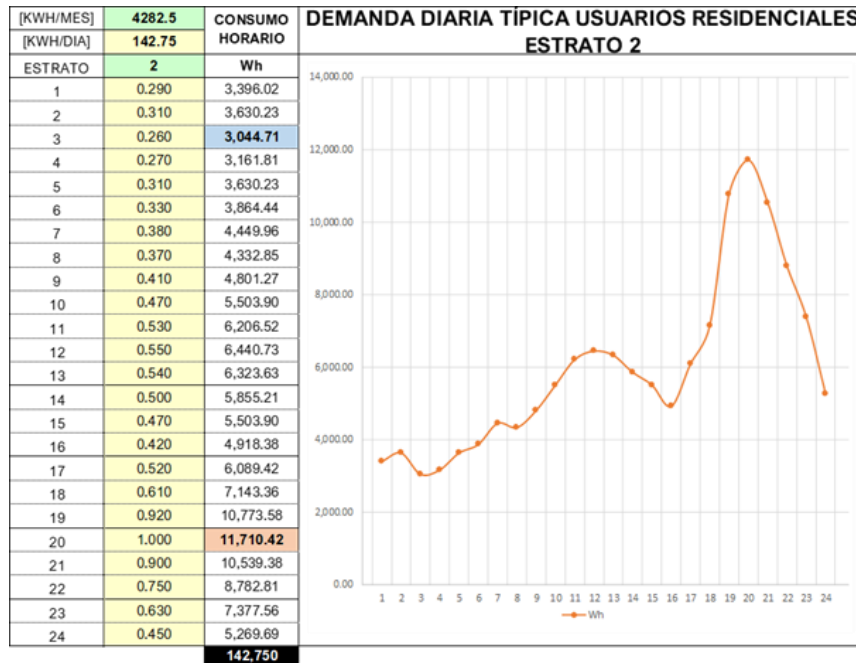
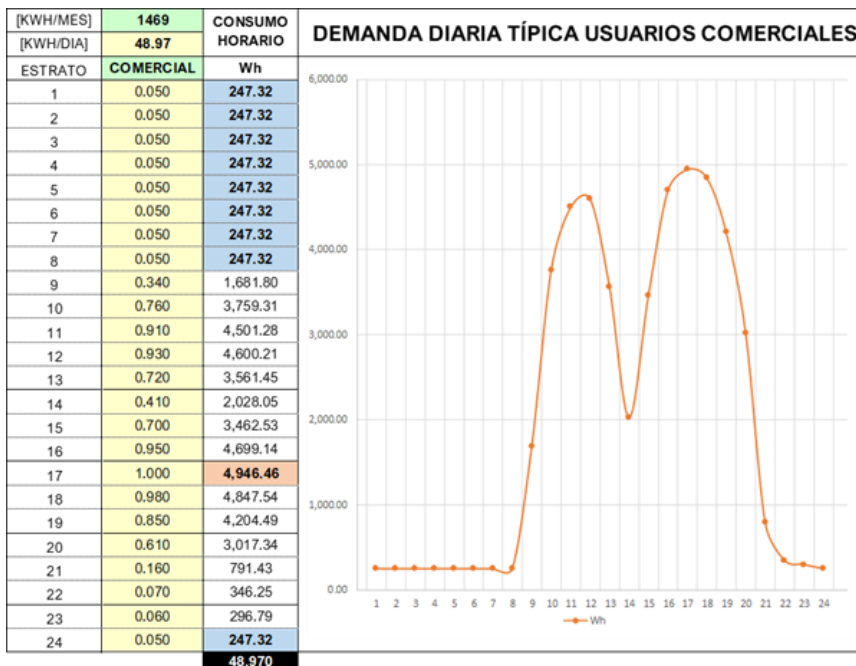


Figura 4.

Consumo horario usuarios comerciales y curva de demanda máxima

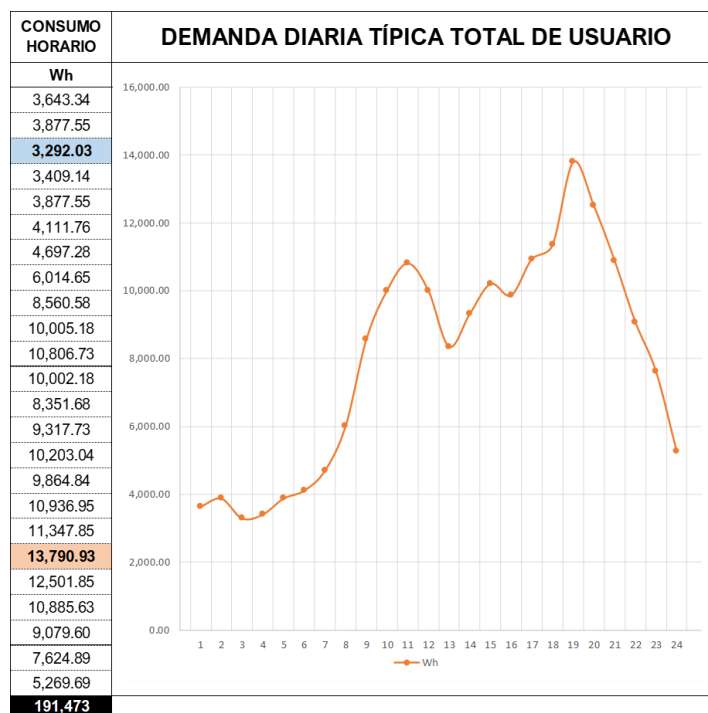


5.3 Agregación de la demanda de los participantes de la comunidad energética

Para estimar la demanda total de la comunidad, se sumaron las demandas de cada hora de los estratos 2 y comercial. Así, se obtuvo el perfil de la demanda general de los 45 usuarios del sector brujas, que se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Curva demanda máxima diaria total



La energía total diaria es de 191,47 [kWh] aproximadamente, teniendo un máximo de 13.790 [kWh] a las 7 de la noche, y un mínimo de 3.292 [kWh] a las 3 de la mañana.

5.4 Costos y tarifas de energía actuales

La empresa responsable del cobro de la energía eléctrica en la vereda es la ESSA, que hace parte del grupo EPM. El costo de la energía se divide en 6 componentes, cada uno con un valor unitario en \$/kWh, detallados en la **Tabla 6** del **Apéndice L**.

Dando como resultado un costo unitario calculado de **889,69 \$/kWh** y un costo unitario aplicado de **829,69 \$/kWh**.

6. Dimensionamiento inicial de la planta

El dimensionamiento de la planta se basa en criterios como el recurso solar disponible y la demanda energética, los cuales fueron evaluados en capítulos anteriores. Este proceso también considera aspectos técnicos y regulatorios para el diseño del sistema. Es importante tener en cuenta que el diseño presentado es de prefactibilidad, por lo que no se incluyen estudios detallados en este proyecto.

6.1 Demanda

El objetivo de la planta de generación fotovoltaica es proveer una potencia diaria calculada para satisfacer el consumo energético de unas 45 viviendas situadas en el sector brujas. La vereda tiene una demanda diaria proyectada de 191,4 [kWh].

Se calcula que la planta debería cubrir una demanda total anual de energía eléctrica de unos 6,9 [MWh/año] para las 45 viviendas, con la finalidad de garantizar un suministro continuo y seguro durante el año, pero la generación del sistema fotovoltaico está limitada por el área de ubicación del sistema y otros factores.

6.2 Espacio disponible y disposición física de los paneles fotovoltaicos

El **Apéndice H** destaca una superficie total aproximada de 331 m² frente a la iglesia. Estos datos se usan para elaborar un diseño preliminar que establece la disposición física de los paneles fotovoltaicos (ver Figura 6).

Figura 6

Disposición física de paneles Fotovoltaicos correspondientes al proyecto



6.3 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico

Para dimensionar la planta de generación, se calcularon diversos parámetros. Algunos ya se detallaron en este documento o en los apéndices. Los elementos principales de este sistema son:

Paneles solares: Como se observa en el Anexo 1 del Apéndice L, en la ficha técnica de los paneles solares a implementar, el panel fotovoltaico tiene unas dimensiones aproximadas de 2278 * 1134 * 30 [mm]. Por lo tanto, el área a ocupar por cada panel es de aproximadamente 2,58 [m²].

Inversores: Para elegir el inversor para la planta, se debe tener en cuenta la potencia instalada, que es de 47,85 kW. Se selecciona un inversor de 50 kW, pero al revisar las especificaciones del MPPT, se observa que tiene 4 unidades que no cumplen con los requisitos, pues la tensión de cada configuración posible es mayor que la tensión máxima de entrada del MPPT. Por esta razón, se opta por una segunda opción, que consiste en usar dos inversores con características diferentes. Las fichas técnicas de estos inversores se pueden consultar en el Anexo 2 del Apéndice L.

Configuraciones: El sistema fotovoltaico se diseñó con 87 paneles en 4 hileras de 15 y 2 en serie. Cada serie se conectó a un string con 748,5 V (dentro del rango del MPPT en DC). Se consideraron dispositivos de protección y conductores adecuados para la capacidad de corriente, la tensión y las pérdidas de potencia. Cada serie se enlazó a uno de los 2 MPPT de los inversores.

La configuración se seleccionó por el espacio disponible y la demanda energética de Chocó. Se estimó que la energía diaria se podía generar en 5 horas de sol promedio, satisfaciendo en gran porcentaje las necesidades de la comunidad y optimizando la producción de energía solar, como se presenta en las ecuaciones 2, 3 y 4 del **Apéndice L**

Para calcular el número de paneles, se consideraron dos factores: el espacio disponible en el terreno y las pérdidas de energía. El valor teórico, sin tener en cuenta estos factores, sería de 70 paneles. Sin embargo, al ajustar el cálculo según el área del predio y las pérdidas estimadas, se obtuvo un valor de 87 paneles, que ocupan todo el espacio destinado a la instalación.

6.4 Diagrama unifilar

El diagrama unifilar es necesario para el diseño eléctrico del proyecto. Este diagrama, que se encuentra en el Anexo 5 del **Apéndice I** en formato de plano, ofrece una representación visual detallada de la disposición y conexión de los componentes del sistema fotovoltaico propuesto para

la comunidad energética de la vereda de Girón, sector Brujas. Teniendo en cuenta que la viabilidad de conexión implica analizar las consideraciones necesarias para conectarse al Sistema de Distribución Local (SDL), lo cual garantiza confiabilidad, dado que el recurso solar es impredecible y variante. Para ello se debe contar con la información de la carga instalada, la cual se define con la caracterización del consumo de energía eléctrica actual por la comunidad.

6.5 Estructura

Es necesario construir una estructura que soporte a los paneles solares. Esta estructura debe ser resistente a las inclemencias del tiempo y capaz de soportar el peso de los paneles. Sin embargo, también se debe aprovechar al máximo el espacio disponible.

Por ello, se propone llegar a un acuerdo con la comunidad para utilizar el espacio debajo de la estructura para construir un salón social u otro espacio que beneficie a la comunidad.

De esta manera, no solo se generará energía limpia y renovable, sino que también se creará un nuevo espacio para que la comunidad pueda reunirse, realizar actividades y eventos, o simplemente disfrutar del tiempo libre.

6.6 Estudio de sombras

Durante la visita a la vereda, se realizó un estudio de sombras utilizando el **SOLAR PATHFINDER**. Este estudio permitió determinar la trayectoria del sol y las zonas de sombra en el sitio escogido para la instalación del sistema fotovoltaico.

Los resultados del estudio confirmaron que **no hay interferencia de sombras** en el sitio escogido. Esto significa que los paneles solares recibirán la luz solar directa durante la mayor parte del día, lo que permitirá una adecuada generación de energía eléctrica.

El estudio de sombras es un paso necesario en el diseño de un sistema fotovoltaico, ya que permite asegurar que el sistema tendrá un buen rendimiento energético.

6.7 Estimación de la producción de energía

Un aspecto clave para calcular la energía que produce una planta fotovoltaica es considerar las pérdidas de energía que experimentan los paneles solares. Estas pérdidas tienen diversas causas, entre ellas: la irradiancia, la temperatura, las características del módulo, el desajuste entre los módulos, las pérdidas óhmicas en el cableado, el ángulo de incidencia y el factor IAM. Estos factores reducen la producción de energía en un 16% aproximadamente. En la Tabla 1 se resumen las pérdidas de potencia que se presentan en los paneles fotovoltaicos.

Tabla 1

Pérdidas relacionadas a los paneles fotovoltaicos

Porcentaje de pérdidas paneles fotovoltaicos	
Factor IAM en global	3.60%
Pérdida FV debido a nivel de irradiancia	4.20%
Pérdida FV debido a temperatura	5.30%
Pérdida calidad de módulo	1.50%
Pérdida mismatch campo de módulo	1%
Pérdida óhmica del cableado	1%

Nota: Las pérdidas se expresan en porcentaje según los valores que da el programa PVsyst (PVsyst, 2023).

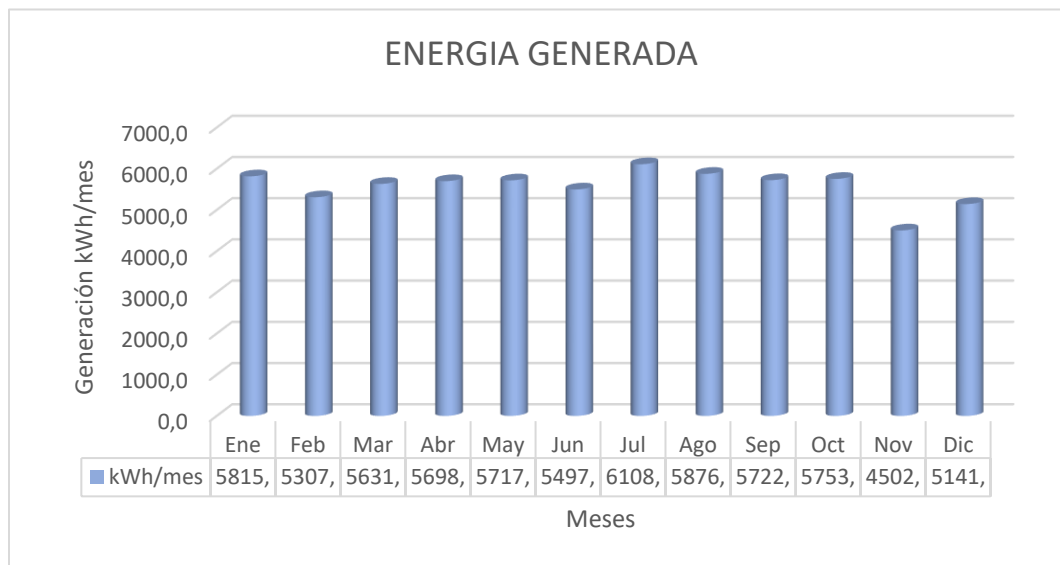
Considerando que las pérdidas de energía ascendieron al 16,6%, se diseñó una planta con 87 paneles solares de 550 W cada uno. Esto se hizo para compensar las pérdidas y poder satisfacer una gran parte de la demanda de energía eléctrica de la comunidad.

Se estimó la producción mensual de energía de la planta fotovoltaica, considerando las pérdidas y la irradiación solar promedio de la vereda Chocóa. El resultado fue de 5.564,36 (kWh/Mes) en promedio. En la Tabla 2 se muestra la estimación de la energía generada por el sistema fotovoltaico mes a mes durante un año.

Tabla 2

Producción real de la planta mensualmente

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
kWh/mes	5815,1	5307,6	5631,5	5698,6	5717,2	5497,2	6108,9	5876,3	5722,3	5753,9	4502,0	5141,8



Nota: La gráfica permite observar la cantidad de energía que se espera generar mes a mes en un periodo de un año.

Esto significa que la planta fotovoltaica genera 66,772 [MWh/año] de energía, al sumar la producción de cada mes. Se aclara que la producción mensual se calcula con un margen de seguridad del 10%, para considerar factores como la nubosidad y dar un valor conservador.

La planta genera 66.772 [kWh/año], mientras que el centro poblado requiere 69.120 [kWh/año]. Así, la planta puede cubrir cerca del 95% de la demanda eléctrica del lugar. El **Anexo 3** del **Apéndice L** contiene la información detallada.

7. Análisis de la prefactibilidad del sistema de Autogeneración Colectiva (AGRC).

Para realizar el análisis de prefactibilidad del sistema de Autogeneración Colectiva (AGRC), en este capítulo se realiza una simulación de este sistema y se estiman los costos asociados a su implementación para establecer las principales características a tener en cuenta en la ingeniería de detalle que posteriormente se realice.

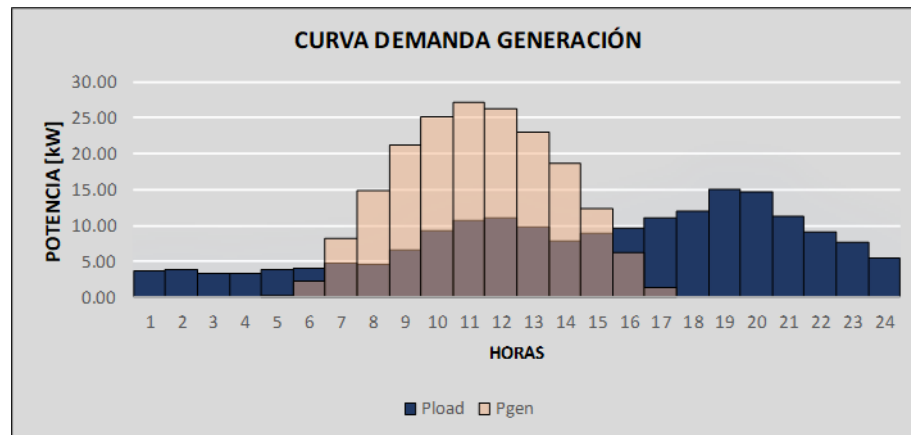
7.1 Simulación del sistema solar fotovoltaico propuesto

Se ha realizado una simulación del sistema de autogeneración colectiva para la vereda Chocoa, considerando diversos factores relevantes. Entre ellos, se encuentra la demanda energética diaria de la comunidad y la producción de energía de la planta solar fotovoltaica, la cual se estima a partir de la irradiación solar media en la zona. Los gráficos que se presentan a continuación ilustran estos aspectos. El análisis detallado se describe en el **Apéndice J**.

La Figura 7 muestra las curvas de la energía generada por el sistema y la demandada por la carga. Estas curvas se superponen para visualizar el balance energético entre ambas. De este modo, se observa cuando la energía del sistema AGRC cubre la demanda y cuándo es necesario recurrir a la compra de energía de la red.

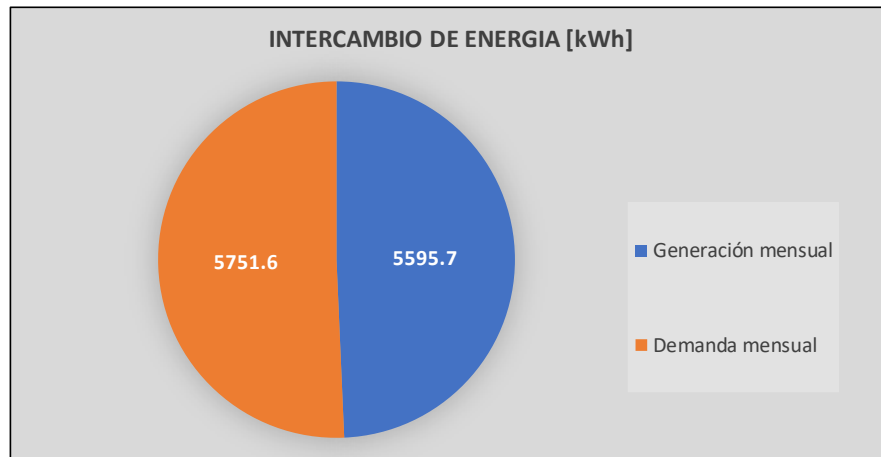
Figura 7

Curvas horarias superpuestas de la demanda diaria de la carga y la potencia inyectada por el sistema FV



Nota: La siguiente gráfica presenta un análisis de la generación y demanda de energía en la planta durante un (1) día.

Por otra parte, la Figura 8 muestra el balance energético entre el sistema fotovoltaico y la red eléctrica durante un mes. Esta gráfica indica que el sistema fotovoltaico puede satisfacer su demanda de energía hasta un 95% aproximadamente.

Figura 8*Intercambio de energía*

Nota: Esta gráfica permite visualizar la proporción de energía generada por el sistema fotovoltaico que se consume localmente y la que se exporta a la red eléctrica.

El sistema fotovoltaico genera 67.148,4 kWh/año de energía, de los cuales 30.142 kWh/año se autoconsumen durante el periodo del día donde hay generación y 37.005 kWh/año se exportan a la red eléctrica. Estos 37.005 kWh/año se intercambian por su equivalente en energía importada, con un costo unitario equivalente al costo de comercialización de la tarifa actual (para plantas menores a 100 kWp de capacidad instalada).

La energía faltante que se importa, 1.871,2 kWh/año se debe pagar a un costo unitario total de la tarifa actual vigente.

7.2 Estimación de gastos de la implementación del sistema

La estimación económica de un proyecto fotovoltaico es un aspecto clave para evaluar su viabilidad y rentabilidad. Esta estimación implica considerar los costos de inversión, operación y mantenimiento del sistema, así como los ingresos por la venta o el ahorro de energía eléctrica. Además, se deben tener en cuenta los posibles beneficios tributarios, incentivos o subsidios que se puedan obtener por la implementación de una fuente de energía renovable y limpia.

7.2.1 Estimación del CAPEX

Se consultó con el mercado actual de Bucaramanga en la construcción de sistemas fotovoltaicos para estimar los costos de suministro, transporte e instalación. Estos fueron los elementos que se tomaron en cuenta para el cálculo de la inversión (CAPEX): 1) Sistema de medida; 2) Adecuación de tableros eléctricos; 3) Transformador de conexión; 4) Circuitos ramales de alimentación; 5) SFV On-Grid; 6) Estructuras metálicas; 7) Obra civil; 8) Caracterización de carga; 9) Inspección y certificación RETIE; 10) Inscripciones AGPE y 11) Diseños.

La proyección del costo del proyecto indica un gasto directo de **\$290.684.711,00** de pesos colombianos de septiembre de 2023 (según la Tasa Representativa del Mercado de 4.229 \$/USD).

Dado a que es posible que la contratación del potencial sistema de generación fotovoltaico lo realice un ente del estado, en esta actividad se debe involucrar adicional al valor anterior lo siguiente:

- ✓ Administración (incluye impuestos y contribuciones): 32,50%
- ✓ Imprevistos: 1%
- ✓ Utilidad: 4%

Teniendo en cuenta lo anterior, el total de presupuesto de la planta de generación fotovoltaica es de **\$ 399.691.478,00 de pesos COP**.

El desglose detallado de cada uno de los elementos mencionados, se puede consultar en el **Apéndice K**.

Nota: Los gastos administrativos incluyen los impuestos promedio que una entidad estatal suma al costo directo durante un proceso de contratación de proyectos.

7.2.2 Estimación del OPEX

Un estudio de la Universidad del Rosario (RENOVABLES, M. E. E) encontró que el costo operativo anual (OPEX) del mantenimiento de sistemas fotovoltaicos pequeños (menos de 100 kWp) es aproximadamente del 1% anual del valor de la inversión inicial (CAPEX). Este porcentaje se considera ideal para mantener la eficiencia y el funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo, las **ecuaciones 5, 6, 7 del Apéndice L** detallan el cálculo del OPEX.

La capacitación de las comunidades es un elemento fundamental para el éxito de los proyectos de autogeneración colectiva con energía solar. Para lograrlo, es vital que el SENA y las universidades colaboren estrechamente, brindando cursos, talleres y asesorías a los habitantes de las zonas rurales. De esta manera, se garantiza que las comunidades adquieran los conocimientos y las habilidades necesarias para mantener y operar los sistemas fotovoltaicos y las redes eléctricas, asegurando así la sostenibilidad de la infraestructura energética.

7.2.3 Costos estimados de producción – LCOE

Para determinar el costo de producción de energía en un proyecto de generación solar, es necesario calcular el costo promedio total de construir y operar la central eléctrica durante su vida útil, generalmente 20 años. Este cálculo se realiza dividiendo el costo total por la cantidad de

energía que se espera generar en ese período. Para el cálculo se utilizaron las ecuaciones **8,9,10** del **Apéndice L**.

En la Tabla 3 se presentan los costos nivelados de la energía generada por el sistema fotovoltaico.

Tabla 3

Costos nivelados de la energía generada con el sistema fotovoltaico considerando los impuestos

CAPEX	\$ 475.632.859
Tasa de oportunidad	6%
Vida Útil del Activo años	20
Factor anual	0,087184557
Costo Anual equivalente	\$ 41.467.840,06
OPEX	\$ 4.756.328,59
Energía Total anual [kWh]	66772,46808
LCOE	\$ 692,26

Nota: La tabla resume los indicadores económicos del sistema de generación fotovoltaica que se proyecta en la vereda Chocoa, bajo la suposición de que se adjudicará mediante una licitación pública.

El análisis financiero del costo de producción de la central eléctrica muestra que el proyecto permitirá generar energía a un precio de 692,26 \$/kWh, con impuestos (32,5%) incluidos, y 581,73 \$/kWh, sin impuestos (32,5%). Además, se destaca que estos cálculos no tienen en cuenta las ventajas fiscales que podrían obtenerse al instalar este tipo de sistemas de generación de energía eléctrica.

8. Características del sistema fotovoltaico propuesto

Se sugiere instalar el sistema en el terreno frente a la capilla, aprovechando la disponibilidad de espacio y la cercanía a la comunidad el cual cuenta con una extensión de 331 m^2 . Se requiere iniciar una negociación con la iglesia o el párroco para obtener el permiso de instalación y definir las condiciones de uso del terreno.

Se propone aprovechar al máximo el espacio disponible mediante la construcción de una estructura elevada para los paneles solares. Debajo de esta estructura se podría construir un salón de reuniones para la comunidad, creando un espacio multifuncional que beneficie a la población, teniendo en cuenta que se deben implementar de forma correcta, la normativa aplicable para garantizar la seguridad de las personas que hagan uso de dichas instalaciones.

El proyecto de generación para la vereda Chocóa consiste en 87 módulos solares de 550 W que suman una potencia instalada de 47,85 kWp y 1 convertidor de 50 kW. El proyecto de generación se conectará al nivel de tensión 1, con una frontera de comercialización con medidor bidireccional, que se instalará en el lado de baja del transformador que abastece al sector. Este proyecto proveerá el 95% de la demanda total de la vereda Chocóa sector Brujas.

El sistema de generación consiste en un autogenerador colectivo dirigido por la Junta de Acción Comunal (JAC) de la vereda Chocóa, con el objetivo de participar activamente con la comunidad del sector, de forma que se suministre una parte de la demanda de energía eléctrica de los habitantes y se reduzcan los gastos de las facturas de energía eléctrica.

En la Tabla 4 se realiza la comparación del costo nivelado de la energía (LCOE) al generar la energía con la potencial planta de generación fotovoltaica y la tarifa de la energía que pagan los residentes de la comunidad al OR.

Tabla 4*Comparación de precios de energía*

Tarifa actual y LCOE		
LCOE sin impuestos	\$	581,73
LCOE con impuestos	\$	692,26
Tarifa actual	\$	829,69

Nota: La tabla muestra la comparación de precios de la energía con los cuales se podría mantener el sistema de generación

El informe de prefactibilidad para la vereda de Chocóa se expone con detalle en el **Apéndice L**, donde se presenta la caracterización y el dimensionamiento de la posible central de energía solar.

9. Conclusiones

Este trabajo de grado ha permitido identificar las necesidades energéticas del Sector Brujas de la vereda Choca, a lo que se propone una solución centrada en mejorar el suministro de electricidad, garantizando su fiabilidad y accesibilidad. La fiabilidad se logra al permitir que la comunidad gestione su propia energía sin depender de terceros, mientras que la accesibilidad se asegura al demostrar que la generación propia es más económica que la compra de energía y finalmente hacer un aporte al proceso de transición energética por el cual se encuentra el país en la actualidad.

A continuación, se mencionan los resultados obtenidos:

- La evaluación de los patrones de consumo y demanda de energía, basados en información primaria, reveló las falencias que enfrenta la comunidad, en cuanto suministro de energía eléctrica y gas natural. Se ha identificado que la demanda energética viene de usos domésticos y comerciales. En el sector residencial, se observa que la curva de demanda diaria alcanza su punto máximo durante la noche, debido a la necesidad de iluminación y a la presencia de las personas en sus hogares, mientras que, en el sector comercial, los picos de consumo se registran en las horas de la mañana y la tarde, es decir, en horas de actividad laboral. No se registra consumo agrícola en la zona, ya que los sistemas de riego son manuales.
- En la evaluación de energéticos, se encuentra que el sol parece la única alternativa viable para la generación de energía eléctrica. Tiene una radiación que garantiza un suministro de energía eléctrica confiable y sostenible. Además de ser respaldada por la rentabilidad de las tecnologías fotovoltaicas.

- Según el estudio de prefactibilidad, el sistema fotovoltaico centralizado resulta una alternativa viable en todos los aspectos propuestos en el proyecto, lo cual indica éxito para su implementación futura. Sin embargo, se debe revisar detalladamente el lugar de instalación. Durante una última visita y con la participación de la comunidad, se sugirió que se debía reubicar el sistema fotovoltaico por dificultad en los tramites de la propuesta inicial, esta nueva condición no compromete la viabilidad del proyecto, ya que, existen otros lugares con potencial, pues el sector Brujas se caracteriza por tener amplios espacios a cielo abierto sin gran afectación por sombras ni irregularidad en el suelo, dos factores que podrían afectar el éxito del proyecto.
- El diálogo abierto y cercano con la comunidad es esencial para comprender sus necesidades individuales, ya que cada comunidad tiene realidades y oportunidades de solución únicas. También es invaluable para abordar las dudas que puedan surgir entre los miembros de la comunidad sobre las nuevas tecnologías, sus aplicaciones e implicaciones, así como para resaltar los beneficios que la comunidad puede recibir.
- El Estudio de alternativas para una posible suplencia de las necesidades energéticas abarca el análisis de fuentes no convencionales de energía renovable en la vereda de Chocoa. Dado que se trata de un estudio de caracterización, es necesario profundizar en los detalles técnicos del diseño del sistema de generación fotovoltaico. Cuando se tome la decisión de implementar este sistema, será necesario llevar a cabo una ingeniería de detalle para garantizar su eficiencia y viabilidad.

10. Recomendaciones

Este trabajo de grado presenta una alternativa viable de implementación de un sistema solar fotovoltaico, lo que requiere un estudio detallado de cada componente presentado en el documento en estado de prefactibilidad, es por ello por lo que se tienen una serie de recomendaciones puntuales para el éxito del diseño.

Como primera medida, se sugiere dar seguimiento a la postulación del sector Brujas para conformar una comunidad energética, como parte del plan piloto realizado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) en Santander. En caso de que la comunidad sea seleccionada por la entidad, podría beneficiarse de su financiamiento total, dependiendo de la regulación para el financiamiento de comunidades energéticas que se establezca en los próximos meses. De ser esto posible son necesarias varias capacitaciones a la comunidad con respecto al mantenimiento y operación de los sistemas fotovoltaicos y todas sus implicaciones, con el fin de garantizar la vida útil de los paneles y que el sector Brujas reconozca con claridad los impactos del sistema.

Es fundamental considerar la solicitud de cambio del transformador. Este estudio se llevó a cabo bajo la premisa de que el transformador existente en el sector sería reemplazado por uno de 75 kVA. Por lo tanto, es necesario gestionar formalmente esta solicitud ante la ESSA para garantizar que las condiciones previstas en el estudio se cumplan adecuadamente.

En referencia al tema de la falta de gas natural de la comunidad, se sugiere: 1) Solicitar apoyo de Gobierno Nacional, para la financiación de cocinas de inducción las cuales parecen una solución prometedora para el proceso de cocción de los hogares, al igual que una capacitación que indique su uso correcto. 2) Un estudio detallado sobre la implementación de cocinas solares, pues

estas son de mucho éxito en países como Bolivia, Perú, India, China. 3) Revisar si Chocó entra en la cobertura del plan de abastecimiento de gas natural descrito por la UPME.

Dichas sugerencias podrían reducir en gran manera el uso de la leña como energético para la cocción de alimentos. Ya que, según la comunidad, usan últimamente casi que todo el tiempo, debido a los altos costos del gas licuado del petróleo GLP y la falta de infraestructura de gas natural.

La transición energética no solo implica la migración a fuentes de energía limpias, sino también empoderar a las personas con la información necesaria para que desde sus hogares puedan aplicar el concepto de eficiencia energética y uso racional de la energía, los cuales son conceptos que están directamente relacionados con la transición energética. Se sugiere realizar un proyecto que detalle las pautas para tener en cuenta para dichas capacitaciones, enfocándose en la sensibilización sobre el consumo responsable de energía y en la adopción de prácticas eficientes en el hogar.

Dentro del marco de la implementación de un sistema de energía renovable en la Vereda Chocó, se propone que la distribución de los costos por el uso de la energía eléctrica generada mediante paneles solares se realice mediante un método de prorrateo. Este método consistiría en calcular el costo total de la energía generada y distribuirlo entre los usuarios de forma proporcional a su consumo individual.

La adopción de este método de prorrateo permitiría garantizar una distribución equitativa de los costos de generación de energía eléctrica, asegurando que cada hogar pague de acuerdo con su consumo real. Además, fomentaría el uso responsable de la energía, ya que los usuarios serían conscientes del impacto de su consumo en los costos generales.

Referencias Bibliográficas

Romero, S. R., Santos, A. C., & Gil, M. A. C. (2012). EU plans for renewable energy. An application to the Spanish case. *Renewable Energy*, 43, 322-330.

Corpoema, C. E. (2010). Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). UPME, Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2014). Ley 1715 del 13 de mayo de 2014 “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”. Bogotá: El Congreso

Márquez Altemir, F. D. A. (2022). Evaluación de experiencias de Comunidades Energéticas para paliar la pobreza energética.

FNCER. (2023). Fuentes No Convencionales de Energía Renovable Fuentes <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fncer/>

IDAE. (2020). Solar fotovoltaica. <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/solar-fotovoltaica>

Planas. (2015). ¿Qué es el efecto fotovoltaico? <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico>

VERACRUZANA. (2023). Veracruzana, Universidad. Centro de Investigación en Recursos Energéticos y Sustentables.

Enel Green Power. (2023). La energía hidroeléctrica. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica>

Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. Cuadernos económicos de ICE, (83).

Congreso de la República de Colombia (2023). Ley 2294 del 19 de mayo de 2023 “por el cual se expide el plan nacional de desarrollo 2022- 2026 “Colombia potencia mundial de la vida”

Ministerio de Minas y Energía (2023). Ley 2236 del 22 de diciembre de 2023 “Por el cual se adiciona al Decreto 1073 de 2015 con el fin de reglamentar parcialmente el artículo 235 de la Ley 2294 de 2023 del Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026

NASA, P. (10 de 10 de 2023). POWER NASA. Obtenido de NASA: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

PVGIS. (12 de 10 de 2023). PVGIS. Obtenido de PVGIS: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR

PVsystem. (25 de 10 de 2023). PVsystem. Obtenido de PVsystem: <https://www.pvsystem.com/>

UPME. (12 de 10 de 2023). ATLAS DE RADICACIÓN SOLAR DE COLOMBIA. Obtenido de Atlas de radiación solar de Colombia: http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1- Atlas_Radiacion_Solar.pdf

UPME. (12 de 10 de 2023). Atlas de vientos de Colombia. Obtenido de Atlas de vientos de Colombia: http://www.upme.gov.co/Atlas_Viento.htm

UPME. (12 de 10 de 2023). Atlas de potencial hidroenergético de Colombia. Obtenido de Atlas de potencial hidroenergético de Colombia: <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Primer-Atlas-hidroenergetico-revela-gran-potencial-en-Colombia.aspx>

OVACEN. (15 de 10 de 2022). OVACEN. Obtenido de OVACEN: <https://ovacen.com/energias-renovables/>

UPME. (2022). Resolución 320. UPME, 3-4

CREG. (20 de 03 de 2014). CREG. Obtenido de Gestor Normativo CREG:

https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0038_2014.htm

RETIE. (2013). RETIE.

Electricidad, S. (02 de 01 de 2024). Sector Electricidad. Obtenido de Sector Electricidad:

<https://www.sectorelectricidad.com/18564/me-conviene-el-autoconsumo-electrico-que-es-el-lcoe-y-como-calcularlo-por-alex-moreno-bellostes/>

Olarte, D., & Cruz, Y. (2023). Propuesta de una metodología para caracterizar la pobreza energética en la región de Santander (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Promigas. (2022). Índice multidimensional de pobreza energética. Recuperado de [\[ReportePromigasIMPE \(fundacionpromigas-offloadmedia.s3.amazonaws.com\)\]](https://fundacionpromigas-offloadmedia.s3.amazonaws.com/ReportePromigasIMPE)

Apéndices

Para este trabajo de grado, se llevó a cabo un análisis de diversos aspectos con el objetivo de fortalecer y respaldar las ideas y argumentos presentados en el libro anterior.

Esta investigación permitió obtener una comprensión más profunda, identificar diferentes perspectivas y puntos de vista, y así fortalecer la base de conocimiento. Los apéndices se organizan de la siguiente manera:

Apéndice A. Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Girón Santander

Apéndice B. Perfiles Topográficos Vereda Chocoa

Apéndice C. Riesgos Sísmicos y de Inundaciones

Apéndice D. Fotografías de la Vereda

Apéndice E. Estudio Radiación Solar

Apéndice F. Estudio de Disponibilidad Eólica

Apéndice G. Frontera Comercial

Apéndice H. Disposición Física de los Paneles

Apéndice I. Diagrama Unifilar

Apéndice J. Simulación del Sistema de Autogeneración Colectiva

Apéndice K. Presupuesto Estimado

Apéndice L. Informe de Prefactibilidad

Apéndice M. Análisis de alternativas para el suministro de energía eléctrica

Los apéndices se encuentran en un archivo de Google Drive al que se puede acceder en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1MWaehPcCC4z6UopEYNiNo7IxAjmmeVRK?usp=sharing>