

SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA SUMINISTRO ENERGÉTICO EN LA COMUNIDAD NUEVA BELLAVISTA DEL MUNICIPIO DE GUAPI, DEPARTAMENTO DEL CAUCA



Mariana Rendón Leal
Eyvar Alexis Pitto Cordoba

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de electrónica, instrumentación y control
Programa de Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Cauca
2021

**SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA SUMINISTRO
ENERGÉTICO EN LA COMUNIDAD NUEVA
BELLAVISTA DEL MUNICIPIO DE GUAPI,
DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

Mariana Rendón Leal
Eyvar Alexis Pitto Cordoba

Trabajo de grado para obtener el título de:
Ingeniero(a) en Automática Industrial

Director:
Mg. Francisco Franco Obando Díaz
Codirectora:
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
2021

Agradecimientos

Agradezco a Dios por bendecirme, por guiarme y por darme las herramientas para cumplir mis propósitos. A mi mamá Patricia y a mis hermanos Emmanuel, Mauricio y Diego, por apoyarme incondicionalmente, por depositar su confianza en mí, este logro es gracias a ellos y para ellos. A mis amigos por haber sido mi compañía durante todo este proceso de aprendizaje. A la Universidad del Cauca, por abrirme sus puertas y permitirme concluir el sueño de ser Ingeniera. A mi compañero de tesis Alexis, por todo su esfuerzo, dedicación y paciencia. Gracias al Magister y director de trabajo de grado Francisco Franco Obando, por haberme transmitido tanto conocimiento, por sus aportes, exigencia y compromiso a lo largo de mi formación como profesional y en el desarrollo de esta investigación.

Mariana Rendón Leal

Alguien me enseñó de la forma más simple y sencilla, que la riqueza más grande de una persona se halla en su humildad, hoy es momento de dar gracias por eso. A los 4 pilares fundamentales de mi vida, mis padres, mi hermano, mi esposa y mi hija, quienes por su fe y su confianza en mí hacen posible este logro. A mi compañera Mariana Rendón Leal coautora de este trabajo, por su gran y valiosa dedicación. Finalmente a nuestro director el magister Francisco Franco Obando Díaz por sus aportes, su enseñanza y sus conocimientos.

Eyvar Alexis Pitto Cordoba

Contenido

Lista de figuras	3
Lista de tablas	3
1. Zonas no interconectadas	1
1.1. Caracterización de las ZNI	1
1.2. Zona Pacífico Sur	4
1.2.1. Prestación del servicio eléctrico	4
1.2.2. Proyectos FNCER	6
2. Estudio eléctrico	10
2.1. Caracterización de la zona objeto de estudio	10
2.1.1. Ubicación	10
2.1.2. Clima	11
2.1.3. Hidrología	12
2.1.4. Economía	12
2.1.5. Transporte	13
2.1.6. Energía eléctrica	13
2.1.7. Conectividad	14
2.1.8. Demografía	14
2.2. Potencial de fuentes renovables en la zona objeto de estudio	14
2.2.1. Energía geotérmica	14
2.2.2. Energía solar	17
2.2.3. Energía hidráulica	20
2.2.4. Energía eólica	23
2.2.5. Energía biomasa	26
2.3. Marco normativo de las fuentes de energía renovable	28
2.4. Perfil de carga, zona objeto de estudio	29
3. Sistemas eléctricos de generación para el resguardo Nueva Bellavista	34
3.1. Simulación equivalente de red	35
3.2. Generación con sistemas fotovoltaicos	37

3.2.1.	Elección componentes principales del sistema fotovoltaico	37
3.3.	Generación hidroeléctrica	45
3.3.1.	Estimación potencial energético	45
3.3.2.	Elección componentes principales del sistema hidroeléctrico	46
3.4.	Generación con grupo electrógeno	50
3.4.1.	Elección componentes principales del sistema de respaldo	50
3.5.	Evaluación de alternativas	54
4.	Auto-sostenibilidad del sistema de generación	63
4.1.	Dimensión social	64
4.1.1.	Plan de información y participación comunitaria	64
4.2.	Dimensión Tecnológica	65
4.2.1.	Plan de capacitación en mantenimiento y uso eficiente de la energía	65
4.3.	Dimensión Ambiental	66
4.3.1.	Plan de manejo para protección ambiental	66
4.4.	Dimensión Económica	67
5.	Conclusiones y trabajos futuros	69
5.1.	Conclusiones	69
5.2.	Trabajos futuros	70

Lista de figuras

1.1.	Categorización de las ZNI, tomado de: [16]	2
1.2.	Distribución de suscriptores por zonas, elaboración propia	3
1.3.	Diagramas generales de sistemas de generación, tomado de: [24]	5
1.4.	Implementación de proyectos zona pacífico sur, elaboración propia	8
2.1.	Plano comunidad Nueva Bellavista, fuente: Agencia Nacional de tierras	10
2.2.	Localización del proyecto, fuente: Electroenergizar Ingeniería LTDA	11
2.3.	Planta de generación Nueva Bellavista, fotografía: Secretario Resguardo	13
2.4.	Recursos geotérmicos en Colombia, tomado de: [31]	15
2.5.	Atlas de radiación solar, fuente: [41]	18
2.6.	Río Guapi visto desde la Comunidad Nueva Bellavista, fotografía: Secretario Resguardo	20
2.7.	Atlas de cuencas hidrográficas, fuente: [48]	21
2.8.	Atlas de viento, promedio multianual, fuente: [54]	24
2.9.	Transformaciones energéticas de la biomasa, tomado de: [57]	26
2.10.	Distribución porcentual de cargas, elaboración propia	32
2.11.	Distribución geográfica de las cargas, elaboración propia	32
2.12.	Localización Nueva Bellavista, fuente: Google maps	33
3.1.	Simulación de red radial en baja tensión, (Simulador Etap V.16)	36
3.2.	Informe de cargas, (Simulador Etap V.16)	36
3.3.	Diagrama unifilar sistema fotovoltaico para una vivienda Grupo 1	38
3.4.	Diagrama unifilar sistema fotovoltaico Grupo 2	39
3.5.	Diagrama unifilar sistema fotovoltaico Grupo 3	39
3.6.	Simulación sistemas fotovoltaicos propuestos,(Simulador Etap V.16)	41
3.7.	Comportamiento del sistema solar fotovoltaico-Grupo 1 ante variación de la irradiancia, elaboración propia	42
3.8.	Comportamiento del sistema solar fotovoltaico-Grupo 2 ante variación de la irradiancia, elaboración propia	43
3.9.	Comportamiento del sistema solar fotovoltaico -Grupo 3 ante variación de la irradiancia, elaboración propia	44

3.10. Calculo de potencia de turbinas a diferentes saltos de agua, fuente: [65] . . .	46
3.11. Diagrama para selección de turbina, fuente: Proveedor	46
3.12. Turbina y panel de control Hydro Regen, fuente: Proveedor	47
3.13. Simulación sistema con microturbina propuesto, (Simulador Etap V.16) . .	48
3.14. Comportamiento del sistema con microturbina ante variación del caudal, elaboración propia	50
3.15. Planta Caterpillar, fuente: Proveedor	51
3.16. Proyección por escenarios del diesel, fuente: [68]	52
3.17. Esquema general sistema automático de transferencia, elaboración propia .	53
3.18. Simulación sistema de respaldo propuesto, (Simulador Etap V.16)	54
3.19. Contrucción de jerarquía, elaboración propia	56
4.1. Esquema para un sistema de generación auto-sostenible, elaboración propia	63
I. Respuesta solicitud información telemetría, fuente: IPSE	77
II. Respuesta solicitud información potencial geotérmico, fuente: SGC	78
III. Respuesta solicitud información estaciones de medición, fuente: IDEAM . .	79
IV. Cotización planta diesel, Pag. 1, fuente: Proveedor	86
V. Cotización planta diesel, Pag. 2, fuente: Proveedor	87
VI. Cotización planta diesel, Pag. 3, fuente: Proveedor	88
VII. Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de los subcriterios, elaboración propia	90
VIII. Vector MIxVP y vector (MIxVP)/VP, elaboración propia	91
IX. Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de las alternativas respecto a los criterios económicos, elaboración propia . . .	92
X. Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de las alternativas respecto a los criterios socio-políticos, elaboración propia .	92
XI. Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de las alternativas respecto a los criterios ambientales, elaboración propia . . .	92
XII. Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de las alternativas respecto a los criterios técnicos, elaboración propia	92
XIII. Ponderación final alternativas, elaboración propia	93

Lista de tablas

1.1. Zonas no interconectadas, elaboración propia	2
1.2. Caracterización general de las ZNI, fuente:[16]	3
1.3. Prestación del servicio, ZNI con telemetría, 2020 Pacífico Sur, elaboración propia	4
1.4. Prestación del servicio, ZNI sin telemetría, Abril 2020 Pacífico Sur, elaboración propia	5
1.5. Proyectos FNCER, PERS, fuente:[16]	6
1.6. Proyectos FNCER, IPSE, fuente:[16]	6
1.7. Proyectos FNCER, CCEP, fuente:[16]	7
1.8. Proyectos FNCER, PFP, fuente:[16]	7
2.1. Características de la energía geotérmica, elaboración propia	16
2.2. Características de la energía solar, elaboración propia	19
2.3. Características de la energía hidráulica, elaboración propia	22
2.4. Características de la energía eólica, elaboración propia	25
2.5. Características de la energía biomasa, elaboración propia	27
2.6. Normatividad fuentes de energía renovable, tomado de:[64]	28
2.7. Usuarios por vivienda, elaboración propia	29
2.8. Resultados de la encuesta, elaboración propia	30
2.9. Cuadro de cargas para el Grupo 1-Vivienda, elaboración propia	31
2.10. Cuadro de cargas para el Grupo 2-Escuela, elaboración propia	31
2.11. Cuadro de cargas para el Grupo 3-Cabaña, elaboración propia	31
2.12. Distancia entre cargas, elaboración propia	33
3.1. Potencia activa y reactiva del sistema solar fotovoltaico-Grupo 1, ante variación de la irradiancia, elaboración propia	42
3.2. Potencia activa y reactiva del sistema solar fotovoltaico-Grupo 2, ante variación de la irradiancia, elaboración propia	43
3.3. Potencia activa y reactiva del sistema solar fotovoltaico-Grupo 3, ante variación de la irradiancia, elaboración propia	44
3.4. Caudal medio mensual 2018, Estación Sangaral Guapi, fuente: IDEAM	45

3.5.	Costos sistema hidroeléctrico, fuente:[66]	47
3.6.	Potencia activa y reactiva del sistema con microturbina ante variación del caudal, elaboración propia	49
3.7.	Escalas de comparación, fuente:	55
3.8.	Valoración subcriterios fuente:[70]	57
3.9.	Matriz de comparación, elaboración propia	58
3.10.	Vector de prioridades para subcriterios, elaboración propia	58
3.11.	Costo de mantenimiento del sistema fotovoltaico, elaboración propia	59
3.12.	Costo de mantenimiento del sistema hidroeléctrico, elaboración propia	60
3.13.	Costo de mantenimiento del la red de respaldo, elaboración propia	60
3.14.	Vector prioridad de alternativas, elaboración propia	62
4.1.	Costo total de mantenimiento y operación sistema de generación, elaboración propia	67
I.	Especificaciones SFV Grupo 1-Vivienda, elaboración propia	80
II.	Cotización SFV Grupo 1-Vivienda, fuente: Proveedor	81
III.	Especificaciones SFV Grupo 2-Escuela, elaboración propia	82
IV.	Cotización SFV Grupo 2-Escuela, fuente: Proveedor	83
V.	Especificaciones SFV Grupo 3-Cabaña, elaboración propia	84
VI.	Cotización SFV Grupo 3-Cabaña, fuente: Proveedor	85
VII.	Irradiancia mes de Noviembre del 2020, comunidad Nueva Bellavista, elaboración propia	89

Resumen

El presente documento describe una solución tecnológica de generación y suministro eléctrico, para la comunidad Nueva Bella Vista ubicada en el Municipio de Guapi Cauca. Esta región, actualmente, se encuentra energéticamente aislada del resto del territorio nacional y sus características geográficas han impedido la conexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN). La investigación se centra, en primer lugar, en la determinación de la disponibilidad de fuentes no convencionales de energía renovable en la zona objeto de estudio y, posteriormente, se analizarán las tecnologías de generación asociadas a dichos recursos. La alternativa seleccionada fue elegida mediante evaluación de criterios y, para la propuesta, se definieron planes de manejo que abordan la dimensión social, ambiental, tecnológica y económica, garantizando que el sistema de generación sea autosostenible por la propia comunidad. Del trabajo, se concluye que el sistema hidroeléctrico, con micro-turbina, respaldado con planta diesel, es la tecnología de generación idónea para suplir la demanda eléctrica de la comunidad.

Planteamiento del problema

Colombia es uno de los países más diversos del mundo. La amplitud del territorio, la variedad de climas y altitudes, dificulta el acceso a muchas zonas [1]. Además, dichas características geográficas y topográficas impiden el suministro de energía eléctrica debido a la poca viabilidad de conexión al sistema interconectado nacional por el alto costo de instalación o bien la baja demanda [2]. Las zonas no interconectadas ZNI corresponden el 52 % del territorio nacional, donde el 79 % de la población es rural y, en total, son 17 departamentos, 5 capitales, 39 cabeceras y 112 municipios [3]. La ley de servicios públicos domiciliarios (Ley 142 de 1994) establece que el acceso a la energía eléctrica es un derecho fundamental [4], por cuanto es indispensable para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios, la prestación de este servicio a su vez, provee otros como la iluminación, el transporte, el acceso a la información, la refrigeración y la preparación de alimentos, dichas actividades son primordiales para promover el desarrollo económico y el bienestar social de la comunidad [5]. De acuerdo con los datos publicados por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas IPSE, para el año 2019 se cuantificaron a 1.710 localidades rurales en Colombia en donde se calcula que 128.587 personas solo acceden al servicio entre cuatro y doce horas al día, las zonas con menos acceso coinciden con aquellas regiones en donde se presentan los mayores índices de pobreza y de desigualdad. [6].

Una de estas zonas es el municipio de Guapi. Su difícil accesibilidad ha generado un déficit en el desarrollo socioeconómico y por ende un impacto en el bienestar social de estas comunidades, ocasionando problemáticas sociales, ambientales, culturales y económicas. Los resultados de desempeño fiscal publicados por el departamento de planeación nacional DPN, muestra que para el año 2017, de los 1101 municipios evaluados, Guapi ocupó el puesto 908 a nivel nacional, siendo clasificado en el rango de los municipios más vulnerables del País [7]. En cuanto a los servicios públicos, la empresa ENERGUAPI S.A es la encargada de suministrar la energía eléctrica en algunas zonas rurales durante 18 horas diarias aproximadamente, mediante el uso de plantas de generación diesel. En este sector, la asistencia se brinda de forma subsidiada y el funcionamiento se encuentra a cargo de los mismos habitantes de la localidad [8]. La prestación del servicio es deficiente ya que no cumple los principios que rigen a las actividades relacionadas con el sector eléctrico, como la eficiencia, la continuidad y la adaptabilidad [9].

Son diversos los motivos que impiden la electrificación total del municipio de Guapi. Mediante la extensión de redes eléctricas, por ejemplo, el difícil acceso para transporte y suministro de servicios técnicos y de mantenimiento o la falta de vías y la ausencia de personal calificado a nivel local para atender los requerimientos que demanda la prestación del servicio [10]. Por consiguiente, es importante articular mecanismos y estrategias para la ejecución de proyectos que permitan abordar esta problemática de manera integral y asegure la sostenibilidad de la solución mediante la inclusión de la comunidad [11]. En este escenario, es preciso considerar procesos alternativos para la electrificación de zonas

aisladas, aplicando tecnologías que posibiliten el uso de fuentes de energías renovables y que puedan constituirse en una opción frente a las fósiles [12], con el fin de enfrentar el agotamiento de las reservas de combustible, el deterioro de los ecosistemas y complementar el sistema energético del municipio [13].

El proyecto *“Kinisia awarara ome ka’wadait’e [Aprendiendo a compartir conocimientos]: desarrollo del ecoturismo a través del fortalecimiento de las capacidades organizativas, socio empresariales y tecnológicas en el municipio de Guapi, Departamento del Cauca”*, financiado por la unión europea, busca caracterizar los recursos naturales y humanos disponibles y valorar su aprovechamiento para el desarrollo de actividades ecoturísticas, que permitan contribuir en el aumento de ofertas laborales en la cadena de valor; que integre una perspectiva interdisciplinaria y participativa, sugerida para lograr el objetivo desde las competencias y experiencias de los investigadores de ocho grupos adscritos a la Universidad del Cauca. Existirá una fundación dedicada al tema ambiental y a la participación activa de dos organizaciones locales del municipio: Asociación Nueva Bellavista [área rural], y siapidara kinisia [área urbana]. Para ello, se propuso, aparte del componente administrativo y legal, tres componentes centrales: (i) Componente socio económico, turismo, arquitectónico, Diseño Gráfico y comunicacional; (ii) Componente ingenieril y (iii) Componente Ambiental. En el componente (ii), se pretende mejorar las condiciones de infraestructura para recibir turista; en este componente, actúan los equipos de Ingeniería en Automática Industrial y en Ingeniería Ambiental, para suministrar energía eléctrica y saneamiento básico en todo el poblado. El equipo de Telecomunicaciones, garantizará la conectividad y el equipo de Ingeniería de Sistemas, garantizará el desarrollo del portal y los aplicativos para la gestión de la actividad turística.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, este trabajo busca identificar una solución tecnológica con la implementación de un sistema eléctrico renovable para abastecer la demanda de 22 viviendas (17 familiares, 3 de turismo y 2 comunitarias), ubicadas en la comunidad Nueva Bella Vista, en el marco del proyecto antes mencionado y contribuir en la solución de la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles deben ser las características de un sistema de energización eléctrica, para 22 viviendas ubicadas en una zona rural del municipio de Guapi?

Objetivos

▪ Objetivo general

Definir una solución tecnológica adecuada para generación y suministro eléctrico utilizando fuentes renovables, que permita implementación de un sistema de iluminación de 22 viviendas, distribuidas así: 17 familiares, 2 comunitarias y 3 de turismo, ubicadas en la comunidad Nueva Bella Vista, municipio de Guapi, departamento del Cauca.

▪ **Objetivos específicos**

- Identificar los requerimientos técnicos y operativos de la demanda energética de la zona Nueva Bella Vista.
- Evaluar el desempeño de las soluciones tecnológicas aplicables mediante simulación y aspectos económicos.
- Estructurar para la solución aplicable un plan de instalación, mantenimiento y operación sostenible por la propia comunidad.

Zonas no interconectadas

En este capítulo se muestra el diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica en las zonas no interconectadas (ZNI) de Colombia, en particular el estado de la zona Pacífico Sur, en donde se encuentra ubicada la localidad objeto de estudio. De igual forma se busca evidenciar las características de dicho sector, comprendiendo aspectos técnicos.

1.1. Caracterización de las ZNI

Los sistemas de distribución, transmisión y generación de energía eléctrica han sido contruidos de tal forma que puedan atender a la mayor parte de la población, llevando energía eléctrica hasta el sitio de consumo, sin embargo en la actualidad muchos lugares de Colombia se encuentran no energizados y por lo tanto la prestación del servicio en varios casos se realiza en la misma zona, utilizando diversas fuentes de energía convencionales y no convencionales. Las características naturales de estos territorios limitan la construcción de infraestructura energética que brinde un servicio confiable, constante y de calidad a toda la comunidad [14]. La prestación del servicio de energía eléctrica en ZNI aun presentando limitaciones en materia de sostenibilidad técnica, económica, social y ambiental, continúa dentro de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) aplicado a ZNI [15]. Los objetivos en cuestión contemplan arquitecturas y soluciones energéticas que garanticen para el año 2030 alcanzar un 100 % de cobertura y un incremento en los sistemas de energía renovable en un 3 % respecto al año 2018 . En este sentido, la Dirección Técnica de Gestión de Energía de la Superintendencia Delegada para Energía y Gas Combustible de la SSPD (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios), presenta en [16], el diagnóstico de la prestación de energía eléctrica en ZNI-2019 cuyo propósito es puntualizar acerca del estado de la prestación del servicio de energía eléctrica, la evaluación del estado se realizó agrupando departamentos por zonas, como la muestra la tabla 1.1

Zona	Departamento
ASE	ASE de San Andrés, Providencia y Santa Catalina; ASE de Amazonas
Pacífico Norte	Antioquia y Chocó
Pacífico Sur	Valle del Cauca, Cauca y Nariño
Orinoquía	Casanare, Meta, Vichada y Guainía
Amazonía	Caquetá, Putumayo, Guaviare y Vaupés
Norte	Bolívar

Tabla 1.1: Zonas no interconectadas, elaboración propia

En la figura 1.2 se observa la ubicación geográfica sobre el territorio nacional de las zonas categorizadas.



Figura 1.1: Categorización de las ZNI, tomado de: [16]

De acuerdo con el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas IPSE, estas zonas equivalen al 52 % del territorio nacional con más de 192.956 suscriptores y con una capacidad instalada de fuentes no convencionales de energía renovable de 9,67 MW, este valor hace parte de la capacidad operativa total [17]. En la tabla 1.2 se evidencia que para el corte 28 de febrero de 2019, se encontraban inscritos en el Registro Único de Prestadores de Servicios Públicos RUPS 107 empresas, de

las cuales 76 contaban con localidades codificadas, es decir, cerca de 192.956 suscriptores ubicados en 74 municipios.

Concepto	Valor
Porcentaje del Territorio Nacional	52 %
Municipios	74
Cabeceras y localidades objetivo	48
Localidades codificadas	1.847
Suscriptores	192.956
Prestadores con localidades codificadas	76
Capacidad operativa	241 MW
Capacidad operativa fuentes renovables	9,67 MW

Tabla 1.2: Caracterización general de las ZNI, fuente:[16]

Del total de suscriptores (192.956), el 64% se encuentran ubicados en localidades tipo 2 (Entre 151 y 300 usuarios), 3 (Entre 51 y 150 usuarios) y 4 (Centros poblados con menos de 50 usuarios); la población restante se encuentra en zonas tipo 1, clasificación realizada según la Resolución MME 181272 de 2011 del Ministerio de Minas y Energía [18]. Como se puede evidenciar en el gráfico 1.2, la zona pacífico sur que cubre los departamentos de Cauca, Nariño y Valle del Cauca, abarca la mayor cantidad de usuarios que carecen del servicio de interconexión eléctrica, equivale al 38,8% del total de población que hace parte de las ZNI en Colombia.

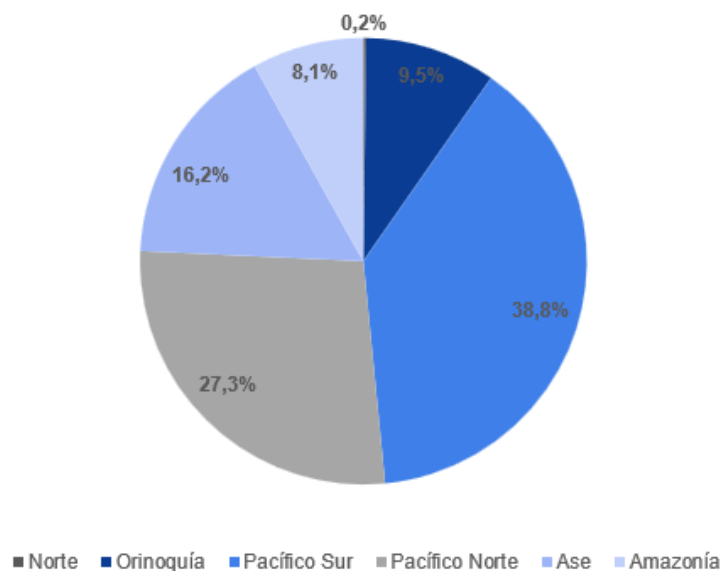


Figura 1.2: Distribución de suscriptores por zonas, elaboración propia

1.2. Zona Pacífico Sur

Debido al inicio de operación de la línea de interconexión a 115 kV desde el Cauca a Nariño, actualmente las cabeceras municipales de Santa Bárbara de Iscuandé, Mosquera, La Tola, Olaya Herrera, El Charco y Francisco Pizarro, pertenecientes al departamento de Nariño; López de Micay, Timbiquí y Guapi correspondientes al departamento del Cauca, se encuentran conectados al SIN desde el año 2018 [19], es importante aclarar que una cabecera municipal está descrita según el DANE como “El área geográfica que está definida por un perímetro urbano, cuyos límites se establecen por acuerdos del Concejo Municipal, corresponde al lugar en donde se ubica la sede administrativa de un municipio” [20], esto quiere decir que a pesar de que la cabecera municipal se encuentre interconectada, muchas de las localidades y corregimientos que hacen parte de los municipios aún se encuentran sin este servicio. Los municipios pertenecientes a esta zona se caracterizan por acceder al servicio de energía eléctrica entre 4,39 y 7,02 horas diarias, a pesar de que las políticas energéticas han estado encaminadas a prestar un servicio cercano a las 24 horas diarias, actualmente esta cifra es muy lejana al valor objetivo.

1.2.1. Prestación del servicio eléctrico

El seguimiento a la prestación del servicio de energía eléctrica en ZNI, es realizado por el Centro Nacional de Monitoreo CNM del IPSE, mediante el uso de tecnologías de medición remota (Telemetría), solo 150 localidades cuentan con este sistema. El Contact Center es el encargado de desarrollar esta tarea para las localidades sin telemetría, a partir de diversos canales de comunicación como llamadas telefónicas, correos electrónicos, entre otros [21]. En la zona pacífico sur 38 localidades cuentan con medición remota de datos, para los meses de enero, febrero, marzo y abril del presente año, en promedio se prestaron 5,67 horas diarias del servicio de energía eléctrica [22]; siendo el departamento del Cauca, la población que contó con el servicio durante menos tiempo como se ve en la tabla 1.3.

Departamento	Localidades	Usuarios	Horas promedio diarias
Cauca	15	3885	4,39
Valle del Cauca	2	646	7,02
Nariño	21	5582	5,62

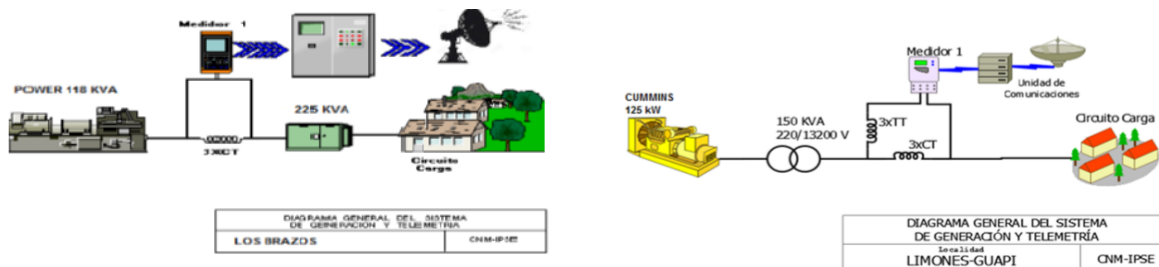
Tabla 1.3: Prestación del servicio, ZNI con telemetría, 2020 Pacífico Sur, elaboración propia

Para los lugares sin telemetría solo se realizó seguimiento en el mes de abril del año 2020, teniendo en cuenta que para el primer trimestre no se contaba con contrato de Contact Center según la comunicación suministrada por el IPSE, de acuerdo al informe [23] para el mes en mención, 644 localidades tuvieron el servicio durante 5 horas diarias aproximadamente, 28 no tuvieron suministro de energía eléctrica y no fue posible obtener información de 229 localidades.

Departamento	Servicio 5 hrs. diarias promedio	Sin servicio	Sin información	Total localidades
Cauca	99	10	67	176
Valle del Cauca	32	0	67	99
Nariño	513	18	95	626

Tabla 1.4: Prestación del servicio, ZNI sin telemetría, Abril 2020 Pacífico Sur, elaboración propia

La principal razón por la cual varias localidades no contaron con el servicio de energía eléctrica obedece a la falta de combustible para el funcionamiento del sistema de suministro, en ocasiones la comunidad con fondos propios ha proporcionado este recurso para generar energía, otra razón que ocasiona este problema son los daños en los grupos electrógenos [24]. De forma usual las unidades de generación de las zonas que tienen telemetría están conformadas como lo muestra la figura 1.3, en 1.3a se puede ver una central de generación conformada por un generador, un transformador y un medidor que hace parte del sistema de adquisición y transmisión de datos, en la imagen 1.3b se tiene un esquema similar. Para las zonas que no poseen telemetría, las centrales funcionan con una configuración semejante, a excepción de que en estos casos no hay dispositivos que realicen la medición de variables.



(a) Los brazos, Timbiquí Cauca

(b) Limones, Guapi Cauca

Figura 1.3: Diagramas generales de sistemas de generación, tomado de: [24]

La evaluación y el análisis de esta información permite tener un criterio y una base sostenible para determinar el estado actual de la calidad en la prestación del servicio eléctrico en ZNI, dando a relucir que si bien es cierto, existe un crecimiento en la ampliación de cobertura del SIN, se identifican zonas que se encuentran aún sin este servicio, es por ello que se han estructurado proyectos con fuentes no convencionales de energías renovables (FN-CER) para suplir la necesidad de electrificación. En consecuencia, se presenta a continuación planes, programas y proyectos que se vienen desarrollando en las ZNI del Pacífico sur, bajo la arquitectura de las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables FN-CER, con el objetivo de mitigar la falta de conectividad eléctrica en esta zona y aportar al

cumplimiento de los objetivos del Plan Energético Nacional, los cuales están encaminados a satisfacer la demanda energética del país [25].

1.2.2. Proyectos FNCER

Planes de energización rural sostenible, PERS:

Son planes estructurados que parten del análisis de factores como el emprendimiento, productividad y energización rural, este estudio posibilita la formulación de estrategias para el desarrollo de proyectos energéticos integrales y sostenibles [26]. Para la vigencia 2018 no se implementaron proyectos de FNCER por esta iniciativa, algunos de ellos se encuentran en fase de preinversión, prefactibilidad y factibilidad. En el año 2015 se desarrollaron 3 proyectos de sistemas fotovoltaicos individuales y sociales, financiados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) entre otros.

Fuentes de financiación	Tipo de proyecto	Cantidad de proyectos zona pacífico sur
UPME-IPSE-CCEP-UDENAR	Sistemas fotovoltaicos individuales y sociales	3
	Total	3

Tabla 1.5: Proyectos FNCER, PERS, fuente:[16]

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para zonas no interconectadas, IPSE:

Entre el año 2014 y 2017, el IPSE implementó un total de 342 proyectos a nivel nacional, de los cuales 7 fueron desarrollados en la zona pacífico sur, es decir menos del 2.1 %. Los proyectos se realizaron bajo la infraestructura de sistemas fotovoltaicos como se indica en la tabla 1.6.

Fuentes de financiación	Tipo de proyecto	Cantidad de proyectos zona pacífico sur
IPSE	Sistemas fotovoltaicos individuales-residenciales	7
	Total	7

Tabla 1.6: Proyectos FNCER, IPSE, fuente:[16]

Programa de energía limpia para Colombia, CCEP:

La agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional USAID, desarrolló el programa CCEP para ampliar el uso de las energías renovables y mejorar las actividades energéticas en Colombia. Antes de que este plan finalizara en el año 2017, pudo desarrollar 3 proyectos que beneficiaron al sector productivo y residencial mediante sistemas solares híbridos y fotovoltaicos, ilustrados en la tabla 1.7.

Fuentes de financiación	Tipo de proyecto	Cantidad de proyectos zona pacífico sur
CCEP-Otros	Sistemas híbridos solar-diésel-batería	1
CCEP-MRE	Sistemas fotovoltaicos para infraestructura residencial	1
CCEP-MRE	Sistemas fotovoltaicos para infraestructura social y productiva	1
	Total	3

Tabla 1.7: Proyectos FNCER, CCEP, fuente:[16]

Plan fronteras para la prosperidad, PFP:

EL PFP es un programa del Ministerio de Relaciones exteriores de Colombia que busca implementar proyectos principalmente en zonas aisladas, con el fin de contribuir al desarrollo de estos territorios. Durante el periodo 2013-2017 se llevaron a cabo 7 proyectos (ver tabla 1.8) de sistemas fotovoltaicos para infraestructura social.

Fuentes de financiación	Tipo de proyecto	Cantidad de proyectos zona pacífico sur
MRE, IPSE, USAID-Otros	Sistemas fotovoltaicos para infraestructura social	7
	Total	7

Tabla 1.8: Proyectos FNCER, PFP, fuente:[16]

De los 544 proyectos realizados a nivel nacional para ZNI, 20 de ellos fueron desarrollados en la zona Pacífico Sur como se indica en el grafico 1.4, aunque es una taza

considerablemente baja en relación a la cantidad de obras desarrolladas y al año de ejecución de las mismas, se encuentran en estudio de viabilidad proyectos ejecutados por planes como: Todos Somos Pazcífico y el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía FENOGE.

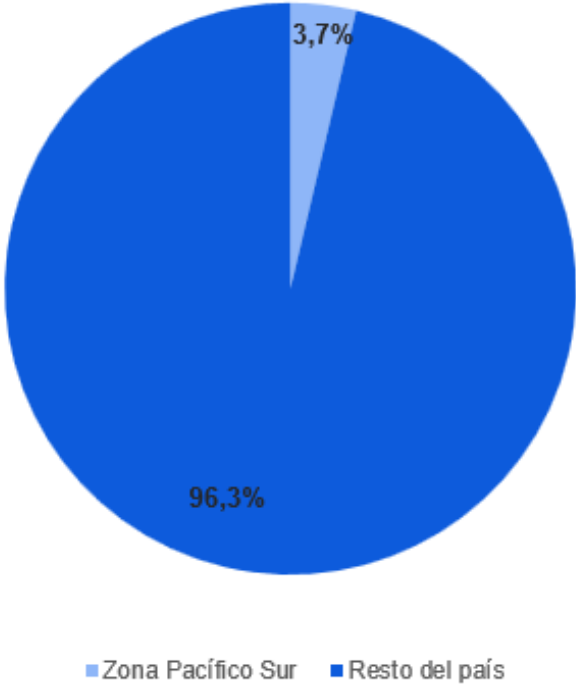


Figura 1.4: Implementación de proyectos zona pacífico sur, elaboración propia

De acuerdo a la evaluación y el monitoreo de estos proyectos, el IPSE adelanta investigaciones y estudios que permitan mediante el Centro Nacional de Monitoreo (CNM), el cual cuenta con estaciones de monitoreo de medición de potenciales eólico y solar en ZNI, realizar un diagnóstico óptimo de las necesidades y los recursos energéticos disponibles de cada región con el objetivo de generar soluciones tecnológicas autosostenibles y apropiadas a las necesidades de la zona. El Ministerio de Minas y Energía esta avanzando en garantizar la viabilidad de los proyectos FNCER, ya que se han presentado algunos a través de mecanismos como Todos Somos Pazcífico durante el año 2018, los cuales no se han aprobado por falencias en esta etapa. También la auditoria realizada al programa Luces para Aprender a dejado como enseñanza la importancia de realizar un trabajo integrado entre capacitor, ejecutor y comunidad beneficiada, antes durante y después de la ejecución del proyecto, para garantizar su adecuado funcionamiento. En algunas localidades de la zona pacífico sur, se presentan promedios de horarios de suministro energético muy alejados a las 24 horas, por lo tanto es necesario que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios enfoque sus esfuerzos en vigilar y controlar la calidad y continuidad del servicio ya que es evidente la situación crítica en la que se encuentra esta región [16].

Colombia ha definido el objetivo de apropiarse un modelo energético limpio basado en fuentes renovables, pero su participación en las FNCER con respecto a otros países del mundo ha sido bajo, uno de los motivos es la falta de personal capacitado para instalación y mantenimiento de las diferentes tecnologías, esta situación puede constituirse en una barrera para lograr el rápido desarrollo de estas iniciativas, adicionalmente la UPME ha implementado estrategias para medir el potencial de generación en diversas regiones, pero aún faltan muchos datos confiables con mediciones adecuadas en las ZNI, que faciliten formular estudios de factibilidad y planeación, con el fin de proponer proyectos con un menor grado de incertidumbre.

Las FNCER en Colombia no son lo suficientemente conocidas, lo que aumenta la percepción de riesgo por parte de las entidades financieras, sin apoyo económico difícilmente se pueden desarrollar este tipo de planes [27]. De la anterior información se puede destacar la importancia de efectuar análisis detallados de la zona, en donde se abarque la mayor cantidad de factores que puedan llegar a impactar el éxito del proyecto, es por ello que en el siguiente capítulo se realizará un estudio eléctrico donde se analizaran variables relevantes, las cuales serán un insumo para la evaluación y posterior elección de la tecnología de generación más adecuada.

Estudio eléctrico

En este apartado se especificaran las características, sociales y económicas de la comunidad Nueva Bellavista, además de conocer su potencial energético renovable, normatividad vigente relacionada con las FNCER y demanda energética actual.

2.1. Caracterización de la zona objeto de estudio

2.1.1. Ubicación

La comunidad Nueva Bellavista es un resguardo del pueblo indígena Eperera Siapidara constituido mediante el acuerdo 374 de 2015, localizado en el municipio de Guapi departamento del Cauca, en la imagen 2.1 se puede observar el plano de la comunidad, realizado en el año 2012 por el INCODER y suministrado por la Agencia Nacional de Tierras. Para llegar a la comunidad se parte de la cabecera del municipio, vía fluvial por el río Guapi, la extensión del área es de aproximadamente 42 hectáreas $5000 m^2$.

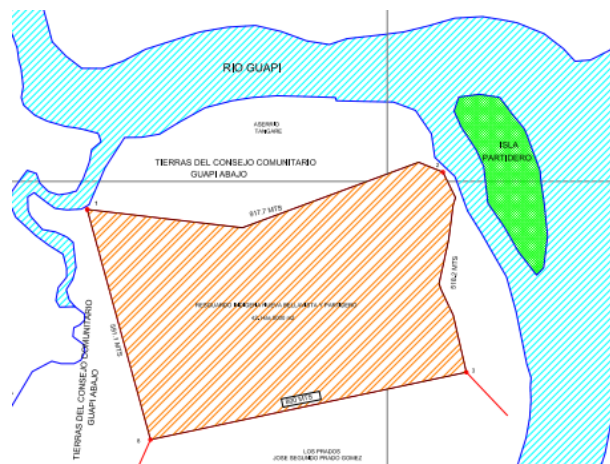


Figura 2.1: Plano comunidad Nueva Bellavista, fuente: Agencia Nacional de tierras

El municipio de Guapi se encuentra ubicado al sur occidente del departamento del Cauca (Ver imagen 2.2), en el litoral pacífico colombiano, la cabecera municipal está ubicada a los $2^{\circ} 34'$ de latitud Norte y a los $75^{\circ} 54'$ de longitud occidental; tiene una superficie de 2.688 km^2 , limita al norte con el océano pacífico y con el municipio de Timbiquí, al oriente con los municipios de Timbiquí y Argelia, al occidente con el océano Pacífico y al sur con el municipio de Santa Bárbara de Iscuandé Nariño [28].

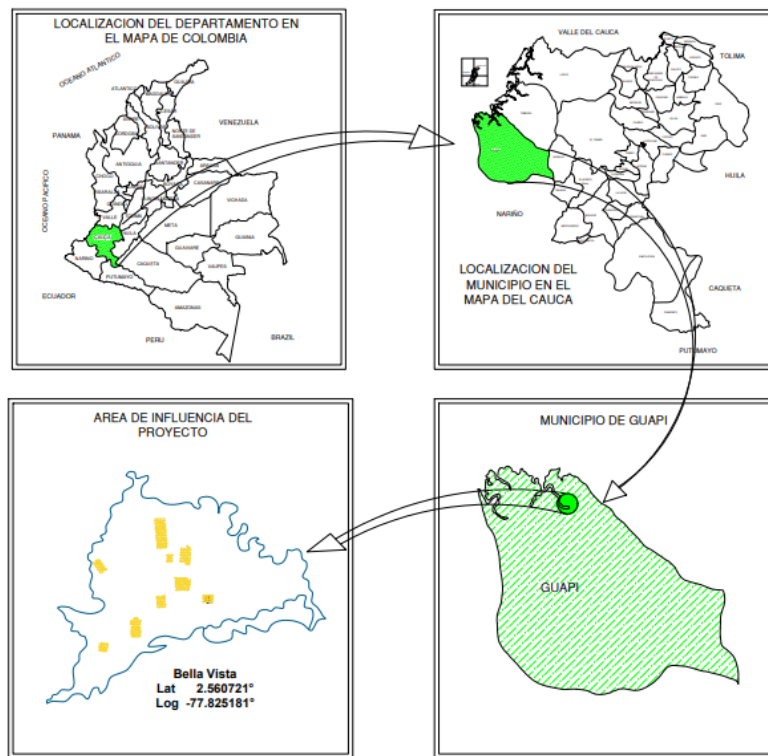


Figura 2.2: Localización del proyecto, fuente: Electroenergizar Ingeniería LTDA

2.1.2. Clima

En el municipio de Guapi donde se ubica la comunidad indígena del cabildo Nueva Bellavista, se presenta un clima cálido muy húmedo, con precipitación elevada, esta unidad climática ubicada principalmente al occidente del departamento se caracteriza por tener una altitud inferior a 1.000 m.s.n.m, temperatura Media Anual entre $25,8^{\circ}\text{C}$ y 27°C . En la zona llueve un promedio de 250 días al año, con épocas de días consecutivos sin lluvia. El municipio de Guapi hace parte de la zona de convergencia intertropical o zona de baja presión atmosférica, presenta un alto porcentaje de humedad e inestabilidad en el aire, lo que genera la abundancia de precipitación y alta nubosidad, se destaca la circulación de vientos portadores de gran cantidad de masas de agua, las cuales se movilizan en sentido sur-norte y norte-sur, en ciclos enero-julio-enero [29].

2.1.3. Hidrología

En la zona hacen presencia las subcuencas de los ríos Guajuí y Guapí, con sus respectivas afluentes, de estos ríos se derivan la mayor parte de quebradas presentes en el municipio, están intercomunicadas en su parte baja por una red de canales naturales y gran cantidad de brazos con deltas formados en sus desembocaduras. Las mareas afectan la parte baja de los ríos, esta característica permite determinar los tiempos de navegación y pesca, los guapireños definen tres fases de marea, puja (marea alta), pujita (marea media) y quiebra (marea baja); para las partes altas de las quebradas la navegabilidad depende de los aguaceros. Las principales subcuencas hídricas son los ríos Guapí, Guajuí y Limones, los cuales reciben quebradas como La Encarnación, El Atajo, Temuey, Caricia, Buenavista, Guare, La Trina, Chontaduro, Aguacatico, Mojarrera, Ceiba, Bandera, La Agustina y Guayacán. Algunas de estas fuentes hídricas se han visto afectadas por la contaminación ocasionada a causa del inadecuado manejo de vertimiento de residuos generados en viviendas, pequeñas industrias, sector minero, embarcaciones y en la producción de cultivos ilícitos y lícitos [29].

2.1.4. Economía

Las actividades productivas desarrolladas en este municipio están relacionadas con el sector terciario con un 54,4 % de participación, seguido de las actividades primarias con el 38,8 % y por último las actividades secundarias con el 6,9 %, se destaca la agricultura, la minería artesanal, la explotación forestal, pesca fluvial y marítima. La falta de tecnificación limita el aumento de los rendimientos generados por cultivos tradicionales y obliga a los pequeños productores a comercializar sus cosechas a bajos precios. Por otro lado, la pesca es una de las actividades base de la economía local, en virtud de la extensa variedad de peces, moluscos y crustáceos, las poblaciones ubicadas en las riberas de los ríos generalmente están vinculadas con esta ocupación; el sector presenta varias falencias como la falta de organización, el elevado costo de los combustibles utilizados para los motores que impulsan las lanchas pesqueras, los altos costos de producción y la escasez de cuartos fríos para almacenamiento.

En las partes altas y medias de los ríos, la minería ocupa una posición importante, especialmente en la explotación de oro y platino; esta actividad realizada a lo largo de los ríos Guapí y Guaji se desarrolla con métodos como la extracción mediante minas de pozo y socavón, el baharequeo y excavación con maquinaria. La alta biodiversidad ha permitido que en los últimos años el turismo se convierta en un sector clave para la economía local y de gran potencial para la región, siendo esta actividad un objetivo estratégico del municipio de Guapí, en donde se busca impulsar el turismo con la ejecución de planes y programas de desarrollo para incluir a esta población en la oferta turística del departamento y el país [28].

2.1.5. Transporte

En el municipio de Guapi el transporte terrestre opera únicamente en la zona urbana, actualmente no hay carreteras para la comunicación intermunicipal, razón por la cual el transporte fluvial y marítimo es la principal vía para la movilidad, los lugares por donde transitan las lanchas, barcos, canoas y buques de cabotaje, no se encuentran en condiciones adecuadas por los sedimentos, material vegetal y por la deficiente infraestructura para el atraque de las embarcaciones. El transporte aéreo es el medio más rápido, este servicio es asistido por la aerolínea SATENA diariamente con un vuelo de Cali-Guapi-Cali, dos veces por semana la aerolínea no comercial TAC realiza el recorrido Popayán-Guapi-Popayán, a pesar de que se consideran constantes los vuelos el valor del pasaje es elevado [30].

2.1.6. Energía eléctrica

Como se mencionó en el capítulo 1, la cabecera del municipio de Guapi se encuentra interconectada al SIN, la administración de la interconexión está a cargo de las empresas centrales eléctricas de Nariño CEDENAR y la comercialización es responsabilidad de ENERGUAPI S.A E.S.P. En el área rural los corregimientos y veredas cuentan con el servicio de forma parcial gracias a plantas de generación eléctrica tipo diesel, sin embargo, en muchas ocasiones las comunidades se quedan sin electricidad por daños en la planta o por falta de combustible. Se realizó una solicitud ante el IPSE para conocer el estado de la prestación del servicio en la comunidad Nueva Bellavista, debido a que esta zona no se encuentra en ninguno de los informes mensuales que reporta esta institución, en respuesta, el Director General del IPSE informa que durante el mes de junio del presente año contaron con 6 horas diarias de prestación del servicio de energía en el horario de 5:00 pm a 11:00 pm y disponen de un grupo electrógeno de 12 kW marca Lister, dicha localidad no cuenta con sistemas de telemetría, razón por lo cual no es posible tener el información sobre la demanda energética (ver anexo 1), en la imagen 2.3 se puede observar el estado actual de la planta de generación [30].



(a) Motor lister

(b) Exterior planta

Figura 2.3: Planta de generación Nueva Bellavista, fotografía: Secretario Resguardo

2.1.7. Conectividad

En la actualidad el acceso a internet en el municipio de Guapi es escaso, solo un 6.4 % de las familias cuentan con este servicio, en la zona rural es prácticamente inexistente con un 0,9 % de cobertura, en el caso particular de la comunidad Nueva Bellavista según la información suministrada por el resguardo no cuentan con acceso a internet. Para las conexiones corporativas hay una disminución anual pasando de 29 conexiones en 2016 a 25 en el 2018 [30].

2.1.8. Demografía

De acuerdo con el censo 2018 realizado por el DANE , la población proyectada en el municipio de Guapi al año 2020 es de 30.042 habitantes, de este total la comunidad Nueva Bellavista representa el 0,27 % (76 pobladores). El pueblo Eperara Siapidara está constituido por 7.047 indígenas autoreconocidos en el país, de acuerdo con la Organización Nacional Indígena de Colombia, los Eperara se concentran en los departamentos del Cauca, Nariño y Valle del Cauca, el resguardo Nueva Bellavista constituye el 1,1 % del total de este pueblo indígena a nivel nacional [30].

2.2. Potencial de fuentes renovables en la zona objeto de estudio

Como se pudo evidenciar anteriormente, el municipio de Guapi donde se encuentra localizada la comunidad Nueva Bellavista, cuenta con una variedad de recursos y esta ubicado en una zona de gran potencial, es por ello que a continuación se describirán aspectos importantes de las distintas fuentes de energía renovable y la capacidad que tiene la zona para cada una de ellas.

2.2.1. Energía geotérmica

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la tierra, existen zonas con presencia de fenómenos geológicos en donde se destaca la actividad sísmica y volcánica, que favorece la reserva de calor, esta fuente de energía posee un gran potencial de aprovechamiento, tiene diversos usos en sistemas de calefacción y en generación eléctrica, la opción de aprovechamiento depende de la temperatura del recurso. La generación de energía eléctrica con plantas geotérmicas convencionales requiere recursos con mayor temperatura, típicamente valores mínimos de 180°C para que el vapor tenga la capacidad de mover las turbinas, actualmente con el desarrollo de la tecnología estos valores han disminuido al orden de los 75°C en plantas no convencionales que utilizan vapor de un fluido de menor punto de ebullición que el agua [31].

Colombia, posee valiosos recursos geotérmicos sobre la Cordillera Central como el Nevado del Ruiz, el volcán Azufraal, el Nevado de Santa Isabel entre otros, además se encuentra localizado en el cinturón de fuego del Pacífico, esta zona tiene una alta actividad volcánica y sísmica; de igual forma el país también tiene áreas donde se puede encontrar recursos geotérmicos en cuencas sedimentarias que son áreas donde existe acumulación de sedimentos en depresiones o hundimientos, debido a que visiblemente no es posible conocer la ubicación de las cuencas se deben realizar perforaciones profundas de hasta 8 km, en la imagen 2.4 se ilustran distintos volcanes, manantiales termales y cuencas presentes en el territorio nacional; sin embargo en el país aún no se genera energía eléctrica utilizando esta fuente renovable, se han realizado investigaciones de los sistemas geotérmicos en Paipa, volcán Azufraal y Nevado del Ruiz, estos estudios son encabezados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el principal reto para el desarrollo de este tipo de proyectos se deriva de los costos relacionados con la fase de exploración y el establecimiento de un marco regulatorio para la administración de este recurso [31][32], en la tabla 2.1 se describen las características generales de esta fuente.

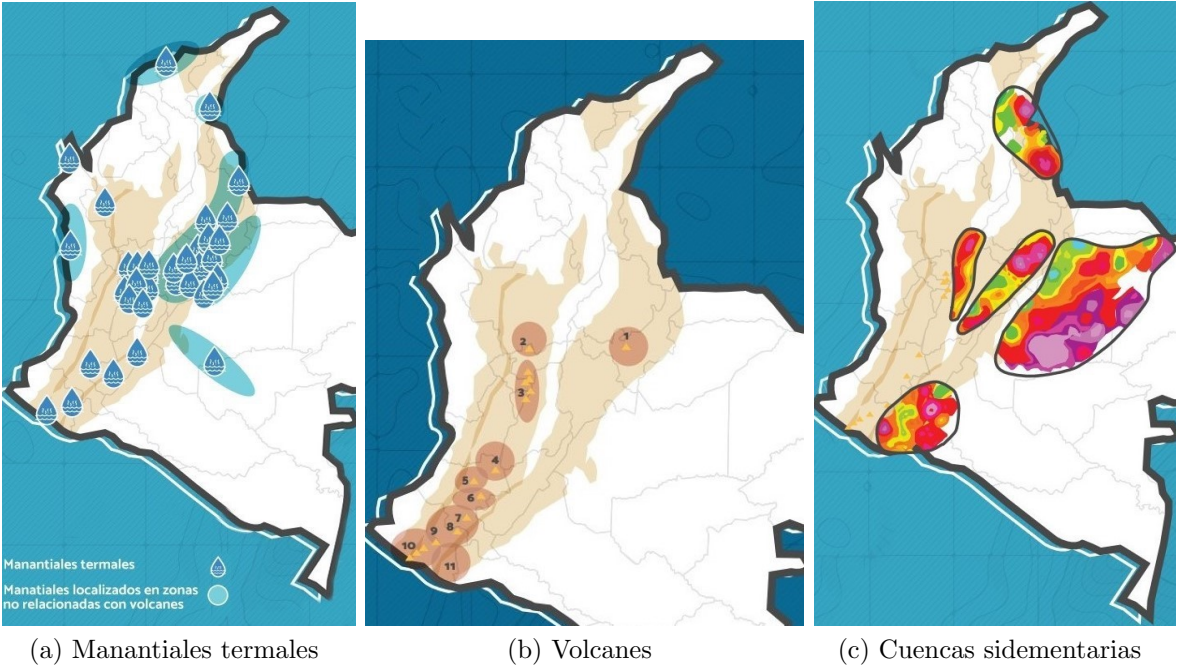


Figura 2.4: Recursos geotérmicos en Colombia, tomado de: [31]

Variable	Energía geotérmica
Potencial en la zona objeto de estudio	<p>En la imagen 2.4 se puede visualizar que en el departamento del Cauca existen cuencas sedimentarias ubicadas al sur, en el municipio de Sotará se encuentra el volcán Sotará, en el municipio de Puracé se localizan los termales de Coconuco y el volcán Puracé, en el municipio de Páez se ubica el Nevado del Huila, entre los municipios de Bolívar y Santa Rosa se encuentra el Volcán Doña Juana. En relación al municipio de Guapi, se realizó una solicitud al SGC para obtener información sobre el potencial geotérmico de la zona, ante este requerimiento, el Director de la institución manifiesta según el anexo 2, que el SGC no ha realizado ni conoce trabajo alguno sobre investigación geotérmica en la zona y que tampoco tiene referencia de manifestaciones superficiales de sistemas hidrotermales, como manantiales termales, que puedan ser indicativos de la presencia de esta fuente en Guapi. A pesar de que el Departamento del Cauca cuenta con varios recursos que pueden facilitar la generación de energía con esta fuente, hasta la fecha no se ha comprobado la existencia de potencial geotérmico en el municipio de Guapi, de las zonas nombradas anteriormente, el volcán más cercano a la comunidad Nueva Bellavista se encuentra a una distancia de 153,55 Km medidos en línea recta.</p>
Proyectos ejecutados en Colombia	<p>En la actualidad no hay registro de proyectos que se encuentren en operación en Colombia. En el año 2008 ISAGEN con apoyo de la Agencia para el Desarrollo y Comercio de los Estados Unidos e Ingeominas, iniciaron una investigación para evaluar el potencial de este recurso en el país, posteriormente en el 2013 ISAGEN empezó estudios de prefactibilidad para el montaje de una planta con capacidad de 50 MW en el Nevado del Ruíz [33].</p>
Tecnologías	<p>Para la generación de energía geotérmica existen diferentes tipos de sistemas sujetos a las características del lugar (profundidad, temperatura, presión) y del recurso geotérmico, dichos sistemas se clasifican en tres tipos, el sistema abierto utiliza directamente el fluido para el movimiento de la turbina, el sistema cerrado transmite el calor del fluido del reservorio (conjunto fluido y roca contenedora) a otro fluido que se usa para mover la turbina y el sistema combinado que emplea en conjunto el sistema cerrado y el abierto [34], dependiendo del sistema a usar la generación eléctrica se realiza a través de plantas de vapor seco, plantas simple-flash, plantas doble-flash, plantas de ciclos binarios, plantas ORC o plantas de ciclo Kalina, el funcionamiento de cada una de ellas esta descrito en [35].</p>
Costo	<p>La geotermia tiene los mayores costos de capital por MW instalados [36], la etapa de exploración del recurso requiere mayor presupuesto de financiación [32], según [37] el costo total de inversión (equipo mecánico y eléctrico, obras civiles y costo indirectos) para la construcción de una planta geotérmica binaria, oscila entre los 3 y 4,4 millones de dólares por cada kW de potencia neta producida, la variabilidad en el rango de precios se debe principalmente a las características de cada zona.</p>

Tabla 2.1: Características de la energía geotérmica, elaboración propia

2.2.2. Energía solar

En [38] se define energía solar como la energía generada a causa de reacciones nucleares al interior del sol, transmitidas en forma de ondas electromagnéticas (Radiación) a través del espacio. Esta fuente de energía presenta dos características específicas: Su gran dispersión debido a su densidad que en condiciones favorables alcanza con dificultad los $1 \text{ kW}/m^2$, por tal motivo para obtener altas densidades es necesario grandes superficies de captación o sistemas de concentración; otra propiedad de la energía solar es su intermitencia diaria, esta particularidad hace necesario implementar sistemas de almacenamiento para suplir la demanda energética en horas pico [39].

La variabilidad en la cantidad de radiación solar recibida en determinada superficie esta relacionada con las condiciones climatológicas, los cambios con la distancia al sol y la duración del día. Colombia cuenta con gran potencial de energía solar frente al resto del mundo según los datos de irradiancia solar comprobados por las 550 estaciones de medición ubicadas a lo largo del país, estos datos son ilustrados en el mapa 2.5, el país cuenta con una irradiación promedio de $4.5 \text{ kWh}/m^2/d$ superando al promedio mundial de $3.9 \text{ kWh}/m^2/d$ y al promedio recibido en Alemania ($3.0 \text{ kWh}/m^2/d$) país que ocupa los primeros lugares en el uso de energía solar fotovoltaica, el informe de registro de generación de electricidad elaborado por la UPME, señala que del total de proyectos vigentes (2018-2020), el 68.26 % son de tipo solar, de los cuales el 99 % utilizan sistemas fotovoltaicos, los rangos de potencia alcanzados con generación solar se encuentran entre los 0-1 MW y los 20-50 MW, la capacidad de estos proyectos para el departamento del Cauca es de 1.6 MW [40], en la tabla 2.2 se describen variables generales de esta fuente energética.

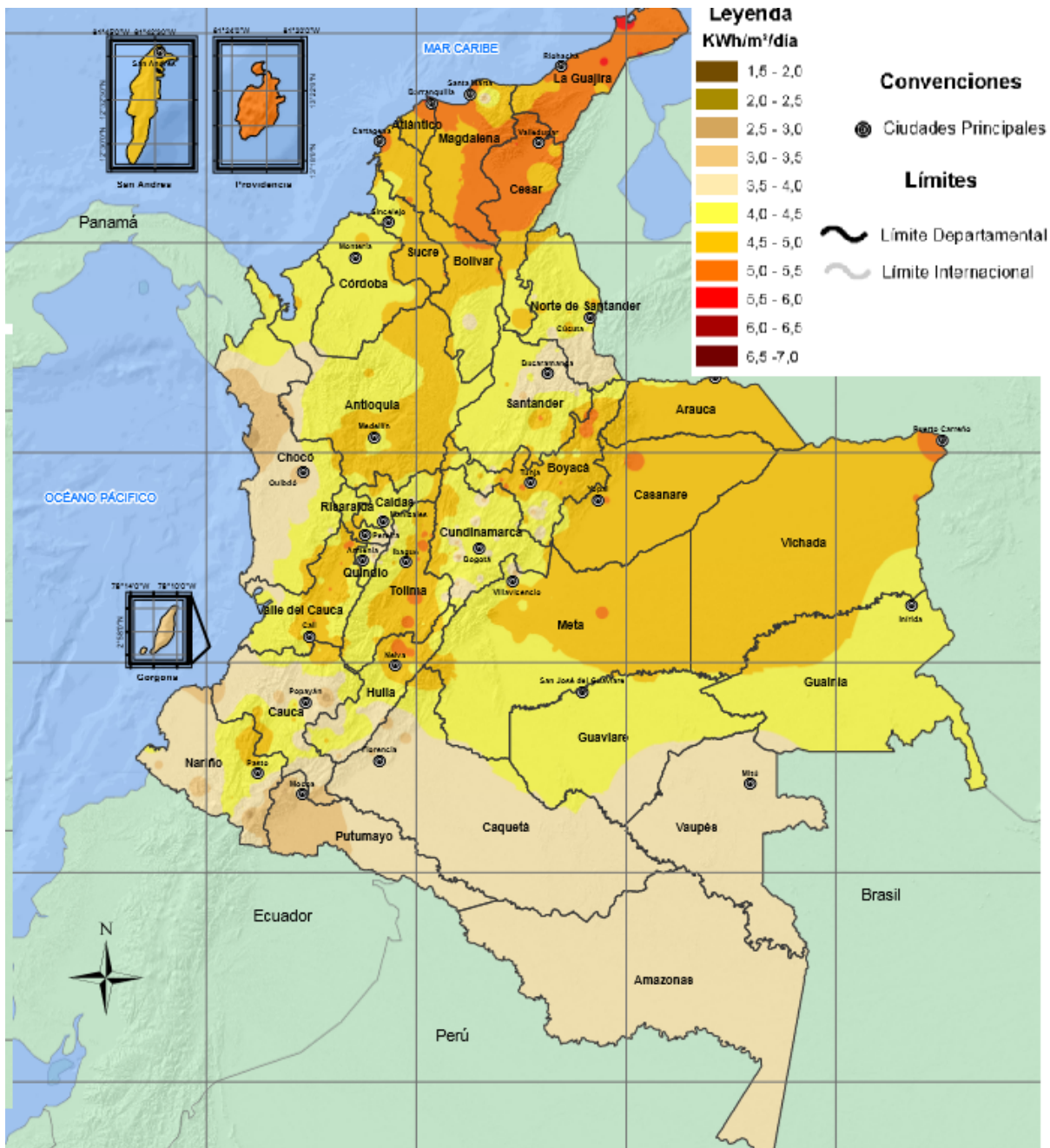


Figura 2.5: Atlas de radiación solar, fuente: [41]

Variable	Energía solar
Potencial en la zona objeto de estudio	Se realizó una solicitud ante el IDEAM para conocer los valores diarios de irradiancia emitidos por las 3 estaciones de medición del municipio de Guapi localizadas en las zonas de Gorgona, Bonanza y el aeropuerto Juan Casiano, ante esta petición, la Coordinadora del instituto manifiesta según el anexo 3, que las estaciones de las cuales se requiere la información, no cuentan con la tecnología necesaria para hacer lectura de radiación solar en la actualidad. El atlas de radiación mostrado en [41] del IDEAM, indica que en este municipio se presenta una radiación solar entre 3 y 4.5 kWh/m ² .
Proyectos ejecutados en Colombia	Como se mencionó en el capítulo 1, son 544 proyectos desarrollados en Colombia con FNCER para ZNI en la vigencia 2018, de los cuales 469 son sistemas fotovoltaicos y 38 sistemas de bombeo solar fotovoltaico y biomecánico, lo que equivale al 93.19 % de proyectos desarrollados usando como fuente la energía solar, en la zona pacífico sur donde se encuentra la comunidad Nueva Bellavista se han implementado 18 proyectos de sistemas fotovoltaicos individuales y sociales.
Tecnologías	En [42] se describen 2 tecnologías: La energía solar fotovoltaica que utiliza la radiación solar que incide en módulos fotovoltaicos formados por células de silicio cristalizado, estos dispositivos generan energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico, los componentes principales de este sistema son el módulo fotovoltaico, el regulador de carga, la batería y la carga; por otro lado se encuentra la energía térmica, que aprovecha el calor absorbido por un panel solar térmico o colector de concentración, para ser transferido a un fluido generalmente agua y aire.
Costo	De acuerdo con lo descrito en [43] la energía solar tiene costos considerables asociados a la fabricación, compra de los componentes y a la instalación de los mismos, por el contrario los precios de mantenimiento y operación son bajos, de forma general, la rentabilidad y costo relacionado con el uso de energía solar, depende de las condiciones de potencia instalada y la cantidad de usuarios. La asociación ASES (American Solar Energy Society) afirma que para lugares apartados, la energía solar combinada con sistemas de almacenamiento, habitualmente resulta en una alternativa de bajo costo [44]. A partir del artículo 175 de la Ley 1955 de 2019 con la cual se adoptó el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 los bienes para proyectos de energía solar que quedaron excluidos del IVA son: El inversor de energía para sistema de energía solar con paneles, los paneles solares y el controlador de carga para sistema de energía solar con paneles, este beneficio contribuye a la disminución de los costos de inversión impulsando la explotación de este recurso.

Tabla 2.2: Características de la energía solar, elaboración propia

2.2.3. Energía hidráulica

En [45] se define energía hidráulica como la energía que tiene el agua cuando se desplaza a lo largo de un cauce, la conversión de la energía potencial en energía cinética se obtiene a través de la caída de agua, el agua embalsada a cierta altura se deja caer y pasa por un sistema compuesto por turbinas que se acoplan a un generador para la transformación de energía mecánica en energía eléctrica, después de este proceso el agua es devuelta al río para ser utilizada aguas abajo por otra central hidroeléctrica (Instalación que aprovecha las masas de agua que circulan en los ríos para la generación de energía eléctrica) o para consumo. En Colombia la capacidad de este recurso para el corte agosto 2018, ascendía a los 12.258,4 MW lo que equivale al 69,18 % de capacidad efectiva neta [46], en el país hay más de 50 pequeñas hidroeléctricas y 6 de mayor escala, existen condiciones óptimas para la generación eléctrica en gran parte del territorio, la oferta hídrica a nivel nacional es 6 veces mayor que el promedio mundial y 3 veces el de Latinoamérica [47]. El IDEAM ha manifestado que la riqueza hídrica del país se debe a su ubicación geográfica y a la influencia de factores como la topografía, la interacción entre la tierra el mar, la influencia de selvas, el movimiento del aire atmosférico y la alta nubosidad[45]. En la tabla 2.3 se describen características generales de esta fuente.



Figura 2.6: Río Guapi visto desde la Comunidad Nueva Bellavista, fotografía: Secretario Resguardo



Figura 2.7: Atlas de cuencas hidrográficas, fuente: [48]

Variable	Energía hidráulica
Potencial en la zona objeto de estudio	Como se puede observar en la imagen 2.7 Colombia cuenta con una alta variedad de recursos hídricos; de acuerdo con lo descrito en el apartado 2.1.3, el municipio de Guapi es una zona con presencia de 11 ríos y más de 16 quebradas, según lo informado por el secretario del resguardo la localidad Nueva Bellavista se encuentra ubicada a una distancia de 10 metros aproximadamente de la rivera del río Guapi, la imagen 2.6 es una fotografía tomada desde el cacerío.
Proyectos ejecutados en Colombia	De los 544 proyectos FNCER para ZNI desarrollados en Colombia, 5 de ellos son microcentrales hidroeléctricas. De acuerdo con el informe mostrado en [40] elaborado por la UPME, se encuentran registrados 93 proyectos vigentes a nivel nacional de energía hidráulica lo que equivale al 24,4% de participación, la capacidad de estos proyectos es de 4.065 MW de potencia, de los cuales 901,6 MW se encuentran en el departamento del Cauca, el 94,6% de los 93 proyectos vigentes son centrales de agua fluvente y el 5,37% restante son centrales de embalse .
Tecnologías	Según la capacidad de las hidroeléctricas se pueden clasificar en pequeñas centrales hidroeléctricas o PCH (500 y 20.000 kW), picocentrales (0,5 y 4 kW), microcentrales (5 y 50 kW), minicentrales (50 y 500 kW) y centrales hidroeléctricas o CH (Capacidad instalada mayor a los 20 MW); la aplicación de las 4 primeras es recomendada para suplir la demanda energética en ZNI, mientras la última por su gran capacidad se utiliza generalmente en zonas conectadas al SIN, con participación obligada en el despacho eléctrico. De acuerdo a la disposición del recurso y de las características del lugar, las centrales hidroeléctricas se dividen en los siguientes tipos: Central de agua fluvente (No cuentan con reserva de agua, oscilando el caudal suministrado según la estación del año), central con embalse o de regulación (Se construyen presas que forman lagos artificiales para embalsar un volumen considerable de agua), central de acumulación por bombeo (Ocupan 2 embalses situados a diferente nivel) y central mareomotriz (Se utiliza la energía de las mareas haciendo uso de diferentes técnicas) [49].
Costo	La generación hidroeléctrica requiere gran financiación de mantenimiento según la tecnología aplicada, sin embargo, es competitiva en costos por su larga vida útil que varía entre los 50 y 100 años, la Agencia Internacional de Energía Renovable afirma que el costo promedio ponderado global de la electricidad de los nuevos proyectos hidroeléctricos en el año 2017 fue de USD 0,05 por kWh, lo que convierte esta fuente de electricidad en una de las más económicas en muchos mercados [50].

Tabla 2.3: Características de la energía hidráulica, elaboración propia

2.2.4. Energía eólica

La energía eólica es la fuente de energía procedente de corrientes de viento, es comúnmente utilizada para generación de energía eléctrica y bombeo de agua [3]. Los cambios en la distribución de presión y temperatura son ocasionados por la disposición desigual del calentamiento solar, el viento es generado cuando las temperaturas de zonas próximas discrepan, el aire frío por su densidad suele descender en sentido del aire cálido, este simultáneamente asciende por ser menos denso, generando movimiento de las masas de aire; dicho recurso es aprovechado por medio de aerogeneradores, sistemas que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica [51]. La estimación del potencial eólico se realiza a través de estudios meteorológicos de la velocidad del viento, para su correcta estimación es necesario conocer la frecuencia de este recurso [52]. Según los datos presentados por el IDEAM, en Colombia se destacan 16 zonas con gran potencial eólico como la Isla de San Andrés, Rioacha, Soledad, Bucaramanga y Santa Marta, con velocidades de viento promedio entre los 4 y 5 m/s [53], sin embargo, como se muestra en la tabla 2.4, más allá del parque eólico Jepirachi, se evidencia una ausencia de proyectos eólicos, debido a barreras que limitan o impiden la viabilidad de estos proyectos, para el caso de La Guajira, la falta de un marco normativo regulatorio para la participación de este tipo de energía en el mercado eléctrico nacional y la consulta previa con la comunidad Indígena para llevar a cabo el proceso de licenciamiento, se consideraron puntos críticos. [32].

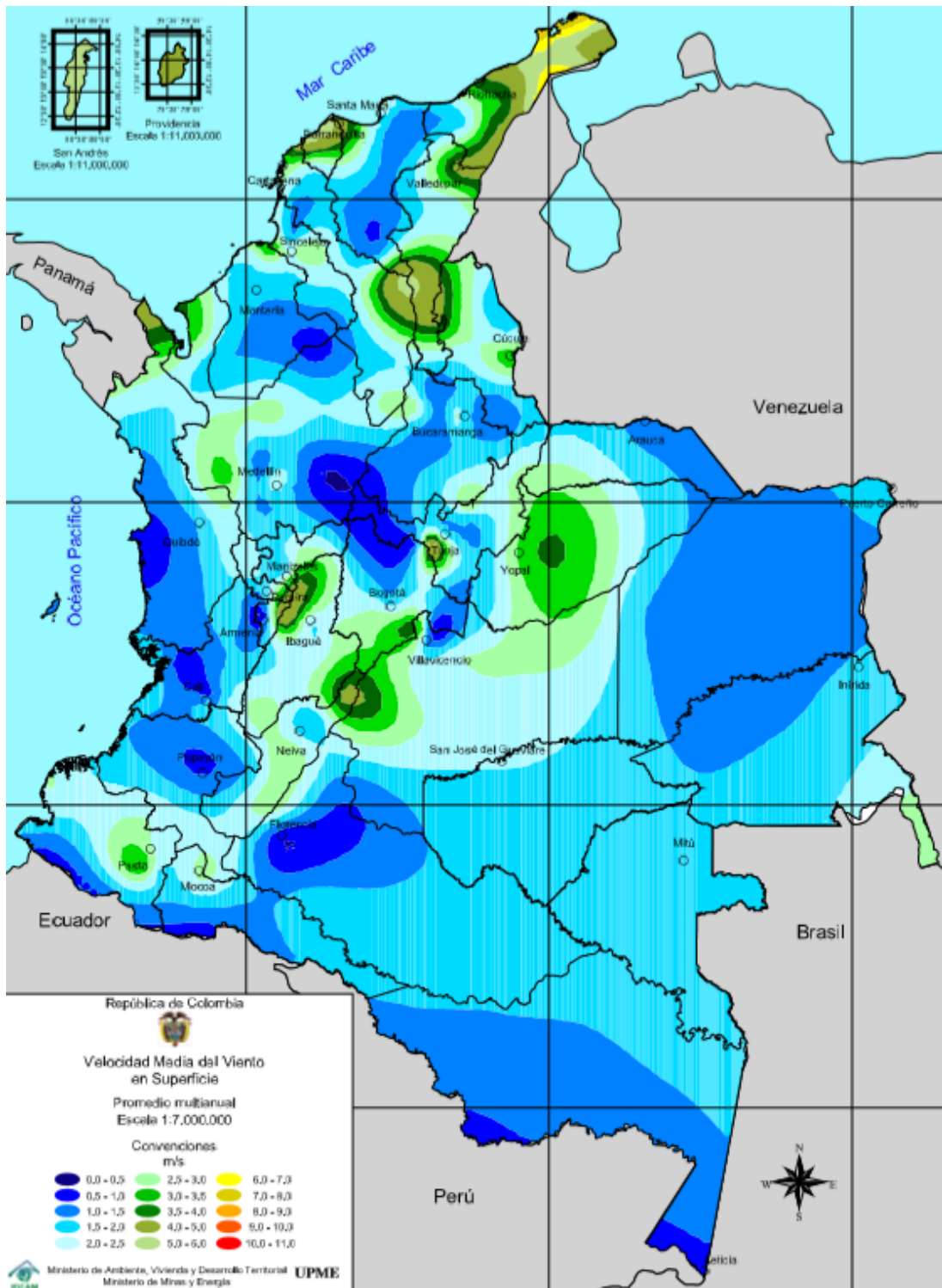


Figura 2.8: Atlas de viento, promedio multianual, fuente: [54]

Variable	Energía eólica
Potencial en la zona objeto de estudio	Como se visualiza en el atlas de viento 2.8 desarrollado por el IDEAM, en el municipio de Guapi se presenta una velocidad media de viento en superficie que oscila entre los 1.0 y 2.0 m/s, valor muy por debajo al promedio de las zonas con más potencial en Colombia como La Guajira.
Proyectos ejecutados en Colombia	El parque eólico Jepirachi entró en operación en el año 2004, se encuentra ubicado en el departamento de la Guajira, cuenta con 15 aerogeneradores de 1.3 MW cada uno (Capacidad instalada total de 19.5 MW) [51]. Con respecto a las ZNI según el diagnóstico de prestación de servicio, no se ejecutaron proyectos de energización utilizando esta fuente renovable para el corte 2019. De acuerdo con el informe mostrado en [40] elaborado por la UPME, de los 395 proyectos vigentes registrados a nivel nacional hasta la semana 31 del 2020, 17 de ellos son de tipo eólico, lo que equivale al 4,3 % del total.
Tecnologías	En el mercado actual hay presencia de aerogeneradores de menor potencial y tamaño para uso doméstico, industrial y para suplir la demanda energética en zonas donde no hay conexión a las redes de distribución, la energía eólica a pequeña escala se clasifica en 3 categorías, pico eólica (Potencia nominal menor a 1kW), microeólica (1kW a 7kW) y mini eólica (7kW a 100 kW) [51]. Existen 2 clases de aerogeneradores: De eje horizontal (Su eje de rotación es paralelo a la dirección del viento) y vertical (Su eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre), estos a su vez se dividen en otras tecnologías según la cantidad de aspas, la orientación respecto a la dirección del viento y torre utilizada, el uso de cada uno de ellos depende de las condiciones técnicas y del potencial eólico de cada zona [51].
Costo	El costo de inversión de la tecnología utilizada en la explotación del recurso eólico ha disminuido a medida que la eficiencia de estos sistemas se ha incrementado, la elección de una tecnología adecuada garantizará una caída en los costos de instalación y mantenimiento. La construcción de parques eólicos de gran escala, a menudo, trae consigo la apertura o creación de vías de acceso para el transporte de los elementos que componen los aerogeneradores, lo que compromete un aumento en la inversión inicial [55].

Tabla 2.4: Características de la energía eólica, elaboración propia

2.2.5. Energía biomasa

Se denomina biomasa al conjunto de materiales biológicos, constituidos por materia orgánica, originados por un proceso de transformación natural o inducida, que se encuentran disponibles para la producción de energía [56]. De acuerdo con [57] la biomasa es la única fuente de energía renovable que puede ser modificada mediante procesos de transformación biológicos o térmicos en combustibles gaseosos, líquidos o sólidos; esta transformación genera especialmente biocombustibles y biogás, de los cuales se puede obtener calor, fuerza motriz o electricidad, el tipo de aprovechamiento está ligado a las propiedades fisicoquímicas, bioquímicas y energéticas del residuo. En la imagen 2.9 se describen los principales procesos de conversión energética de la biomasa, como lo son, la combustión, la pirolisis, la gasificación, la termólisis, la fermentación y la digestión anaerobia, varios de estos procesos como es el caso de la gasificación, producen gases que mediante dispositivos electroquímicos, suministran directamente corriente eléctrica a un circuito. Colombia cuenta con un gran potencial para el aprovechamiento de residuos agrícolas, esta característica hace que la biomasa tenga un panorama alentador en el país, en el informe [58] realizado por la Cámara de Comercio de Cali, se evidencia que para el año 2016 en Colombia se registraron 12 cogeneradores que utilizaron biomasa como fuente energética, lo que representó el 98,6 % de la cogeneración nacional, ubicados en Risaralda, Valle del Cauca y Cauca, los cuales entregaron 581,1 Gwh de excedentes al SIN. En la tabla 2.5 se describen aspectos generales relacionados con este tipo de energía.

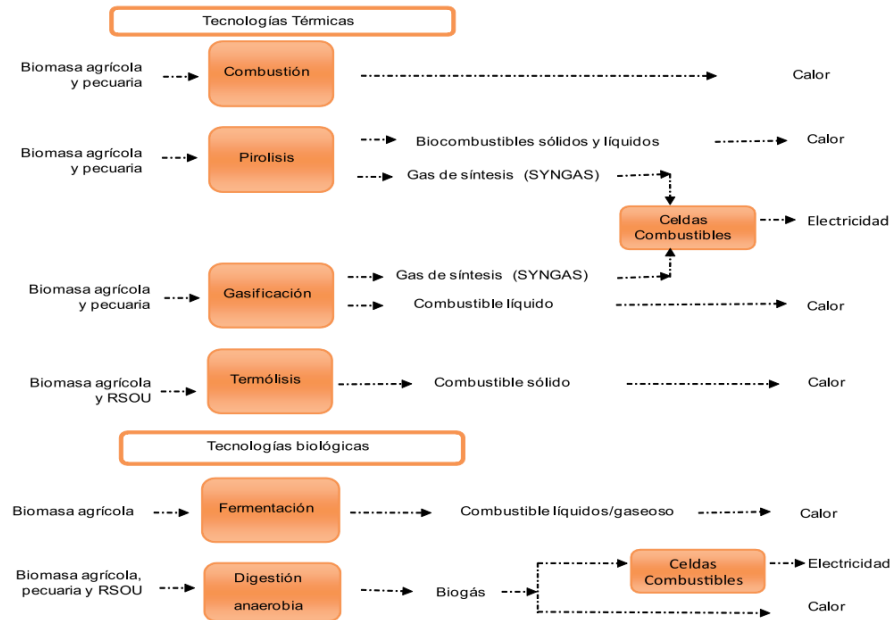


Figura 2.9: Transformaciones energéticas de la biomasa, tomado de: [57]

Variable	Energía biomasa
Potencial en la zona objeto de estudio	Según el Plan de Desarrollo Municipal 2020 - 2023 del municipio de Guapi, la comunidad Nueva Bellavista considerada zona rural, no cuenta con servicio de recolección de basuras, por lo que el manejo de los residuos esta a cargo de los habitantes de la zona, según información suministrada por el resguardo, las viviendas no generan gran cantidad de desechos, los residuos orgánicos son utilizados en huertas caseras para el abono de las tierras, a parte de esta información, no hay evidencia de estudios realizados para conocer el potencial de biomasa en la zona objeto de estudio.
Proyectos ejecutados en Colombia	El uso de la biomasa como fuente energética esta siendo utilizada localmente por varias industrias, según el informe mostrado en [40] desarrollado por la UPME, de los 395 proyectos vigentes registrados a nivel nacional hasta la semana 31 del 2020, 4 proponen el uso de biomasa como fuente energética aprovechando residuos de bagazo, biogas y cultivos energéticos, con una capacidad total de 25,81 MW de potencia. La empresa Bioenergy transforma el bagazo de caña de azúcar y genera 35 MW hora de energía, de los cuales 19 MW son entregados al SIN y 16 MW se utilizan para abastecer la demanda eléctrica de la planta, estos residuos son aprovechados mediante una caldera con altos estándares de remoción de partículas en suspensión [59]. La granja Avicola Egipto ubicada en el municipio de Caloto departamento del Cauca, perteneciente a la empresa Incubadora Santander, cuenta con 3 biodegestores con capacidad de 2,6 MW, la energía eléctrica es generada mediante el proceso de cofermentación del excremento de las aves y el agua utilizada en el proceso productivo. [60].
Tecnologías	Como se pudo observar en la imagen 2.9, existen varios procesos para la transformación de la biomasa, en el caso particular de la gasificación, se utilizan reactores con diferentes características y funcionalidades de acuerdo al tipo de alimentación de la biomasa residual, entre ellos se tienen a los reactores de lecho fluidizado y de lecho burbujeante, el funcionamiento de cada uno de ellos esta descrito en [61]. Uno de los proyectos de la empresa Innergy Engineering es el aprovechamiento de biomasa mediante combustión, cuentan con una planta para generación combinada de calor y electricidad usando esta fuente renovable [62].
Costo	Conforme al estudio desarrollado en [63] una de las debilidades de Colombia es el elevado costo del transporte para la biomasa agrícola, ya que estos residuos pueden encontrarse dispersos en zonas con gran área, las empresas que utilizan la biomasa para generación de energía eléctrica son aquellas que dentro de sus procesos generan residuos orgánicos aprovechables, no se evidencia casos de éxito en otros sectores productivos para la generación de electricidad mediante dicho recurso, este panorama se debe principalmente a la alta inversión inicial que se requiere para la construcción de plantas especializadas en la transformación de la biomasa.

Tabla 2.5: Características de la energía biomasa, elaboración propia

2.3. Marco normativo de las fuentes de energía renovable

En la siguiente tabla se describen las normas más significativas de la regulación Colombiana, con relación a las energías renovables.

Reglamentación	Año	Entidad	Descripción
Ley 697	2001	Congreso de Colombia	Se fomenta el uso de la energía de forma racional y se promueve el uso de energías alternativas.
Ley 1715	2014	Ministerio de minas y energía	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
Resolución 143	2016	UPME	Define las exigencias para el registro de proyectos mediante fuentes no convencionales de energía.
Resolución 045	2016	UPME	Establece los lineamientos para emitir certificación y aval de proyectos mediante fuentes no convencionales de energía.
Resolución 0281	2015	UPME	Establece el límite de potencia requerido para la autogeneración de energía a pequeña escala en el SIN.
Resolución 024	2015	CREG	Regula la autogeneración a gran escala en el SIN.
Decreto 2492	2014	Ministerio de Minas y Energía	Por la cual se adoptan las disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda.
Decreto 2143	2015	Ministerio de Minas y Energía	Define los lineamientos para emplear incentivos establecidos en el capítulo 111 de la ley 1715 de 2014.
Decreto 1623	2015	Ministerio de Minas y Energía	Establece los lineamientos de política para expandir la cobertura del servicio energético en el SIN y ZNI.
Decreto 2469	2014	Ministerio de Minas y Energía	Establece los procedimientos energéticos, según la entrega de excedentes en la autogeneración.
Decreto 348	2017	Ministerio de Minas y Energía	Establece lineamientos de la política pública bajo la gestión de energía eficiente y entrega de los excedentes de generación a una pequeña escala.

Tabla 2.6: Normatividad fuentes de energía renovable, tomado de:[64]

2.4. Perfil de carga, zona objeto de estudio

En las tablas 2.7 y 2.8 se encuentran recopilados los resultados de la encuesta realizada en la comunidad Nueva Bellavista, de acuerdo a la información recolectada se identificó que el resguardo cuenta con una escuela, 2 casas comunitarias y 17 viviendas, se determinó que en cada vivienda residen en promedio 6 personas, y que las viviendas y las casas comunitarias cuentan aproximadamente con las mismas cargas, también se pudo precisar que la escuela es el inmueble que tiene la mayor cantidad de electrodomésticos. Con respecto a las cabañas que se plantean construir en el macroyecto de regalías del cual la presente investigación hace parte, aún no se ha generado un diseño formal, pero se estima que la zona de residencia tendrá una capacidad para albergar entre 10 a 15 turistas, además deberá contar con iluminación y conexión para carga de dispositivos móviles. La anterior investigación se realizó con el fin de identificar las potenciales cargas del sistema de generación.

Vivienda	Cantidad de habitantes
1	4
2	2
3	12
4	3
5	3
6	7
7	6
8	7
9	4
10	4
11	13
12	4
13	6
14	5
15	4
16	4
17	6
Total	94

Tabla 2.7: Usuarios por vivienda, elaboración propia

Electrodoméstico	Vivienda	Casa Comunitaria	Escuela
Bombillo	3	3	24
Celular	2	2	4
Refrigerador	1	1	1
Televisor	1	1	1
Computador portátil	1	1	3
Equipo de sonido	1	1	0
Total	9	9	33

Tabla 2.8: Resultados de la encuesta, elaboración propia

Dicho lo anterior, se clasificaron los siguientes grupos teniendo en cuenta que cada uno de ellos tiene requerimientos de carga particulares:

- Grupo 1- Vivienda: Conformado por las 17 viviendas y las 2 casas comunitarias
- Grupo 2- Escuela: Conformado por 7 salones de clase, 2 baños, 1 restaurante, 1 rectoría y 1 sala de profesores.
- Grupo 3- Cabaña: Conformado por 3 cabañas

Posteriormente se procedió a calcular el consumo de potencia diario y mensual para los tres grupos como lo muestra la tabla 2.9, 2.10 y 2.11, para ello se adquirieron las fichas técnicas de los electrodomésticos con el fin de conocer su potencia unitaria; los datos calculados se generaron a partir de los siguientes parámetros:

1. N= Número de dispositivos
2. P= Potencia unitaria
3. Td= Tiempo medido en horas de consumo por día
4. Tm = Tiempo medido en días de utilización de la carga en un mes
5. Cd= Consumo medio diario de la carga en Wh/día
 - Donde $Cd=N*P*Td$
6. Cm=Consumo medio mensual de una carga en Wh/mes
 - Donde $Cm=Cd*Tm$

Los valores calculados en la tabla 2.9, hacen referencia a la potencia requerida por una sola vivienda, por tanto, el consumo total diario del grupo 1 (17 viviendas y 2 casas comunitarias) equivale a 131100 Wh/día.

Electrodoméstico	N	Potencia W (P)	Tiempo hora/día (Td)	Tiempo día/mes (Tm)	Consumo Wh/día (Cd)	Consumo Wh/mes (Cm)
Bombillo	3	20	4	5	240	1200
Celular	2	5	2	2.5	20	50
Refrigerador	1	250	24	30	6000	180000
Televisor	1	100	3	3.75	300	1125
Computador portátil	1	70	2	2.5	140	350
Equipo de sonido	1	100	2	2.5	200	500
Total	9	545	37	46.25	6900	183225

Tabla 2.9: Cuadro de cargas para el Grupo 1-Vivienda, elaboración propia

Electrodoméstico	N	Potencia W (P)	Tiempo hora/día (Td)	Tiempo día/mes (Tm)	Consumo Wh/día (Cd)	Consumo Wh/mes (Cm)
Bombillo	24	20	4	5	1920	9600
Celular	4	5	2	2.5	40	100
Refrigerador	1	250	24	20	6000	120000
Televisor	1	100	3	3.75	300	1125
Computador portátil	3	70	2	2.5	420	1050
Total	33	445	35	33.75	8680	131875

Tabla 2.10: Cuadro de cargas para el Grupo 2-Escuela, elaboración propia

Electrodoméstico	N	Potencia W (P)	Tiempo hora/día (Td)	Tiempo día/mes (Tm)	Consumo Wh/día (Cd)	Consumo Wh/mes (Cm)
Bombillo	25	20	4	5	2000	10000
Celular	6	5	2	2.5	60	150
Refrigerador	1	250	24	30	6000	180000
Computador portátil	1	70	2	2.5	140	350
Total	33	345	32	40	8200	190500

Tabla 2.11: Cuadro de cargas para el Grupo 3-Cabaña, elaboración propia

En gráfico 2.10 se ilustra la distribución porcentual de las cargas según las potencias calculadas para cada grupo, se tiene que el 89% de la generación eléctrica será destinada para el abastecimiento de la demanda de las viviendas y las casas comunitarias, el 6%

para la escuela y el 5% restante para las cabañas, el consumo anual total de la comunidad es de 45.643,8 KWh.

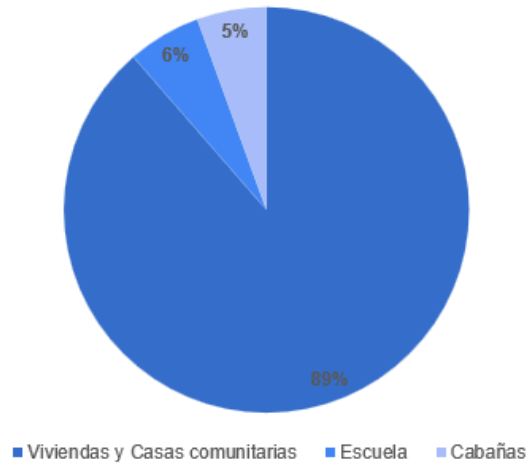


Figura 2.10: Distribución porcentual de cargas, elaboración propia

En la figura 2.11 se describe la distribución geográfica de las cargas, este mapa fue realizado a mano alzada con la ayuda del secretario del resguardo de la comunidad Nueva Bellavista y contrastado con la vista satelital que tiene la herramienta Arcgys y Autocad de la zona. Oficialmente no se ha elaborado un documento con la ubicación puntual de esta región, por tanto se situó la comunidad mediante el envío de la ubicación en tiempo real desde un dispositivo móvil que se encontraba en el resguardo (Ver imagen 2.12).

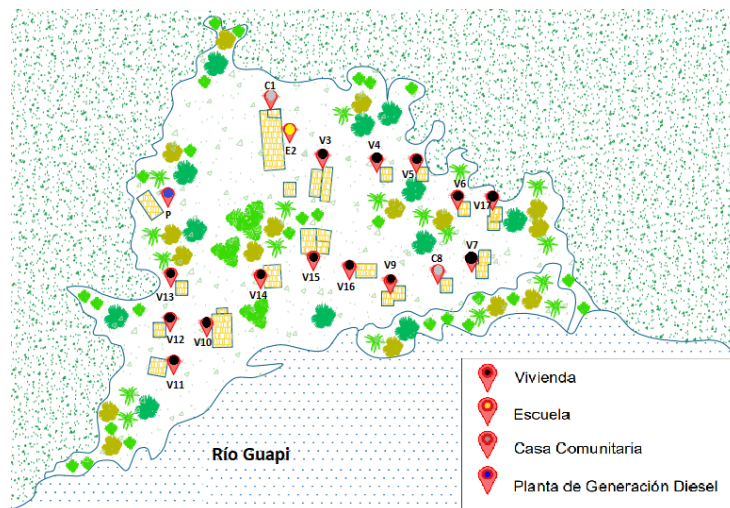


Figura 2.11: Distribución geográfica de las cargas, elaboración propia

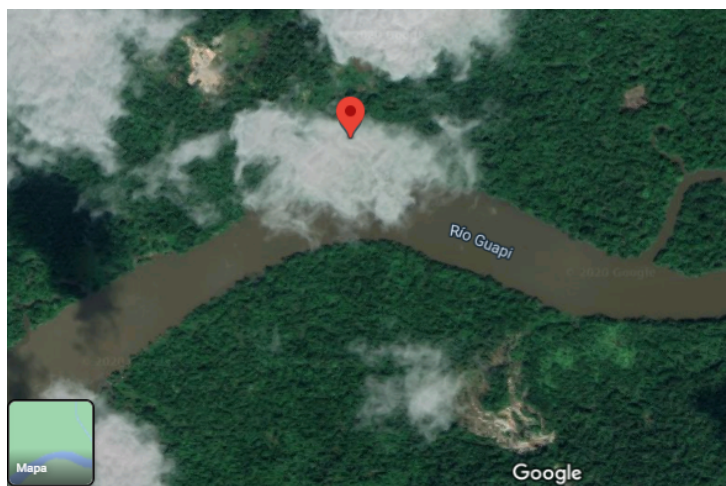


Figura 2.12: Localización Nueva Bellavista, fuente: Google maps

Las distancias entre los inmuebles se encuentran consignadas en la tabla 2.12. La información referente a la distribución y magnitud de las cargas es necesaria para definir una topología o configuración de la red.

Tramo entre las cargas:	Distancia del tramo en metros	Tramo entre las cargas:	Distancia del tramo en metros
C1-E2	6,08	V9-V10	15,2
E2-V3	11,4	V10-V11	19
V3-V4	3,04	V11-V12	22,8
V4-V5	2,28	V12-V13	7,6
V5-V6	3,04	V13-V14	9,12
V6-V7	5,32	V14-V15	5,32
V7-C8	4,56	V15-V16	7,6
C8-V9	7,6	V16-V17	7,28

Tabla 2.12: Distancia entre cargas, elaboración propia

Sistemas eléctricos de generación para el resguardo Nueva Bellavista

En este capítulo se elegirán las tecnologías aplicables para la generación eléctrica, así mismo se analizarán las propuestas que actualmente oferta el mercado, las cuales serán evaluadas con ayuda de criterios ambientales, sociopolíticos, económicos y técnicos.

Conforme a las características particulares de la zona donde se encuentra ubicada la comunidad Nueva Bellavista y según el potencial renovable presente en esa región, se pudo determinar que las tecnologías que más se ajustan a las necesidades de la zona son los sistemas solares fotovoltaicos y la generación hidroeléctrica, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Existe potencial de estas fuentes renovables en la zona objeto de estudio.
- A comparación de otros sistemas de generación con fuentes renovables, la transformación de energía eléctrica a partir de sistemas hidroeléctricos y fotovoltaicos resulta en una opción viable a nivel económico.
- A pesar de la dificultad de acceso a la zona, los componentes de los sistemas hidroeléctricos y fotovoltaicos tales como microturbinas y paneles solares, pueden ser transportados sin inconveniente a través de los mecanismos de transporte que actualmente maneja la zona (aérea y fluvial).
- La instalación de estos sistemas no genera un riesgo representativo para la fauna y flora, debido a que no se requiere gran área para la disposición de los componentes que puedan ocasionar el desplazamiento de estas especies.
- El adecuado mantenimiento de estos sistemas garantiza la eficiencia y durabilidad de los mismos, esta actividad es un procedimiento que puede ser realizado por los mismos pobladores de la zona una vez se hayan impartido las respectivas capacitaciones.

- Los sistemas hidroeléctricos y fotovoltaicos han sido ampliamente estudiados y desarrollados en Colombia, lo que implanta experiencias y puntos de referencia que servirán como guía para el desarrollo de este proyecto.

Como se describió en el capítulo 2, la comunidad cuenta con una planta de generación diesel, la cuál suministra en temporadas electricidad por algunas horas, los principales inconvenientes que ha tenido el resguardo con la operación de la planta ha sido la escasez de combustible, debido a que este es transportado al municipio de Guapi vía aérea, lo que eleva considerablemente su costo, algunas veces la comunidad no puede solventar económicamente la adquisición de este recurso y en otras ocasiones cuando pueden adquirirlo, el combustible es comprado rápidamente por los pobladores del casco urbano de Guapi, lo que deja sin suministro a la comunidad. Con el fin de garantizar la continuidad en el servicio de energía, se plantea el uso de un grupo electrógeno el cual será empleado como red de respaldo, su implementación será fija e independiente del sistema principal de generación que se elija.

3.1. Simulación equivalente de red

Teniendo en cuenta la información presentada en el apartado 2.4 referente al perfil de carga se realiza el diseño de prueba del diagrama unifilar de la zona de estudio el cual, se evalúa mediante el software ETAP en su versión 16.00. Se efectúa la simulación bajo una topología de red radial en baja tensión implementando un equivalente de red a 115 V (Nivel de tensión 1) para dar suministro energético a las cargas ya determinadas.

El sistema se modela mediante una red compuesta en la cual intervienen los grupos de carga 1, 2 y 3 mencionados posteriormente como subredes. Cada subred está directamente conectada al sistema de generación a través de un punto de acople común (PAC), e incorpora el número total de cargas y su consumo en potencia. Es importante tener en cuenta que el equivalente de red comprende tanto la función del sistema de generación como la función del sistema de distribución, siendo este el último punto de conexión (PAC) a las cargas y se simula en baja tensión a 115 V para efectos de estudio. Esto se realiza con el objetivo, de determinar mediante la evaluación de un flujo de carga la potencia máxima que requiere el sistema, así apoyados en el resultado se da inicio al estudio de las tecnologías aplicables que puedan suplir las necesidades de la red.

A continuación, se da a conocer en la figura 3.1, el diagrama unifilar de la red compuesta y los resultados del flujo de carga del sistema. Del mismo modo, en la figura 3.2, se presenta el informe de cargas obtenido del simulador ETAP.

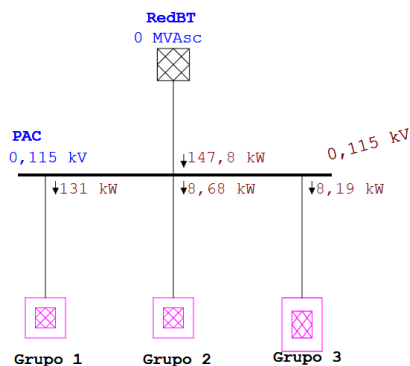


Figura 3.1: Simulación de red radial en baja tensión, (Simulador Etap V.16)

Proyecto:	ETAP	Página:	1
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	22-12-2020
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:	Caso de Estudio: LF	Revisión:	Base
Nombre de Archivo:	RedCompuesta	Config.:	Normal

Informe Resumen de Carga en Barras

Barra	ID	kV	Amp Nominal	Carga Conectada Directamente				Carga Total en Barra							
				kVA Constante	Z Constante	I Constante	Genérico	kVA	% FP	Amp	Porcentaje Carga				
				kW	kvar	kW	kvar	kW	kvar	kW	kvar				
Bus1	0.115	6.180	2.037	0.685	0.225					7.228	95.0	36.4			
Bus2	0.115	6.181	2.038	0.685	0.225					7.229	95.0	36.4			
Bus3	0.115	6.187	2.040	0.686	0.226					7.237	95.0	36.4			
Bus4	0.115	6.189	2.040	0.687	0.226					7.239	95.0	36.4			
Bus5	0.115	6.189	2.040	0.686	0.226					7.239	95.0	36.4			
Bus6	0.115	6.187	2.039	0.686	0.226					7.236	95.0	36.4			
Bus7	0.115	6.187	2.039	0.686	0.226					7.237	95.0	36.4			
Bus8	0.115	6.185	2.038	0.686	0.225					7.234	95.0	36.4			
Bus9	0.115	6.178	2.036	0.685	0.225					7.226	95.0	36.4			
Bus10	0.115	6.175	2.035	0.684	0.225					7.222	95.0	36.4			
Bus11	0.115	6.172	2.034	0.683	0.225					7.218	95.0	36.4			
Bus12	0.115	6.185	2.038	0.686	0.225					7.234	95.0	36.4			
Bus13	0.115	6.183	2.038	0.685	0.225					7.232	95.0	36.4			
Bus14	0.115	6.187	2.039	0.686	0.226					7.236	95.0	36.4			
Bus15	0.115	6.185	2.038	0.686	0.225					7.234	95.0	36.4			
Bus16	0.115	6.185	2.038	0.686	0.225					7.234	95.0	36.4			
Bus17	0.115	6.187	2.039	0.686	0.226					7.237	95.0	36.4			
Bus18	0.115	6.185	2.039	0.686	0.226					7.235	95.0	36.4			
Bus19	0.115	6.187	2.039	0.686	0.226					7.237	95.0	36.4			
Bus23	0.115	7.802	2.564	0.866	0.285					9.124	95.0	45.9			
Bus25	0.115	2.455	0.807	0.273	0.090					2.871	95.0	14.4			
Bus26	0.115	2.455	0.807	0.273	0.090					2.871	95.0	14.4			
Bus27	0.115	2.455	0.807	0.273	0.090					2.871	95.0	14.4			
Grupo1.	0.115	0.081	-0.142							137.632	95.0	692.5			
Grupo 2.	0.115	0.002	-0.004							9.135	95.0	45.9			
Grupo 3.	0.115	0.001	-0.002							8.619	95.0	43.3			
PAC	0.115									155.648	95.0	781.4			

* Indica que la carga en operación conectada a la barra excede el límite crítico de la barra(100.0 en % de la corriente nominal).
 # Indica que la carga en operación conectada a la barra excede el límite marginal de la barra(95.0 en % de la corriente nominal).

Figura 3.2: Informe de cargas, (Simulador Etap V.16)

Los resultados obtenidos al realizar la evaluación del flujo de carga (Ver imagen 3.1), indican que efectivamente cada subred consume en KWh/día lo estipulado en las tablas 2.9, 2.10 y 2.11. Así para el grupo 1 (19 usuarios) se tiene un consumo total de 131.1 KWh/día, equivalente a un consumo por carga de 6.9 KWh/día. Para el grupo 2 (1 usuario) se verifica un consumo de 8,68 KWh/día y para el grupo 3 (3 usuarios) un consumo total de 8.2 KWh/día, correspondiente a un consumo por carga de 2.73 KWh/día.

Posterior a ello el informe de cargas presentado en la figura 3.2, permite además de ver los 3 grupos de carga, analizar de manera directa y detallada las 23 cargas instaladas con sus respectivos consumos, lo que conlleva a determinar que en efecto el sistema a diseñar requiere de una potencia máxima de 147,98 KW para su normal operación.

Como siguiente actividad, se da inicio al estudio de las tecnologías que puedan ser aplicables como solución al sistema de generación. Es importante mencionar que el equivalente de red será reemplazado y evaluado mediante simulación una vez se realice el estudio completo de las tecnologías y se determinen los sistemas que cumplan con los objetivos del proyecto.

3.2. Generación con sistemas fotovoltaicos

Según los cuadros de cargas 2.9, 2.10 y 2.11, y a la información compilada de las características de la zona objeto de estudio, se realizó la cotización del sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de la comunidad en la empresa Energía y Movilidad S.A.S (Número de identificación tributaria NIT:900.553.715-5), a continuación se especificará la solución propuesta para cada uno de los tres grupos por medio de dos tablas las cuales están situadas en los anexos del 4, 5, 6, 7, 8 y 9, en la primera se encontrará las características especiales de cada equipo, estas fueron consultadas en las fichas técnicas de acuerdo a las referencias suministradas por el proveedor, para el caso de los paneles solares los datos hacen referencia a condiciones STC (Standard Test Conditions), en la segunda tabla se encuentran relacionados los costos asociados a los componentes de los sistemas propuestos.

3.2.1. Elección componentes principales del sistema fotovoltaico

Para determinar el tipo de paneles a usar, se envió al proveedor información relacionada con el proyecto, como estimación de carga instalada, consumo diario y mensual, valores de irradiancia y ubicación de la zona, dando como propuesta los siguientes sistemas:

Sistema fotovoltaico Grupo 1

Sistema de generación distribuido, para suplir la demanda de una vivienda se hará uso de 6 paneles solares, 1 controlador, 1 inversor, 3 baterías, protecciones, cable, conectores y accesorios para la comunicación. Dicha red se maneja de 24 V, con generación esperada

de 7,2 KWh/día, es decir que se generará un excedente de 300 Wh/día por vivienda que se podrán utilizar para alimentar otras cargas, las especificaciones de los componentes, la cotización de los mismos se encuentran en el anexo 4, considerando los costos para una sola vivienda, es decir que el costo total para abastecer el requerimiento eléctrico de este grupo conformado por 17 viviendas y 2 casas comunitarias es de USD 135.511,99. De acuerdo a la anterior información, se elaboró el diagrama unifilar aproximado del sistema fotovoltaico para una vivienda del Grupo-1 como se puede observar en la imagen 3.3.

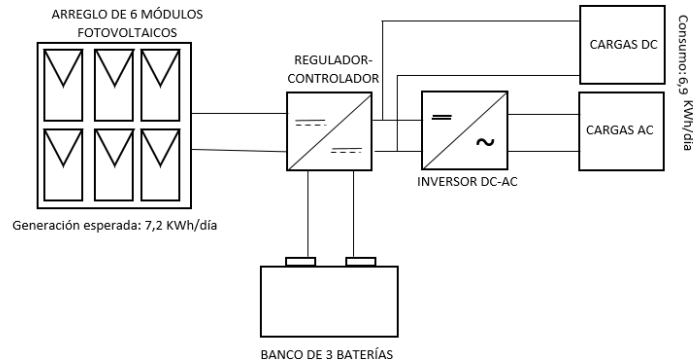


Figura 3.3: Diagrama unifilar sistema fotovoltaico para una vivienda Grupo 1

Sistema fotovoltaico Grupo 2

Sistema de generación centralizado, para suplir la demanda total de la escuela se hará uso de 10 paneles solares, 1 controlador, 1 inversor, 3 baterías, protecciones, cable, conectores y accesorios para la comunicación. Dicha red se maneja de 48 V, con generación esperada de 9,2 KWh/día, es decir que se generará un excedente de 520 Wh/día, que se podrán utilizar para alimentar otras cargas, estos datos y la cotización del sistema se encuentran consignados en el anexo 5. El costo total para este grupo es de USD 9.285,89

En la figura 3.4 se encuentra el diagrama unifilar elaborado para el sistema fotovoltaico a implementar en la escuela.

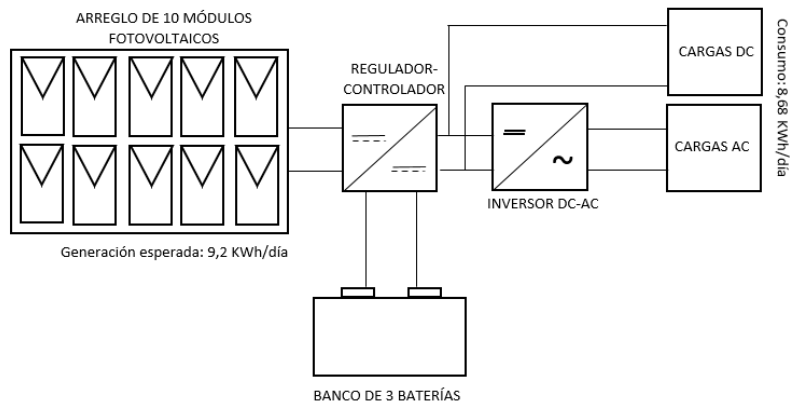


Figura 3.4: Diagrama unifilar sistema fotovoltaico Grupo 2

Sistema fotovoltaico Grupo 3

Sistema de generación centralizado, para suplir la demanda total de las cabañas se hará uso de 8 paneles solares, 1 controlador, 1 inversor, 3 baterías, protecciones, cable, conectores y accesorios para la comunicación. Dicha red se maneja de 48 V, con generación esperada de 9,2 KWh/día, es decir que se generará un excedente de 1000 Wh/día, que podrán ser utilizados para alimentar otras cargas, estos datos y la cotización del sistema se encuentran consignados en el anexo 6. El costo total la red para el grupo 3 es de USD 8.865,58.

En la figura 3.5 se encuentra el diagrama unifilar elaborado para el sistema fotovoltaico a implementar en el Grupo 3.

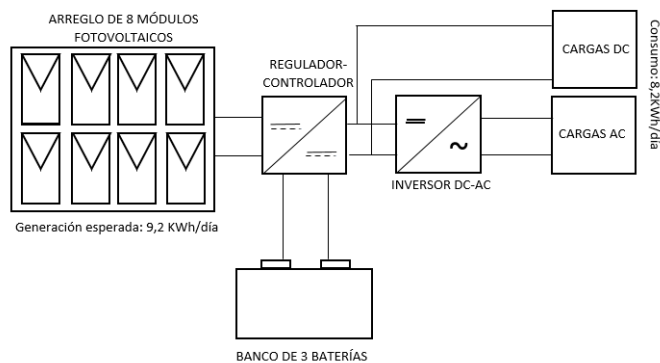


Figura 3.5: Diagrama unifilar sistema fotovoltaico Grupo 3

El costo total asociado a los sistemas de generación propuestos para cada grupo, equivale a la suma del valor individual de los 3 sistemas:

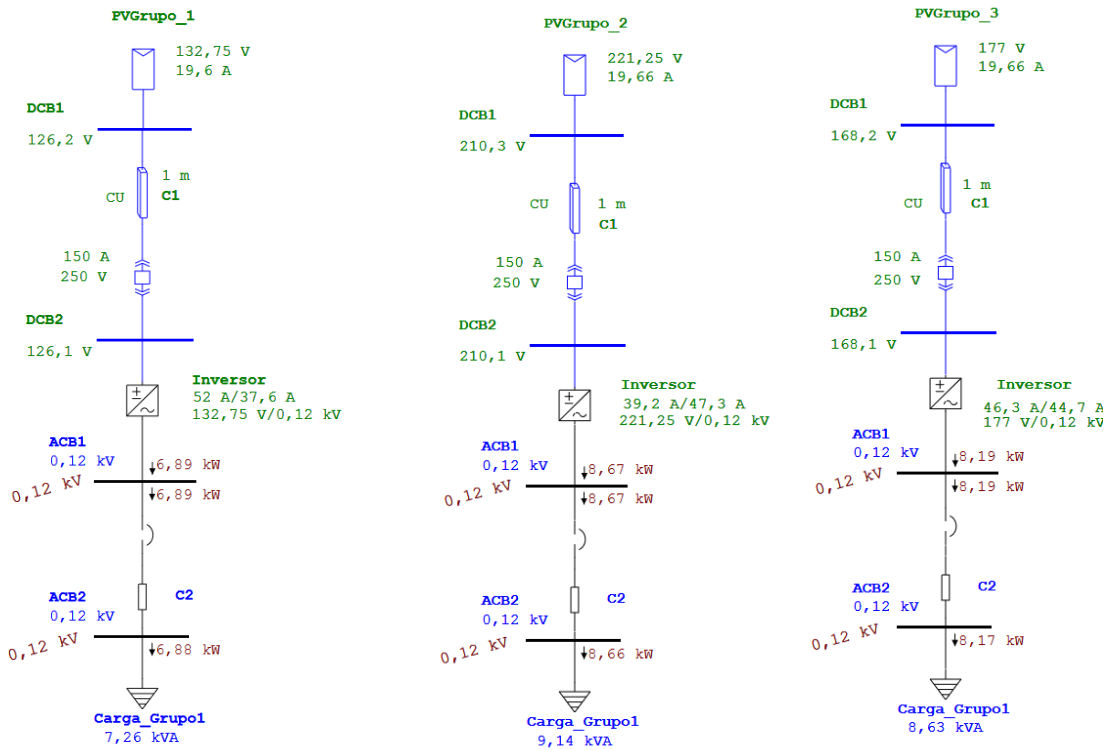
$$Costo_{total} = SFVGrupo1 + SFVGrupo2 + SFVGrupo3 = 558'247,420,4COP \quad (1)$$

Siendo:

- SFV Grupo 1: Costo del sistema solar fotovoltaico propuesto para abastecer la demanda del grupo 1, compuesto por 17 viviendas y 2 casas comunitarias.
- SFV Grupo 2: Costo del sistema solar fotovoltaico propuesto para abastecer la demanda del grupo 2, compuesto por 1 escuela.
- SFV Grupo 3: Costo del sistema solar fotovoltaico propuesto para abastecer la demanda del grupo 3, compuesto por 3 cabañas.

A continuación, se presenta el diseño y la simulación de los sistemas fotovoltaicos, de acuerdo a los componentes y las especificaciones técnicas del proveedor.

- Grupo de carga 1: Se implementa en la figura 3.6a un grupo generador mediante un arreglo de 6 módulos fotovoltaicos bajo la configuración de 2 grupos conectados en paralelo. Cada grupo está compuesto por 3 módulos conectados en serie, con lo cual se obtiene una transferencia de potencia a su máxima eficiencia de 2,4 KW. Este arreglo está conectado a un inversor determinado previamente por el proveedor con una capacidad de tensión de salida de 120 V. De acuerdo a la simulación se obtienen los resultados del flujo de carga, los cuales indican que el sistema propuesto cumple los requerimientos para suplir la potencia instalada del grupo 1, equivalente a 6,9 KW.
- Grupo de carga 2: Se implementa en la figura 3.6b un grupo generador mediante un arreglo de 10 módulos fotovoltaicos bajo la configuración de 2 grupos conectados en paralelo. Cada grupo está compuesto por 5 módulos conectados en serie, con lo cual se obtiene una transferencia de potencia a su máxima eficiencia de 4,3 KW. Este arreglo está conectado a un inversor determinado previamente por el proveedor con una capacidad de salida de 120 V. De acuerdo a la simulación se obtienen los resultados del flujo de carga, los cuales indican que el sistema propuesto cumple los requerimientos para suplir la potencia instalada del grupo 2, equivalente a 8,68 KW.
- Grupo de carga 3: Se implementa en la figura 3.6c un grupo generador mediante un arreglo de 8 módulos fotovoltaicos bajo la configuración de 2 grupos conectados en paralelo. Cada grupo está compuesto por 4 módulos conectados en serie, con lo cual se obtiene una transferencia de potencia a su máxima eficiencia de 3,4 KW. Este arreglo está conectado a un inversor determinado previamente por el proveedor con una capacidad de salida de 120 V. Conforme a la simulación se obtienen los resultados del flujo de carga, los cuales indican que el sistema propuesto cumple los requerimientos para suplir la potencia instalada del grupo 3, equivalente a 8,2 KW.



(a) Simulación grupo 1 (b) Simulación grupo 2 (c) Simulación grupo 3

Figura 3.6: Simulación sistemas fotovoltaicos propuestos, (Simulador Etap V.16)

Con la finalidad de conocer el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos propuestos para los 3 grupos, se determinaron los valores de irradiancia presentados en el transcurso de un día en la comunidad Nueva Bellavista, se analizó el sistema en las condiciones menos favorables, es decir, en las temporadas del año donde se muestran los menores niveles de irradiancia, por tanto se eligió al mes de Noviembre del año 2020 dado que presenta magnitudes elevadas de precipitación y humedad con respecto a los otros meses. Ingresando las coordenadas de la zona en el simulador Etap, se obtuvieron las irradiancias para los 30 días del mes estudiado en la franja horaria de 7:00am a 5:00p.m, estos datos se encuentran consignados en el anexo 8. Se calculó el promedio de dichos valores para cada hora y posteriormente se ingresaron en la simulación de cada grupo para obtener los valores de potencias activas y reactivas, a continuación se muestran los resultados obtenidos:

- Como se evidencia en la tabla 3.1, el sistema fotovoltaico propuesto para el grupo-1 genera 2,48 KW de potencia útil, cuando se presenta la mayor irradiancia promedio en el día ($963,63 \text{ W}/\text{M}^2$), por otro lado, produce 2,26 KVAR fijos de potencia reactiva.

Hora	Irradiancia (W/M ²)	Potencia Activa DC (KW)	Potencia Reactiva AC (KVAR)
7:00 am	580,27	1,49	2,26
8:00 am	782,87	2,01	2,26
9:00 am	879,63	2,26	2,26
10:00am	931,10	2,4	2,26
11:00am	956,97	2,46	2,26
12:00 m	963,63	2,48	2,26
1:00 pm	953,03	2,45	2,26
2:00 pm	895,13	2,31	2,26
3:00 pm	863,93	2,22	2,26
4:00 pm	753,10	1,94	2,26
5:00 pm	507,00	1,3	2,26

Tabla 3.1: Potencia activa y reactiva del sistema solar fotovoltaico-Grupo 1, ante variación de la irradiancia, elaboración propia

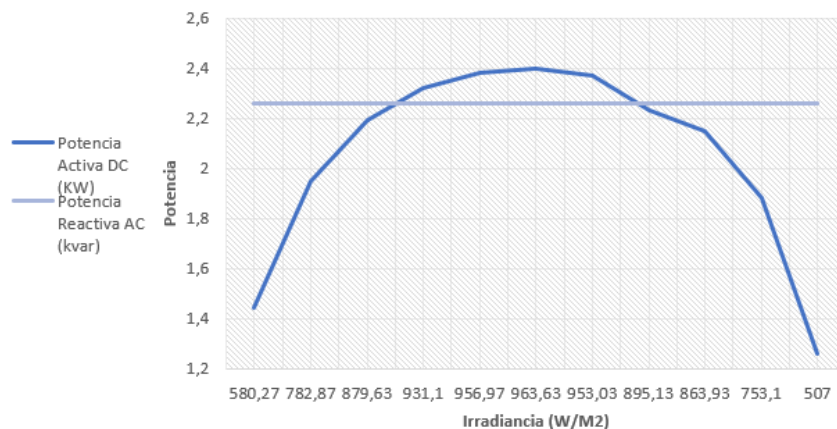


Figura 3.7: Comportamiento del sistema solar fotovoltaico-Grupo 1 ante variación de la irradiancia, elaboración propia

- Los valores consignados en la tabla 3.2 muestran que el sistema fotovoltaico propuesto para el grupo-2, genera 4 KW de potencia útil y 2,85 KVAR fijos de potencia reactiva, cuando se presenta la mayor irradiancia promedio en el día (963,63 W/M²).

Hora	Irradiancia (W/M ²)	Potencia Activa DC (KW)	Potencia Reactiva AC (KVAR)
7:00 am	580,27	2,41	2,85
8:00 am	782,87	3,25	2,85
9:00 am	879,63	3,65	2,85
10:00am	931,10	3,87	2,85
11:00am	956,97	3,97	2,85
12:00 m	963,63	4	2,85
1:00 pm	953,03	3,96	2,85
2:00 pm	895,13	3,72	2,85
3:00 pm	863,93	3,58	2,85
4:00 pm	753,10	3,13	2,85
5:00 pm	507,00	2,1	2,85

Tabla 3.2: Potencia activa y reactiva del sistema solar fotovoltaico-Grupo 2, ante variación de la irradiancia, elaboración propia

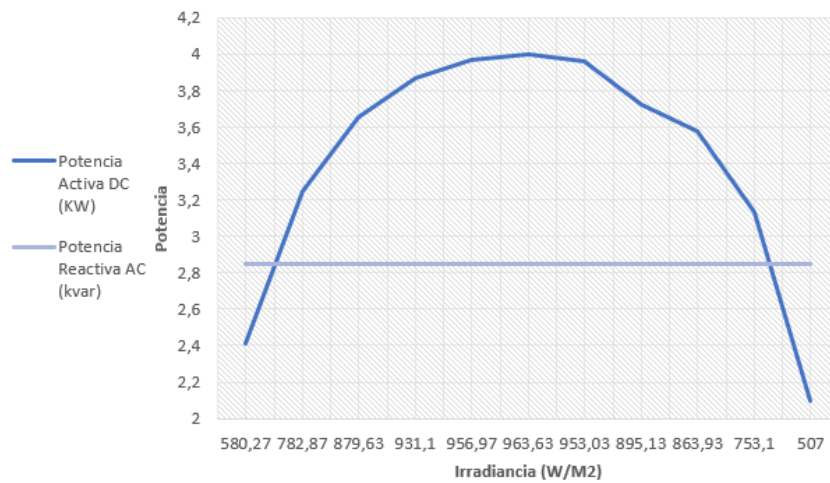


Figura 3.8: Comportamiento del sistema solar fotovoltaico-Grupo 2 ante variación de la irradiancia, elaboración propia

- Como se observa en la tabla 3.3, el sistema fotovoltaico propuesto para el grupo-3 genera 3,2 KW de potencia útil cuando se presenta la mayor irradiancia promedio en el día (963,63 W/M²), de igual forma, produce 2,69 KVAR fijos de potencia reactiva.

Hora	Irradiancia (W/M ²)	Potencia Activa DC (KW)	Potencia Reactiva AC (KVAR)
7:00 am	580,27	1,93	2,69
8:00 am	782,87	2,6	2,69
9:00 am	879,63	2,92	2,69
10:00am	931,10	3,09	2,69
11:00am	956,97	3,18	2,69
12:00 m	963,63	3,2	2,69
1:00 pm	953,03	3,17	2,69
2:00 pm	895,13	2,97	2,69
3:00 pm	863,93	2,87	2,69
4:00 pm	753,10	2,5	2,69
5:00 pm	507,00	1,68	2,69

Tabla 3.3: Potencia activa y reactiva del sistema solar fotovoltaico-Grupo 3, ante variación de la irradiancia, elaboración propia

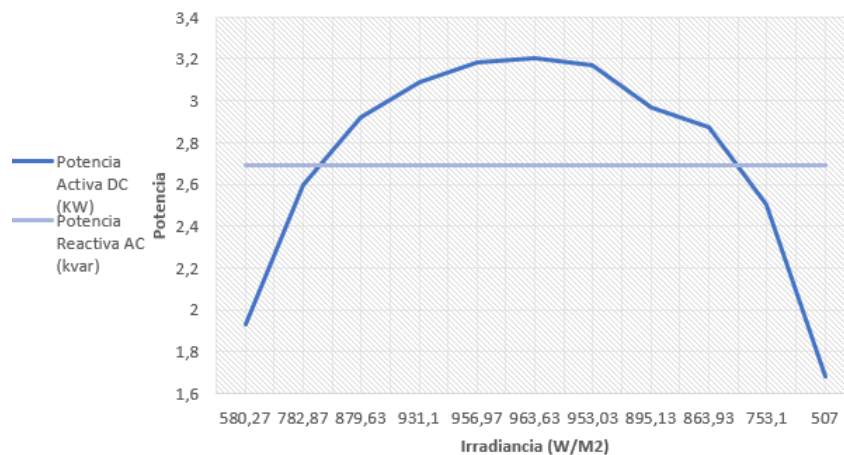


Figura 3.9: Comportamiento del sistema solar fotovoltaico -Grupo 3 ante variación de la irradiancia, elaboración propia

En las gráficas 3.7, 3.8 y 3.9 se encuentran consignados los resultados obtenidos, los cuales reflejan que la producción de reactivos se mantiene fija ante variación en la irradiancia, esto se debe a que los paneles solares generan corriente directa DC, por tanto no hay variación cíclica entre la magnitud y el sentido de la corriente, los reactivos que se ven generados son propios de la carga, a medida que crece la demanda de la carga los reactivos aumentan.

3.3. Generación hidroeléctrica

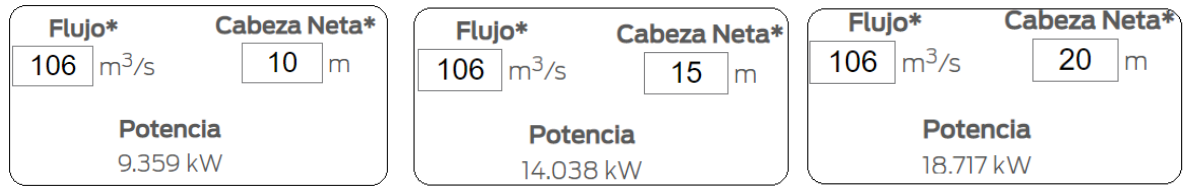
Para el análisis de esta tecnología se estudiará la conveniencia de uso de una turbina, esta máquina rotativa permitirá la transferencia energética entre el fluido que circula en forma continua por el río y un rotor provisionado por alabes que mediante su eje moverá un generador eléctrico acoplado a él. Es necesario conocer ciertos parámetros que servirán de guía para determinar que tipo de turbina es la adecuada para el proyecto, en este sentido se realizó el compendio de los datos suministrados por el IDEAM desde su aplicativo DHIME, donde se analizó la variable “Caudal medio mensual” medida desde la estación de monitoreo Sangaral adscrita al municipio de Guapi Cauca, según el IDEAM estos datos se encuentran en nivel de aprobación “Definitivo”, por lo tanto pueden ser utilizados para toma de decisiones ya que se ha realizado el proceso de validación que garantiza la calidad del dato, dicha información permite visualizar el comportamiento de la variable en las diferentes épocas del año. Conforme a lo especificado en la tabla 3.4, para el año 2018, el caudal medio anual fue de $106,01m^3/s$, en los meses de noviembre, abril, enero y octubre se presentaron los caudales más altos y los más bajos en los meses de mayo, junio, julio y agosto. Los antecedentes mencionados evidencian una variabilidad de aproximadamente el 51 % en el caudal, asimismo, en la época de verano el aforo del río Guapi disminuye, lo que ocasiona contra corrientes provenientes desde el océano pacífico.

Q	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
m^3/s	117,9	96,4	110,1	122,4	91,9	84,1	85,7	79,6	105,3	114,2	155,4	109

Tabla 3.4: Caudal medio mensual 2018, Estación Sangaral Guapi, fuente: IDEAM

3.3.1. Estimación potencial energético

Una vez determinado el caudal del río se estimó la potencia que puede entregar la turbina a diferentes saltos de agua, para ello se utilizó la calculadora de potencia de la empresa Global Hydro, la cual recibe como datos de entrada el flujo en (m^3/s) y la cabeza neta en (m). Como se puede observar en la imagen 3.10, utilizando el caudal promedio de $106m^3/s$ a diferentes saltos de agua, la turbina puede generar potencia en el orden de los megavatios, valores que sobrepasan en gran medida a la carga instalada de la comunidad (13,12 KW).



(a) Potencia con salto de 10m (b) Potencia con salto de 15m (c) Potencia con salto de 20m

Figura 3.10: Calculo de potencia de turbinas a diferentes saltos de agua, fuente: [65]

3.3.2. Elección componentes principales del sistema hidroeléctrico

Una vez estimado el potencial energético, se seleccionó una microturbina que cumpliera con el requerimiento de las cargas instaladas, contemplando una fracción del caudal equivalente a 150 l/s y un salto de agua de 15m, y tomando como referencia al modelo del diagrama mostrado en la imagen 3.11.

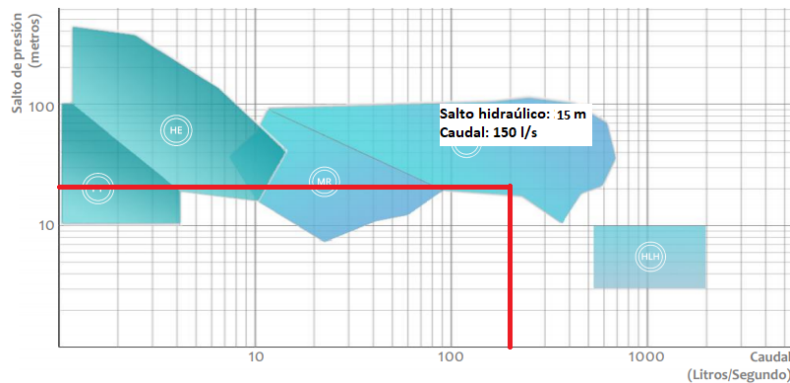


Figura 3.11: Diagrama para selección de turbina, fuente: Proveedor

Se eligió la turbina marca Tecnoturbines (ver imagen 3.12), modelo Hydroregen, con generador eléctrico trifásico, sistema de control de velocidad de la turbina MPPT, velocidad nominal de 1000 a 1500 RPM, eficiencia de 70 a 78 % , rango de caudal de 105 a 510 l/s y salto de presión de 10 a 135m. Para la instalación de estos elementos es necesario diseñar un sistema de toma de agua, para garantizar que los valores de caudal y salto hidráulico permanezcan en rangos constantes, lo anterior se sugiere debido a las fluctuaciones que presenta el nivel del río en las épocas mostradas en la tabla 3.4.



Figura 3.12: Turbina y panel de control Hydro Regen, fuente: Proveedor

Los costos relevantes para esta tecnología no solo están asociados a los componentes principales de la red como la microturbina o el sistema de control, si no también a las condiciones finales de instalación, por tanto no es posible determinar un valor final hasta tanto no se realice la ingeniería de detalle, dicho lo anterior se optó por investigar en la literatura trabajos previos en donde se hubiera realizado un estudio financiero para un sistema que presentara condiciones similares a las de este proyecto. Se encontró en [66] una investigación de prefactibilidad detallada que contempla los costos de adquisición y puesta en marcha de la misma microturbina seleccionada para este caso de estudio y los costos de infraestructura eléctrica e hidráulica, los valores mencionados se encuentran descritos a continuación:

Concepto	Descripción	Valor Total (USD)
Costo microturbina	Adquisición y puesta en marcha	65.700
Costo de infraestructura hidráulica	Contempla los rubros de los elementos necesarios para la instalación de la turbina	11.686,73
Costo de infraestructura eléctrica	Contempla los rubros de los accesorios para conexión eléctrica entre componentes	1455,56
	Total	78.842,29

Tabla 3.5: Costos sistema hidroeléctrico, fuente:[66]

De tal modo se pudo estimar que el valor aproximado del sistema hidroeléctrico es de 278'566.367,5 COP.

Conforme a las especificaciones técnicas de la microturbina, se efectuó el diseño y la configuración del sistema de generación hidroeléctrico mediante el simulador Etap (V.16). Es importante mencionar que el programa Etap (V.16) con el cual se desarrollaron las simulaciones de las tecnologías estudiadas, no cuenta con un componente que permita simular una turbina hidráulica, por lo tanto, su simulación fue realizada mediante un generador síncrono. Como lo muestra la imagen 3.13 la máquina fue asociada a un punto de acople común (PAC). La simulación del flujo de carga permite determinar que el sistema propuesto bajo la implementación de una micro turbina de la marca Tecnoturbines modelo Hydroregen, supe la carga que demanda la red caso de estudio, obteniendo así una transferencia de potencia de 13,81KW a 115V, con un caudal de 0,15 (m^3/s) y un salto de agua constante de 20m. Los reactivos varían de acuerdo a la potencia que entrega la turbina a diferentes caudales manteniendo el mismo salto de agua.

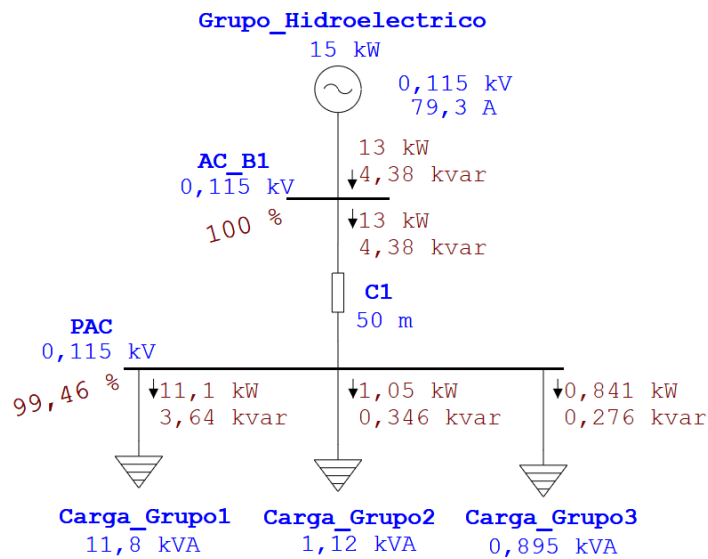


Figura 3.13: Simulación sistema con microturbina propuesto, (Simulador Etap V.16)

Con el fin de conocer los valores de las potencias activas y reactivas que entrega el sistema en presencia de diferentes caudales, se determinó inicialmente la potencia generada ante variaciones del caudal, dentro del rango de trabajo de la microrrtubina (105 a 510 l/s), dejando fijo el salto de agua equivalente a 15 metros. La potencia generada por el sistema fue calculada mediante la ecuación relacionada a continuación:

$$Potencia_{generada} : g * Q * h * u \quad (2)$$

Donde:

- g: Gravedad (9,8 m/s²).
- Q: Caudal m³/s.
- h: Caída de agua (15m).
- u: Eficiencia de la turbina suministrada por el proveedor (70%).

Posteriormente se ingresaron las potencias obtenidas en el simulador Etap (V.16), los datos fueron compilados para obtener los valores de los reactivos mediante el flujo de carga. Los resultados se encuentran consignados en la tabla 3.6.

Caudal (L)	Potencia Activa (KW)	Potencia Reactiva (KVAR)
110	11,31	3,72
130	13,37	4,4
150	15,43	5,07
170	17,49	5,75
190	19,55	6,43
210	21,60	7,1
230	23,66	7,78
250	25,72	8,46
270	27,78	9,13
290	29,84	9,81
310	31,89	10,49
330	33,95	11,16
350	36,01	11,84
370	38,07	12,51
390	40,13	13,19
410	42,18	13,87
430	44,24	14,54
450	46,30	15,22
470	48,36	15,9
490	50,42	16,57
510	52,47	17,25

Tabla 3.6: Potencia activa y reactiva del sistema con microturbina ante variación del caudal, elaboración propia

Los valores obtenidos fueron graficados en el diagrama presentado en 3.14, se puede observar la capacidad que tiene el sistema propuesto para entregar 11,31 KW de potencia útil en presencia del nivel de caudal más bajo. Con respecto a los reactivos se observa una alteración en los mismos ante variación del caudal, esto se debe a que la microturbina genera corriente alterna, es decir que se presenta un cambio en la intensidad y sentido de

la corriente en intervalos regulares de tiempo, por tanto hay presencia de reactivos propios de la carga y propios del alternador.

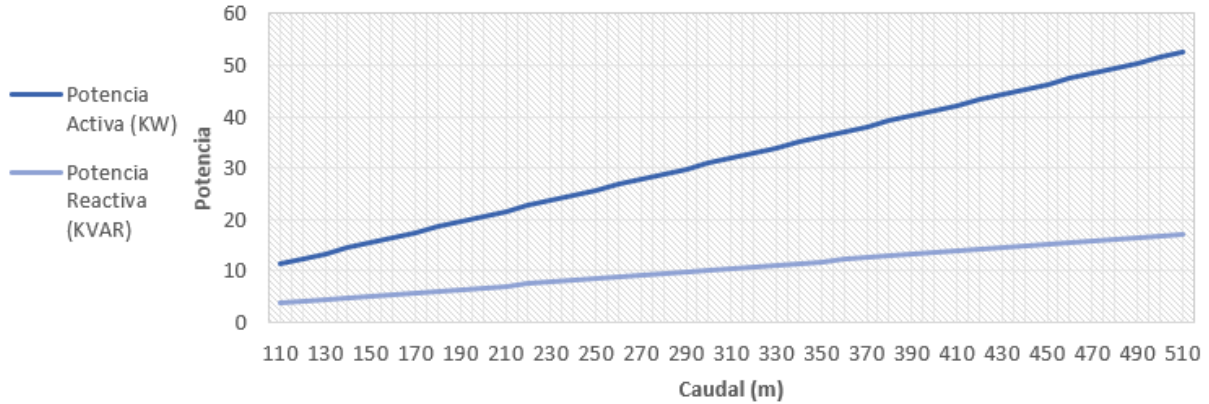


Figura 3.14: Comportamiento del sistema con microturbina ante variación del caudal, elaboración propia

3.4. Generación con grupo electrógeno

Una planta de respaldo tipo diesel consiste en un sistema conformado por equipos cuya función es garantizar el suministro eléctrico cuando la red principal presenta interrupciones, consta de un alternador accionado por un motor y un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos que permiten su adecuado funcionamiento, entre estos se tiene el subsistema de lubricación, refrigeración, combustible, escape, suministro y salida de aire, sincronización, protección, control regulación de tensión y carga de baterías [67]. Como se ha venido mencionando, la comunidad Nueva Bellavista cuenta con un grupo electrógeno, donado por otra comunidad, esta planta no se encuentra en funcionamiento debido a fallas y a la falta temporal de combustible. De acuerdo a lo referido en el apartado 2.1, las fuentes renovables de energía son intermitentes, es decir que solo se puede generar energía eléctrica cuando hay existencia de ciertas condiciones (Irradiancia solar, caudal, velocidad del viento etc), por lo tanto, estas deben ser apoyadas por otras fuentes para asegurar la continuidad del servicio. En conformidad con las condiciones y características de la zona, se realizó el estudio de dicha tecnología para abastecer la demanda de la comunidad (carga instalada 13,12 KW).

3.4.1. Elección componentes principales del sistema de respaldo

El sistema de respaldo propuesto por la empresa Gecolsa S.A (Número de identificación tributaria NIT: 860002576), es la planta marca CATERPILAR mostrada en la imagen

3.15, modelo DE22E3, apta para suministrar la capacidad requerida, compuesta por un motor diesel modelo C2.2 de aspiración turbocargado, 4 cilindros en línea, enfriamiento por sistema radiador, directamente acoplado al generador a 1800 rpm, los accesorios incluidos son los siguientes:

- Cabina de atenuación de ruido y protección a la intemperie
- Alternador de carga de batería 24 voltios
- Silenciador
- Batería y cables
- Tanque diario de combustible
- Interruptor totalizador
- Cargador de batería 12 voltios
- Manual técnico de operación y mantenimiento



Figura 3.15: Planta Caterpillar, fuente: Proveedor

Como lo indica la ficha técnica de la planta, el consumo de combustible al 100% de carga es de 6,5 litros por hora, lo que equivale a 1,7 galones, esta información es basada en diesel con un peso específico de 0,85 clase A2, la capacidad del tanque de combustible es de 17,4 galones, por lo tanto, la planta puede trabajar alrededor de 10 horas continuas

sin recarga de diesel. El Ministerio de Minas y Energía en su reporte mensual de precios de combustibles, informa que para finales del año 2020 el precio del galón de ACPM se encuentra en 8.347 pesos colombianos, es importante resaltar que estos valores aumentan para el municipio de Guapi debido al costo del transporte.

La resolución 41281 del 30 de diciembre de 2016 por la cual el Ministerio de Minas y Energía adopta la estructura para la fijación de precios del ACPM para uso en motores diesel, permite estimar el incremento o decremento de este combustible a lo largo del tiempo, es por eso que la UPME aplicó dicha normatividad para proyectar los precios del diesel durante el periodo 2019-2039 tomando como referencia a la ciudad de Bogotá, el resultado detallado de la gráfica 3.16, muestra que al presentarse el escenario alto (Linea verde) este gasóleo podría llegar a un valor de los 14.132 COP por galón y de 7.789 COP en el escenario bajo (Linea amarilla), es necesario considerar estos pronósticos que establecen un margen de precios a futuro para la adquisición de este recurso.

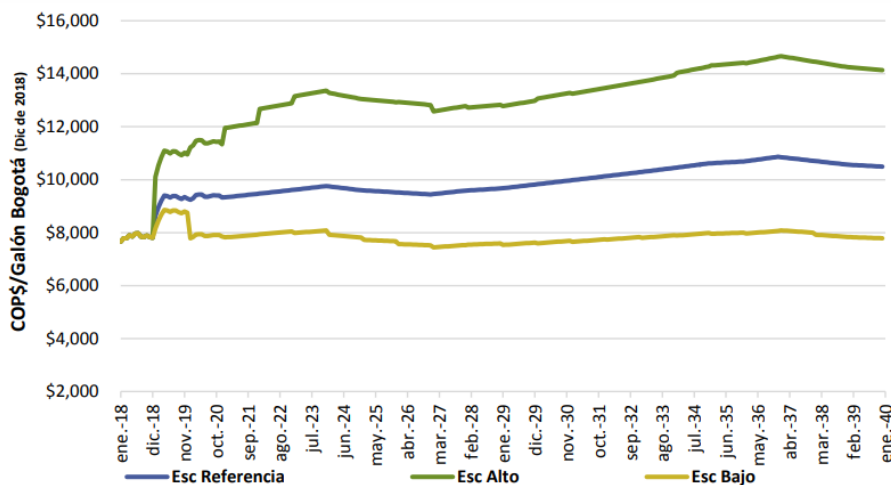


Figura 3.16: Proyección por escenarios del diesel, fuente: [68]

Esta tecnología en particular, no solo tiene asociados los costos de inversión de la adquisición de la planta, si no también otros requerimientos para la puesta en marcha de la misma, a continuación se listan los precios relacionados a la generación con diesel:

- Costo de la planta diesel (C_p): La planta de generación diesel tiene un costo total de 40'240.439,05 COP según la cotización del anexo 7, este valor es generado de acuerdo a la tasa representativa del mercado TRM actual (\$ 3533,21).
- Costo de combustible (C_c): El galón de ACPM se esta comercializando actualmente en el Municipio de Guapi en 12.000 COP, el transporte de 30 galones de ACPM vía fluvial desde la cabecera de Guapi hasta la comunidad Nueva Bellavista tiene un valor de 20.000 COP, es decir que el costo total de los 17,4 galones es de aproximadamente 220.388,4 COP.

- Costo de lubricante (Cl): Para la planta Caterpillar se recomienda el aceite 15W-40, este es comercializado en el municipio de Guapi en 55.200 COP el galón, la planta tiene una capacidad total de aceite de 2,4 galones, por lo tanto el costo total del lubricante requerido es de 134.078,4 COP (Incluido el transporte desde Guapi hasta Nueva Bellavista).
- Costo sistema automático de transferencia nacional de 60 amperios (Ct): Dado que se trata de un sistema de respaldo se hace necesario adquirir un dispositivo basado en contactores que active el funcionamiento de la planta diesel cuando detecte anomalías en la red principal de suministro como se ilustra en la imagen 3.17. En términos económicos, el valor de la transferencia está sujeta principalmente a la configuración de operación, ya sea en modo automático o manual. Para el caso de estudio se opta por un sistema de transferencia automático ya que brinda mayor confianza y comodidad al presentarse cualquier tipo de falla, básicamente su objetivo es supervisar la tensión de la red principal, si es necesario pondrá en funcionamiento a el grupo electrógeno hasta tanto la red la red eléctrica primaria se normalice, el valor de este componente es de 2'975.000 COP, de acuerdo a lo descrito en el anexo 7.

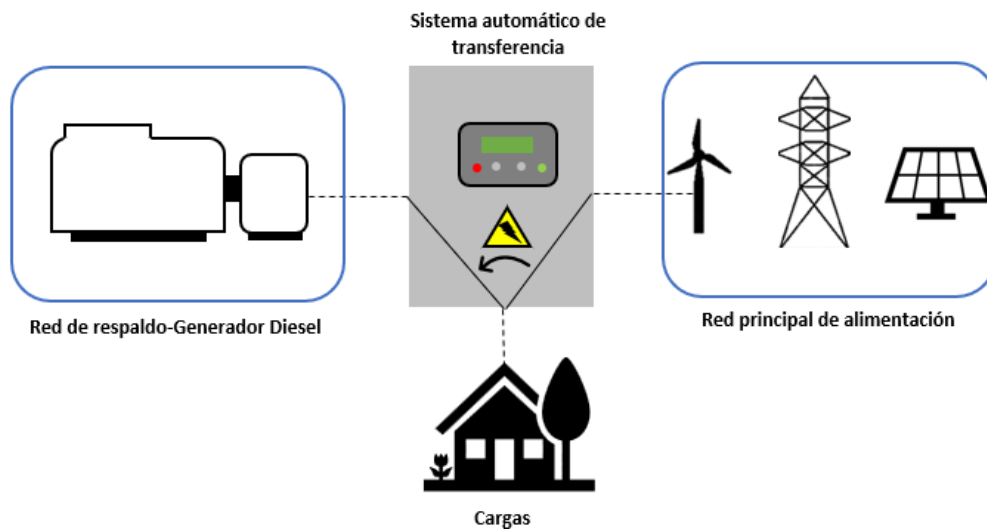


Figura 3.17: Esquema general sistema automático de transferencia, elaboración propia

Según los anteriores valores se puede calcular el costo total de la inversión para la puesta en marcha de la planta así:

$$Costo_{total} = C_p + C_c + C_l + C_t = 43'569,905,85COP \quad (3)$$

A continuación, se presenta el diseño y simulación del sistema de respaldo con grupo electrógeno. De acuerdo a los componentes y las especificaciones técnicas del proveedor, el

generador electrógeno se diseña y se configura mediante la implementación de una máquina síncrona. Esta máquina está asociada a un punto de acople común (PAC), con una distribución de cableado de aproximadamente 100 metros en donde se conectan directamente las cargas, este valor fue estimado conforme a las distancias entre viviendas expuestas anteriormente en el apartado 2.4. El generador demanda una potencia de 20 KW, el cual es configurado para obtener una transferencia de potencia de 13 KW a 115 V, distribuidos a los tres grupos de carga. De acuerdo a la simulación se obtienen los resultados del flujo de carga, los cuales indican que el sistema propuesto cumple los requerimientos para suplir la potencia instalada del sistema de respaldo como se observa en la imagen 3.18, generando un total de 13 KW.

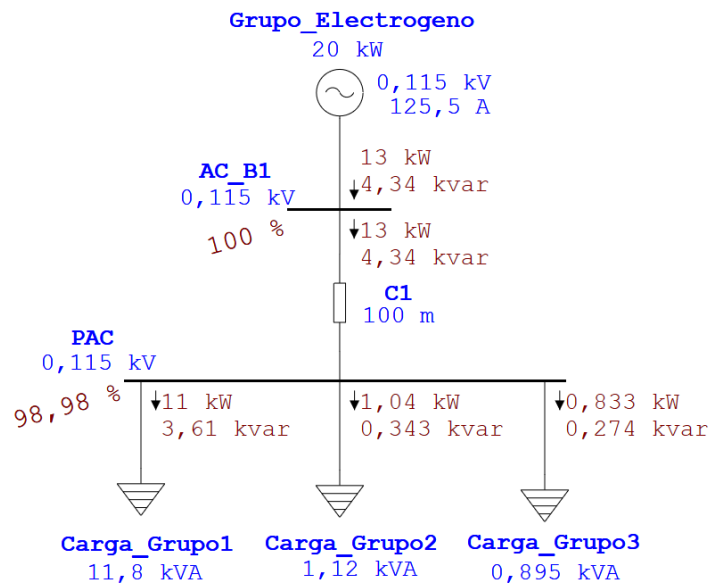


Figura 3.18: Simulación sistema de respaldo propuesto, (Simulador Etap V.16)

3.5. Evaluación de alternativas

Para la elección del sistema de generación se utilizará el proceso analítico jerárquico (AHP), es un método que permite evaluar alternativas teniendo en consideración varios criterios que pueden ser cualitativos y cuantitativos, se realizan comparaciones entre pares de elementos, asignando pesos de acuerdo a la escala de prioridades mostrada en la tabla 3.7 según la preferencia de un elemento sobre otro, lo que facilita la toma de decisiones. La metodología propone tres principios básicos, los cuales deben desarrollarse de forma ordenada (El principio de estructuración jerárquica, el principio de disposición de prioridades y el principio de la consistencia lógica) [69].

Escala numérica	Escala verbal	Interpretación
1	Igual importancia de ambos criterios	Los dos criterios contribuyen de la misma forma al objetivo
3	Moderada importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios es levemente favorecido
5	Fuerte importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios es fuertemente favorecido
7	Muy fuerte importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios es fuertemente dominante
9	Extrema importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

Tabla 3.7: Escalas de comparación, fuente:

En los siguientes items se encuentran los criterios con los cuales se realizará la evaluación de las 2 alternativas tecnológicas.

- Eficiencia energética: Eficiencia de conversión del sistema renovable
- Disponibilidad de recurso: Periodos en los cuales se puede hacer uso del recurso energético
- Impacto en el ecosistema: Impacto que tendría la instalación del sistema de generación sobre la fauna y flora presente en la zona
- Generación de residuos
- Aceptación de la comunidad: Percepción de los habitantes del resguardo Nueva Bellavista respecto a la implementación de cada una de las alternativas
- Afinidad con política energética nacional
- Costo KWh: Precio del KWh según el costo de mantenimiento del sistema
- Costo asociado a la operación de la red de respaldo

Posteriormente se construyó la jerarquía mostrada en 3.19 dando cumplimiento al objetivo 1 de la metodología, en esta se definió el objetivo, los criterios generales y subcriterios asociados, relacionando las dos alternativas de generación.

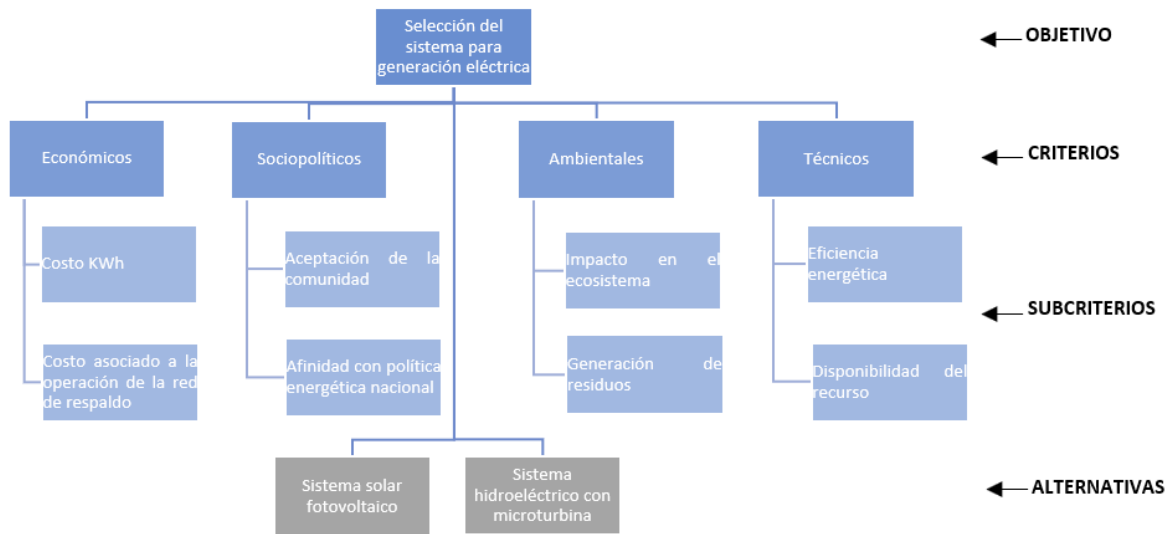


Figura 3.19: Contrucción de jerarquía, elaboración propia

La investigación desarrollada en [70] tiene como objetivo definir los criterios que deben ser considerados para la planificación energética con énfasis en zonas rurales colombianas, en dicho trabajo se elaboró un cuestionario integrado por 33 criterios en donde 47 expertos conformados por empresas del sector de las fuentes renovables de energía, profesores universitarios investigadores con experiencia en proyectos de planificación energética, empleados públicos con funciones asociadas al uso racional de los recursos y proyectos de planificación energética, organizaciones no gubernamentales protectoras del medio ambiente y organizaciones pertenecientes a las comunidades rurales, valoraron cada criterio de acuerdo a la escala de likert (Método de medición), al cual se le asignó un nivel de significancia conforme a procedimientos estadísticos ampliamente expuestos en el artículo citado, por tanto se utilizó como referencia dicha evaluación, para ello se filtraron los resultados de la valoración de los 8 subcriterios descritos anteriormente como lo muestra la tabla 3.8. Cabe resaltar que el subcriterio “Costo KWh” no se encontraba descrito puntualmente en la investigación de referencia, pero sí consideraron los criterios de inversión inicial y costo de mantenimiento, por lo tanto se tomaron los resultados de estos dos elementos y se promediaron dado que dichos criterios son requeridos para estimar el costo del KWh. Se puede evidenciar de acuerdo a las valoraciones realizadas, que el mayor valor promedio fue obtenido por el subcriterio aceptación de la comunidad, con una media de 4,53 y el menor valor fue para el subcriterio generación de residuos, con una media de 3,45.

Subcriterio	Media	Significancia
Impacto en el ecosistema	4,23	Alta
Generación de residuos	3,45	Alta
Eficiencia energética	3,77	Alta
Disponibilidad del recurso	3,83	Alta
Aceptación de la comunidad	4,53	Muy alta
Afinidad con política energética nacional	3,77	Alta
Costo KWh	3,69	Alta
Costo asociado a la red de respaldo	3,64	Alta

Tabla 3.8: Valoración subcriterios fuente:[70]

Los resultados descritos en la tabla 3.8 muestran claramente el nivel de importancia de los subcriterios, aún así es necesario determinar la medida en que un elemento es más o menos relevante que otro, las categorías con la cuales se valoró la significancia de cada uno de los 33 criterios descritos en el trabajo referido fueron “Muy alta”, “Alta”, “Moderada” y “Poca”, los 8 subcriterios objeto de análisis obtuvieron resultados de significancias “Muy alta” y “Alta”, por tanto se procedió a realizar la asignación de los pesos utilizando los valores 1, 3 y 5 de la escala numérica descrita anteriormente en 3.7, ya que dichos resultados se encuentran próximos entre sí.

Dando cumplimiento al objetivo 2 de la metodología, se proponen los siguientes cálculos para asignar de forma objetiva los pesos a cada subcriterio:

$$Punto_{Medio} = (Limite_{superior} - Limite_{inferior})/2 \quad (4)$$

Donde,

- Limite superior: 4,53 (Valor de la media más alta obtenida por un subcriterio)
- Limite inferior: 3,45 (Valor de la media más baja obtenida por un subcriterio)

Reemplazando valores se tiene que,

$$Punto_{Medio} = 0,54 \quad (5)$$

El valor del punto medio se obtuvo con la finalidad de establecer rangos para los cuales se asignará 1, 3 o 5 como nivel de importancia de un subcriterio respecto a otro, las reglas propuestas son las siguientes:

- Si la diferencia entre los valores de las dos medias de los subcriterios comparados es menor o igual a 0,54 se asignará un peso de 3, es decir que el criterio con media mayor será levemente favorecido frente al criterio de menor media

- Si la diferencia entre los valores de las dos medias de los subcriterios es mayor a 0,54 se asignará un peso de 5, es decir que el criterio con media mayor será favorecido fuertemente frente al criterio de menor media
- Si la diferencia entre los valores de las dos medias de los subcriterios es igual a 0 se asignará un peso de 1, es decir que los dos criterios contribuyen de la misma forma al objetivo

Las comparaciones entre los subcriterios se encuentran en la matriz 3.9, la cual fue normalizada para obtener el vector de prioridad, los procedimientos matemáticos definidos por la metodología para elegir la mejor alternativa se encuentran detallados en el anexo 9.

	Costo KWh	Costo red de respaldo	Aceptación comunidad	Política energética	Eficiencia energética	Disp. recurso	Impacto ecosistema	Generación residuos
Costo KWh	1/1	3/1	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	3/1
Costo red de respaldo	1/3	1/1	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	3/1
Aceptación comunidad	5/1	5/1	1/1	5/1	5/1	5/1	3/1	5/1
Política energética	3/1	3/1	1/5	1/1	1/1	1/3	1/3	3/1
Eficiencia energética	3/1	3/1	1/5	1/1	1/1	1/3	1/3	3/1
Disp. recurso	3/1	3/1	1/5	3/1	3/1	1/1	1/3	3/1
Impacto ecosistema	3/1	5/1	1/3	3/1	3/1	3/1	1/1	5/1
Generación residuos	1/3	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1/1

Tabla 3.9: Matriz de comparación, elaboración propia

El vector de prioridad definido en 3.10 muestra la favorabilidad de cada criterio, por ejemplo se tiene que la disponibilidad del recurso tiene una importancia del 13% respecto a los otros subcriterios, mientras el impacto en el ecosistema tiene un porcentaje del 20%.

Subcriterio	Vector de prioridades
Costo KWh	0,06
Costo red de respaldo	0,05
Aceptación comunidad	0,35
Política energética	0,09
Eficiencia energética	0,09
Disp. recurso	0,13
Impacto ecosistema	0,20
Generación residuos	0,03

Tabla 3.10: Vector de prioridades para subcriterios, elaboración propia

Se evaluaron las dos alternativas con respecto a cada uno de los subcriterios previamente ponderados, el nivel de importancia fue asignado de acuerdo a la información sintetizada en este documento, los pesos definidos se generaron conforme a los juicios descritos en los siguientes items.

- Juicio para criterios económicos:** Dentro del análisis económico, no se tendrá en cuenta directamente el costo de inversión de cada alternativa, debido a que la presente investigación hace parte de un macro proyecto sin ánimo de lucro, el cuál es financiado por la Unión Europea. El costo del KWh, para usuarios regulados, resulta de agregar los costos de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización, establecido por la Resolución CREG 119 de 2007. Dado que la red de generación que se pretende implementar, es un sistema aislado para autoconsumo, donde los usuarios no se encuentran regulados, se estableció en (6), una expresión matemática que permite estimar el costo del KWh de las 2 tecnologías, a partir del costo de mantenimiento y operación del sistema. Los costos vinculados al mantenimiento, se establecen generalmente como un porcentaje del valor del costo de inversión inicial, dicho porcentaje varía dependiendo de la escala del sistema, independientemente del nivel de generación del mismo [71].

$$Costo_{KWh} = Costo_{mantenimiento} / Consumo_{Anual} \quad (6)$$

Donde,

- Consumo anual: Equivale al consumo anual total en KWh de toda la comunidad, calculado a partir del consumo mensual en el apartado 2.4
- Costo de mantenimiento: Producto del porcentaje de la inversión inicial por el número de mantenimientos anuales

Sistema Fotovoltaico: Dado que los costos de operación y mantenimiento para sistemas fotovoltaicos de pequeña escala son relativamente bajos, se determina un valor del 1 % anual de los costos de inversión inicial. En la siguiente tabla se estima el costo de mantenimiento para el sistema solar fotovoltaico y el costo del KWh.

Sistemas fotovoltaicos	Inversión inicial total (COP)	1% De inversión inicial (COP)	Mantenimientos anuales	Precio total de mantenimiento (COP)	Consumo anual KWh	Costo KWh (COP)
SFV Grupo-1, SFV Grupo-2, SFV Grupo-3	558'247.420,4	5'582.474,2	2	11'164.948,4	45.643,8	244,6

Tabla 3.11: Costo de mantenimiento del sistema fotovoltaico, elaboración propia

Sistema Hidroeléctrico: De acuerdo a las indicaciones del proveedor se estipula que el mantenimiento de la microturbina seleccionada es reducido y sencillo, gracias al empleo de partes standard de bombas convencionales y al sistema de control.

En general la solución tecnológica requiere de muy poca intervención por las características propias de la tecnología consultada. En ese sentido, se establece un valor del 1 % anual de los costos de inversión inicial, para el costo de mantenimiento y a partir de este valor se calcula el costo del KWh, como se muestra en la tabla 3.12

Sistema hidroeléctrico	Inversión inicial total (COP)	1% De inversión inicial(COP)	Mantenimientos anuales	Precio total de mantenimiento (COP)	Consumo anual KWh	Costo KWh (COP)
Sistema con microturbina de río	278'566.367,5	2'785.663,7	2	5'571.327,4	45.643,8	122,06

Tabla 3.12: Costo de mantenimiento del sistema hidroeléctrico, elaboración propia

Red de respaldo: Las actividades de mantenimiento de la planta diesel que deben ser realizadas por un técnico calificado, se programan generalmente cada 500 horas de uso [72], su costo anual depende de la red principal de generación a la cual este respaldando. La comunidad Nueva Bellavista se encuentra en una ubicación favorable (Al nivel del mar), esta condición es óptima para el adecuado funcionamiento del grupo electrógeno, por tanto, se estima un costo de mantenimiento del 1 % de la inversión inicial como se muestra en la tabla 3.13.

Red de respaldo	Inversión inicial total (COP)	1% De inversión inicial(COP)	Cantidad de mantenimientos anuales	Precio total de mantenimiento (COP)
Planta de generación diesel	43'569.905,85	435.699,05	1	435.699,05

Tabla 3.13: Costo de mantenimiento del la red de respaldo, elaboración propia

El cuanto al consumo de combustible y lubricante (Costos que se encuentran especificados en el apartado 3.4.1), se prevee que los mismos serán requeridos en mayor medida por el sistema fotovoltaico, debido a la intermitencia de su fuente primaria de transformación (Radiación solar).

Según las estimaciones establecidas anteriormente, se favorecerá fuertemente al sistema hidroeléctrico ya que el costo del KWh implementando esta tecnología, es un 50 % más bajo que el costo del sistema solar fotovoltaico, de igual forma con el sistema hidroeléctrico se hará menos uso de la red de respaldo, la matriz de ponderación y su respectivo vector de prioridad se encuentra en el anexo 9, figura IX.

- **Juicio para criterios sociopolíticos:** En relación a la aceptación de la comunidad, el apoyo del resguardo Nueva Bellavista ha sido un eje fundamental para el desarrollo de esta investigación, los pobladores han aportado sus conocimientos y habilidades en la realización de actividades relacionadas con el cumplimiento del objetivo. La

mayor inquietud y preocupación de la comunidad es a la protección de cultivos y árboles nativos por la instalación de los paneles solares, ya que los mismos para su adecuado funcionamiento requieren un área libre de sombra, su recomendación es generar estrategias que impidan en lo posible la afectación de estas especies. Con respecto a la afinidad con políticas energéticas, la generación hidroeléctrica a pequeña escala y la solar fotovoltaica son consideradas energías renovables no convencionales, por tanto las 2 tecnologías son acogidas en gran medida por la misma normatividad como se describió en el apartado 2.3, el Ministerio de Minas y Energía promueve el desarrollo de soluciones híbridas en donde se acoplen recursos presentes para generación en la zona con plantas diesel. Dicho lo anterior el sistema hidroeléctrico será favorecido levemente con respecto al sistema fotovoltaico para el subcriterio aceptación de la comunidad, entorno a las políticas energéticas se determina que las dos alternativas contribuyen de la misma forma al objetivo, la matriz con los pesos y su respectivo vector de prioridad se encuentra en el anexo 9, figura x.

- **Juicio para criterios ambientales:** La planta de generación marca Lister con la que cuenta la zona actualmente, consume por 6 horas diarias de uso, 30 galones de diesel tipo B2, lo que emite 304,4694 KgCO₂ por combustión, de acuerdo a la calculadora de emisiones de CO₂ de la UMPE [73]. La implementación de alguna de las dos alternativas como red principal de generación reducirá considerablemente las emisiones de gases efecto invernadero, dado que el grupo electrógeno solo será utilizado como red de respaldo cuando se desarrollen actividades de mantenimiento, en presencia de fallas o en los periodos de ausencia del recurso renovable. De acuerdo a la información recolectada se puede inferir que el sistema que más demandará uso de la red de respaldo es el sistema solar fotovoltaico, debido a que la energía solar presenta intermitencias en el transcurso del día, adicionalmente en las temporadas de alta nubosidad y humedad los paneles solares disminuyen considerablemente su rendimiento, en ocasiones los niveles de irradiancia no son suficientes para generar electricidad y cargar las baterías del sistema. La tecnología que más generará residuos cuando termine la vida útil de sus componentes principales es el sistema fotovoltaico, por ejemplo generará 24 módulos fotovoltaicos categorizados como desechos electrónicos y 9 baterías consideradas residuos peligrosos. Dicho lo anterior se favorecerá fuertemente para ambos subcriterios ambientales a la alternativa del sistema hidroeléctrico con respecto al sistema solar fotovoltaico, la matriz con los pesos y su respectivo vector de prioridad se encuentra en el anexo 9, figura XI.
- **Juicio para criterios técnicos:** Según los resultados de las simulaciones realizadas se puede observar que las dos tecnologías satisfacen los requerimientos de la carga actual de la comunidad, el sistema hidroeléctrico con microturbina es capaz de entregar más potencia, la cual podrá ser aprovechada cuando el nivel de demanda eléctrica aumente. En relación a la disponibilidad del recurso, el río Guapi presenta una variación considerable en el caudal, aún presentando el nivel más bajo en esta variable, el sistema es capaz de generar la potencia requerida, dado que por los grandes volúmenes de agua, solo se necesitaría una pequeña fracción del caudal; la

irradiancia con la cual los paneles pueden generar potencia solo está presente entre la franja horaria de 7:00am a 5:00 p.m . Por tanto, para el subcriterio de eficiencia energética y disponibilidad del recurso se favorecerá fuertemente al sistema hidroeléctrico, la matriz con los pesos y su respectivo vector de prioridad se encuentra en el anexo 9, figura XII.

Alternativa	Calificación final
Sistema solar fotovoltaico	0,23
Sistema hidroeléctrico con microturbina	0,77

Tabla 3.14: Vector prioridad de alternativas, elaboración propia

Conforme a la evaluación realizada finalmente se pudo determinar que el sistema hidroeléctrico con microturbina tiene un 77% de favorabilidad con respecto al sistema solar fotovoltaico, como se evidencia en la tabla 3.14, por tanto, se concluye que la mencionada alternativa es la solución tecnológica más viable para suministrar electricidad a la comunidad Nueva Bellavista del municipio de Guapi Cauca.

Auto-sostenibilidad del sistema de generación

Algunos de los proyectos de electrificación desarrollados en zonas no interconectadas del territorio colombiano, son ejecutados por entidades cuya misión principal es dar cumplimiento a las metas de cobertura del servicio de energía eléctrica, prescindiendo de los aspectos relacionados con las comunidades beneficiarias como la apropiación del sistema, la capacitación técnica, el cuidado del medio ambiente y los recursos económicos necesarios para operación y mantenimiento, por tanto, cuando se presentan fallas o termina la vida útil de los componentes que hacen parte de la estructura eléctrica, el sistema queda inoperable, dejando nuevamente a la zona sin suministro de energía. Por otro lado, la falta de seguimiento y monitoreo causados por el difícil acceso, la ausencia de redes de comunicación en algunas zonas o la incorrecta elaboración de una hoja de ruta, impide determinar el cumplimiento de los objetivos planteados a corto, mediano y largo plazo [74]. Dicho lo anterior, en este capítulo se abordarán las dimensiones social, ambiental, tecnológica y económica ilustradas en la imagen 4.1, estos 4 componentes son los ejes principales para la sostenibilidad de los proyectos de electrificación rural [75], esta estrategia busca garantizar la conservación y permanencia en el tiempo del sistema de generación propuesto.

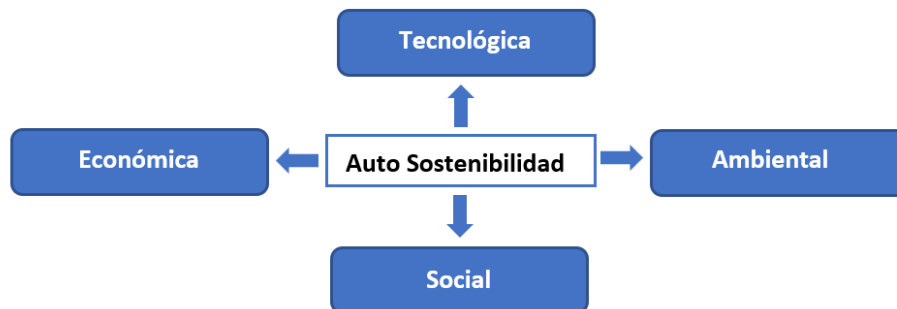


Figura 4.1: Esquema para un sistema de generación auto-sostenible, elaboración propia

Para los 4 componentes de auto-sostenibilidad se sugieren a continuación planes basados en las disposiciones generales expuestas por el Instituto de Planificación y Promoción

de Soluciones Energéticas para Zonas no Interconectadas IPSE en [76] y en la información recaudada en esta investigación. Considerando que se trata de una localidad aislada y teniendo en cuenta que el principal inconveniente que registraron los proyectos desarrollados en dichas zonas, ha sido la falta de comunicación e integración con los beneficiarios, estos lineamientos podrán ser aplicados por el gestor del proyecto para consolidar una comunicación asertiva entre ejecutantes y usuarios, vinculándolos en las actividades de operación y mantenimiento del sistema de generación.

4.1. Dimensión social

La transferencia de conocimiento a la comunidad Nueva Bellavista es uno de los principales componentes que permitirá la sostenibilidad del proyecto, se hace necesario crear un proceso reiterativo de intercambio de saberes entre los pobladores locales y ejecutores, es fundamental desarrollar estrategias que faciliten esta actividad.

4.1.1. Plan de información y participación comunitaria

Objetivo:

- Suministrar la información de forma oportuna y clara a la comunidad Nueva Bellavista
- Afianzar la relación entre los pobladores de la comunidad Nueva Bellavista y los ejecutores del proyecto con el fin de evitar conflictos
- Establecer un medio de comunicación eficiente para atender las solicitudes de cualquiera de las partes

Actividades a desarrollar:

- Notificar de forma escrita y verbal al secretario del resguardo, todo lo concerniente con la programación de reuniones informativas.
- Se presentará a la comunidad Nueva Bellavista, las condiciones de construcción y operación del sistema de generación, esta actividad será realizada antes de iniciar cualquier tipo de obra, verificando la asistencia de todos los beneficiarios del proyecto.
- Verificar que las actas de consentimiento previo se encuentren en regla y debidamente diligenciadas por los usuarios. Posterior a ello, una vez se implemente la planta de generación, se deben tramitar las actas de entrega de los sistemas energéticos, los cuales pueden ser descargados de la página del IPSE.

4.2. Dimensión Tecnológica

La sostenibilidad tecnológica parte de la implementación de estudios técnicos, diseños, equipos y sistemas que sean maduros, probados y robustos, que faciliten su operación y mantenimiento por parte de los habitantes locales, por esta razón inicialmente se tipificó la comunidad comprendiendo aspectos demográficos, sociales, culturales y ambientales, de igual manera se realizó un estudio de las fuentes de energía renovable disponibles en la zona y sus respectivas tecnologías asociadas, con el fin de determinar cuál de ellas cumplía con los requerimientos y necesidades de la comunidad

En relación a los conocimientos técnicos se pudo determinar que los habitantes de la comunidad Nueva Bellavista comprenden la operación básica y algunas actividades de mantenimiento de la planta de generación diesel; desconocen totalmente el proceso de mantenimiento y operación del sistema de generación principal compuesto por la microturbina hidráulica. Expuesto lo anterior, se plantea el siguiente plan de manejo:

4.2.1. Plan de capacitación en mantenimiento y uso eficiente de la energía

Objetivo:

- Capacitar a los pobladores de la comunidad Nueva Bellavista sobre el uso racional y eficiente de la energía, mantenimiento y operación de los equipos que componen el sistema de generación, con la finalidad de dar a conocer la importancia de la correcta utilización de este recurso, garantizando la sostenibilidad del mismo.

Actividades a desarrollar:

- Estructurar un cronograma de capacitación donde se traten los conceptos de uso, cadena, beneficio y ahorro de la energía, derechos y deberes de los usuarios, vida útil del sistema de generación y consecuencias del mal uso de los equipos. En dicha capacitación se deberá hacer entrega de manuales de operación y mantenimiento, al igual que las especificaciones técnicas de todos los dispositivos. Ya que la labor de mantenimiento y operación será realizada en gran medida por los mismos habitantes de la zona, se recomienda designar un grupo organizado, como por ejemplo la junta de acción comunal del resguardo, quienes serán los responsables de conservar los equipos en las mejores condiciones. Para las actividades de corrección de fallas, mantenimiento preventivo o correctivo que requieran asistencia técnica especializada se deberá pactar la prestación de este servicio con alguna entidad, persona natural o jurídica autorizada.

4.3. Dimensión Ambiental

El territorio donde se encuentra asentada la comunidad Nueva Bellavista goza de un extensa variedad de especies de fauna y flora, los habitantes de esta zona han procurado conservar el hábitat minimizando la ejecución de actividades que puedan generar daños irreversibles en la biodiversidad. La sostenibilidad ambiental busca que los proyectos sean estructurados de tal forma que se ocasione el mínimo impacto en el ecosistema, por tal motivo se ha elaborado el plan de manejo descrito a continuación, el cual se enfoca en la etapa de instalación del sistema hidroeléctrico:

4.3.1. Plan de manejo para protección ambiental

Objetivo:

- Garantizar que la implementación del sistema de generación cause el menor impacto en el ecosistema

Actividades a desarrollar:

- Desarrollar medidas de manejo para los residuos sólidos generados en la construcción y operación del sistema de generación, con el fin de almacenarlos y disponerlos de forma adecuada. Para la recolección y clasificación de los residuos sólidos se dispondrán barriles previamente marcados en sitios cercanos a la ejecución de la obra, los cuales serán evacuados periódicamente para evitar el colapso de los mismos, posteriormente serán dispuestos según lo definido por el municipio de Guapi o por la comunidad Nueva Bellavista, estos residuos no se podrán enterrar ni incinerar durante el desarrollo del proyecto.
- Ejecutar de actividades de cargue y descargue de materiales, equipos e instrumentos de manera segura, tanto en el municipio de Guapi como en la comunidad Nueva Bellavista. Los materiales y equipos necesarios para la construcción y operación del sistema de generación deben ser almacenados de forma temporal en un ambiente adecuado, de tal forma que no sean expuestos a daños ni se conviertan en potenciales contaminantes del medio ambiente. Los residuos generados durante la etapa de construcción serán acopiados y almacenados temporalmente, para su posterior clasificación y envío a gestor ambiental, en caso de que no se disponga con dicho gestor, estos residuos serán dispuestos en un lugar adecuado, el cual será indicado por la administración municipal de Guapi.
- Adquirir los materiales requeridos para la construcción de obras civiles, tales como arena o grava, mediante proveedores con licencia, adicionalmente se deberán realizar las pruebas necesarias para garantizar que dicho recurso cuente con las especificaciones técnicas necesarias evitando la extracción directa del material en el río Guapi o en los terrenos de la comunidad Nueva Bellavista.

- Capacitar al personal encargado del montaje del sistema sobre las normas ambientales que rigen el proceso de despeje de áreas, con el objetivo de proteger y minimizar la eliminación de la capa vegetal, evitar la desestabilización de terrenos, la afectación en el hábitat y el deterioro del paisaje.

4.4. Dimensión Económica

Con la finalidad de garantizar que el sistema sea autosostenible económicamente por la propia comunidad, se plantea que los usuarios realicen un aporte monetario para solventar netamente el costo de las actividades especializadas de mantenimiento y operación de la red de generación. Para realizar dicha estimación se propone distribuir porcentualmente estos costos entre los 3 grupos de carga (Viviendas, escuela y cabañas) así:

- Grupo 1-Viviendas: 30 %
- Grupo 2-Escuela: 20 %
- Grupo 3-Cabañas: 50 %

Se plantea un mayor aporte por parte del grupo 3 conformado por las cabañas, teniendo en cuenta que el mismo será utilizado para turismo y por tanto tendrá retribución económica. En la tabla 4.1 se encuentran descritos los costos anuales totales de mantenimiento e insumos necesarios para el funcionamiento del sistema principal de generación y de la red de respaldo, estos costos fueron estimados previamente en la sección 3.5.

Sistema de generación	Costo de mantenimiento y operación anual (COP)
Hidroeléctrico con microturbina	5'571.327,4
Red de respaldo	435.699,05
Total	6'007.026.45

Tabla 4.1: Costo total de mantenimiento y operación sistema de generación, elaboración propia

Finalmente, se determinó la tarifa mensual para cada grupo de cargas, conforme a los porcentajes asignados. Dicha tarifa se obtuvo dividiendo entre doce meses, el resultado del producto entre el costo total anual de mantenimiento y el porcentaje de aporte. De acuerdo a la ecuación (7), el aporte que debe realizar el grupo 1-Vivienda es de 150.175,66 COP, es decir, que cada uno de los 17 usuarios asumen una tarifa de 8.833,86 COP mensuales.

$$Aporte\ Grupo - 1 = (6'007,026,45 * 0,3) / 12 \quad (7)$$

La contribución económica que debe asumir la escuela es de 100.117,11 COP mensuales, según el resultado obtenido en la ecuación (8). Estos recursos deben ser gestionados por los directivos de la escuela y/o por quien corresponda.

$$Aporte\ Grupo - 2 = (6'007,026,45 * 0,2)/12 \quad (8)$$

Conforme a la ecuación (9), la tarifa mensual para las cabañas es de 250.292,77 COP, este monto debe ser asumido por el grupo responsable de la gestión de las cabañas designado por la comunidad.

$$Aporte\ Grupo - 3 = (6'007,026,45 * 0,5)/12 \quad (9)$$

En los anteriores cálculos no se encuentran diferidos los aportes económicos que pueda realizar la alcaldía municipal de Guapi o cualquier otra entidad gubernamental, para alivianar los costos asociados al mantenimiento del sistema.

Conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se describirán los resultados obtenidos a lo largo de la investigación y se plantearán trabajos futuros.

5.1. Conclusiones

- Se realizó la caracterización de la zona objeto de estudio a través de información suministrada por la alcaldía del municipio de Guapi, encuestas efectuadas a los habitantes de la zona y reuniones con los líderes del resguardo, estos datos permitieron establecer las condiciones sociales y demográficas de la comunidad, precisando las particularidades y requerimientos de la carga.
- Se identificó el potencial de fuentes no convencionales de energía renovable presentes en la región, mediante el análisis de datos suministrados por las instituciones encargadas de la investigación científica de cada recurso, este estudio permitió evidenciar potencial hídrico y solar en la comunidad Nueva Bellavista.
- Teniendo en cuenta que una de las características principales de las fuentes de energía renovable es la intermitencia, se determinó que el sistema de generación elegido deberá contar con una red de respaldo, la cual garantizará la continuidad en el suministro eléctrico.
- Se consultaron ofertas en el mercado para el sistema principal de generación y para la red de emergencia. Se obtuvieron 3 propuestas, la primera consiste en un sistema con paneles fotovoltaicos, la segunda en un sistema con microturbina de río y la tercera en una planta de respaldo tipo diesel. Los diseños suministrados por las empresas de ingeniería fueron sometidos a simulación en el software ETAP versión 16.0 para corroborar su eficiencia, de acuerdo a los resultados de las simulaciones se pudo determinar que tanto las dos alternativas de generación como la red de respaldo, satisfacen la demanda eléctrica actual de la comunidad.

- Se determinó que el costo del KWh del sistema hidroeléctrico es de 122,06 COP, este valor es 50 % más bajo que el presentado por el sistema solar fotovoltaico (244,6 COP).
- Se establecieron 8 criterios que facilitaron la evaluación de las dos alternativas, haciendo uso del método analítico jerárquico. El resultado indicó que la alternativa que más se adapta a las características y condiciones de la comunidad es el sistema hidroeléctrico con microturbina de río.
- La comunidad deberá asumir los costos de mantenimiento y operación anual del sistema de generación, para ello, se estableció que cada usuario debe contribuir con de 8'833,86 COP, la escuela con 100.117,11 COP y las cabañas con 250.292,77 COP, mensuales. Para asegurar la auto-sostenibilidad del sistema de generación por el resguardo, es necesario establecer estrategias que garanticen la sostenibilidad ambiental, económica, social y tecnológica, por tanto, se sugirieron planes de manejo que deberán ser llevados a cabo cuando se implemente el sistema.

5.2. Trabajos futuros

Este estudio permitió determinar la alternativa de generación que más se adapta a las características de la comunidad Nueva Bellavista, como trabajo futuro se plantea dentro del macro proyecto de regalías el diseño formal del sistema hidroeléctrico con microturbina.

Bibliografía

- [1] Juan Felipe Bustos González, Andrés Leonardo Sepúlveda, Kevin Triviño Aponte y col. *Zonas no interconectadas eléctricamente en Colombia: problemas y perspectiva*. Inf. téc. Web; accedido el 12-08-2020. 2014.
- [2] Javier Antonio Guacaneme Moreno, César Leonardo Trujillo Rodríguez, Rafael Antonio Peña Suesca y col. “Generación híbrida de energía eléctrica como alternativa para zonas no interconectadas”. En: *Ingeniería* (2007).
- [3] Ipse. *Glosario*. Web; accedido el 01-13-2020. 2020. URL: <http://www.ipse.gov.co/transparencia-y-acceso-a-informacion-publica/informacion-de-interes2/glosario>.
- [4] Alberto Acosta Manzur. “La ley 142 de 1994 y los servicios públicos domiciliarios”. En: *Revista de Derecho* (2011).
- [5] Jose Leonardo Bardales Espino. “Estudio de factibilidad para suministrar energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico en el centro poblado de Shungun región Amazonas, 2016”. En: *Universidad César Vallejo* (2016).
- [6] Julian Vivas. *El pacífico nariñense y chocoano, zonas del país con más rezago en el servicio de energía eléctrica*. Web; accedido el 01-13-2020. 2019. URL: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>.
- [7] Departamento Nacional de Planeación. *Desempeño fiscal*. Web; accedido el 01-13-2020. 2017. URL: <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-territorial/Estudios-Territoriales/Indicadores-y-Mediciones/Paginas/desempeno-fiscal.aspx>.
- [8] Pnud y Red ORMET. “Perfil Productivo Municipio Guapi. Bogota, Colombia: Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo”. En: (2014).
- [9] Régimen Legal de Bogotá. “Ley 143 de 1994 Nivel Nacional”. En: (1994).
- [10] Juan David Gallego Triana. “Políticas para el aprovechamiento del potencial hidroenergético en Colombia mediante pequeñas centrales”. En: *Escuela de Sistemas* (2015).

- [11] Johanna Marcela Díaz Rodríguez. “Formulación de directrices y lineamientos para promover la sostenibilidad de la infraestructura energética en las zonas no interconectadas de Colombia caso de estudio municipio de Guapi, departamento de Cauca”. Tesis de maestría. 2013.
- [12] Tania Isabel Jiménez Castilla. “Energías renovables y turismo comunitario: una apuesta conjunta para el desarrollo humano sostenible de las comunidades rurales”. En: *Energética* (2014).
- [13] Sandra Grisales Lezama y col. “Análisis de la viabilidad técnico-económica de la inclusión de energía renovable en una de las principales localidades de las ZNI”. Tesis doct. 2017.
- [14] Jorge Raúl Lucero Revelo. “Análisis de la Interconexión al SIN y GD para los municipios pertenecientes a la ZNI de los departamentos del Cauca y Nariño”. En: *Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación* (2018).
- [15] Programa de las naciones unidas para el desarrollo. *Energía asequible y no contaminante*. Web; accedido el 09-06-2020. 2015.
- [16] Super Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. *Zonas no interconectadas- Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2019*. Web; accedido el 02-05-2020. 2019. URL: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2019/Nov/diagnostico_de_la_prestacion_del_servicio_zni_-_07-11-2019-lo_1.pdf.
- [17] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas. *Plan nacional de medios*. Web; accedido el 09-06-2020. 2015. URL: <http://www.ipse.gov.co/pages/ipse/PlanMedios2015.pdf>.
- [18] Ministerio de minas y energía. *Resolución 181272*. Web; accedido el 09-06-2020. 2011. URL: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180//23517//20549-9429.pdf>.
- [19] Ministerio de minas y energía. *Línea Cauca -Nariño*. Web; accedido el 08-06-2020. 2018. URL: <https://www.minenergia.gov.co/web/guest/historico-de-noticias?idNoticia=24016530>.
- [20] Departamento administrativo nacional de estadística. *Conceptos básicos*. Web; accedido el 02-05-2020. 2018. URL: https://www.dane.gov.co/files/inf_geo/4Ge_ConceptosBasicos.pdf.
- [21] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas. *Informe de prestación del servicio de energía eléctrica en localidades ZNI sin sistemas de telemetría- Abril 2020*. Web; accedido el 13-06-2020. 2020. URL: <http://www.ipse.gov.co/transparencia-y-acceso-a-informacion-publica/informacion-de-interes2/noticias/584-informe-de-prestacion-del-servicio-de-energia-electrica-en-localidades-zni-sin-sistemas-de-telemetria-abril-2020>.

- [22] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas. *informes mensuales de operación ZNI telemetría*. Web; accedido el 02-05-2020. 2020. URL: http://190.216.196.84/cnm/info_mes.php.
- [23] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas. *Informe mensual de la prestación de servicio de energía eléctrica en las localidades sin sistemas de telemetría de lass zonas no interconectadas*. Web; accedido el 08-06-2020. 2020. URL: <http://www.ipse.gov.co/attachments/article/584/INFORME%20LOCALIDADES%20SIN%20TELEMETR%C3%8DA%20ZNI%20ABRIL%202020.pdf>.
- [24] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas. *Informe telemetría mensual de abril*. Web; accedido el 13-06-2020. 2020.
- [25] Unidad de Planeación Minero Energética. *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. 2015.
- [26] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas. *PERS-Planes de energización rural sostenible*. Web; accedido el 09-06-2020. 2018. URL: http://www.ipse.gov.co/pages/ipse/Informe_PERS_Direcci%C3%B3n1.pdf.
- [27] Fondo Fiduciario de Crecimiento Verde de Corea Departamento nacional de planeación Banco Mundial. *Energy supply situation in Colombia*. Web; accedido el 14-06-2020. 2017. URL: <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Energia/MCV%20-%20Energy%20Supply%20Situation%20vf.pdf>.
- [28] Alcaldía de Guapi. “Plan de Desarrollo Territorial 2016 2019”. En: (2016).
- [29] Danny Williams Núñez Camargo. “Implicaciones ambientales de la política de biocombustibles en la Región Pacífica caso de estudio proyecto de palma de aceite en el municipio de Guapi, Cauca”. En: *Pontificia Universidad Javeriana* (2009).
- [30] Alcaldía municipal de Guapi. “Plan de desarrollo territorial 2020 2023”. En: (2020).
- [31] Servicio Geológico Colombiano. *Geotermia en Colombia*. 2019.
- [32] Unidad de planeación minero energética. *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Web; accedido el 24-07-2020. 2015. URL: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf.
- [33] Helena García, Alejandra Corredor, Laura Calderón y Miguel Gómez. “Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia”. En: (2013).
- [34] Juan Felipe Velandia Ramos y col. “Propuesta de mapa de ruta para la incursión de la energía geotérmica en la canasta energética colombiana”. Tesis de mtría. 2016.

- [35] Edgar Pastor Martínez y col. “Metodología para integración de plantas de poligeneración mediante el uso en cascada de la energía geotérmica”. En: *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo* (2019).
- [36] Geraldyn Arias Marín, Ana María Acevedo Sánchez y col. “Estado actual de la producción de energía geotérmica en Colombia.” En: *Universidad Nacional Abierta ya Distancia UNAD* (2017).
- [37] Jhoan Sebastián Becerra Bayona, Germán Alberto Arciniegas Castro, Esteban Andrés Igua Vargas y Sergio Ismael Blanco Vásquez. *Estudio de diseño de plantas geotérmicas como fuentes de energía renovable y de generación de empleo en zonas de concentración de excombatientes en Colombia*. 2018.
- [38] Unidad de planeación minero energética. *Energía renovables: Descripción, tecnologías y usos finales*. Web; accedido el 24-07-2020. URL: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Iluminacion/CarFNCE.pdf>.
- [39] Energía Solar. En: (2020).
- [40] Unidad de planeación minero energética. *Registro de proyectos de generación julio 2020*. Web; accedido el 4-08-2020. 2020. URL: http://www.siel.gov.co/Generacion_sz/Inscripcion/2020/Registro_jul_2020.pdf.
- [41] meteorología y estudios ambientales Instituto de hidrología. *Atlas interactivo*. Web; accedido el 26-07-2020. 2020. URL: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.
- [42] Natalia Esteve Gómez. “Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica”. En: *Pontificia Universidad Javeriana* (2011).
- [43] Cindy Yoceli Guevara Agudelo y Mariá Lorena Pérez Calderón. “Análisis de viabilidad del suministro de energía eléctrica a la granja la fortaleza ubicada en Melgar-Tolima mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico.” En: (2015).
- [44] Ases. *Rendimiento solar, compra, fiabilidad y mantenimiento en fotovoltaica*. Web; accedido el 4-08-2020. URL: <https://www.ases.org/resources/renewable-energy-home-basics/solar-performance-buying-reliability-and-maintenance-in-photovoltaics/>.
- [45] Unidad de planeación minero energética. *Atlas potencial hidroenergético en Colombia*. Web; accedido el 1-08-2020.
- [46] Unidad de planeación minero energética. *Informe mensual de variables de generación y de mercado eléctrico Colombiano*. Web; accedido el 08-06-2020. 2018.
- [47] Ministerio de minas y energía. *Agua, fuente de energía*. 2019. URL: <https://www.minenergia.gov.co/web/guest/historico-de-noticias?idNoticia=24094573>.
- [48] Unidad de planeación minero energética. *Atlas hidroeléctrico*. Web; accedido el 26-07-2020. 2015. URL: http://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf.

- [49] Jina Zoraya Valencia Balanta y col. “Revisión del potencial para aprovechamiento hidroeléctrico en el municipio de Timbiquí, Cauca”. Tesis doct. 2019.
- [50] Ministerio de minas y energía. *Entrevista con la asociación Internacional de Hidroelectricidad*. Web; accedido el 05-08-2020. 2018. URL: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24094605/Hydropower+Q%26A+%281%29.pdf/5fdf46d4-491f-4ee9-a101-8382046954ae>.
- [51] Johann Ricardo Rodríguez Arcilla y col. “Estudio del potencial eólico en Colombia: viabilidad de un parque eólico”. En: (2019).
- [52] Benito Gustavo Guerrero Hoyos. “Evaluación del potencial eólico basada en sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en el departamento de la Guajira, Colombia”. En: *GeoLimna* (2019).
- [53] Carlos Robles Algarin y Omar Rodríguez Álvarez. “Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia”. En: *Revista espacios* (2018).
- [54] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales Unidad de Planeación MInero Energética. *Atlas de viento y energía eólica de Colombia*. Web; accedido el 12-08-2020. 2006. URL: <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/22>.
- [55] Juan Jose Soto Gutierrez. “Desarrollo de la energía eólica en Colombia”. Tesis de mtría. 2016.
- [56] J Carrasco. “Combustión directa de la biomasa”. En: *EOI Escuela de negocios Master en Energías Renovables y Mercado Energético*. Pg (2007).
- [57] Ideam Upme. *Atlas de Potencial Energético de la biomasa residual en Colombia*. Web; accedido el 12-08-2020. URL: <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ATLAS%20POTENCIAL%20ENERGETICO%20BIOMASA%20RESIDUAL%20COL.%20UPME.pdf>.
- [58] Camara de comercio de Cali. *Centrales eléctricas en el mundo a partir de la biomasa*. Web; accedido el 26-07-2020. 2017. URL: <https://www.ccc.org.co/file/2017/09/Informe-RC-N12-Centrales-electricas-a-partir-de-biomasa.pdf>.
- [59] Bioenergy. *Energía*. Web; accedido el 08-13-2020.
- [60] Incubadora Santander. *Incubadora Santander diversifica su negocio y le apuesta a la generación de energía renovable*. 2017. URL: <https://www.huevoskikes.com/noticias/incubadora-santander-diversifica-su-negocio-y-le-apuesta-la-generacion-de-energia-renovable>.
- [61] Martín Enrique Durán García. “Reactores de lecho fluidizado y lecho burbujeante en la gasificación de la biomasa”. En: *Revista Fuentes, El Reventón Energético* (2014).
- [62] innergy engineering. *Planta de generación combinada de calor y electricidad usando biomasas como combustible*. Web; accedido el 09-06-2020. URL: <https://innergy-global.com/es/divisiones/innergy-engineering/proyectos/planta-de-generacion-combinada-de-calor-y-electricidad-usando-biomasas-como-combustible>.

- [63] Xando Felipe Galán Riveros. “Potencial energético de la biomasa residual agrícola en Colombia”. Tesis de maestría. 2016.
- [64] Diana Marcela Molano Valderrama, Wilson Ramirez Rico y col. “Exposición de las principales políticas públicas relacionadas con la cobertura energética renovable de zonas no interconectadas en Colombia”. En: (2020).
- [65] Global hydro. *Calculadora de turbinas*. Web; accedido el 09-10-2020. URL: <http://www.global-hydro.eu/es/productos/calculadora-de-turbinas/>.
- [66] Daniela Vargas-Benambourg. “Estudio de prefactibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de Micro Generación Hidroeléctrica en líneas de agua potable para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados”. En: *Instituto Tecnológico de Costa Rica* (2019).
- [67] Andre Alfredo Cuadros Quispe. *Upgrade del sistema de control del generador diesel de emergencia de una central térmica de generación*. 2014.
- [68] Unidad de planeación minero energética. *Proyección de precios de los energéticos para generación eléctrica enero 2019, diciembre 2039*. 2019.
- [69] Daniela Vargas-Benambourg. “Modelo de evaluación del desempeño de los proveedores utilizando AHP”. En: *Revista científica Ingeniería y Desarrollo* (2008).
- [70] Carlos A Robles-Algarín, John A Taborda-Giraldo y Adalberto J Ospino-Castro. “Procedimiento para la Selección de Criterios en la Planificación Energética de Zonas Rurales Colombianas”. En: *Centro de información tecnológica* (2018).
- [71] Comisión Nacional de energía. *Informe de costos de tecnologías de generación*. Web; accedido el 11-11-2020. URL: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf>.
- [72] Caterpillar. *Generator set operator and maintenance instruction manual*. Web; accedido el 11-11-2020. URL: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10551757>.
- [73] UPME. *Calculadora de emisiones de CO2*. Web; accedido el 09-10-2020. URL: http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html/.
- [74] Lorena Vallejo Barbosa, Maximiliano Bueno López y Verónica Flores García. “Promoción de soluciones energéticas en el sector rural colombiano: una oportunidad para el desarrollo y la sostenibilidad energética de las regiones”. En: ().
- [75] Unidad de planeación minero energética. *Guía para la elaboración de un plan de energización rural sostenible*. Web; accedido el 11-11-2020. URL: http://www.siel.gov.co/portals/0/fondos/Guia_de_un_PERS.pdf.
- [76] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las ZNI. *Guía de manejo ambiental*. 2019.

Anexos

Anexo 1: Caracterización de la zona- Energía eléctrica



Página 1 de 1

IPSE-DO-F26



Al contestar por favor cite estos datos:

Radicado No: 20201600009381

Fecha: 10-07-2020

Bogotá, D.C.,

Ingeniera
MARIANA RENDON LEAL
marendon@unicauca.edu.co
Ciudad

ASUNTO: MARIANA RENDON LEAL REMITE - SOLICITUD DE INFORMACIÓN DE TELEMETRIA DEL RESGUARDO INDIGENA NUEVA BELLAVISTA DEL MUNICIPIO DE GUAPI



En atención a su solicitud presentada el día 5 de julio del 2020, con radicado No. 2020133004005-2, donde requiere información sobre resguardo indígena Nueva Bellavista, al respecto le manifestamos lo siguiente:

En comunicación telefónica sostenida con el gerente de la EMPRESA MIXTA DE SERVICIOS PUBLICOS DE ENERGIA ELECTRICA DE GUAPI - ENERGUAPI S.A. E.S.P., nos informa que el resguardo indígena Nueva Bellavista se encuentra ubicado dentro de la localidad de Codicia.

Así las cosas le informamos que revisada la base de datos de las localidades de las ZNI, la localidad de Codicia cuenta con 26 usuarios, que durante el mes de junio del presente año contaron con 6 horas diarias de prestación del servicio de energía en el horario de 5:00 pm a 11:00 pm y cuentan con un grupo electrógeno de 12 kW marca Lister, dicha localidad no cuenta con sistemas de telemetría, razón por lo cual no es posible tener el información sobre la demanda energética.

Atentamente,


PEPÉ ANTONIO BEJARANO SILVA
Director General

Revisó:  Ing. Álvaro Alexander Mossos Jiménez – Profesional Especializado CNM-IPSE
Proyecto.:  Ing. Oscar Alexander Arbeláez Pérez. Profesional Especializado (E) CNM-IPSE

Expediente No.: 2020160180100001E

Sede Principal: Calle 99 No. 9 A - 54 Torre 3. Piso 14
PBX: (57 1) 639 7888 - Fax: Ext. 127
IPSE Centro Nacional de Monitoreo: (57 1) 6101130
ipse@ipse.gov.co
Bogotá D.C. – Colombia




 @IPSEMinInas
 @IPSE_COLOMBIA
 Ipse_colombia

Figura 1: Respuesta solicitud información telemetría, fuente: IPSE

Anexo 2: Potencial energía geotérmica



Para contestar cite:
Radicado SGC No.: **20203000059571**
28-07-2020

Pág. 1 de 1

Bogotá, D.C.,

Ingeniera
MARIANA RENDÓN
Programa de Ingeniería en Automática Industrial
Universidad del Cauca
E-mail: marendon@unicauca.edu.co
Ciudad

Asunto: Respuesta a solicitud de información.

Respetada Ingeniera Mariana:

En atención a su solicitud de información radicada en el Servicio Geológico Colombiano – SGC con el No. 20201200007522, me permito comunicarle que se está trabajando sobre una estimación de potencial geotérmico asociado a sistemas hidrotermales del territorio, lo cual incluye las áreas geotérmicas de la Cordillera Central del departamento de Cauca (Nevado del Huila, Caldera Gabriel López, Caldera de Paletará y Sotará - Sucubún). El producto asociado a este trabajo es un informe que se encuentra en construcción.

En relación con el municipio de Guapi, le informo que el SGC no ha realizado ni conoce trabajo alguno sobre investigación geotérmica en la zona. Por otra parte, el SGC tampoco tiene referencia de manifestaciones superficiales de sistemas hidrotermales, como manantiales termales, que pudieran ser indicativos de la presencia de este recurso en dicho municipio ni, en general, al occidente del departamento de Cauca.

Cordialmente,

Original Firmado

MARIO ANDRES CUELLAR CARDENAS
Director Técnico de Geociencias Básicas

Preparado por: Claudia María Alfaro Valero, Coordinadora Grupo Exploración de Recursos Geotérmicos.

CMAV/lmboada.

Diagonal 53 N.° 34-53, Bogotá, D.C., Colombia, PBX (571) 2200000, 2200100, 2200200 Fax: 2220797
www.sgc.gov.co

Figura II: Respuesta solicitud información potencial geotérmico, fuente: SGC

Anexo 3: Potencial energía solar



20202090036031
Al contestar por favor cite estos datos
Radicado No**20209050061262**
Fecha: **28-07-2020**

Bogotá D.C 28 de julio de 2020

Señora:
Mariana Rendón Leal
marendon@unicauca.edu.co
Ciudad.

Asunto: Aclaración Radicado 20209050061262

En cumplimiento a lo previsto en el artículo 23 de la Constitución Política, artículo 13, 14 y ss de la ley 1437 del 2011 modificada por la Ley 1755 del 2015, Resolución interna 2628 del 18 de noviembre del 2016, y demás normas concordantes y complementarias, a fin de brindar respuesta de fondo a su solicitud requerimos aclarar lo siguiente:

1. Respetada usuaria, de manera atenta le informamos que las estaciones de su interés que son vigiladas y controladas por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales Ideam; en el Municipio de Guapi Cauca, las tecnologías de las mismas no están diseñadas para hacer lectura de Radiación Solar en el momento. Se (anexa catálogo). Y una trazabilidad de consulta.
2. El objeto de anexar el catalogo es que el usuario consulte las estaciones que son vigiladas y controladas por el Ideam, que las categorice correctamente si están activas, si requiere históricos haga uso de estaciones suspendidas.
3. una vez genere la nueva solicitud a través de la página <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/pqrs> favor indicar el número **20209050061262** de radicado para continuar el trámite.

La falta de respuesta a la presente solicitud, se entenderá como el desistimiento de la misma en los términos del artículo 17 de la ley 1437 del 2011 modificado por la ley 1755 del 2015.

Cordialmente,



ANGELA MARIA DIAZ MEDINA
Coordinadora
Grupo Servicio al Ciudadano
Tel: (571) 352 7160 Ext. 1200, 1205, 1210, 1219.
Línea nacional 018000 110 012
Calle 25D No. 96B - 70 Bogotá D.C
www.ideam.gov.co

Proyecto:
Gloria Acosta, Linares Vanegas
atencionciudadano@ideam.gov.co
3527160 Ext 1212 Bogotá D.C.



Bogotá, D.C. Colombia - Sur América
Sede correspondencia
Calle 25 D No. 96 B - 70 Bogotá D.C. Código postal: 110911
PBX (571) 3527160 Fax: Servier: 3075621 - 3527160 Opc-2
Línea Nacional 018000110012 - Pronóstico y Alertas (571) 3527180
Sede Puente Aranda: Calle 12 No.42B - 44 Bogotá D.C. PBX: 2681070
- www.ideam.gov.co

Figura III: Respuesta solicitud información estaciones de medición, fuente: IDEAM

Anexo 4: Especificaciones y cotización SFV Grupo 1-Vivienda

Dispositivo	Descripción	Especificaciones
Panel solar	Half cell PERC 1500V 435V JASolar	vmp:44,5v, Imp:9,78A
Controlador	BlueSolar MPPT 150/100-Tr VE.Can Victron Energy	Corriente de carga nominal: 100A, Eficiencia max: 98 %, Autoconsumo: 30mA, Selección automática 12/24/48V
Inversor	MultiPlus Compact 24/2000/50-50 120V VE.Bus Victron Energy	Eficiencia max:94 %
Batería	Litio 2840Wh 24V Pylontech	Capacidad útil: 2840WH, Vnominal:24V
Protección	DPS 2P 220VDC 20-40KA Suntime	Imax: 40KA, Up menor a 2,8KV, Un: 500VDC, Uc:630VDC
Interruptor termomagnético	Breaker DC 2P 550VDC 32A Suntime	Vnominal: 550V
Fusible	MEGA-fuse 125A/32V (Package of 5 pcs) Victron energy	Aprox. caída de voltaje: 90mV, Resistencia al frío: 0.4hm
Consola remota	Color Control GX Victron Energy	Rango de voltaje de la fuente de alimentación: 8-70 VCC
Cable V.E	VE. Direct Victron Energy	Longitud 1,8m
Fusible	MIDI-fuse 100A/58V for 48V products (1 pc) Victron Energy	Aprox. caída de voltaje: 90mV, Resistencia al frío: 0,4Ohm
Cable solar	Multicontact/Staubli	Sección de transversal 4,0 mm ² , AWG:12
Conector	MC4 PV-KBT4 Multicontact/Staubli	Sección de transversal 6,0 mm ² , AWG:10, Tipo hembra
Conector	MC4 macho PV-KST4 Multicontact/Staubli	Sección de transversal 6,0 mm ² , AWG:10, Tipo macho
Conector	MC4 PV-AZB4 Multicontact/Staubli	Tipo: Paralelo hembra
Conector	MC4 PV-AZS4 Multicontact/Staubli	Tipo: Paralelo macho
Portafusible	Fuse holder for MEGA-fuse Victron Energy	Para fusibles MEGA
Portafusible	Fuse holder for MIDI-fuse Victron Energy	Para fusibles MIDI
Cable	VE.Can to CAN-bus BMS Victron Energy	Tipo: B, Longitud: 1,8m
Cable	UTP Victron Energy	Tipo: RJ45, Longitud: 1,8m
Cable	PylonCableKit	Para conexión de baterías de litio Pylontech de 48V al inversor

Tabla 1: Especificaciones SFV Grupo 1-Vivienda, elaboración propia

Dispositivo	Referencia	Cant.	IVA	Precio unitario USD	Precio total USD
Panel solar	JAM78S10-435/MR1500	6	0 %	121,80	730,80
Controlador	SCC125070210	1	0 %	689,19	689,19
Inversor	CMP242200100	1	0 %	1.040,22	1.040,22
Batería	UP2500	3	19 %	1.108,80	3.326,40
Protección	SUP2-PV-220VDC	1	19 %	22,17	22,17
Interruptor termomagnético	SL7-63-32A2P	1	19 %	14,63	14,63
Fusible	CIP136125010	1	0 %	12,04	12,04
Consola remota	BPP010300100R	1	0 %	465,09	465,09
Cable V.E	ASS030530218	2	0 %	13,65	27,30
Fusible	CIP133100010	1	0 %	11,25	11,25
Cable solar	62.7435-91021	30	19 %	0,98	29,40
Conector	32.0016P0001-UR	3	19 %	1,71	5,13
Conector	32.0017P0001-UR	3	19 %	1,29	3,87
Conector	320018	2	19 %	6,07	12,14
Conector	320019	2	19 %	6,07	12,14
Portafusible	CIP000100001	1	0 %	10,43	10,43
Portafusible	CIP000050001	1	0 %	8,03	8,03
Cable	ASS030720018	1	0 %	14,46	14,46
Cable	ASS030064950	1	0 %	8,84	8,84
Cable	PylonCableKit	1	19 %	43,20	43,20
Total IVA incluido					7.132,21

Tabla II: Cotización SFV Grupo 1-Vivienda, fuente: Proveedor

Anexo 5: Especificaciones y cotización SFV Grupo 2-Escuela

Dispositivo	Descripción	Especificaciones
Panel solar	Half cell PERC1500V 435W JA-Solar	Vmp: 44,5V, Imp: 9,78A
Controlador	SmartSolar MPPT 250/70-Tr Victron Energy	Corriente de carga nominal: 70A, Eficiencia max: 98 % Autoconsumo: 20mA, Selección automática: 12/24/48V
Inversor	Quattro 48/3000/35-50/50 120V VE.Bus Victron Energy	Eficiencia max:94 %
Batería	Litio 3552Wh 48V Pylontech	Capacidad nominal: 3,5KWh, Vnominal: 48V
Protección	DPS 2P 220VDC 20-40KA Suntime	Imax: 40KA, Up menor a 2,8KV, Un: 500VDC, Uc: 630VDC
Interruptor termomagnético	Breaker DC 2P 550VDC 63A Suntime	Inominal: 63A, Vnominal: 550V
Fusible	MIDI-fuse 80A/58V for 48V products (1 pc) Victron Energy	Aprox. Caída de voltaje: 70mV, Resistencia al frio: 0,4 Ohm
Consola remota	Color Control GX Victron Energy	Rango de voltaje de la fuente de alimentación: 6.5-9.5 VCC
Cable V.E	VE. Direct Victron Energy	Longitud 1,8m
Fusible	MEGA-fuse 125A/58V for 48V products (1 pc) Victron Energy	Aprox. Caída de voltaje: 90mV, Resistencia en frio: 0,4 Ohm
Cable solar	Multicontact/Staubli	Sección de transversal 6,0 mm2 AGW: 10
Conector	MC4 PV-KBT4 Multicontact/Staubli	Sección de transversal 6,0 mm2 AGW: 10, Tipo: Hembra
Conector	MC4 macho PV-KST4 Multicontact/Staubli	Sección de transversal 6,0 mm2 AGW: 14, Tipo: Macho
Conector	MC4 PV-AZB4 Multicontact/Staubli	Tipo: Paralelo hembra
Conector	MC4 PV-AZS4 Multicontact/Staubli	Tipo: Paralelo macho
Portafusible	Fuse holder Victron Energy	Para fusibles MEGA
Portafusible	Fuse holder Victron Energy	Para fusibles MIDI
Cable	VE.Can to CAN-bus BMS Victron Energy	Tipo: B, Longitud: 1,8m
Cable	UTP Victron Energy	Tipo: RJ45, Longitud: 1,8m
Cable	PylonCableKit	Para conexión de baterías de litio Pylontech de 48V al inversor

Tabla III: Especificaciones SFV Grupo 2-Escuela, elaboración propia

Dispositivo	Referencia	Cant.	IVA	Precio unitario USD	Precio total USD
Panel solar	JAM78S10-435/MR1500V	10	0 %	121,80	1.218,00
Controlador	SCC115110420	1	0 %	662,67	662,67
Inversor	QUA483021100	1	0 %	1.669,96	1.669,96
Batería	US3000	3	19 %	1.382,40	4.147,20
Protección	SUP2-PV-220VDC	1	19 %	22,17	22,17
Interruptor termomagnético	CL7-63-32A2P	1	19 %	12,91	12,91
Fusible	CIP137125010	1	0 %	26,50	26,50
Consola remota	BPP010300100R	1	0 %	465,09	465,09
Cable V.E	ASS030530218	1	0 %	13,65	13,65
Fusible	CIP133080010	1	0 %	9,64	9,64
Cable solar	62.7436-91021	40	19 %	1,34	53,60
Conector	32.0016P0001-UR	4	19 %	1,71	6,84
Conector	320018	5	19 %	6,07	30,35
Conector	320019	5	19 %	6,07	30,35
Conector	32.0013P0001-UR	4	19 %	1,29	5,16
Portafusible	CIP000100001	1	0 %	10,43	10,43
Portafusible	CIP000050001	1	0 %	8,03	8,03
Cable	ASS030064950	1	0 %	8,84	8,84
Cable	PylonCableKit	1	19 %	43,20	43,20
Cable	ASS030720018	1	0 %	14,46	14,46
Total IVA incluido					9.285,89

Tabla IV: Cotización SFV Grupo 2-Escuela, fuente: Proveedor

Anexo 6: Especificaciones y cotización SFV Grupo 3-Cabaña

Dispositivo	Descripción	Especificaciones
Panel solar	Half cell PERC1500V 435W JA-Solar	Vmp: 44,5V, Imp: 9,78A
Controlador	BlueSolar MPPT 150/70-Tr Victron Energy	Corriente de carga nominal: 70A, Eficiencia max: 98 % Autoconsumo: 20mA, Selección automática: 12/24/48V
Inversor	Quattro 48/3000/35-50/50 120V VE.Bus Victron Energy	Eficiencia max:94 %
Batería	Litio 3552Wh 48V Pylontech	Capacidad nominal: 3.5KWh, Vnominal: 48V
Protección	DPS 2P 220VDC 20-40KA Suntime	Imax: 40KA, Up menor a 2,8KV, Un: 500VDC, Uc:630VDC
Interruptor termomagnético	Breaker DC 2P 550VDC 63A Suntime	Inominal: 63A, Vnominal: 550V
Fusible	MEGA-fuse 125A/58V for 48V products (1 pc) Victron Energy	Aprox. caída de voltaje: 90mV, Resistencia al frío: 0.4hm
Consola remota	Color Control GX Victron Energy	Rango de voltaje de la fuente de alimentación: 6,5-9,5 VCC
Cable V.E	VE. Direct Victron Energy	Longitud 1,8m
Fusible	MIDI-fuse 80A/58V for 48V products (1 pc) Victron Energy	Aprox. caída de voltaje: 70mV, Resistencia al frío: 0,4Ohm
Cable solar	Flexible Multicontact/Staubli	Sección de transversal 6,0 mm ² , AWG:10
Conector	MC4 PV-KBT4 Multicontact/Staubli	Sección de transversal 6,0 mm ² , AWG:10, Tipo hembra
Conector	MC4 macho PV-KST4 Multicontact/Staubli	Sección de transversal 6,0 mm ² , AWG:10, Tipo macho
Conector	MC4 PV-AZB4 Multicontact/Staubli	Tipo: Paralelo hembra
Conector	MC4 PV-AZS4 Multicontact/Staubli	Tipo: Paralelo macho
Portafusible	Fuse holder Victron Energy	Para fusibles MEGA
Portafusible	Fuse holder Victron Energy	Para fusibles MIDI
Cable	VE.Can to CAN-bus BMS Victron Energy	Tipo: B, Longitud: 1,8m
Cable	UTP Victron Energy	Tipo: RJ45, Longitud: 1,8m
Cable	PylonCableKit	Para conexión de baterías de litio Pylontech de 48V al inversor

Tabla v: Especificaciones SFV Grupo 3-Cabaña, elaboración propia

Dispositivo	Referencia	Cant.	IVA	Precio unitario USD	Precio total USD
Panel solar	JAM78S10-435/MR1500V	8	0 %	121,80	974,4
Controlador	SCC010070200	1	0 %	485,96	485,96
Inversor	QUA483021100	1	0 %	1.669,96	1.669,96
Batería	US3000	3	19 %	1.382,40	4.147,20
Protección	SUP2-PV-220VDC	1	19 %	22,17	22,17
Interruptor termomagnético	SL7-63-32A2P	1	19 %	12,91	12,91
Fusible	CIP133080010	1	0 %	9,64	9,64
Consola remota	BPP010300100R	1	0 %	465,09	465,09
Cable V.E	ASS030530218	2	0 %	13,65	27,30
Fusible	CIP137125010	1	0 %	26,50	26,50
Cable solar	62.7435-91021	40	19 %	1,34	53,60
Conector	32.0016P0001-UR	4	19 %	1,71	6,84
Conector	32.0017P0001-UR	4	19 %	1,29	5,16
Conector	320018	5	19 %	6,07	30,35
Conector	320019	5	19 %	6,07	30,35
Portafusible	CIP000100001	1	0 %	10,43	10,43
Portafusible	CIP000050001	1	0 %	8,03	8,03
Cable	ASS030720018	1	0 %	14,46	14,46
Cable	ASS030064950	1	0 %	8,84	8,84
Cable	PylonCableKit	1	19 %	43,20	43,20
Total IVA incluido					8.038,74

Tabla vi: Cotización SFV Grupo 3-Cabaña, fuente: Proveedor

Anexo 7: Cotización Planta Diesel



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO DE CATERPILLAR EN COLOMBIA

General Equipos de Colombia S.A.
Carrera 34 # 10 – 117 Acopi
Tel.: 5244169

Cali, Octubre 23 de 2020

Señores
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
Atn. Sta. Mariana Rendon Leal
Popayan

OFERTA
PR-2020-1396

Ref: Cotización Plantas Eléctricas Modelo DE22E3- de 18 KW / 22 KVA Standby.

Estimados Señores:

En atención a su solicitud, nos complace presentar nuestra oferta por el suministro de la planta eléctrica en referencia, cuyas condiciones comerciales y descripción técnica se anexan a la presente.

Grupo para Generación Eléctrica marca CATERPILLAR, modelo DE22E3-, , apto para suministrar la capacidad indicada y compuesto por un Motor Diesel Marca CATERPILLAR Modelo C2.2. de Aspiración Natural, 4 cilindros en Línea, enfriamiento por sistema radiador, directamente acoplado al Generador a 1800 rpm, 3 fases, 60 Hz, 220 / 110volios, Tablero de Control deepsea, montado independientemente del conjunto Radiador-Motor-Generador con todos los accesorios estándar. Todo el conjunto se soporta sobre su correspondiente base - tanque.. La planta es entregada bajo el concepto **Lista para Arrancar.**



Capacidad de entrega	Emergencia		Primario	
	kW	kVA	kW	kVA
MONOFASICA				
A nivel del mar	20	25	18	22

PRECIO :

EQUIPO CON CABINA ACUSTICA ORIGINAL DE FABRICA USD\$9.500 + IVA

Nota: El precio en pesos Colombianos será el resultante de multiplicar el valor en dólares por la tasa representativa del mercado del día de facturación equipo.

Figura IV: Cotización planta diesel, Pag. 1, fuente: Proveedor



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO DE CATERPILLAR EN COLOMBIA

**OFERTA
PR-2020-1396**

Accesorios Incluidos:

- ✓ Cabina de Atenuación de ruido y Protectora a la Intemperie si es el caso
- ✓ Alternador de carga de batería 24V
- ✓ Silenciador
- ✓ Batería y cables
- ✓ Precalentador de camisas
- ✓ Tanque diario de combustible.
- ✓ Interruptor totalizador
- ✓ Manual técnico, de operación y Mantenimiento

Características del Tablero de Control Electrónico:

- ✓ Señal de entrada de la transferencia automática para arranque con LED indicador de Arranque en automático.
- ✓ Protección por Baja presión de aceite, Alta temperatura del refrigerante, Sobre Arranque, Sobre/Baja velocidad, Bajo/Alto voltaje de batería, Pérdida de señal de velocidad del motor

Accesorios No Incluidos :

- Cargador de Baterías:

PRECIO: \$250.000 + IVA

- Transferencia automática nacional de 60 amperios:

PRECIO: \$2.500.000 + IVA

CONDICIONES COMERCIALES

- **GARANTIA:** GECOLSA distribuidor exclusivo CATERPILLAR ofrece garantía de:

- ✓ **4 años ó 500 horas por año lo primero que ocurra en Servicio de Emergencia**
- ✓ Un año sin límite de horas en Servicio Primario
- ✓ La garantía aplica a cualquier falla imputable a defecto de materiales o de fabricación y se limita a dejar el equipo en condiciones normales de funcionamiento. La garantía excluye las fallas ocasionadas por mala operación, mantenimientos defectuosos, accidentes de trabajo o por cualquier modificación que se le haga el equipo por parte del cliente. La garantía no cubre pérdidas de producción, lucro cesante o cualquier otro perjuicio indirecto o derivado.

Limitaciones de la garantía. La garantía anterior perderá su valor y será nula si el CONTRATANTE o cualquier tercero modifica o cambia el equipo de cualquier forma más allá de las opciones de configuración contenidas en él, o si la falla del bien es resultado de un accidente, abuso, mala aplicación o malversación. Para obtener y conservar esta garantía, CONTRATANTE deberá siempre: 1. Usar el equipo de acuerdo con la documentación e instrucciones del fabricante; 2. Usar el bien para los fines y condiciones para los que se diseñó; y 3. Usar sólo personal calificado para operar el bien. Esta garantía no aplica a errores o funcionamientos defectuosos causados por: 1. equipo o materiales no suministrados por CONTRATISTA con ocasión del perfeccionamiento de este contrato; 2. el uso de procedimientos incorrectos por el comprador; 3. no hacer los mantenimientos programados o hacerlo con personal no calificado o por persona diferente a CONTRATISTA durante la garantía o 4. Cualquier otra causa no atribuible a CONTRATANTE.

Figura v: Cotización planta diesel, Pag. 2, fuente: Proveedor



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO DE CATERPILLAR EN COLOMBIA

**OFERTA
PR-2020-1396**

- **FORMA DE PAGO** : Un anticipo del 50% y saldo contra entrega.
- **SITIO DE ENTREGA** : Instalaciones de GECOLSA.
- **VALIDEZ DE LA OFERTA**: Seis (6) días a partir de la fecha
- **TIEMPO DE ENTREGA**: **A convenir según disponibilidad de Equipos**

IMPUESTOS E INFORMACION TRIBUTARIA.

Hace parte integral de esta cotización la siguiente información tributaria:

1. RENTA: GECOLSA es auto retenedor según resolución No.00002 de 1993
2. IVA. GECOLSA es gran contribuyente según resolución No 2509 de 1993.
3. ICA: En concordancia con los artículos 32 y 35 de la Ley 14 de 1983, GECOLSA declarará los ingresos provenientes de la venta y distribución de bienes, detallados en esta cotización, en el municipio de BOGOTA.

Por lo anterior **EL CLIENTE DEBERÁ PAGAR A GECOLSA LA TOTALIDAD DEL VALOR COTIZADO, SIN HACER NINGÚN TIPO DE RETENCIÓN**

Con gusto ampliaremos cualquier tipo de información adicional sobre el equipo, su selección, aplicación, instalación, operación, mantenimiento.

Cordialmente,

OSCAR JARAMILLO VELASQUEZ
Division Energia e Industria
316-4781471
Oscar_jaramillo@gecolsa.com.co

Figura VI: Cotización planta diesel, Pag. 3, fuente: Proveedor

Anexo 8: Irradiancia Noviembre 2020 (W/m^2)

Días /Hora	7:00 am	8:00 am	9:00 am	10:00 am	11:00 am	12:00 m	1:00 pm	2:00 pm	3:00 pm	4:00 pm	5:00 pm
1	597	790	883	932	957	963	952	921	863	751	502
2	596	790	883	932	957	963	952	922	862	750	502
3	596	789	883	932	957	963	952	922	862	750	502
4	595	789	883	932	957	963	952	922	862	750	501
5	594	789	882	932	957	963	952	922	863	750	501
6	594	789	882	932	957	963	952	922	863	750	501
7	593	788	882	932	957	963	952	922	863	750	501
8	592	788	882	932	957	963	953	922	863	750	501
9	591	787	882	932	957	963	953	922	863	750	501
10	590	788	882	932	957	963	952	922	863	750	502
11	589	787	882	932	957	963	953	922	863	750	502
12	587	786	881	932	957	964	953	922	863	750	502
13	586	785	881	932	957	964	953	922	863	751	503
14	585	785	881	932	957	964	953	922	863	751	503
15	583	784	880	932	957	964	953	923	863	751	504
16	582	785	880	932	957	964	953	922	863	751	505
17	580	783	880	931	957	964	953	922	864	752	506
18	579	782	879	931	957	964	953	923	864	752	507
19	577	781	879	931	957	964	953	93	864	752	508
20	575	781	879	931	957	964	953	923	864	752	509
21	574	780	878	931	957	964	953	923	864	752	510
22	572	779	878	930	957	964	954	923	865	754	511
23	570	778	877	930	957	964	954	924	865	754	512
24	568	777	877	930	956	964	954	924	865	755	514
25	566	776	877	930	957	964	954	924	866	755	515
26	564	776	876	930	957	964	954	924	865	764	517
27	562	775	876	929	957	964	954	924	866	754	517
28	559	774	875	929	957	964	954	925	867	764	517
29	557	773	875	929	957	964	954	925	867	764	517
30	555	772	874	929	957	964	954	925	867	764	517

Tabla VII: Irradiancia mes de Noviembre del 2020, comunidad Nueva Bellavista, elaboración propia

Anexo 9: Evaluación de alternativas con método multicriterio

El proceso realizado para elegir la mejor alternativa de generación fue el siguiente:

- Establecer el esquema jerárquico, en donde fue definido el objetivo, los subcriterios y las alternativas
- De acuerdo a la importancia de cada uno de los subcriterios se realizó la comparación en pares construyendo la matriz pareada, conforme a las reglas propuestas se asignaron los pesos consignados en la matriz inicial (MI). Posteriormente se normalizó dicha matriz dividiendo cada termino entre la suma de su columna (MN). Luego, fue hallado el vector de prioridades para los subcriterios, promediando los valores de cada fila como se puede observar en el vector de prioridades (VP).

	Matriz Inicial (MI)									Matriz normalizada (MN)								Vector de prioridades (VP)
	Costo kWh	Costo red respaldo	Aceptación comunidad	Política energética	Eficiencia energética	Disp. recurso	Impacto ecosistema	Generación residuos										
Costo kWh	1,00	3,00	0,20	0,33	0,33	0,33	0,33	3,00	0,05	0,13	0,08	0,02	0,02	0,03	0,06	0,12	0,06	
Costo red respaldo	0,33	1,00	0,20	0,33	0,33	0,33	0,20	3,00	0,02	0,04	0,08	0,02	0,02	0,03	0,03	0,12	0,05	
Aceptación comunidad	5,00	5,00	1,00	5,00	5,00	5,00	3,00	5,00	0,27	0,21	0,39	0,36	0,36	0,47	0,52	0,19	0,35	
Política energética	3,00	3,00	0,20	1,00	1,00	0,33	0,33	3,00	0,16	0,13	0,08	0,07	0,07	0,03	0,06	0,12	0,09	
Eficiencia energética	3,00	3,00	0,20	1,00	1,00	0,33	0,33	3,00	0,16	0,13	0,08	0,07	0,07	0,03	0,06	0,12	0,09	
Disponibilidad recurso	3,00	3,00	0,20	3,00	3,00	1,00	0,33	3,00	0,16	0,13	0,08	0,21	0,21	0,09	0,06	0,12	0,13	
Impacto ecosistema	3,00	5,00	0,33	3,00	3,00	3,00	1,00	5,00	0,16	0,21	0,13	0,21	0,21	0,28	0,17	0,19	0,20	
Generación residuos	0,33	0,33	0,20	0,33	0,33	0,33	0,20	1,00	0,02	0,01	0,08	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	
Σ:	18,67	23,33	2,53	14,00	14,00	10,67	5,73	26,00										

Figura VII: Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de los subcriterios, elaboración propia

- Para determinar si los pesos en la comparación fueron asignados correctamente, es necesario medir la consistencia de los pesos. Para ello se multiplicó la matriz inicial (MI) con el vector de prioridades (VP), obteniendo el vector (MIxVP), el cual fue dividido termino a termino con el vector de prioridades (VP), obteniendo así el vector ((MIxVP)/VP).

MixVP	(MixVP)/VP
0,5406	8,42
0,3792	8,23
3,2165	9,27
0,7882	8,81
0,7882	8,81
1,2349	9,28
1,8371	9,28
0,2826	8,59

Figura VIII: Vector MixVP y vector (MixVP)/VP, elaboración propia

Se calculó el índice de consistencia (IC) utilizando la ecuación (A):

$$IC = (P - N)/(N - 1) \quad (A)$$

Donde,

- P: Es el promedio del vector ((MixVP)/VP)
- N: Rango de la matriz

Reemplazando valores se tiene que,

$$IC = (8,84 - 8)/(8 - 1) \quad (B)$$

$$IC = 0,12 \quad (C)$$

Por último, se determinó el rango de consistencia (RC) de la siguiente manera:

$$RC = IC/IA \quad (D)$$

Donde,

- IA: Valor aleatorio correspondiente a una matriz de rango 8

Reemplazando valores se tiene que,

$$RC = 0,12/1,404 \quad (E)$$

$$RC = 0,085 \quad (F)$$

Para que una matriz sea consistente de acuerdo a la teoría, el rango de consistencia debe estar por debajo del 10 %, para el caso de estudio el resultado del rango de consistencia equivale al 8,5 %, por tanto, se concluye que los pesos fueron asignados correctamente. Una vez definida la ponderación que determina la importancia de cada subcriterio, se realizó la comparación entre alternativas respecto a cada criterio. En las imágenes IX,X,XI y XII, se encuentran las respectivas matrices y los vectores de prioridad para cada tecnología.

Matriz inicial para el subcriterio Costo kWh			Matriz normalizada	Vector de prioridad	Matriz inicial para el subcriterio Costo red de respaldo			Matriz normalizada	Vector de prioridad
	SFV	SH				SFV	SH		
SFV	1,00	0,20	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	
SH	5,00	1,00	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	
Σ :	6,00	1,20					6,00	1,20	

Figura IX: Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de las alternativas respecto a los criterios económicos, elaboración propia

Matriz inicial para el subcriterio Aceptación de la comunidad			Matriz normalizada	Vector de prioridad	Matriz inicial para el subcriterio Política energética			Matriz normalizada	Vector de prioridad
	SFV	SH				SFV	SH		
SFV	1,00	0,33	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	
SH	3,00	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,50	0,50	
Σ :	4,00	1,33					2,00	2,00	

Figura X: Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de las alternativas respecto a los criterios socio-políticos, elaboración propia

Matriz inicial para el subcriterio Impacto en el ecosistema			Matriz normalizada	Vector de prioridad	Matriz inicial para el subcriterio Generación de residuos			Matriz normalizada	Vector de prioridad
	SFV	SH				SFV	SH		
SFV	1,00	0,20	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	
SH	5,00	1,00	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	
Σ :	6,00	1,20					6,00	1,20	

Figura XI: Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de las alternativas respecto a los criterios ambientales, elaboración propia

Matriz inicial para el subcriterio Eficiencia energética			Matriz normalizada	Vector de prioridad	Matriz inicial para el subcriterio Disponibilidad del recurso			Matriz normalizada	Vector de prioridad
	SFV	SH				SFV	SH		
SFV	1,00	0,20	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	
SH	5,00	1,00	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	
Σ :	6,00	1,20					6,00	1,20	

Figura XII: Matriz de ponderación inicial, matriz normalizada y vector de prioridad de las alternativas respecto a los criterios técnicos, elaboración propia

- Finalmente fue construida la matriz “Criterio/Alternativa” mostrada en la imagen XIII, en donde se organizaron por columnas los vectores de prioridad de las alternativas para los 8 subcriterios obtenidos anteriormente, en la última fila demarcada con color azul se ubicó la ponderación inicial asignada a los subcriterios. Con ayuda de la herramienta Microsoft Excel se calculó el vector de priorización final de las alternativas mediante la función “Suma-Producto” seleccionando la primera fila (Sistema solar fotovoltaico) y la última fila (Ponderación) para obtener el valor de la posición 1 del vector de priorización, para calcular el valor de la posición 2 del vector se realizó el mismo procedimiento pero en esta ocasión seleccionando la segunda fila (Sistema solar hidroeléctrico) y la última fila (Ponderación).

CRITERIO/ ALTERNATIVA	Costo kwh	Costo red respaldo	Aceptacion comunidad	Política energética	Impacto ecosistema	Generación residuos	Eficiencia	Disp. Recursos	Priorización
Sistema solar fotovoltaico	0,17	0,17	0,25	0,50	0,17	0,18	0,17	0,17	0,23
Sistema hidroeléctrico	0,83	0,83	0,75	0,50	0,83	0,83	0,83	0,83	0,77
Ponderación	0,06	0,05	0,35	0,09	0,20	0,03	0,09	0,13	

Figura XIII: Ponderación final alternativas, elaboración propia

Solución energética viable para zona no interconectada del departamento del Cauca

Viable energy solution for the non-interconnected zone of the department of Cauca

Mariana Rendon-Leal^{1*}, Eyvar Alexis Pitto-Cordoba²

¹Ingeniera en Automática Industrial, marendon@unicauca.edu.co, ORCID: 0000-0002-1255-4815, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

²Ingeniero en Automática Industrial, alekps@unicauca.edu.co, ORCID: 0000-0003-4041-7073, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

³Docente Universidad del Cauca, fobando@unicauca.edu.co, ORCID: 0000-0001-5666-6969, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

Resumen

En zonas no interconectadas de Colombia, la falta de cobertura energética ha generado la necesidad de diseñar e implementar sistemas alternativos de generación mediante el uso de fuentes no convencionales de energía renovable. En ese sentido para garantizar la eficiencia y la sostenibilidad del mismo en el tiempo se hace indispensable realizar un buen estudio de prefactibilidad en la zona. En este trabajo se definió una solución tecnológica adecuada de generación y suministro energético utilizando fuentes renovables, para la implementación de un sistema de iluminación de 22 viviendas, en zona no interconectada del departamento del Cauca. Se efectúa una metodología por etapas iniciando con la caracterización de la zona de estudio, siguiendo con el análisis y evaluación de las fuentes renovables, estimación del perfil de carga, análisis de tecnologías y elección de componentes principales de cada sistema, diseño de la topología de red y simulación de los modelos mediante el software ETAP en su versión 16.00. Haciendo uso del método analítico y jerárquico se evaluaron las alternativas de generación dando como resultado que el sistema hidroeléctrico es la alternativa que mejor se adapta a la zona de estudio.

Palabras clave: Fuentes renovable, generación eléctrica, perfil de carga, software ETAP, zonas no interconectadas.

Abstract

In non-interconnected areas of Colombia, the lack of energy coverage has generated the need to design and implement alternative generation systems through the use of non-conventional renewable energy sources. In this sense, in order to guarantee efficiency and sustainability over time, it is essential to carry out a good pre-feasibility study in the area. In this work, an adequate technological solution for energy generation and supply using renewable sources was defined for the implementation of a lighting system for 22 houses in a non-interconnected area of the department of Cauca. A methodology is carried out in stages starting with the characterization of the study area, followed by the analysis and evaluation of the renewable sources, estimation of the load profile, analysis of technologies and selection of the main components of each system, design of the network topology and simulation of the models using ETAP software in its version 16.00. Using the analytical and hierarchical method, the generation alternatives were evaluated, with the result that the hydroelectric system is the alternative best suited to the study area.

Key words: Renewable sources, electricity generation, load profile, ETAP software, non-interconnected zones.

Introducción

En la actualidad muchos sectores de Colombia se encuentran energéticamente aislados del sistema interconectado nacional (SIN) [1]. A estos lugares, se les define como zonas no interconectadas (ZNI) y de acuerdo al instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas (IPSE), equivalen al 52 % del territorio nacional con más de 192.956 suscriptores [2]. La evaluación y el análisis de esta información permite tener un criterio y una base sostenible para determinar el estado actual de la calidad en la prestación del servicio eléctrico en ZNI [3], es por ello que estas zonas aun presentando limitaciones en materia de sostenibilidad técnica, económica, social y ambiental, continúan dentro de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) aplicado a ZNI [4].

Una de estas zonas la cual es materia de estudio se ubicada en el municipio de Guapi. Actualmente la cabecera municipal de esta localidad se encuentra conectada al SIN desde el año 2018, al entrar en operación la línea de interconexión a 115 KV desde el departamento del Cauca a Nariño [5]. Si embargo, aunque su cabecera municipal se encuentra vinculada al SIN, muchas localidades continúan fuera del área de cobertura accediendo al servicio de energía de forma parcial gracias a plantas convencionales de generación eléctrica tipo Diesel [6].

Debido a esta problemática surge la necesidad de estructurar planes, programas y proyectos mediante la implementación de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), para dar solución al problema de interconectividad y en consecuencia aportar al cumplimiento de los objetivos del Plan Energético Nacional, los cuales están encaminados a satisfacer la demanda energética del país [7].

La revisión bibliográfica da a conocer que existe un campo de gran interés en el estudio, diseño y desarrollo de sistemas de generación eléctrica mediante el uso de las FNCER [8][9]. Es así como en [10], se propone diseñar un gestor de energía para operar micro redes en zonas rurales no interconectadas a la red eléctrica. Los resultados reflejan que es posible realizar diseños basados en la disponibilidad del recurso renovable de cada zona, sin embargo, dan a conocer que una de las mejores soluciones se efectúa implementando topologías mediante sistemas solar e hidráulico.

En [11], se plantea un estudio que tiene como finalidad dar solución a la falta de cobertura de red mediante un sistema híbrido fotovoltaico y eólico, definiendo tres escenarios para la propuesta de solución energética, suministro independiente, suministro comunitario y suministro total. El resultado de esta investigación da a conocer una estimación técnica y económica de la cantidad de módulos y dispositivos requeridos para suplir la demanda energética y la autonomía en KWh/mes, de cada sistema dependiendo del tipo de escenario.

Otro estudio, presentado en [12], efectúa un análisis de la viabilidad técnico – económica de la inclusión de energía renovable en una de las principales localidades de las ZNI. El estudio logra determinar una topología de red eficiente y autosostenible, evaluando correctamente las condiciones macroeconómicas y climatológicas de la región.

En este documento, se realizó la caracterización de una ZNI de Colombia específicamente, la comunidad Nueva Bella Vista, ubicada en el municipio de Guapi, departamento del Cauca. Se evaluaron las fuentes de energía renovable presentes en la zona y el potencial que demandaba cada una de ellas. Se logró establecer a las fuentes de energía renovable solar e hídrica como fuentes primarias para efectuar en base a ellas, la cotización y la elección de los componentes apropiados para el diseño de los sistemas de generación. En consecuencia, se proponen los sistemas solar fotovoltaico e hidráulico como alternativas de solución, además del sistema de red de respaldo (planta tipo diesel).

Los diseños fueron contrastados y sometidos a prueba mediante simulación en el software ETAP bajo una topología de red radial [13]. Adicional a ello, se establecieron 8 criterios que facilitaron la evaluación de las dos alternativas, haciendo uso del método analítico jerárquico. El resultado obtenido definió al sistema hidroeléctrico con microturbina de río y red de respaldo tipo diesel, como la solución tecnológica más idónea para dar suministro energético a la comunidad Nueva Bella Vista.

Materiales y métodos

Caracterización de la zona

Guapi es un municipio que se encuentra al sur occidente del departamento del Cauca, en el litoral pacifico colombiano, su cabecera municipal se ubica a los 2° 34' latitud norte y a los 75° 54' de longitud occidental, cuenta con una superficie de 2.688 km², presenta un clima cálido muy húmedo, precipitación elevada, altitud inferior a 1.000 m.s.n.m y temperatura media anual entre 25,8 °C y 27 °C [14]. La localización exacta donde se efectúa la investigación es la comunidad Nueva Bellavista resguardo del pueblo indígena Eperara Siapidara constituido mediante el acuerdo 374 de 2015, con una extensión aproximada de 42 hectáreas 5000 m² [15][6]. En la Figura 1, se muestra el área de estudio.

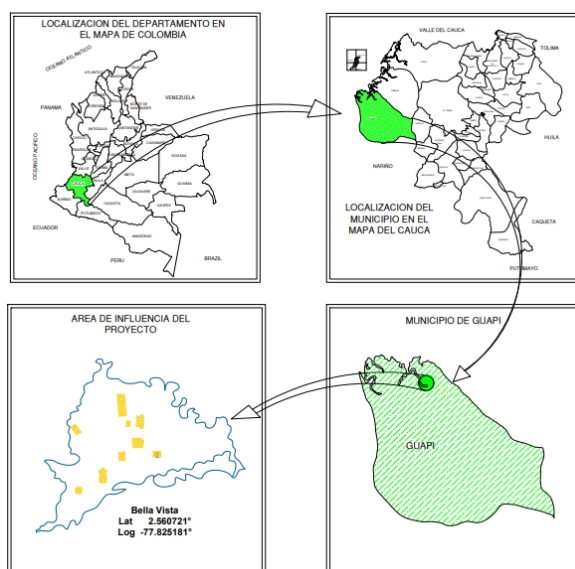


Figura 1. Localización del proyecto.
Fuente: Electro Energizar Ingeniería LTDA

Análisis y evaluación del potencial de fuentes renovables

Para este estudio, se realiza la caracterización del potencial de cada fuente de energía renovable, así como las tecnologías asociadas a cada recurso en la zona [16]. Mediante el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se analizan y evalúan respectivamente las fuentes de energía biomasa, eólica, geotérmica, hidráulica y solar [17][18]. Los resultados más relevantes de este estudio, indican que las fuentes con mayor potencial en la zona y por tanto las seleccionadas para el desarrollo de la investigación son la energía solar presentando una irradiación de 3 y 4,5 kW h/m² y la energía hidráulica con un potencial altamente cualificado debido a que la comunidad se encuentra ubicada a la rivera del río Guapi, el cual presenta aproximadamente un caudal medio anual de 106,01 m³/s.

Estimación del perfil de carga

A partir de la de la información suministrada mediante encuestas por el núcleo de planeación de la alcaldía municipal de Guapi, se efectúa el estudio de cargas, el cual permite identificar la cantidad de las mismas, el tipo y su distribución geográfica. En esta etapa se realiza la estimación de la potencia instalada y se establece un perfil de carga de 24 horas.

Diseño de la topología de red y simulación de los modelos

De acuerdo a los componentes y las especificaciones técnicas del proveedor, se diseñan los sistemas de generación propuestos como solución, estos se modelan bajo una topología de red radial en baja tensión compuesta por tres grupos de carga, grupo 1, grupo 2 y grupo 3 respectivamente. Una vez implementados estos modelos se simulan mediante el software ETAP versión 16.00 a fin de contrastar los diseños mediante un análisis eléctrico.

Resultados y análisis

De acuerdo a la información obtenida mediante las encuestas realizadas, se identifica y se clasifica la potencia total instalada en un aforo de carga para los tres grupos como se indica en la Tabla 1.

Los valores del consumo de potencia diario y mensual para los tres grupos se calculan mediante (1) y (2) respectivamente.

$$C_d = N * P * T_d \quad (1)$$

$$C_m = C_d * T_m \quad (2)$$

Donde:

N es el número de dispositivos

P es la potencia unitaria

T_d es el tiempo medido en horas de consumo por día

T_m es el tiempo medido en días de utilización de la carga en un mes

C_d es el consumo medio diario de la carga (Wh/día)

C_m es el consumo medio mensual de la carga (Wh/mes)

Tabla 1. Aforo de cargas

Grupos de carga	Descripción	Cantidad (N)	Potencia W (P)	Tiempo hora/día (Td)	Tiempo día/mes (Tm)	Consumo Wh/día (Cd)	Consumo Wh/mes (Cm)
Grupo 1	Bombillo	3	20	4	5	240	1200
	Celular	2	5	2	2.5	20	50
	Refrigerador	1	250	24	30	6000	180000
	Televisor	1	100	3	3.75	300	1125
	Computador portátil	1	70	2	2.5	140	350
	Equipo de sonido	1	100	2	2.5	200	500
	Total	9	545	37	46.25	6900	183225
Grupo 2	Bombillo	24	20	4	5	1920	9600
	Celular	4	5	2	2.5	40	100
	Refrigerador	1	250	24	20	6000	120000
	Televisor	1	100	3	3.75	300	1125
	Computador portátil	3	70	2	2.5	420	1050
	Total	33	445	35	33.75	8680	131875
Grupo 3	Bombillo	25	20	4	5	2000	10000
	Celular	6	5	2	2.5	60	150
	Refrigerador	1	250	24	30	6000	180000
	Computador portátil	1	70	2	2.5	140	350
	Total	33	345	32	40	8200	190500

Fuente: Autores

Con base en el perfil de carga de los tres grupos, se realizó el diseño y la simulación de los sistemas de generación propuestos en el software ETAP. Para el sistema de generación solar fotovoltaico, se considera un modelo por cada grupo de carga bajo una topología de red radial. Los valores de irradiancia proceden de la toma de datos en el transcurso de un día ingresando las coordenadas de la zona de estudio en el simulador ETAP. Se obtuvieron los datos del mes de noviembre del año 2020, los cuales fueron promediados para un día en la franja horaria de 7:00 am a 5:00 pm.

La Figura 2, representa el diseño del sistema de generación para el grupo de carga 1, e indica las características del conjunto de paneles FV y su respectiva configuración.

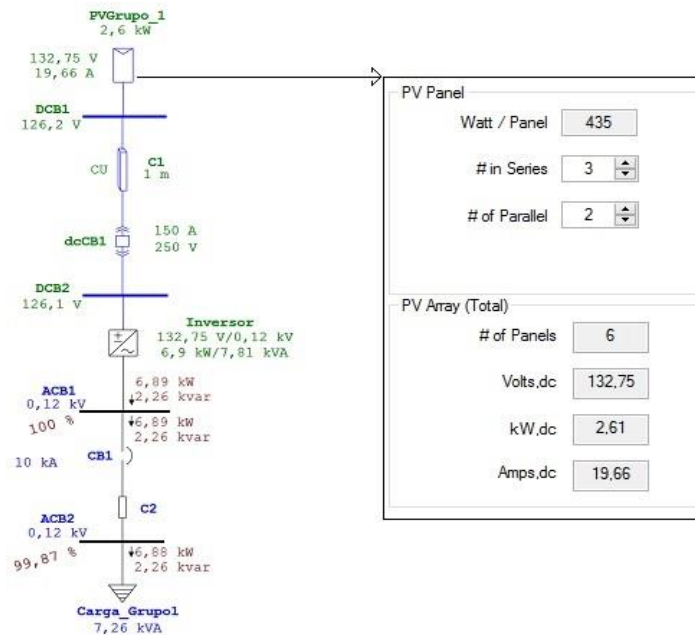


Figura 2. Simulación sistema fotovoltaico Grupo 1

Fuente: Autores

En la Tabla 2, se muestran los valores de potencia activa y reactiva obtenidos en simulación ante variación en la irradiancia, generando 2,48 kW de potencia útil cuando se presenta la mayor irradiancia promedio en el día. El comportamiento del sistema propuesto se muestra en la Figura 3.

Tabla 2. Potencia ante variación de la irradiancia Grupo 1

Hora	Irradiancia (W/m ²)	Potencia activa DC (kW)	Potencia reactiva AC (kvar)
7:00 am	580,27	1,49	2,26
8:00 am	782,87	2,01	2,26
9:00 am	879,63	2,26	2,26
10:00 am	931,10	2,4	2,26
11:00 am	956,97	2,46	2,26
12:00 am	963,63	2,48	2,26
1:00 pm	953,03	2,45	2,26
2:00 pm	895,13	2,31	2,26
3:00 pm	863,93	2,22	2,26
4:00 pm	753,10	1,94	2,26
5:00 pm	507,00	1,3	2,26

Fuente: Autores

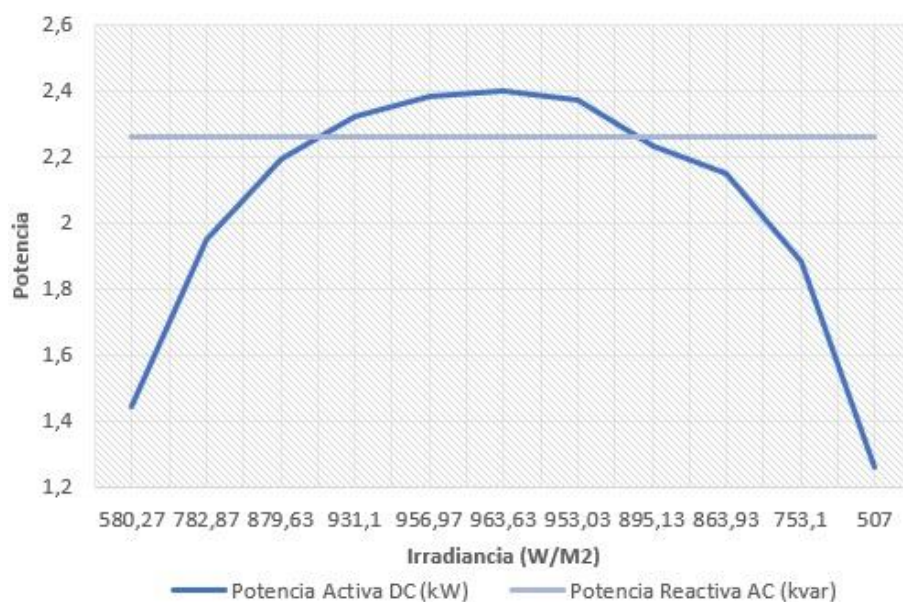


Figura 3. Comportamiento del sistema fotovoltaico Grupo 1

Fuente: Autores

El siguiente sistema de generación corresponde al grupo de carga 2. En la Figura 4, se presenta tanto el diseño del modelo propuesto para suplir la demanda energética, como las características del conjunto de paneles FV y su respectiva configuración.

En la Tabla 3, se muestran los valores de potencia activa y reactiva obtenidos en simulación ante variación en la irradiancia, generando 4 kW de potencia útil cuando se presenta la mayor irradiancia promedio en el día. El comportamiento del sistema propuesto se muestra en la Figura 5.

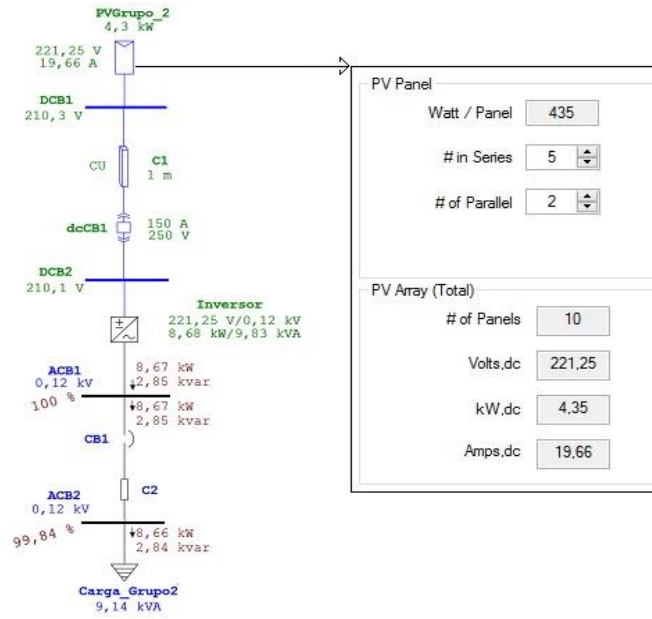


Figura 4. Simulación sistema fotovoltaico Grupo 2
Fuente: Autores

Tabla 3. Potencia ante variación de la irradiancia Grupo 2

Hora	Irradiancia (W/m ²)	Potencia activa DC (kW)	Potencia reactiva AC (kvar)
7:00 am	580,27	2,41	2,85
8:00 am	782,87	3,25	2,85
9:00 am	879,63	3,65	2,85
10:00 am	931,10	3,87	2,85
11:00 am	956,97	3,97	2,85
12:00 am	963,63	4	2,85
1:00 pm	953,03	3,96	2,85
2:00 pm	895,13	3,72	2,85
3:00 pm	863,93	3,58	2,85
4:00 pm	753,10	3,13	2,85
5:00 pm	507,00	2,1	2,85

Fuente: Autores



Figura 5. Comportamiento del sistema fotovoltaico Grupo 2
Fuente: Autores

Finalmente, se presenta en la Figura 6, el diseño del sistema de generación propuesto para suplir la demanda energética del grupo de carga 3, así como las características del conjunto de paneles FV y su respectiva configuración.

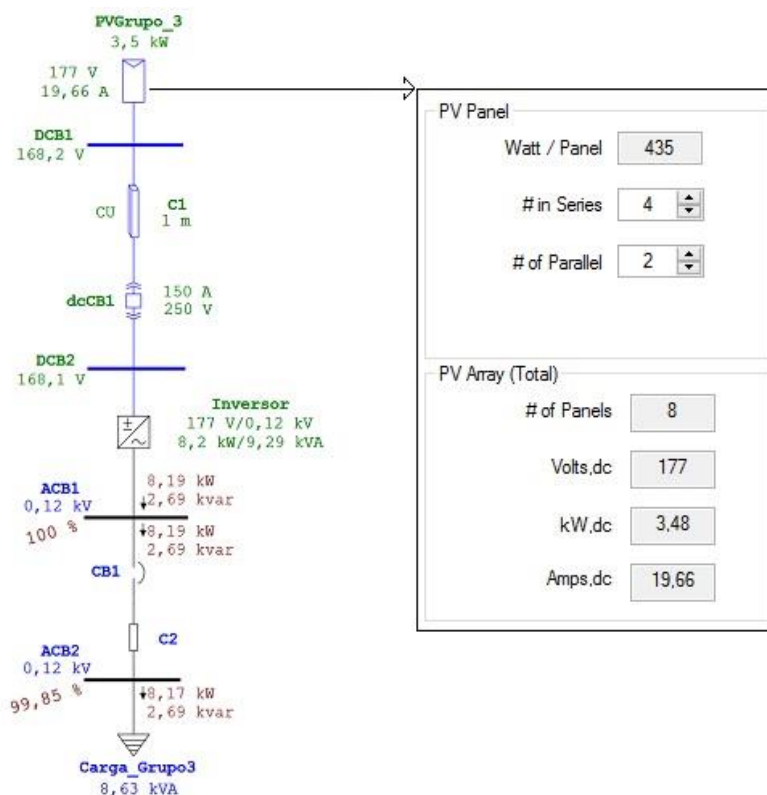


Figura 6. Simulación sistema fotovoltaico Grupo 3
Fuente: Autores

En la Tabla 4, se muestran los valores de potencia activa y reactiva obtenidos en simulación ante variación en la irradiancia, generando 3,2 kW de potencia útil cuando se presenta la mayor irradiancia promedio en el día. El comportamiento del sistema propuesto se muestra en la Figura 7.

Tabla 4. Potencia ante variación de la irradiancia Grupo 3

Hora	Irradiancia (W/m ²)	Potencia activa DC (kW)	Potencia reactiva AC (kvar)
7:00 am	580,27	1,93	2,69
8:00 am	782,87	2,6	2,69
9:00 am	879,63	2,92	2,69
10:00 am	931,10	3,09	2,69
11:00 am	956,97	3,18	2,69
12:00 am	963,63	3,2	2,69
1:00 pm	953,03	3,17	2,69
2:00 pm	895,13	2,97	2,69
3:00 pm	863,93	2,87	2,69
4:00 pm	753,10	2,5	2,69
5:00 pm	507,00	1,68	2,69

Fuente: Autores

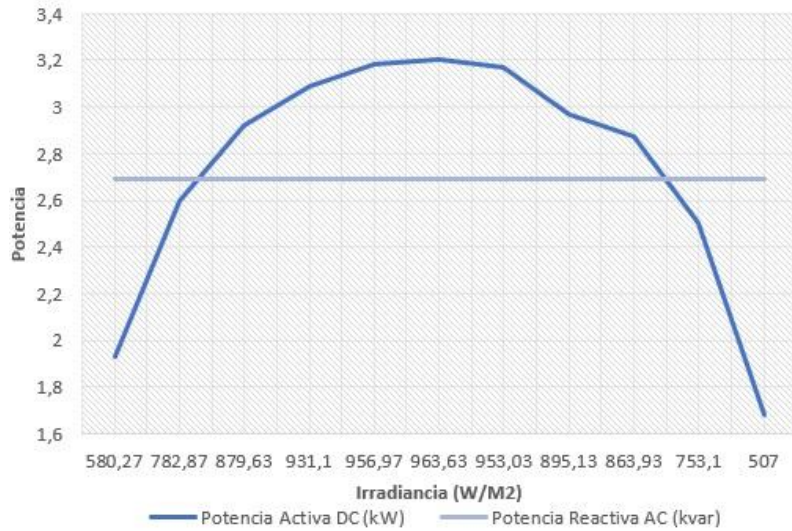


Figura 7. Comportamiento del sistema fotovoltaico Grupo 3
Fuente: Autores

Para la generación hidroeléctrica, se propuso un diseño bajo un sistema de microturbina de rio, el cual fue modelado y simulado mediante el software ETAP. Es importante mencionar que este software en su versión 16.00 no cuenta con un componente que permita simular una turbina hidráulica, por lo tanto, se hace uso de un generador síncrono el cual se encarga de cumplir dicha función y realizar la transferencia de energía.

En la Figura 8, se muestra el diagrama mediante el cual se realizó la elección de la microturbina para un caudal de trabajo equivalente a 150 l/s y un salto de agua de 15 m.

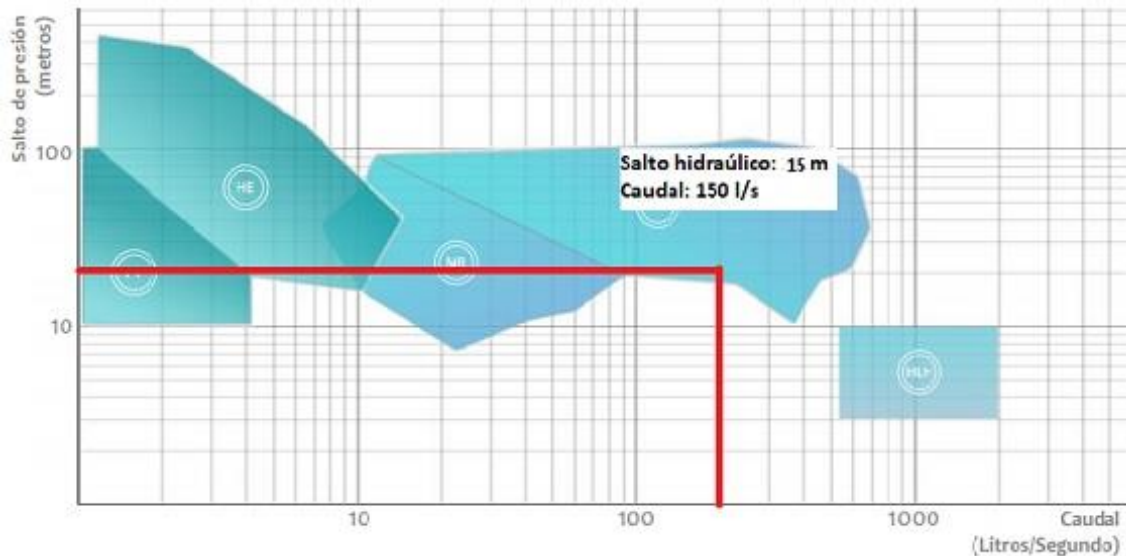


Figura 8. Diagrama para selección de turbina
Fuente: Proveedor (Tecnoturbinas)

Conforme a las especificaciones técnicas de la microturbina, se realizó el diseño y la configuración del sistema de generación en el simulador como se indica en la Figura 9. Para su simulación se limita el generador al máximo de potencia que entrega la turbina valor correspondiente a 15 KW, a su vez este se conecta a un punto de acople común (PAC), mediante el cual se hace la transferencia de potencia a los tres grupos de carga según su requerimiento.

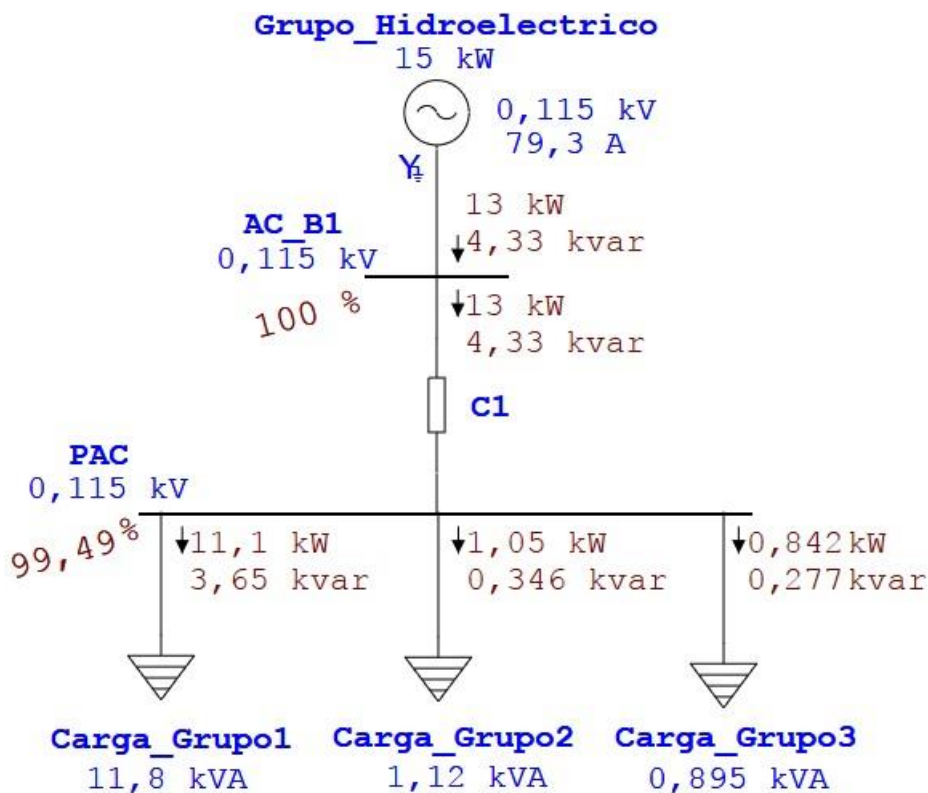


Figura 9. Simulación sistema propuesto con microturbina
Fuente: Autores

Los valores de potencia activa y reactiva que genera el sistema en presencia de diferentes caudales, dentro del rango de trabajo de la turbina de 105 a 510 l/s, y un salto de agua fijo de 15 metros, fueron calculados mediante (3).

$$PT = g * Q * H * U \quad (3)$$

Donde:

PT es la potencia generada

g la gravedad (9,8 m/s²)

Q el caudal (m³/s)

H la caída de agua (15 m)

U la eficiencia de la turbina (70%)

En la Tabla 5, se presentan los valores de potencia obtenidos en simulación ante la variación del caudal, los datos dan a conocer la capacidad que tiene el sistema propuesto para entregar potencia útil aun estando en presencia del nivel más bajo de caudal dentro del rango de operación de la microturbina. El comportamiento del sistema se muestra en la Figura 10.

Tabla 4. Potencia generada del sistema con microturbina ante variación del caudal

Caudal (L)	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kvar)
110	11,31	3,72
130	13,37	4,4
150	15,43	5,07
170	17,49	5,75
190	19,55	6,43
210	21,60	7,1
230	23,66	7,78
250	25,72	8,46
270	27,78	9,13
290	29,84	9,81
310	31,89	10,49
330	33,95	11,16
350	36,01	11,48
370	38,07	12,51
390	40,13	13,19
410	42,18	13,87
430	44,24	14,54
450	46,30	15,22
470	48,36	15,9
490	50,42	16,57
510	52,47	17,25

Fuente: Autores

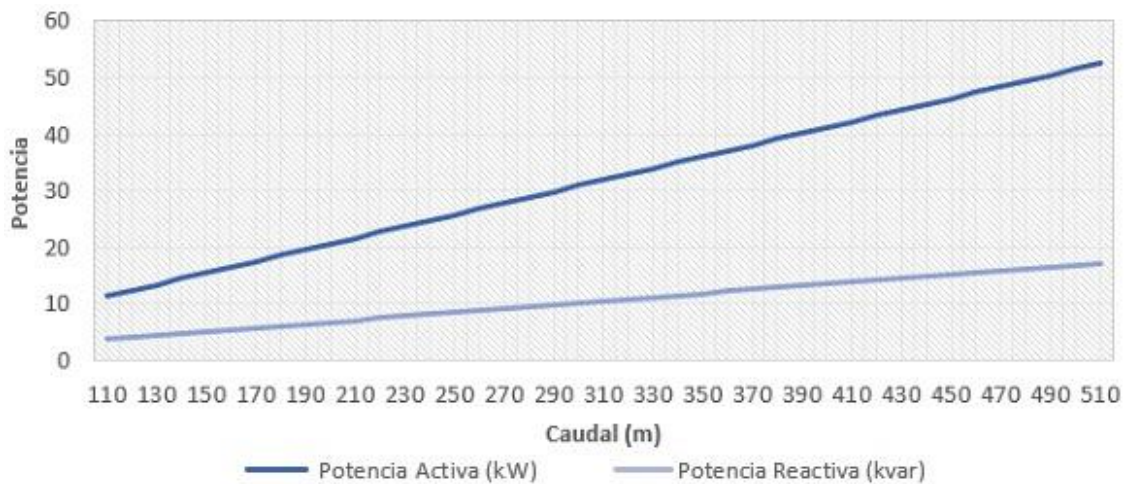


Figura 10. Comportamiento del sistema ante variación del caudal

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que las fuentes de energía renovable son intermitentes, es decir solo se genera energía eléctrica bajo condiciones favorables de trabajo, es necesario implementar un sistema de respaldo para garantizar la continuidad de prestación del servicio. En conformidad con las condiciones y características de la carga en la zona, se realizó el estudio de dicha tecnología para abastecer la demanda de la comunidad la cual presenta una carga instalada de 13,12 kW.

De acuerdo al estudio, se eligió un grupo electrógeno compuesto por una planta marca CATERPILAR modelo DE22E3 con potencia de generación de 20 kW, la cual fue configurada en el simulador como se muestra en la Figura 11, para obtener una transferencia de potencia a los grupos de carga según su requerimiento de 13,12 kW a 115 V.

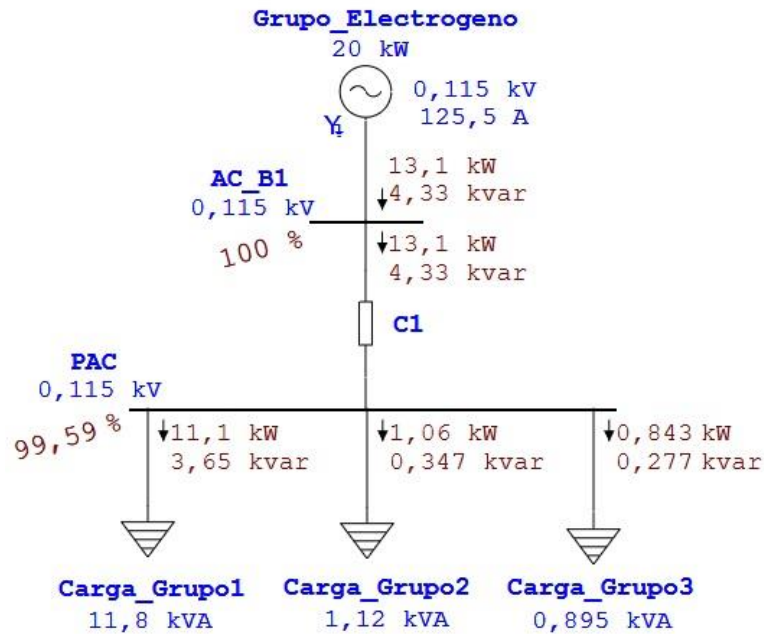


Figura 11. Simulación sistema de respaldo propuesto
Fuente: Autores

Mediante un análisis económico, se determinaron los costos vinculados al mantenimiento de los sistemas de generación y la operación del grupo electrógeno, los cuales se establecen generalmente como un porcentaje del valor del costo total de inversión inicial [19]. En la Figura12, se representa la relación del costo de operación y mantenimiento (O&M) entre el sistema de generación propuesto y el sistema de respaldo. Los datos indican que el primer sistema económicamente tiene un costo más elevado de aproximadamente el 32% en comparación a la solución propuesta en el segundo sistema.

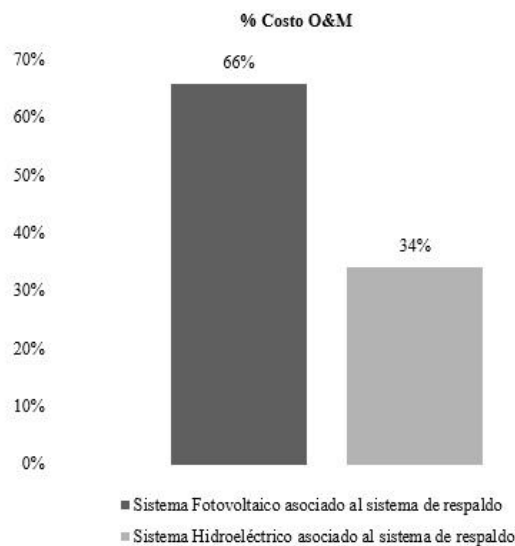


Figura 12. Costo de operación y mantenimiento del sistema de generación asociado a la red de respaldo
Fuente: Autores

Evaluación de alternativas

Para la elección del sistema de generación, se utilizó el proceso analítico y jerárquico (AHP). Este es un método mediante el cual se evaluaron las alternativas de solución teniendo en consideración criterios tanto cualitativos como cuantitativos. La metodología propone tres principios básicos los cuales se desarrollaron de forma ordenada y consecutiva como se presenta en [20][21].

Los subcriterios con los cuales se realizó la evaluación de las 2 alternativas tecnológicas solar fotovoltaica e hidroeléctrica, fueron los siguientes:

- Eficiencia energética: Eficiencia de conversión del sistema renovable.
- Disponibilidad del recurso: Periodos en los cuales se puede hacer uso del recurso energético.
- Impacto en el ecosistema: Impacto que tendría la instalación del sistema de generación sobre la fauna y flora presente en la zona.
- Generación de residuos.
- Aceptación de la comunidad: Percepción de los habitantes del resguardo Nueva Bellavista respecto a la implementación de cada una de las alternativas.
- Afinidad con política energética nacional.
- Costo KWh: Precio del KWh según el costo de mantenimiento del sistema.
- Costo asociado a la operación de la red de respaldo.

Conforme a la evaluación realizada mediante el método (AHP), finalmente se determinó que el sistema de generación hidroeléctrico con microturbina de río tiene un 77% de favorabilidad con respecto al sistema solar fotovoltaico con un 23%, por tanto, se concluye que la mencionada alternativa es la solución tecnológica más viable para el suministro energético en la comunidad Nueva Bellavista perteneciente a la zona no interconectada (ZNI), del municipio de Guapi departamento del Cauca.

Conclusiones

Se realizó la caracterización de la zona objeto de estudio a través de la cual se identificó el potencial de fuentes no convencionales de energía renovable presentes en la región. El estudio, mediante el análisis de datos suministrados por las instituciones encargadas de la investigación científica de cada recurso, permitió evidenciar potencial hídrico y solar en la comunidad Nueva Bellavista como fuentes primarias para el desarrollo de la investigación.

Se consultaron ofertas en el mercado para el sistema principal de generación y para la red de emergencia. Se obtuvieron 3 propuestas, la primera consiste en un sistema con paneles fotovoltaicos, la segunda en un sistema con microturbina de río y la tercera en una planta de respaldo tipo diesel. Los diseños suministrados por las empresas de ingeniería fueron sometidos a simulación en el software ETAP versión 16.00 para corroborar su eficiencia. Los resultados de las simulaciones indicaron que tanto las dos alternativas de generación como la red de respaldo, satisfacen la demanda eléctrica actual de la zona objeto de estudio.

Se establecieron 8 criterios que facilitaron la evaluación de las dos alternativas, haciendo uso del método analítico jerárquico (AHP). El resultado indico que la alternativa que más se adapta a las características y condiciones de la comunidad es el sistema hidroeléctrico con microturbina de río. Teniendo en cuenta que una de las características principales de las fuentes de energía renovable es la intermitencia, se determinó que el sistema de generación hidroeléctrico deberá contar con una red de respaldo, la cual garantizará la continuidad en el suministro eléctrico.

Este trabajo aporta al desarrollo de las PERS a nivel nacional en concordancia con las políticas y proyectos de la UPME.

Referencias

- [1] Juan Felipe Bustos González, Andrés Leonardo Sepúlveda, Kevin Triviño Aponte y col. Zonas no interconectadas eléctricamente en Colombia: problemas y perspectiva. Inf. téc. Web; accedido el 12-08-2020. 2014.
- [2] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas. Plan nacional de medios. Web; accedido el 09-06-2020. 2015. URL: <http://www.ipse.gov.co/pages/ipse/PlanMedios2015.pdf>.
- [3] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas. Informe mensual de la prestación del servicio de energía eléctrica en las localidades sin sistemas de telemetría de las zonas no interconectadas. Web; accedido el 08-06-2020. 2020. URL: <http://www.ipse.gov.co/attachments/article/584/INFORME%20LOCALIDADES%20SIN%20TELEMETR%C3%8DA%20ZNI%20ABRIL%202020.pdf>.
- [4] Programa de las naciones unidas para el desarrollo. Energía asequible y no contaminante. Web; accedido el 09-06-2020. 2015.
- [5] Ministerio de minas y energía. Línea Cauca -Nariño. Web; accedido el 08-06-2020. 2018. URL: <https://www.minenergia.gov.co/web/guest/hist%C3%B3rico-de-noticiad?idNoticia=24016530>.
- [6] Alcaldía municipal de Guapi. "Plan de desarrollo territorial 2020 2023". En: (2020).
- [7] Unidad de Planeación Minero Energética. Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. 2015
- [8] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas. PERS-Planes de energización rural sostenible. Web; accedido el 09-06-2020. 2018. URL: [//www.ipse.gov.co/pages/ipse/Informe_PERS_Direcci%C3%B3n1.pdf](http://www.ipse.gov.co/pages/ipse/Informe_PERS_Direcci%C3%B3n1.pdf).
- [9] Super Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Zonas no interconectadas-Diagnostico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2019. Web; accedido el

02-05-2020. 2019. URL: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2019/Nov/diagnostico_de_la_prestacion_del_servicio_zni_-_07-11-2019-lo_1.pdf.

- [10] C. Anzures, J. Posada, K. Osorio, J. R. V. Medina, V. M. Sánchez, and Y. López, "Operación de sistemas de generación y suministro de energía eléctrica en zonas no interconectadas de Colombia," in 2018 IEEE ANDESCON. IEEE, 2018, pp. 1-6.
- [11] J. P. Andrés Miguel Aguirre, Claudia Diaz, "Análisis de potencial de energía renovable en islas no interconectadas. Estudio de caso: Isla grande, archipiélagos corales del rosario, Colombia," Ingeniera Ecológica, 2017.
- [12] S. Grisales Lezama et al., "Análisis de la viabilidad técnico - económica de la inclusión de energía renovable en una de las principales localidades de las zni," Ph.D. disertación, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.
- [13] G. R. Alfonso, E. Z. Hernando, G. E. Mauricio. Flujo de carga en sistemas de transmisión. Universidad pedagógica de Pereira. 2016.
- [14] Danny Williams Núñez Camargo. "Implicaciones ambientales de la política de biocombustibles en la Región Pacífica caso de estudio proyecto de palma de aceite en el municipio de Guapi, Cauca". En: Pontificia Universidad Javeriana (2009).
- [15] Alcaldía de Guapi. "Plan de Desarrollo Territorial 2016 2019". En: (2016).
- [16] Unidad de planeación minero energética. Registro de proyectos de generación julio 2020. Web; accedido el 4-08-2020. 2020. url: http://www.siel.gov.co/Generacion_sz/Inscripcion/2020/Registro_jul_2020.pdf.
- [17] Servicio Geológico Colombiano. Geotermia en Colombia. 2019.
- [18] Unidad de planeación minero energética. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Web; accedido el 24-07-2020. 2015. URL: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVABLES_WEB.pdf.
- [19] Comisión Nacional de energía. Informe de costos de tecnologías de generación. Web; accedido el 11-11-2020. URL: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf>.
- [20] Daniela Vargas-Benambourg. "Modelo de evaluación del desempeño de los proveedores utilizando AHP". En: Revista científica Ingeniería y Desarrollo (2008).
- [21] Carlos A Robles-Algarín, John A Taborda-Giraldo y Adalberto J Ospino-Castro. "Procedimiento para la Selección de Criterios en la Planificación Energética de Zonas Rurales Colombianas". En: Centro de información tecnológica (2018).