

Estudio de prefactibilidad de un sistema de generación eléctrica hídrica de tamaño pico y micro
para ríos llanos en el Pacífico colombiano

Orlando de Jesús Copete Murillo

Universidad EAFIT
Escuela de Administración
Maestría en Gerencia de Proyectos
Medellín
2022

Estudio de prefactibilidad de un sistema de generación eléctrica hídrica de tamaño pico y micro
para ríos llanos en el Pacífico colombiano

Orlando de Jesús Copete Murillo¹

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Gerencia de Proyectos

Asesor: Elkin Arcesio Gómez Salazar PhD

Universidad EAFIT
Escuela de Administración
Maestría en Gerencia de Proyectos
Medellín
2022

¹ ocm156@hotmail.com

Resumen

Se realizó el estudio de prefactibilidad para la implementación de una central de generación eléctrica renovable mediante el uso de la tecnología hidrocínética con capacidad de entre 5 y 10 kW para las comunidades ribereñas del departamento del Chocó que estuviesen caracterizadas como zonas no interconectadas ZNI, con el fin de suministrar de manera continua el servicio eléctrico. Este trabajo fue concebido bajo las metodologías de marco lógico (MML) y ONUDI, teniendo en cuenta la difícil geográfica, las condiciones naturales de las fuentes hídricas, la escasez de personal capacitado en estos lugares periféricos, y las características técnicas del equipo considerando cumplir con los criterios transportabilidad, instalación, disponibilidad y confiabilidad. La investigación partió del apoyo estatal tomando como base los fondos de apoyo financiero para la energización de las zonas no interconectadas FAZNI para la consecución del equipo de generación y la viabilidad se centró en la administración, distribución y operación de la planta, para los cuales se evaluando los estudios sectoriales, de mercado, técnicos, administrativos, legales, ambientales, financieros y de riesgos. Los resultados obtenidos arrojaron que la tecnología hidrocínética en pequeñas capacidades de generación es rentable, sin embargo, el indicador financiero VPN del proyecto fue bajo (\$96.709.927,54), puesto que cuando se dividió mensualmente el valor a recibir en el año, el mayor ingreso fue de solo 0.81 veces el valor del SMMLV; por lo que se concluyó que esta iniciativa tiene un alto componente social.

Palabras clave: generación, electricidad, renovable, prefactibilidad, hidrocínética, distribución, ríos

Abstract

The prefeasibility study was carried out for the implementation of a renewable electricity generation plant using the hydrokinetic technology with a capacity of between 5- and 10-kW communities localized in riverside into the department of Chocó which are characterized by being non-interconnected ZNI areas, with the aim of to continuously supply electrical service. This work was conceived under the logical framework approach (LFA) and UNIDO methodology, considering the difficult geography, the natural conditions of the water resources, the scarcity of staff personnel in these peripheral places, and the technical characteristics of the equipment considered to comply with portability, installation, availability, and reliability criteria. The research began with the financial support of the fund for the energization of non-interconnected areas for the achievement of the generation equipment and the feasibility study was focused on the administration, distribution, and operation of the plant, therefore, the sector, market, technical, administrative, legal, environmental, financial, and risk studies were carried out. The results obtained showed that the hydrokinetic technology in small generation capacities is profitable, however, the NPV financial indicator of the project was low (\$96,709,927.54), because, when the value earned per year is divided monthly, the

highest income is only 0.81 times the value of the SMMLV; hence, it concluded that this initiative has a high social component.

Keywords: generation, electricity, renewable, pre-feasibility, hydrokinetics, distribution, rivers

Contenido

Introducción.....	15
1 Justificación del trabajo.....	18
1.1 Relevancia social.....	18
1.2 Pertinencia disciplinar.....	19
1.3 Factibilidad.....	20
2 Productos esperados.....	21
3 Situación en estudio.....	22
3.1 Antecedentes.....	24
3.2 Justificación.....	29
3.3 Alcance.....	29
3.4 Formulación de la pregunta.....	30
4 Objetivos.....	31
4.1 Objetivo general.....	31
4.1.1 Resultado.....	31
4.2 Objetivos específicos.....	31
5 Marco de referencia conceptual.....	32
5.1 Energías renovables.....	32
5.1.1 Energía biomasa.....	33
5.1.2 Energía geotérmica.....	33
5.1.3 Energía eólica.....	34
5.1.4 Energía solar.....	34
5.1.5 Energía hidráulica.....	34
5.2 Generación hidrocínética.....	37
5.2.1 Turbinas.....	38
5.2.2 Alternadores y(o) generadores.....	39
5.2.3 Publicaciones científicas.....	40
5.2.4 Fabricantes.....	41

5.3	Metodología marco lógico (MML).....	43
5.4	Metodología ONUDI.....	43
6	Metodología de la investigación.....	45
6.1.1	Objetivo específico: estudio del entorno y análisis sectorial.....	45
6.1.2	Objetivo específico: estudio de mercado.....	48
6.1.3	Objetivo específico: viabilidad técnica del proyecto.....	50
6.1.4	Objetivo específico: definir la estructura administrativa.....	52
6.1.5	Objetivo específico: realizar el estudio legal.....	53
6.1.6	Objetivo específico: efectuar el estudio ambiental.....	54
6.1.7	Objetivo específico: realizar la evaluación financiera y de riesgos.....	54
6.2	Procedimiento.....	56
7	Estudio sectorial.....	59
7.1	Análisis político.....	59
7.1.1	Política Colombiana.....	59
7.1.2	Actores políticos nacionales que impactan el sector energético.....	61
7.1.3	Políticas energéticas de desarrollo en el departamento.....	62
7.2	Análisis económico.....	63
7.2.1	El Departamento del Chocó.....	67
7.3	Análisis social.....	70
7.4	Análisis tecnológico.....	73
7.5	Análisis ecológico.....	74
7.6	Análisis legal.....	75
8	Estudio de mercado.....	78
8.1	Definición del producto.....	78
8.2	Consumidores.....	79
8.3	Demanda energética de la ZNI.....	79
8.4	Oferta y precio.....	89
8.4.1	Empresas competidoras de la tecnología.....	94
8.5	Productos sustitutos.....	99

8.5.1	Paneles solares	99
8.5.2	Plantas térmicas de generación con diésel de 10kW	100
8.5.3	Centrales hidráulicas (CHs).....	101
8.5.4	Empresas de distribución prestación del servicio	103
8.6	Proveedores.....	103
8.7	Canales de comercialización.....	104
9	Estudio técnico.....	106
9.1	Tamaño del proyecto	106
9.2	Localización de la central de generación hidrocínética	107
9.3	Microlocalización.....	113
9.4	Proceso de producción	115
9.4.1	Proceso de la generación de electricidad	115
9.4.2	Proceso de almacenamiento y distribución	117
9.4.3	Proceso de operación y monitoreo	118
9.4.4	Proceso de prestación del servicio	119
9.5	Maquinaria y equipo.....	120
9.5.1	Generador hidrocínético	120
9.5.2	Sistema de almacenamiento y control monitoreo IOT	125
9.5.3	Sistema de control y monitoreo mediante APP	128
9.5.4	Sistema de distribución y prestación	130
9.5.5	Administración y cobro	133
9.6	Plan de gestión de mantenimiento de los componentes especiales	133
9.7	Balances de generación y transmisión de la energía eléctrica	135
9.8	Balances de prestación del servicio (operación)	140
9.9	Flujo del proceso.....	146
9.9.1	Flujo del proceso de generación.....	146
9.9.2	Flujo del proceso de administración	146
10	Estudio organizacional.....	148
10.1	Funciones y responsabilidades de los cargos	149

11	Estudio legal	150
11.1	Formalización de la empresa.....	150
11.2	Tipos de contratos	151
11.3	Marco legal colombiano	151
12	Estudio ambiental.....	154
13	Estudio financiero.....	158
13.1	Fuente de financiación.....	158
13.2	Flujo de caja estocástico.....	162
13.2.1	Flujo de caja del inversionista	164
13.2.2	Flujo de caja del proyecto	169
13.3	Análisis de riesgo.....	173
13.3.1	Resultados	176
13.3.2	Análisis individual de cada riesgo.....	178
14	Conclusiones.....	186
15	Cronograma de actividades	188
16	Identificación de los recursos.....	190
	Referencias bibliográficas	192

Lista de figuras

Figura 1 Tipos de turbinas.....	39
Figura 2 VPN del costo total de los escenarios.....	65
Figura 3 Composición del sector energético colombiano en el 2020	67
Figura 4 Índice de pobreza multidimensional en Colombia año 2019	71
Figura 5 Pobreza urbana versus pobreza rural en Colombia año 2019	72
Figura 6 Demanda mensual de generación eléctrica en las ZNI del país en el período 2019-2021	80
Figura 7 Tipos de fuentes para abastecimiento de energía eléctrica en las ZNI del Chocó	85
Figura 8 Relación consumo por usuario.....	86
Figura 9 Gráfica de pronóstico de demanda en kW en ZNI del Chocó, para el período 2013-2025.....	88
Figura 10 Lista de precios unitarios/kW según la tecnología	94
Figura 11 Puntos de medición de velocidades en el río Atrato realizadas por Codechocó	109
Figura 12 Mapa del departamento del Chocó	110
Figura 13 Ubicación de la planta de operación del proyecto.....	113
Figura 14 Croquis de la distribución de la planta	114
Figura 15 Distancias de retiro del río.....	114
Figura 16 Bloque de funciones.....	115
Figura 17 Curva de potencia generada (W) por el equipo.....	116
Figura 18 Esquema de generación y distribución eléctrica	117
Figura 19 Sistema de control y monitoreo.....	118
Figura 20 Esquema de distribución.....	119
Figura 21 Generador eléctrico hidrocínético.....	121
Figura 22 Estructura y flotadores	123
Figura 23 Turbina hidrocínética Darrieus	124

Figura 24 Generador Mecc Alte BTP3-1S/4 trifásico de 1500 rpm	125
Figura 25 Rectificador trifásico	125
Figura 26 Sistema de almacenamiento y distribución	126
Figura 27 Inversor Growatt SPH6000TL BL-US.....	127
Figura 28 Baterías secas MTEK	128
Figura 29 Sistema Scada IOT	129
Figura 30 Armario de control.....	129
Figura 31 Transformador monofásico 10KVA (Inter Eléctricas, 2022).	130
Figura 32 Cable AWG N°6 (Solartex, 2022).....	130
Figura 33 Poste PRFV (Escarsa, 2018).	131
Figura 34 Contador de consumo eléctrico monofásico (Max Meter, 20 22).	131
Figura 35 Multímetro (Suconel, 2022a)	132
Figura 36 Amperímetro flexible (Suconel, 2022b)	132
Figura 37 Máquina de pago automático	133
Figura 38 <i>Flujo de generación de energía eléctrica</i>	146
Figura 39 <i>Flujo del proceso administrativo</i>	147
Figura 40 Organigrama	148
Figura 41 Indicadores tomados de la página de Damodaran.....	160
Figura 42 VPN del flujo de caja del inversionista	165
Figura 43 TIR del flujo de caja del inversionista	165
Figura 44 Indicador del IRVA	166
Figura 45 VPN del proyecto	169
Figura 46 IRVA del proyecto	170
Figura 47 VPN del riesgo	176
Figura 48 Riesgos de mayor relevancia	177
Figura 49 Valor económico del riesgo esperado	178
Figura 50 Desbordamiento del río Atrato	179
Figura 51 Disminución de la demanda energética	179
Figura 52 Riesgo tasas bancarias.....	180

Figura 53 Riesgo de multas por incumplimiento	181
Figura 54 Fluctuaciones en el precio.....	181
Figura 55 Riesgo por accidentalidad.....	182
Figura 56 Riesgo por enfermedad de trabajadores.....	183
Figura 57 Riesgo por disminución del caudal.....	183
Figura 58 Riesgo por desprendimiento	184
Figura 59 Riesgo de orden público	185
Figura 60 Riesgo de escasez de insumos.....	185

Lista de tablas

Tabla 1 Empresas desarrolladoras de turbinas hidrocíntrica para ríos, productos comerciales	42
Tabla 2 Fuentes de energías en las ZNI del Chocó	69
Tabla 3 Normatividad colombiana sobre programas de transición energética	77
Tabla 4 Demanda energética de las localidades ZNI del Chocó	81
Tabla 5 Demanda energética actual y pronosticada en el Chocó para el período 2013-2025	87
Tabla 6 CUPS promedio	89
Tabla 7 Costos de la prestación del servicio eficiente	91
Tabla 8 Subsidios del gobierno a los usuarios	92
Tabla 9 Clasificación del Potencial Hidroenergético (PCH) de Colombia, según la potencia.....	102
Tabla 10 Método de localización por puntos	112
Tabla 11 Datos específicos de la turbina hidrocíntrica ESG5kW-01	121
Tabla 12 <i>Generador hidrocíntrico - Tabla de mantenimiento</i>	134
Tabla 13 Red de transmisión - tabla de mantenimiento	134
Tabla 14 Plan de reemplazo de equipo.....	135
Tabla 15 Balance de obra física planta construcción metálica.....	136
Tabla 16 Balance de equipos y maquinaria de generación y transmisión.....	137
Tabla 17 Balance logístico Medellín-Quibdó y Quibdó-Tagachí.....	138
Tabla 18 Balance instalación generación transmisión y conexión	139
Tabla 19 Resumen inversión de generación y transmisión	140
Tabla 20 Balance de equipos y maquinaria de operación y mantenimiento.....	140
Tabla 21 Materiales e insumo bienes fungibles	141
Tabla 22 Balance de materiales e insumo administrativa	142
Tabla 23 Balance, costos de la nómina operativa detallada	144
Tabla 24 Balance, costo de nómina operacional por mes.....	145

Tabla 25 Resumen inversión de generación y transmisión	145
Tabla 26 <i>R D/E</i>	159
Tabla 27 Resumen de la inversión total del proyecto.....	159
Tabla 28 Indicador de tasa de rendimiento del mercado.....	161
Tabla 29 Cálculo de consumos anuales.....	163
Tabla 30 Listado de variaciones e incrementos	164
Tabla 31 Flujo de caja del inversionista	167
Tabla 32 Flujo de caja del proyecto	171
Tabla 33 Cronograma	188
Tabla 34 Recursos físicos necesarios para cada actividad.....	190

Introducción

Colombia es un país rico en recursos hídricos que le permiten tener un alto potencial energético, razón que lo sitúa entre los países exportadores de energía eléctrica en la región (Valora Analitik, 2020); sin embargo, a nivel local, el país tiene serias dificultades para brindar un servicio de energía eléctrica domiciliar de alta calidad, que les permita a todos los ciudadanos tener buenas condiciones de vida, tal como reza en la *Constitución Política de Colombia* (Constitución Política de Colombia, 1991). Estas deficiencias en la prestación del servicio han sido parte fundamental para situar a Colombia entre los países más desiguales del mundo, ya que gran parte del país está en situación de pobreza multidimensional (IFAD, 2016; López, 2019; O'Boyle, 2017; Colombia Reports, 2021).

Las grandes brechas que históricamente se han formado entre las zonas urbanas y rurales han generado que muchos de sus pobladores no tengan condiciones de vida aptas para el desarrollo productivo de sus regiones. De acuerdo con el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE, 2018), un claro ejemplo de esta dinámica ha sido el departamento del Chocó, en el cual se encuentran más de 304.544 viviendas sin solución energética, y más de 24 localidades con solución parcial, las cuales en promedio solo reciben 11 horas/día de servicio eléctrico. Esto, complementado con otros problemas, ha llevado al Chocó a ser el departamento con el mayor índice de desempleo a nivel nacional (O'Boyle, 2017).

Con el fin de ir cerrando brechas, y así lograr un país más equitativo, el Gobierno ha trazado planes energéticos donde el eje fundamental para el crecimiento industrial de las zonas rurales es la utilización de los recursos naturales como fuentes inagotables generadoras de energía, bajo la premisa de energías limpias y la disminución de tecnologías convencionales no amigables con el medio ambiente (Duque y otros, 2021).

En concordancia con las políticas mundiales, el sector científico del país ha volcado su interés investigativo en el desarrollo de nuevas tecnologías de generación eléctrica no convencionales, para disminuir el uso de combustibles fósiles y reducir las emisiones de CO₂ (Ibrahim y otros, 2021).

Estos nuevos desarrollos son a nivel mundial una gran oportunidad de desarrollo para muchos poblados que carecen de necesidades básicas y que, por su ubicación geográfica, se hace difícil conectarlos al mundo urbano. Como solución a esto han aparecido diversas alternativas de generación eléctrica, tales como la eólica, la solar, la geotérmica y la hídrica no convencional, entre otras.

Centrándonos en la última alternativa de generación, la hídrica no convencional, surgen las turbinas hidrocinéticas, diseñadas para utilizarse en ríos lineales con cabeza cero. Estas turbinas únicamente requieren como fuente de energía la cinética del río, mediante

la fuerza que pueda generar la corriente, para luego convertirla en movimiento mecánico a través de los álabes y, por último, en generación eléctrica (Khan y otros, 2008).

Debido a las circunstancias particulares del Chocó, se plantea una solución energética enmarcada en la implementación de un sistema de generación hidrocínético, configurado para sus condiciones geográficas y naturales, El Chocó está situado en una de las zonas más lluviosas del mundo los tres ríos que lo secundan son el Atrato, el San Juan y el Baudó (Universidad del Valle, s. f.).

Por estas razones, en el presente trabajo se presenta un estudio de prefactibilidad para construir una central hidrocínética para una zona específica del departamento del Chocó, usando para ello el marco de la metodología ONUDI (Benítez y Giraldo, 2020), con el fin de que sirva para que en un mediano plazo se puedan tomar decisiones financieras sobre la implementación de este sistema de generación eléctrica.

1 Justificación del trabajo

1.1 Relevancia social

El Chocó es el departamento con mayor índice de pobreza multidimensional de Colombia; uno de los cinco ejes fundamentales que definen este indicador es la precaria prestación de servicios de energía eléctrica. En este orden de ideas, el presente proyecto adquiere gran relevancia porque busca aumentar la disponibilidad del servicio de energía eléctrica en las denominadas zonas no interconectadas (ZNI) caracterizadas y elegidas del departamento, mediante el aprovechamiento inteligente del potencial energético-hidrocinético. Esta alternativa de generación hidroeléctrica, que se caracteriza porque respeta el medio ambiente y permite proveer a estas zonas de una generación limpia y renovable, no solo impactará de forma directa aproximadamente a 15.227 hogares, sino que permitirá elevar el desarrollo productivo de la región y aumentar la calidad de vida de cada uno de sus habitantes.

Este proyecto se desarrolla en el Chocó, caracterizado por la deficiente infraestructura civil, las difíciles condiciones de acceso y la riqueza hídrica que posee el departamento, la cual se convierte un factor fundamental, que permite replicar esta tecnología a lo largo de las poblaciones ribereñas del departamento.

Cabe recordar que la zona del Pacífico ha estado marcada por la violencia debido al conflicto armado que ha vivido el país y a factores relacionados con la guerra del narcotráfico. En estas poblaciones con bajos niveles de productividad, encontramos que muchos pobladores se vuelven parte activa de estas guerras debido a las bajas expectativas de alcanzar mejores condiciones de vida para ellos y sus familias. De esta manera, aunque en estas zonas se necesita un desarrollo integral, empezar por soluciones amigables con el medio ambiente que les permitan a las personas generar riquezas es un gran paso para lograr el país con equidad social que tanto anhelamos los colombianos.

1.2 Pertinencia disciplinar

En cuanto a la pertinencia disciplinar, el presente proyecto se enmarca en la temática académica, porque para elaborar un estudio de prefactibilidad es necesario haber visto todos los temas aprendidos y apropiados a través del desarrollo de las etapas de aprendizaje. Además, porque mediante esta propuesta se fortalecen los estudios de prefactibilidad aplicados al desarrollo de productos innovadores, que difieren de los estudios de prefactibilidad en productos ya aprobados, por lo que en el primer escenario tendrán mayores incertidumbres, que serán desarrolladas a partir del análisis de riesgos ajustado a estas condiciones.

1.3 Factibilidad

A partir de la presente investigación, centrada en el desarrollo de un sistema de generación hidrocínética con variaciones específicas en el diseño, para lograr optimizar la generación energética, y al ser su autor de origen de origen chocono, ha permitido conocer de primera mano las bondades y deficiencias que tiene el departamento en materia de productividad y de deficiencias energéticas. Por lo tanto, hay una coherencia solidaria en relación con revertir el conocimiento adquirido que se requiere en esta región.

2 Productos esperados

Como productos esperados, este trabajo investigativo entrega un documento técnico que responde al objetivo trazado, de hacer un análisis de viabilidad en el marco de la metodología ONUDI, para emprender la búsqueda de financiamiento público, a través de los entes territoriales, que en el corto plazo permita implementar esta tecnología en las ZNI Chocó.

En el mediano plazo (1 año), este trabajo investigativo será insumo principal para formular la implementación de un proyecto de este tipo.

3 Situación en estudio

Según el IPSE (2020), el 53% del territorio de Colombia no forma parte del sistema interconectado nacional (SIN) de energía eléctrica, lo que deja una gran parte del territorio clasificado en la tipología de zonas no interconectadas (ZNI). Estas zonas son regiones caracterizadas por encontrarse en lugares aislados geográficamente, contar con limitadas infraestructuras físicas para llegar a ellas y carecer de la prestación adecuada de este servicio.

Esta realidad, que va en contravía de la *Sentencia T-189/16*, se ratifica el artículo 365 de la Carta Política, el cual confirma que la prestación adecuada y eficiente del servicio de energía eléctrica es un requisito ponderable para garantizar el derecho a la vivienda digna, que obliga al Estado a velar por el cumplimiento de este deber en todo el territorio nacional, con independencia de si el servicio se presta de manera directa o indirecta (Corte Constitucional, 2016a).

Para garantizar la prestación del servicio, el Estado colombiano ha dividido el sector energético en tres entes principales, de forma jerárquica: el Ministerio de Minas y Energía, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios), los cuales, en este orden, se encargan de implementar las políticas energéticas del país, de reglamentar mediante las normas

jurídicas los comportamientos de los servicios públicos en el mercado y de hacer vigilancia y control sobre el cumplimiento de las normas (CREG, s. f.).

Actualmente, se estima que el país posee una capacidad instalada de generación eléctrica en SIN de 17.200 MW, compuesta por centrales hidroeléctricas, que representan el 68,33% del mercado global; centrales térmicas, que poseen el 30,7% del mercado, y un 0,98%, compuesto por generación de energía no convencional (Arango, 2019). Según el IPSE, para las ZNI, la capacidad operativa con ayuda del CNM llega a 288.206 MW, donde se incluyen 18 departamentos, 5 capitales, 77 municipios y 28 cabeceras municipales, que en conjunto alcanzan una cobertura del servicio de 96%. Sin embargo, en el 4% no cubierto, el departamento del Chocó es el más afectado, debido que el 90% del 4% nacional corresponde a viviendas situadas en este departamento, que llegan a un total de 304.544 viviendas sin servicio de energía eléctrica (IPSE, 2020).

En aras de atender estas necesidades y de lograr un desarrollo con equidad, el Gobierno nacional, como objetivo estratégico del gobierno en el plan de transición energética de Colombia 2020 (Ministerio de Minas y Energía, 2020), planteó aumentar la generación eléctrica a partir de fuentes no convencionales estrictamente renovables y amigables con el medio ambiente, con el propósito de llegar a las zonas más aisladas del país con tecnologías adaptables a las condiciones naturales de los territorios. Como respuesta a este objetivo estratégico, se creó el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectada (FAZNI), con el fin de optimizar la gestión de fuentes de

recursos económicos para financiar estos proyectos (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

3.1 Antecedentes

En relación con la implementación de sistemas hidrocinéticos de generación eléctrica, se realiza un barrido a nivel internacional y local sobre los estudios de prefactibilidad de centrales de este tipo, con el fin de revisar y conocer cómo se han llevado a cabo estos estudios, qué metodologías han empleado, qué problemas han surgido y cómo a partir de su implementación han sido resuelto los problemas de abastecimiento energéticos.

A nivel internacional, para el continente asiático, en el 2010 el Banco para el Desarrollo Asiático (Asian Development Bank, 2010) presentó un manual técnico de guía para elaborar estudios de prefactibilidad de centrales hidroeléctricas micro, en el que propuso el uso de estrategias convencionales de financiamiento entre el sector público y privado, teniendo en cuenta todas las variables sociales, políticas y económicas particulares del lugar donde se lleva a cabo la inversión.

En Singapur, propiamente en Sumatra, se realizó un análisis de viabilidad para tomar la decisión sobre la implementación de una pequeña planta hidroeléctrica. En este estudio, los autores determinaron que las variables que tenían mayor influencia eran el alcance y los beneficios dependientes de la actividad comercial en la zona de elección. La

metodología utilizada por los investigadores fue el proceso de jerarquía analítica (AHP, por sus siglas en inglés *analytic hierarchy process*), que sirve para tomar decisiones una vez han sido recolectadas las evaluaciones cualitativas de los expertos, y hacer ponderación de las variables que influyen en la factibilidad técnica y financiera, a tal punto que se generaron ocho criterios relevantes de decisión (Suryadimal y otros, 2020).

En Shanghái, Lin y otros (2020) presentaron una propuesta de diversificación energética que consistió en lograr una multiplicidad energética. El sistema estaba conformado por un equipo fotovoltaico unido a la red de almacenamiento de agua por bombeo, con el fin de disminuir los precios del consumo energético. La solución se basó en desarrollar un análisis de sensibilidad para determinar la variación del consumo en los edificios, en el que encontraron los parámetros clave que incrementaban los costos totales. Estos datos fueron utilizados para compararlos con los generados con la tecnología implementada y determinar el beneficio económico de esta.

África, un continente donde escasean muchos servicios domésticos de alta calidad, ha sido objeto de varias iniciativas de proyectos sostenibles. En Nigeria, Ladokun y otros (2018) hicieron una evaluación de prefactibilidad sobre aumentar la producción de generación hídrica en las tres principales centrales hidroeléctricas de ese país, mediante la instalación de turbinas hidrocínicas posicionadas detrás de las presas existentes. Esta evaluación concluyó con la aceptación de la propuesta de utilizar turbinas de río en aguas de colas de represas. Otro trabajo realizado en Nigeria fue el de Olatunji y otros

(2018), el cual registró las velocidades de 17 ríos para determinar los posibles sitios que tendrían mayor potencial energético para implementar un sistema de generación hidrocínética con la finalidad de energizar comunidades rurales de ese país.

En Suráfrica, Kusakana (2015) llevó a cabo un estudio de factibilidad sobre la utilización de un sistema de generación compuesto, en el que se propuso un esquema de generación con almacenamiento hidráulico por bombeo, junto con un sistema hidrocínético independiente en el suministro de energía fuera de la red. Su funcionamiento iniciaba con el movimiento hidrocínético, el cual le entregaba energía a una bomba, que, a su vez, enviaba fluido a un tanque que, a partir de la energía potencial, hacía girar una turbina, y esta, a un generador eléctrico. El autor de este planteamiento técnico analizó la viabilidad tecnoeconómica de dicha solución, con el fin de compararla con la opción en la que las baterías se consideran un sistema de almacenamiento. Como conclusión, dicho autor estableció que la mejor alternativa fue la solución hidrocínética.

A nivel del continente americano, propiamente en Suramérica, desde los años 80 Brasil ha hecho estudios y proyectos piloto para el aprovechamiento de la energía cinética de los ríos, para generar electricidad destinada a comunidades de difícil acceso (Van Els & Brasil, 2015). En el 2021, Henrique y otros (2021) presentaron una metodología para cuantificar el potencial hídrico de la tecnología hidrocínética empleada en grandes segmentos del río Amazonas. Esta metodología mezcla variables críticas que generan un modelo que calcula el potencial hídrico teórico dependiendo de la posición geográfica,

las condiciones técnicas y las de mercado de los lugares. Esta metodología prioriza el comportamiento hidrodinámico del río como base, utilizando para ello el código computacional llamado SisBaHiA.

En Perú, la empresa alemana Smart Hydro Power ya ha desarrollado dos proyectos de generación hidrocínética; el primero, en una aldea en Marisol (Perú), el cual consistió en una electrificación híbrida, que mezclaba una turbina hidrocínética, una celda fotovoltaica y un generador de respaldo, con el que lograron beneficiar a 60 familias (Smart Hydro Power, 2015b). El segundo, se llevó a cabo en Bellavista (departamento de Loreto), con un sistema híbrido compuesto por dos turbinas hidrocínéticas, un panel fotovoltaico y un generador de respaldo, que benefició a 200 personas ubicadas en 30 hogares (Smart Hydro Power, 2016).

Por último, en Colombia se destacan principalmente los 37 proyectos de energías renovables inaugurados en el 2021, de los cuales uno es eólico, y los restantes 36 son fotovoltaicos, con capacidades que van desde los 400 W hasta los 20 MW (Gubinelli, 2021); sin embargo, tal como se ha mencionado a lo largo de esta investigación, Colombia está apostando por una mayor participación de las energías renovables en la estructura energética del país, dominada mayormente por las energías convencionales como la hidráulica y la térmica. Por lo tanto, se inician a visibilizar, los primeros estudios e implementaciones de la tecnología hidrocínética en el país.

Montoya y otros (2016) hicieron la evaluación financiera de una planta hidrocínética empleada en ríos llanos, centrando el análisis financiero en comportamientos con incertidumbres, mediante el método de simulación de Monte Carlo. Durante el año del estudio (2016), los investigadores determinaron que la tecnología nacional no era rentable para el medio, pero en su propuesta incluyó la importancia de seguir monitoreando la situación para encontrar el momento óptimo de su implementación.

Sánchez (2016) realizó una vigilancia tecnológica, y encontró que en Colombia se han implementado dos proyectos hidrocínicos: el primero, desarrollado por la compañía alemana Smart Hydro Power, en Salvajina (Valle), y el segundo, corresponde a un prototipo desarrollado por el grupo de investigación de energías aplicadas, de la Universidad de Antioquia. Otro proyecto en el marco de la generación hidrocínética se llevó a cabo en Neiva (Huila), el cual consistió en una solución integrada para resolver el problema de riego en una finca (Smart Hydro Power, 2015a).

Una vez hecho un recorrido bibliográfico a través de los últimos acontecimientos sobre esta técnica, se propone analizar la prefactibilidad de un sistema de generación inteligente de generación hidráulica autorregulable, con mínimo mantenimiento para ZNI, el cual consiste en el desarrollo de un producto para la generación eléctrica de tamaño pico y micro en zonas no interconectadas con fuentes hídricas, exclusivo para ríos llanos, con las siguientes restricciones:

- Respetuoso del medio ambiente.

- Que genere entre 5 KW y 7 KW.
- Que sea libre de mantenimiento.
- Que tenga la capacidad de transportabilidad.
- Que funcione en ríos llanos o lineales.

3.2 Justificación

Esta propuesta se presenta buscando contribuir a mejorar las condiciones de productividad económica en las subregiones del Chocó que hacen parte de las ZNI y a mejorar la estabilidad del fluido eléctrico a partir de una solución ingenieril adaptada a las dificultades de accesibilidad geográficas y que sea respetuosa de las normatividades ecológicas de las zonas. Se utiliza una metodología deductiva, que busca estudiar tanto las necesidades de mercado como las técnicas, ambientales y legales que tiene el departamento en materia energética, hasta llegar a la solución de problemas específicos de las subregiones en relación con el servicio y la viabilidad económica que resuelva la situación.

3.3 Alcance

La situación en estudio busca generar un estudio de prefactibilidad, para determinar la inversión requerida y considerar la implementación del sistema.

3.4 Formulación de la pregunta de investigación

¿Cómo aumentar los indicadores de disponibilidad del servicio de energía eléctrica en las 304.544 viviendas del departamento del Chocó pertenecientes a las ZNI que se encuentran aisladas?

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Hacer un estudio de prefactibilidad para una central de generación hidrocínética de 5 kW a 10 kW de generación, en una zona no interconectada (ZNI) del departamento del Chocó, mediante el uso de las metodologías marco lógico (MML) y ONUDI, con el fin de evaluar la viabilidad de su implementación.

4.1.1 Resultado

Entregar un informe sobre la viabilidad de una central de generación hidrocínética con capacidades de 5 kW a 10 kW, en una ZNI del departamento del Chocó, que cumpla con la tipología definidas por el Ministerio de Minas y Energías.

4.2 Objetivos específicos

- Hacer el estudio del entorno y el análisis sectorial.
- Elaborar el estudio de mercado.
- Determinar la viabilidad técnica del proyecto.
- Definir la estructura administrativa.
- Realizar el estudio legal.
- Efectuar el estudio ambiental.
- Realizar la evaluación financiera y de riesgos

5 Marco de referencia conceptual

En la presente sección se definen los términos clave que rodean el ecosistema de las energías renovables, particularmente las centrales de generación hidrocínéticas de capacidades pico y micro, y la metodología más utilizada para la formulación de proyectos.

5.1 Energías renovables

La escasez de combustibles fósiles y el problema del calentamiento global derivado del cambio climático natural y de las altas emisiones de CO₂ producidas por el hombre han impulsado la transición hacia las nuevas tecnologías de energías renovables, limpias y sostenibles, las cuales ya cubren aproximadamente el 25% de la demanda energética a nivel mundial, con 6321 TWh (Ibrahim y otros, 2021). Twidell y Weir (2015), en su libro *Renewable Energy Resources* definen la energía renovable como la energía obtenida de forma naturalmente y repetitiva, a partir de los flujos persistentes de energía que son producidos en el medio ambiente local, e inherentes al medio. En contraste, lo que diferencia a las tecnologías renovables de las no renovables es la interacción del ser humano; es decir, las renovables no requieren que haya un proceso forzado para que se genere la electricidad.

En conclusión, para considerar que un recurso de energía es renovable y sostenible, primero, debe ser inagotable y, segundo, la entrega o el retorno del recurso no debe dañar el medio ambiente ni los bienes y(o) servicios, incluyendo el sistema climático (Twidell & Weir, 2015).

Actualmente, las tecnologías renovables se clasifican en cinco formas de generación: biomasa, geotérmica, eólica, solar e hidráulica (Riva y otros, 2018; Twidell & Weir, 2015).

5.1.1 *Energía biomasa*

La generación de energía por biomasa se da mediante la transformación de la biodegradación de desechos y residuos de origen biológico de la agricultura (incluidos los vegetales y sustancias animales), la silvicultura y las industrias afines, incluidas la pesca y la acuicultura (Riva y otros, 2018).

5.1.2 *Energía geotérmica*

La energía geotérmica es la que procede del calor generado por el subsuelo, y está contenida en las rocas y en los fluidos que corren bajo de la corteza terrestre. Para producir esta energía, es necesario realizar excavaciones profundas, de alrededor de una milla de profundidad, para llegar hasta los vapores y aguas calientes que

posteriormente serán empleados para mover turbinas conectadas a generadores de electricidad (Unwin, 2020).

5.1.3 Energía eólica

La energía eólica se define como el aprovechamiento de la potencia del viento, mediante una estructura metálica que consta de una turbina con aspas, que son movidas por el viento, las cuales, a su vez, mueven el rotor que, unido a una caja mecánica, transfiere las revoluciones a un generador de electricidad que produce la energía eléctrica (Manwell y otros, 2009).

5.1.4 Energía solar

La energía solar se adquiere mediante colectores fotovoltaicos o paneles solares, los cuales transfieren la energía a través de una electrónica de potencia hacia las baterías que son las encargadas de almacenar la energía obtenida (Shinn, 2022).

5.1.5 Energía hidráulica

La energía hidroeléctrica está definida como la transformación de la energía potencial, o cinética, del agua en energía eléctrica, a través de un movimiento mecánico generado previamente (Twidell & Weir, 2015). Los componentes principales de una central

hidroeléctrica son: la presa, también llamada embalse, que se encarga de contener el agua del río; la sala de máquinas, que es el lugar donde se encuentran todas las máquinas de la central, que son los generadores, los alternadores, las turbinas y los elementos de control; las turbinas, que transforman la energía potencial o cinética del agua en energía mecánica, en forma de revoluciones; los generadores, que transforman en energía eléctrica la energía mecánica provista por el movimiento de las turbinas. Por último, está la distribución, que se encarga de llevar la energía a los hogares: primero, a través de las estaciones eléctricas; luego a través de los transformadores grandes, para elevar el voltaje mediante las líneas de alta tensión; finalmente, llega a las subestaciones, en las que hay transformadores medianos que bajan la tensión y hacen apta la energía para su uso industrial y domiciliario (Ingfocol, 2015).

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar según el tipo de embalse, la cabeza hidráulica y la cantidad de energía eléctrica generada. Según el tipo de embalse, se clasifican en centrales de agua continua, de bombeo (represas) o mareomotriz (si es generada a partir de la cinemática de las olas del mar). Según la cabeza hidráulica, si la altura es menor de 15 metros, se denominan centrales pequeñas; si están entre 15 y 50 metros de altura, son llamadas centrales medianas, y si superan los 50 metros, son denominadas centrales de gran tamaño, o grandes centrales. Por último, según la cantidad de energía eléctrica generada, de 0,5 kW a 5 kW, son llamadas pico centrales; de 5 kW a 50 kW, microcentrales; de 50 kW a 500 kW, minicentrales, y de 500 kW a 20.000 kW, se denominan pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH); finalmente, las que

tienen capacidad instalada de 20 MW en adelante se denominan centrales hidroeléctricas (Ingfocol, 2015).

En contraste con la energía de origen fósil y la nuclear, los recursos hídricos están ampliamente distribuidos, lo que permite tener gran disponibilidad del bien en cualquier lugar del planeta; además, representan una quinta parte de la capacidad mundial de generación, e incluso para algunos países representan la única fuente de energía doméstica (Okot, 2013).

Entre las distintas tecnologías de energía renovable, la generación hidroeléctrica tanto a gran escala como a pequeña escala ocupa un lugar privilegiado en la generación mundial; sin embargo, las grandes centrales hidroeléctricas están equipadas con grandes presas, que conllevan grandes obras civiles que producen un enorme impacto ambiental negativo. Lo anterior ha llevado a fortalecer la generación mediante el uso de centrales de menor escala, priorizando un arreglo sistémico de varias pequeñas centrales hidroeléctricas para alcanzar la demanda requerida y seguir manteniendo intacto el ecosistema ambiental (Niebuhr y otros, 2019; Vermaak y otros, 2014). Esto ha permitido encontrar en la generación hidrocínética una gran oportunidad para seguir avanzando en el uso de energías renovables limpias y sostenibles.

5.2 Generación hidrocínética

Un generador hidrocínético es un convertidor de energía electromecánico, que transforma en energía eléctrica la energía cinética de las corrientes generadas por las aguas del río, a través de un generador controlado mediante una electrónica de potencia (Ibrahim y otros, 2021; Khan y otros, 2008). Estos sistemas son llamados de baja cabeza hidráulica, debido que extraen solamente la energía cinética, y la masa de agua fluye libremente sin la construcción de un embalse o canal. Por lo tanto, muchos diseños de turbinas hidrocínicas tienen relaciones ingenieriles con los diseños de las turbinas eólicas, puesto que poseen el mismo principio de funcionamiento (Niebuhr y otros, 2019). Por último, son sistemas portátiles, de transporte, instalación y reubicación debido a su baja capacidad de generación (Henrique y otros, 2021).

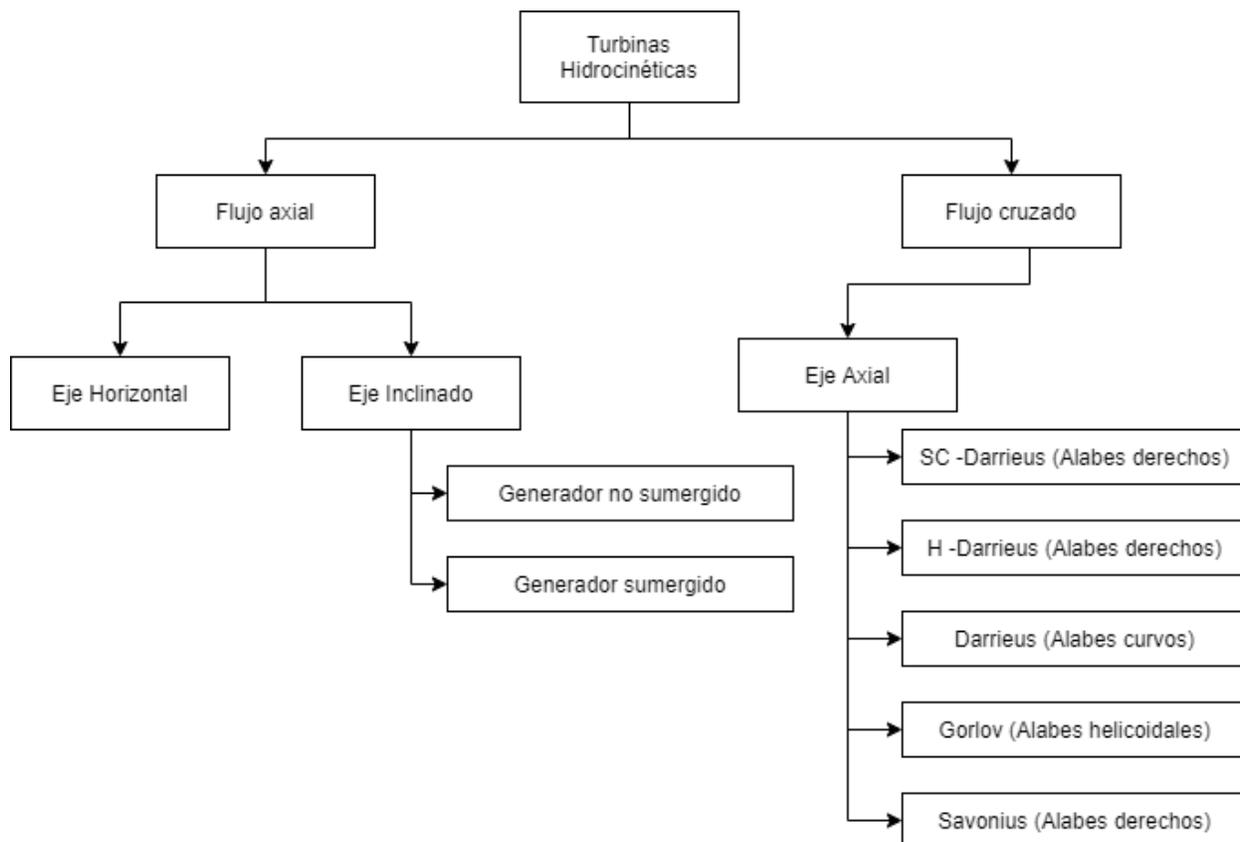
Estos generadores hidrocínicos tomaron fuerzas en los años 90 del siglo XX; sin embargo, los primeros esbozos se remontan a 1978, cuando un alemán llamado Peter Garman, en conjunto con el Grupo de Desarrollo de Tecnología Intermedia, desarrollaron un prototipo de turbina llamada Garman, diseñada para el bombeo de agua para riego (Khan y otros, 2008). Desde ese momento se empezaron a diseñar nuevas turbinas para aumentar la eficiencia en el bombeo del agua, de tal manera que las variaciones en el posicionamiento del eje y los ángulos de inclinación de los álabes generaran variaciones en los niveles de eficiencia en la recolección del agua (Vermaak y otros, 2014). Estos resultados fueron contrastados en Bangladesh, con el fin de estudiar la viabilidad de

cómo aprovechar la energía fluvial, y lograr aumentar la eficiencia del sistema en un 30%, lo que posteriormente derivó en nuevos prototipos de turbinas y álabes (Khan y otros, 2008).

La configuración general de este tipo de turbinas hidrocínicas se compone de un rotor, una caja de cambios fija y un generador integrado, y por fuera del agua están el transformador y las conexiones a la red (Sánchez, 2016). De estos elementos, los mayores avances se han realizado en el diseño de la turbina.

5.2.1 Turbinas

Según la revisión literaria, los generadores hidrocínicos se clasifican en dos grandes grupos dependiendo la dirección en la que se encuentre posicionado el eje: están las turbinas de flujo axial, utilizadas principalmente para el aprovechamiento energético de las olas del mar, y las de flujo cruzado, que son las que mayormente se utilizan para ríos con poca cabeza hidráulica o llanos. Las turbinas más conocidas en esta aplicación de ríos llanos son las Gorlov, o helicoidales, y las turbinas Darrieus, con sus distintas modificaciones, que dan lugar a nuevas turbinas, tales como las llamadas turbinas H-Darrieus y Squirrel Cage Darrieus (figura 1) (Ibrahim y otros, 2021; Khan y otros, 2008; Niebuhr y otros, 2019; Okot, 2013; Olatunji y otros, 2018; Vermaak y otros, 2014).

Figura 1*Tipos de turbinas*

Nota. Figura tomada de *A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: Technology, applicability and potential* (Niebuhr y otros, 2019).

5.2.2 Alternadores y generadores

Los generadores eléctricos son dispositivos que convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Estos pueden ser en corriente continua (CC), llamados generadores, o de corriente alterna (CA), llamados alternadores (Laws & Epps, 2016; Niebuhr y otros,

2019; Vermaak y otros, 2014). Para efectos del presente trabajo, los llamaremos generadores.

Para los generadores hidrocinéticos se usan los mismos generadores que se utilizan en la generación de energía hidroeléctrica y eólica. Para estos sistemas se utilizan principalmente generadores de (CA), los cuales pueden ser síncronos de imanes permanentes y de inducción. Ambos tipos de generadores pueden ser utilizados en las generadoras hidrocinéticas, tienen bajos niveles de ruido y pueden ser adaptables a las variaciones de velocidad de los ríos, para una generación continua; sin embargo, los generadores de inducción no necesitan fuentes de energías externas de CC, y por eso son ampliamente utilizados en centrales tipo *stand-alone*, o de modelo flexible (Vermaak y otros, 2014).

5.2.3 Publicaciones científicas

En los últimos seis años (contados a partir de 2016), a nivel mundial varios investigadores que se describen a continuación han estado trabajando alrededor de nuevos modelos matemáticos para mejorar la eficiencia en estos sistemas.

Koko y otros (2015) presentaron un sistema para simular el rendimiento de la tecnología eólica versus la tecnología hidrocinética empleando el *software* MATLAB/Simulink.

Bustamante y otros (2015) utilizaron las ecuaciones bidimensionales de aguas poco profundas para obtener, mediante el método sin malla de colocación local con la función de base radial, la distribución promedio de la velocidad de profundidad y la altura del agua en el flujo de un canal abierto. Musa y otros (2018) desarrollaron un modelo predictivo para determinar la socavación inducida por las turbinas hidrocínéticas instaladas en superficies fluviales o de lecho erosionable por mareas. Xu y Matzner (2018) utilizaron un algoritmo de *deep learning* para detectar peces en los álabes de la turbina hidrocínética y definir los efectos producidos por las corrientes generadas en los peces. Betancur y otros (2020) presentaron un estudio de dinámica de fluidos computacional (CFD) y un análisis de elementos finitos (FEA), en el que se analizaron los factores de presión, estrés y seguridad de tres perfiles de álabes (Eppler E817, NREL S802 y NACA 4412). Para este estudio, utilizaron tres tipos de materiales para cada álabe (acero inoxidable, aluminio y polietileno de baja densidad).

Por último, Álvarez y otros (2020) desarrollaron un túnel de agua hidrodinámico de bajo costo, incluyendo el *software* y los instrumentos mecatrónicos, con el fin de simular en tamaño laboratorio los diseños de nuevas turbinas hidrocínéticas.

5.2.4 Fabricantes

Los identificados por Ibrahim y otros (2021) como los principales fabricantes de generadoras hidrocínéticas se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1

Empresas desarrolladoras de turbinas hidrocínética para ríos, productos comerciales

Fabricante	País	Nombre del equipo	Especificaciones de la turbina	Potencia
Instream Energy Systems Corp	Canadá	Instream Eje Vertical	Eje vertical, H Darrieus	25 kW
HydroQuest	Francia	Hydroquest River 1.4	Doble eje vertical, H Darrieus	40 kW
Ocean Renewable Power Company	USA	Rivgen Power System	Flujo cruzado	35 kW
Guinard Energies	Francia	P66 Turbina Hidrocínética	Eje horizontal	3.5 kW
New Energy Corp	Canadá	Envirogen 005 Series	Eje vertical, H Darrieus	5.0 kW
Idénergie	Canadá	Riverlution Turbine	Flujo cruzado Darrieus	500 W
Smart Hydro Power	Alemania	Smart Monofloat	Eje horizontal	5.0 kW

Nota. Traducción propia, tomada de *Table 2. List of companies and associated hydrokinetic technologies for river systems*, de *Hydrokinetic energy harnessing technologies: A review*, de Ibrahim y otros (2021, pp. 2034-2035).

5.3 Metodología marco lógico (MML)

La metodología de marco lógico es una herramienta creada para la conceptualización de una idea de proyecto, que abarca desde el diseño, hasta su ejecución. Esta metodología está orientada por objetivos, con el fin de establecer los grupos beneficiarios y facilitar su participación. El uso de esta herramienta permite reducir ambigüedades, posibilita llegar a acuerdos entre los interesados y proporciona la información para organizar de manera lógica el plan de ejecución del proyecto (Ortegón y otros, 2015).

5.4 Metodología ONUDI

Esta metodología, planteada en 1978 por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), se creó como respuesta a los desafíos que se estaban generando con el crecimiento de la producción industrial en los países emergentes, en los cuales se encontraron muchas deficiencias en la calidad de los estudios de preinversión. Cuanto más complejo era el proyecto por elaborar, mayores eran las imprecisiones. Lo anterior develó la necesidad de crear un manual general para la preparación de proyectos, que fuera transversal a todos los sectores industriales, con el fin de ser más eficientes en las inversiones. Este manual fue apropiado por muchos países y cada uno lo adaptó a su entorno. La metodología ONUDI determina que el ciclo del desarrollo de un proyecto cuenta con tres fases: preinversión, que se refiere a los estudios relacionados con la toma de la decisión; inversión, que se encarga del plan de

ejecución del proyecto, de las negociaciones, celebración de contratos, construcciones y puesta en marcha. Por último, la operación, que se sitúa en el período inicial después de comenzada la producción (Naciones Unidas, 1978).

En el presente proyecto se hacen todos los estudios de apoyo determinados en el manual ONUDI (1978), referentes a la fase de preinversión.

La fase de preinversión comprende: identificar las oportunidades de inversión, seleccionar y hacer la definición preliminar del proyecto, para, posteriormente, con la evaluación final, tomar la decisión de inversión. En esta fase se encuentran los estudios de apoyo: estudio sectorial, estudio de mercado, estudio técnico, estudio ambiental, estudio organizacional, estudio legal y estudio financiero (Naciones Unidas, 1978).

6 Metodología de la investigación

El proyecto busca darle respuesta al objetivo general, a partir de los objetivos específicos que se enmarcan entre variables y categorías. Cada variable y(o) categoría tiene asociada una serie de parámetros que representan tanto los rangos numéricos tolerables para las variables como los criterios cualitativos para las categorías. Posteriormente, cada dato es analizado mediante una selección del método, formado por un tipo de estudio y de diseño, unos instrumentos asociados, un sujeto como fuente del análisis y, por último, un procedimiento que explica cómo se lleva a cabo el método.

6.1 Objetivo específico: estudio del entorno y análisis sectorial

Está conformado por el primer objetivo, que responde a elaborar un estudio del entorno y análisis sectorial siguiendo los lineamientos de la metodología ONUDI. Las variables o categorías analizadas en este objetivo son cuantitativas y cualitativas.

6.1.1 *Variable cualitativa, sector energético*

Se desarrolla una investigación sobre el estado del sector energético tanto a nivel nacional e internacional, orientado a las energías renovables, específicamente a la generación hidrocínética. De igual forma, se revisan las proyecciones de este tipo de

energías para los próximos días años, según los pronósticos hechos por los entes gubernamentales tales como el Ministerio de Minas y Energía.

6.1.1.1 Método. El tipo de estudio seleccionado es descriptivo. Los instrumentos utilizados son la revisión documental y conocer los informes *elaborados* por el sector y sus expectativas.

El sujeto elegido son las bases de datos documentales nacionales de la CREG, el IPSE y el DANE.

6.1.2 Variable cuantitativa y variable cualitativa, entorno sociocultural

Se aborda el estudio a partir de las variables cualitativas de la demografía, y de las cuantitativas, para entender las actividades económicas de las zonas y los posibles cambios una vez entre una nueva tecnología de generación.

6.1.2.1 Método. El tipo de estudio seleccionado para la variable demografía es correlacional. Los instrumentos utilizados son la revisión documental, en la cual se identifican los documentos estadísticos del crecimiento poblacional de la zona.

El sujeto elegido son las bases de datos documentales del DANE, buscando responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles actividades económicas realiza para generar ingresos en los hogares?
- ¿Qué medios tecnológicos utiliza para llevar a cabo la actividad económica?
- ¿Qué nuevas actividades realizaría si tuviera un servicio de energía eléctrica constante durante las 24 horas del día?

6.1.3 Variable cualitativa, entorno político-legal

Se realiza un estudio en el marco de las sentencias T-189 de 2016, que define que todo ciudadano tiene derecho a recibir un correcto servicio de energía como derecho fundamental. De igual manera también se tendrá como restricción la Sentencia T-622 de 2016, que les otorga derechos de preservación a los ríos Atrato, San Juan y Baudó (Corte Constitucional, 2016b).

6.1.3.1 *Método. El estudio utilizado es el descriptivo, y como instrumento se hace una revisión documental de todos los marcos legales subsidiarios que se desprenden de estas sentencias.*

El sujeto son las bases de datos institucionales de la Corte Suprema de Colombia.

6.1.4 Variable cualitativa, entorno tecnológico

Las categorías en cuestión son los equipos de generación para ríos lineales, entre 3,5 KW y 20 KW, y los equipos sustitutos de la tecnología.

6.1.4.1 Método. El estudio utilizado es el descriptivo, y como instrumento se hace una revisión documental del estado de la tecnología.

6.2 Objetivo específico: estudio de mercado

Está conformado por el segundo objetivo, que responde a la elaboración de un estudio de mercado bajo los lineamientos de la metodología ONUDI (1978). Las variables o categorías analizadas en este objetivo son cuantitativas y cualitativas.

6.2.1 Variable cualitativa, desarrollo del producto

Se lleva a cabo una investigación tanto a nivel nacional como internacional sobre el estado del sector energético de las energías renovables y las tradicionales, específicamente, de la generación hidrocínética. De igual forma, se revisan las proyecciones de este tipo de energías para los próximos años, según los pronósticos hechos por entes gubernamentales tales como el Ministerio de Minas y Energías.

6.2.1.1 *Método.* El tipo de estudio seleccionado es descriptivo. Los instrumentos utilizados son la revisión documental y conocer los informes elaborados por el sector y sus expectativas. El instrumento utilizado es la revisión documental.

Los sujetos son las bases de datos.

6.2.2 *Variable cuantitativa, estudio de la demanda*

Para elaborar este estudio se toman las proyecciones de demanda energéticas en las ZNI a nivel nacional y regional.

6.2.2.1 *Método.* El tipo de estudio seleccionado es correlacional. Los instrumentos utilizados son la revisión documental, en la cual se buscan los documentos históricos de los pronósticos de demandas energéticas, y herramientas para hacer análisis de sensibilidad para establecer varios escenarios.

El sujeto elegido son las bases de datos documentales del IPSE (Minenergía y UPME, 2020).

6.2.3 Variable cuantitativa, estudio de la oferta

Para hacer este estudio, se toman las proyecciones de demanda energéticas en las ZNI a nivel nacional y regional.

6.2.3.1 Método. El tipo de estudio seleccionado es correlacional. Los instrumentos utilizados son la revisión documental, en la cual se buscan los documentos históricos de los pronósticos de demandas energéticas, y herramientas para hacer análisis de sensibilidad para establecer varios escenarios.

El sujeto son las bases de datos documentales del IPSE (Minenergía y UPME, 2020).

6.3 Objetivo específico: viabilidad técnica del proyecto

Está conformado por el tercer objetivo, que responde a determinar la viabilidad técnica del proyecto siguiendo los lineamientos de la metodología ONUDI (1978). La variable o categoría analizada en este objetivo es cuantitativa.

6.3.1 Variable cuantitativa, zona geográfica que contenga ríos llanos o lineales

Se escogen las zonas geográficas que tengan fuentes hídricas con velocidades mayores o iguales a 1,5 m/s, y que en el estudio de disponibilidad histórica del agua se cumpla con lo que el equipo de generación vaya a necesitar para funcionar.

6.3.1.1 *Método.* El tipo de estudio seleccionado es correlacional. El instrumento utilizado es la revisión documental, en la cual se buscan los documentos históricos de las velocidades de las cuencas hídricas y los caudales disponibles de cada uno.

El sujeto elegido son las bases de datos documentales y los estudios de la CAR Codechocó.

6.3.2 *Variable cuantitativa, ríos con poblaciones en las riberas*

Se escogen las zonas pobladas que tengan entre 20 y 300 habitantes y, a su vez, cuya ubicación geográfica tenga fuentes hídricas que no estén a más de 100 metros de distancia del río.

6.3.2.1 *Método.* El tipo de estudio seleccionado es correlacional. El instrumento utilizado es la revisión documental, en la cual se buscan los documentos históricos de las velocidades de las cuencas hídricas y los caudales disponibles de cada uno.

El sujeto elegido son las bases de datos documentales tanto internacionales como las locales que tenga el departamento.

6.3.3 Variable cuantitativa, ZNI del departamento

Las poblaciones en estudio deben estar dentro de las ZNI que tiene el departamento del Chocó, siguiendo la definición de ZNI presentada en el informe del IPSE (2020): zonas que no forman parte del sistema de interconexión nacional.

6.3.3.1 Método. El tipo de estudio seleccionado es correlacional. El instrumento utilizado es la revisión documental. Como resultado, se listan las poblaciones que entran en esta tipología.

El sujeto elegido son las bases de datos documentales nacionales del IPSE.

6.3.4 Variable cualitativa

Métodos de evaluación para localización cuantitativa por puntos. Para adelantar este estudio, se realiza una ponderación por puntos de las zonas elegidas, y se elige la que más puntos obtenga.

6.3.4.1 Método. El tipo de estudio seleccionado es correlacional y el instrumento seleccionado es el método de ponderación por puntos.

6.4 Objetivo específico: definir la estructura administrativa

Corresponde al cuarto objetivo, que responde a la estructura administrativa siguiendo los lineamientos de la metodología ONUDI (1978). La variable o categoría analizada en este objetivo es cualitativa.

6.4.1 Variable cualitativa, definición del tipo de configuración organizacional

Se realiza una investigación sobre qué tipo de estructura administrativa, es la ideal para ejecutar el proyecto.

6.4.1.1 Método. El tipo de estudio seleccionado es descriptivo. Los instrumentos utilizados son la revisión documental y conocer los informes elaborados por el sector y sus expectativas.

6.5 Objetivo específico: realizar el estudio legal

Está conformado por el quinto objetivo, que responde al estudio legal que se realiza para establecer las restricciones políticas.

6.5.1 Variable cualitativa, revisión de sentencias de la Corte Constitucional

Se realiza una investigación sobre las formas de las sentencias que ha radicado la Corte Constitucional en materia de protección social y ambiental.

6.5.1.1 Método. El tipo de estudio seleccionado es descriptivo. El instrumento utilizado es la revisión documental.

6.6 Objetivo específico: efectuar el estudio ambiental

Está conformado por el sexto objetivo, que responde a la realización de un estudio ambiental siguiendo los lineamientos de la metodología ONUDI (1978). La categoría analizada es cualitativa.

6.6.1 Variable cualitativa, licencia ambiental

Se realiza una investigación sobre las formas de licenciamiento ambiental que requiere el producto en estudio para cumplir con los requisitos ambientales según el *Decreto 2041* (Presidencia de la República, 2014).

6.6.1.1 Método. El tipo de estudio seleccionado es descriptivo. El instrumento utilizado es la revisión documental, para conocer las restricciones ambientales que pueda tener el proyecto.

6.7 Objetivo específico: realizar la evaluación financiera y de riesgos

Está conformado por el séptimo y último objetivo, que responde a elaborar la evaluación financiera del proyecto, siguiendo los lineamientos de la metodología ONUDI (1978). Las variables o categorías analizadas en este objetivo son cuantitativas y cualitativas.

6.7.1 Variable cualitativa, flujos de caja, proyecto e inversionista

Se elaboran los flujos de caja conforme a los lineamientos de los textos de evaluación financiera.

Como restricciones, se busca que los indicadores financieros que se indican a continuación cumplan las siguientes restricciones:

- El VPN del proyecto $>$ que 0
- El VPN del inversionista $>$ 0
- La TIR del inversionista mayor que la TIR del mercado

6.7.1.1 Método. El tipo de estudio seleccionado es correlacional, y los instrumentos utilizados el WACC, el VPN y la TIR.

6.7.2 Variable cuantitativa y variable cualitativa, análisis de riesgos

En el análisis de riesgo se busca comparar los resultados estocásticos con los resultados determinísticos, y que estos confirmen:

- El VPN estocástica del proyecto $>$ que 0
- El VPN estocástica del inversionista $>$ 0
- La TIR estocástica del inversionista mayor que la TIR del mercado.

6.7.2.1 *Método.* El tipo de estudio seleccionado es correlacional y descriptivo. Los instrumentos utilizados son, a nivel cuantitativo, el WACC, el VPN, la TIR y el análisis político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal (Pestel), y a nivel cualitativo, la revisión documental.

El sujeto es un experto en análisis de riesgos orientado a proyectos de generación hidráulica.

6.8 Procedimiento

Para identificar y seleccionar la ZNI se determinaron tres variables y(o) categorías: disponibilidad del recurso fluvial en la zona, cantidad de poblaciones en las riberas y tipificación de las ZNI, con el fin de acotar la investigación. El tipo de diseño seleccionado fue el correlacional, el cual tiene como instrumento principal la revisión documental.

Posteriormente se hacen los estudios de apoyo de prefactibilidad, según la ONUDI (1978). Para el estudio y análisis sectorial, se destacan los entornos socioculturales, políticos, tecnológicos y del sector energético. Para cumplir con este objetivo se lleva a cabo un estudio correlacional y descriptivo, a partir de la revisión documental, y entrevistas semiestructuradas a algunos expertos del sector energético nacional.

En la construcción del estudio de mercado se tienen en cuenta los estudios de oferta y demanda, para determinar las proyecciones energéticas en los próximos años, por medio de un estudio correlacional, en el que se emplean los siguientes métodos numéricos para el análisis de pronósticos: análisis sensibilidad y regresiones lineales simples y múltiples. De igual forma, estos resultados parciales son la entrada para el desarrollo final del producto, el cual es acotado según las proyecciones económicas.

La viabilidad técnica se realiza teniendo en cuenta para las variables y las categorías los métodos de evaluación para localizaciones por puntos. Los estudios elaborados son correlacionales en cuanto al aspecto cuantitativo, y descriptivo en cuanto a lo cualitativo, con el propósito de conocer el ecosistema que funciona en esa región específica.

La estructura administrativa se define según el tipo de configuración más adecuado para su posterior implementación. Se destacan los tipos de organización orientadas a la especialización y a la centralización. Para esto se hace una revisión documental y se les formula una entrevista semiestructurada a los interesados internos de la organización y a los externos, con el fin de determinar la cultura organizacional que mejor modele la población.

Los estudios legales y ambientales van de la mano con el cumplimiento de las normatividades. Desde las sentencias dictadas por la Corte Constitucional, hasta el Decreto 2041 (Presidencia de la República, 2014), que explica la Ley 99 de 1993

(Congreso de Colombia, 1993), referente a los requisitos que se deben cumplir en la expedición de licencias y permisos ambientales. Para esto se lleva a cabo un estudio descriptivo mediante el instrumento de revisión documental.

Finalmente, la evaluación financiera del proyecto en la etapa de prefactibilidad se desarrolla siguiendo los métodos tradicionales de análisis financieros. Se establecen los métodos de cálculos de flujos de cajas tanto para el inversionista como para el proyecto, y el análisis de riesgo cualitativo y cuantitativo, de acuerdo con los resultados obtenidos en los estudios previos. El estudio es correlacional para la parte cuantitativa, y descriptivo para la parte cualitativa. Los instrumentos para utilizar son los indicadores de toma de decisión para inversión y los análisis estadísticos derivados del análisis de riesgo cualitativo y cuantitativo.

7 Estudio sectorial

El análisis sectorial se hizo por medio de un análisis Pestel, el cual busca determinar las implicaciones que los diferentes análisis que lo integran dejan en la concreción de la idea al momento de tomar decisiones en pro de las inversiones.

7.1 Análisis político

En este apartado se hace un breve recuento histórico de la política colombiana, para luego entrar en la manera en que funciona la política chocoana y sus propuestas en función del desarrollo del departamento.

7.1.1 Política colombiana

Colombia es un país con una larga tradición democrática, que se remonta a 1974 con el pacto del Frente Nacional, lo que se traduce en una sociedad estable y con pocas variaciones en sus estamentos. Colombia es un estado social de derecho, y, para garantizar esta premisa, la responsabilidad del manejo del Estado está dividida en tres grandes poderes independientes: el ejecutivo, el legislativo y el judicial, que se encargan de velar por que se cumplan los mandatos establecidos en la Carta Magna de 1991 (García, 2019).

Los partidos políticos son de gran importancia para el cumplimiento de la democracia; sin embargo, en Colombia con el tiempo estas organizaciones han dejado de girar en torno a ideales comunes y se han centrado en personificaciones en forma de líderes, que por preservar el poder político en sus zonas de representación han creado clanes clientelares que financian campañas y compran votos para lograr victorias en las elecciones (García, 2019; Universidad de Barcelona, 2022).

Esta práctica, que se ha irradiado por todo el país, tiene gran implicación en las zonas de mayor pobreza y atraso, porque su economía empieza a depender exclusivamente del bien público, y el departamento del Chocó no es la excepción.

7.1.1.1 Organizaciones políticas en el departamento del Chocó. El departamento del Chocó históricamente ha sido una región con representación política de mayoría Liberal, y este partido ha sido representado a lo largo del tiempo por dos grandes clanes familiares: el Clan Cordobismo y el Clan Sánchez Montes, que se han ido distribuyendo el poder dentro del territorio, a través de los cargos de elección pública, tales como los concejos, las asambleas, las alcaldías y la gobernación; asimismo, los puestos representativos en el ámbito nacional, en la rama legislativa, como son los escaños correspondientes a representantes a la Cámara y a senadores (Duque, 2017; Sipares, 2019).

El Clan Cordobista actualmente representa el partido liberal colombiano en la región. Este clan fue creado por el cacique Diego Luis Córdoba y su hermano Zabulón Córdoba, el primero de ellos reconocido como uno de los fundadores del departamento del Chocó; ambos hermanos formaron la estructura principal del Clan. En las elecciones regionales de 2021 al igual que en los tres períodos cuaternos previos, este clan ha ganado las elecciones a la Gobernación, y es el que más alcaldías posee en el departamento. Las zonas de mayor influencia del Clan Cordobista están en la subregión del Pacífico Sur, donde sobre salen Medio Baudó y Alto Baudó; en la subregión del Atrato, donde se destaca el municipio de Bagadó, y en la subregión de San Juan, donde están los municipios de Cértegui, Condoto, Medio San Juan, San José del Palmar, Tadó y, más recientemente, Unión Panamericana (Sipares, 2019).

El Clan Sánchez Montes de Oca, encabezado por Patrocinio Sánchez, es reconocido como disidente del partido Liberal. Actualmente representa el Partido de la U y el Centro Democrático (Semana, 2019). Ambos clanes se reparten los dos escaños a la Cámara de Representantes a las que el departamento tiene derecho por ley (Sipares, 2019).

7.1.2 Actores políticos nacionales que impactan en el sector energético

Por la naturaleza del proyecto, se debe tener en cuenta las políticas impulsadas mediante ministerios estatales tales como el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de

Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, que se describen a continuación.

- *Ministerio de Minas y Energía*: su objetivo radica en crear las políticas energéticas del país (Ministerio de Minas y Energía, 2020); por lo tanto, impacta radicalmente en el aspecto económico y técnico de la planta de generación hidrocínética, debido que debe cumplir con las normativas impuestas por el ministerio.
- *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*: tiene gran relevancia el conocer los tratados y acuerdos políticos sobre la gestión y protección de los recursos naturales renovables, para garantizar la viabilidad del proyecto (Presidencia de la República, 2011a).
- *Ministerio de Comercio, Industria y Turismo*: la creación de políticas en materia de desarrollo económico de los sectores productivos de la industria, la micro, pequeña y mediana empresa, ligadas a la gestión de las políticas que adopta el país para el comercio nacional y exterior (MinCIT, 2003) hacen que este proyecto se vea impactado en cuanto a cómo encarará las negociaciones con los proveedores internacionales, para la adquisición del sistema de generación y de piezas eléctricas que deben ser importados al país.

7.1.3 Políticas energéticas de desarrollo en el departamento

En el actual plan de desarrollo del departamento, se enfatiza en el fortalecimiento de cuatro líneas estratégicas que el departamento considera importantes para lograr la

reducción de la pobreza y la brecha tecnológica. La línea estratégica uno se destaca la influencia del sector energético. La línea estratégica dos “Un Chocó con ambiente sostenible para generar confianza”, se refiere al desarrollo de los recursos hídricos sin afectar las posibilidades de las futuras generaciones, priorizando los proyectos que no degraden la calidad de las aguas de los ríos Atrato, San Juan y Cabí, y sin desconocer el potencial hídrico de estas zonas, en pro de su aprovechamiento. Por último, la línea estratégica tres “Un Chocó productivo y competitivo para generar confianza”, propende por la generación de proyectos de gran impacto para la región, tanto de infraestructura como proyectos productivos agrarios (Gobernación del Chocó, 2021).

7.2 Análisis económico

El sector energético es el segundo renglón más importante de la economía colombiana, llegando a generar el 13% de los ingresos de la Nación; además, posee el 34% de la inversión extranjera y el 56% de las exportaciones del país. Actualmente, en el país se están desarrollando alrededor de 33 proyectos, que en pesos colombianos significan una inversión de \$36 billones, y permiten generar aproximadamente 54.000 empleos entre directos e indirectos (Valora Analitik, 2020). Adicionalmente, se espera que, en los próximos cinco años, la inversión ascienda a US\$800 millones en proyectos de generaciones renovables no convencionales (González, 2020; Valora Analitik, 2020).

En Colombia, los precios de la energía o el sistema de negociación del SIN se manejan mediante una bolsa de energía. En este escenario, los generadores o proveedores mayoristas lanzan las ofertas por la cantidad de energía ya sea disponible o producida, y esto se entrelaza con la demanda provista por el país. Esta relación entre demanda y oferta determina el precio final de la energía en el país.

Según la CREG (s. f.), el mercado en el país se clasifica en usuarios regulados, no regulados y agentes. Los regulados son las personas naturales y jurídicas cuyas compras de energía están sujetas a las tarifas impuestas por la CREG; los no regulados son usuario que requieren consumos de energía superior a los 2 MW, que tienen la libertad de negociar con su proveedor los precios de la energía que consumen; por último, los agentes, que son quienes se encargan de llevar la energía al usuario final.

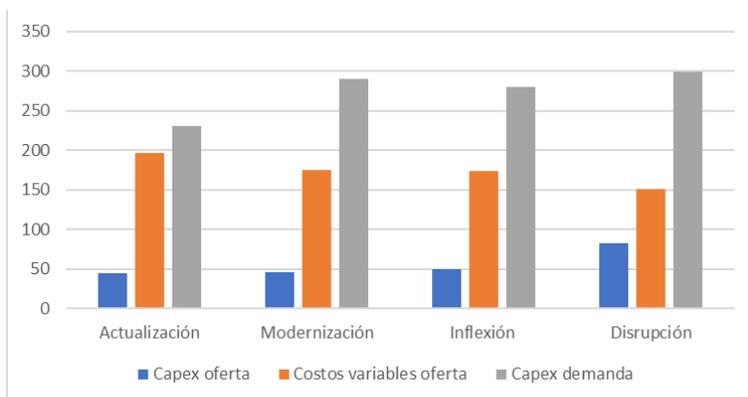
Según XM, empresa administradora del Mercado de Energía Mayorista (MEM) del SIN, en el 2021, en el mercado regulado el precio promedio de energía consumida por usuarios residenciales y de pequeños negocios fue de 248,42 COP/kWh, que presentó un incremento del 26,6% respecto al 2020, cuando este fue de 213.82 COP/kWh. Sin embargo, en el 2021, en el mercado mayorista el precio ponderado de energía en bolsa disminuyó un 41% con respecto al 2020, pasando de 255 COP/kWh a 151 COP/kWh.

De acuerdo con el *Plan energético nacional 2020-2050* (Minenergía y UPME, 2020), se estima que en los próximos 50 años la demanda energética del país crecerá de forma

sostenida entre un 21% y un 48% con respecto al consumo actual. De igual manera, las tecnologías no convencionales, tales como las nuevas generaciones hídricas, tendrán un aumento sostenido de 11% anual. Como resultado económico proyectado, se estima que estos aumentos dejarán unos costos relacionados con la demanda que oscilarán entre los US\$40.000 y los US\$80.000 millones (figura 2); asimismo, los costos asociados a la demanda rondarán entre los US\$200.000 y los US\$300.000 millones. De esto se puede inferir que cuanto mayor sean las restricciones ambientales y los requisitos de eficiencia energética, mayores serán las inversiones requeridas.

Figura 2

VPN del costo total de los escenarios



Nota. Elaboración propia con información tomada de Minenergía y UPME (2020).

Mediante la propuesta denominada energía para todos, el expresidente Duque, que en el informe de transición energética buscaba democratizar la transición energética, ha establecido un modelo de subastas centralizadas y una invitación a las iniciativas

privadas para la asignación de contratos que permitan la financiación de nuevas plantas de generación renovables. A cambio, prometió concederles incentivos fiscales a las empresas que se embarquen en este tipo de proyectos. Con estos mecanismos no solo se busca entregar ayudas a los empresarios para la financiación de estos proyectos, sino que también se garantizarán unas tasas tarifarias eficientes para los usuarios finales (Duque y otros, 2021).

El IPSE (2020) indica que en Colombia el 53% del territorio no forma parte del sistema interconectado nacional (SIN) de energía eléctrica, lo cual deja una gran parte del territorio en la tipología de las llamadas zonas no interconectadas (ZNI). Las ZNI son regiones caracterizadas por encontrarse en lugares aislados geográficamente, tener limitadas infraestructuras físicas para llegar a ellas y no contar con la prestación adecuada de este servicio.

Según se aprecia a continuación en la figura 3, se estima que el país posee actualmente una capacidad instalada de generación eléctrica en SIN de 17.200 MW/h, compuesta por centrales hidroeléctricas, que representan el 68,33% del mercado global; centrales térmicas, que poseen el 30,7% del mercado, y el 0,98% restante, compuesta por generación de energía no convencional (Arango, 2019). Para las ZNI, según el IPSE con ayuda del Centro Nacional de Monitoreo (CNM), la capacidad operativa llega a 288.206 MW/h, donde se incluyen 18 departamentos, 5 capitales, 77 municipios y 28 cabeceras municipales, alcanzando una cobertura del servicio de 96% (IPSE, 2020).

Figura 3

Composición del sector energético colombiano en el 2020



Nota. Gráfica de elaboración propia a partir de información de Arango (2019) y IPSE (2020)

Según lo anterior, en el territorio nacional se identifican varias regiones que hacen parte de la problemática presentada; sin embargo, este trabajo investigativo centra su propuesta en el departamento del Chocó.

7.2.1 El Departamento del Chocó

El Chocó está situado en la esquina noroccidental de Colombia, encontrándose como la primera región del continente suramericano en dirección norte-sur. Este departamento, compuesto por 30 municipios, tiene un área terrestre de 46.530 km² y una extensión marítima de 1.382 km (Mincomercio, 2021, diap. 5). Según la más reciente medición del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2010), tiene una población aproximada de 525.202 habitantes. El Chocó es una de las zonas con mayor pluviosidad

a nivel mundial, con tasas entre 8.000 y 12.000 milímetros de precipitación anual (Universidad del Valle, s. f.), por lo que posee el sistema hidrográfico de mayor abundancia en el país, al contar con más de 250 ríos, entre los que se destacan los ríos Atrato, San Juan y Baudó como sus principales, y aproximadamente 3000 quebradas (ver figura 4). También es conocido por tener una de la más rica variedad de flora y fauna a nivel mundial, que lo convierten en un atractivo turístico para nacionales y extranjeros (Universidad del Valle, s. f.).

La base de la economía del Chocó se apoya principalmente en minería y canteras, con 12,3%; hotelería, con un 14,7%; agricultura, ganadería y pesca, con 21,6%, y administración pública y defensa, con un 35,8% de su PIB local. Este departamento solamente aporta el 0,41% en el PIB nacional, evidenciando una baja productividad privada, por la baja cantidad de empresas privadas y una alta dependencia del sector público (Mincomercio, 2021, diap. 5).

Por esta razón, el Chocó presenta los indicadores más desfavorables del país; por ejemplo, los mayores porcentajes de personas que viven en situación de pobreza (68,4%) y en situación de extrema pobreza (39%) (Colombia Reports, 2021). Adicionalmente, en los últimos años ha sido permeado por los problemas de violencia y narcotráfico, que han puesto a la población en el medio de una disputa territorial entre distintos grupos armados al margen de la ley, generando terror en las comunidades, lo

que ha llevado a que más de 2.800 personas se hayan visto obligadas a desplazarse hacia otras latitudes (Human Rights Watch, 2020).

En relación con la problemática energética, en el territorio chocoano se encuentra el 90% del 4% no cubierto por el programa de ZNI del país, el cual corresponde aproximadamente a 304.544 viviendas que carecen de servicio de energía eléctrica durante las 24 horas del día (IPSE, 2020).

En el censo del 2020, las ZNI cubren 23 localidades, las cuales llegan a una capacidad operativa de 20,9 MW/h, entregando un promedio global de 10,97 horas de servicio al día, dejando a estas zonas cerca de un promedio de 13 horas al día sin suministro del fluido eléctrico (Superservicios, 2020). A continuación, en la tabla 2 se presentan las fuentes de energías usadas en estas localidades.

Tabla 2

Fuentes de energías en las ZNI del Chocó

Tecnología	Cantidad
Centrales térmicas	20
Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)	2
Paneles solares	1
Turbinas Pelton	1

Nota. Tabla elaborada mediante la información obtenida de Superservicios (2020).

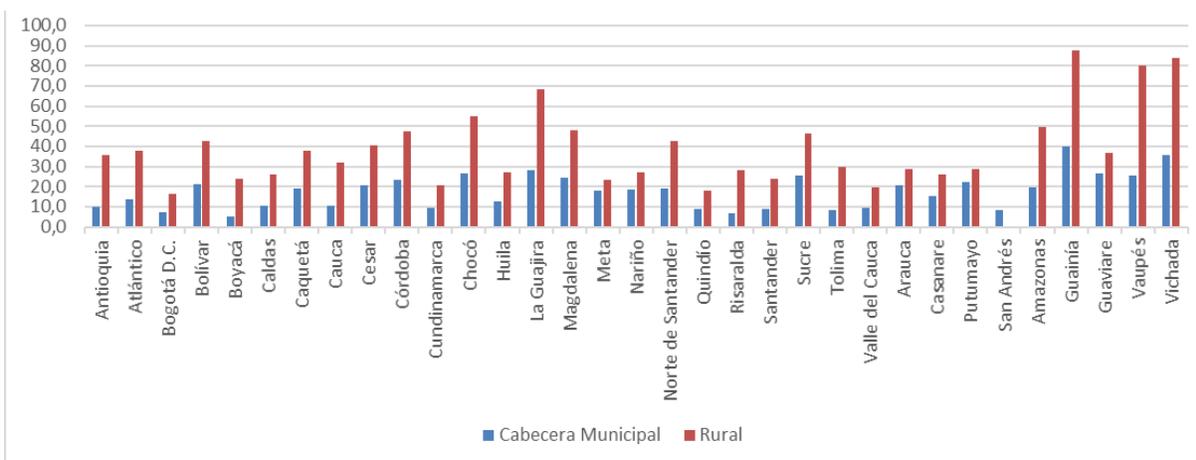
7.3 Análisis social

Colombia se encuentra entre los países de Latinoamérica como mayores niveles de desigualdad territorial (Colombia Reports, 2021). Uno de los indicadores más importantes para medir el nivel de pobreza es la medida de la pobreza multidimensional, en la cual se evalúan las cinco principales dimensiones que definen las carencias de la población. Estas dimensiones son: condiciones educativas del hogar, condiciones de la niñez y la juventud, salud, trabajo y condiciones de la vivienda y acceso a servicios públicos domiciliarios (Departamento Nacional de Planeación y otros, 2017).

En ese orden de ideas, en Colombia los municipios que mayores niveles de pobreza multidimensional presentan (ver figura 1), están ubicados en las regiones Orinoquía y Pacífica, y dentro de ellos se destacan negativamente la de Uribia (Guajira), con un 92,2%; Cumaribo (Vichada), con un 91,4%, y Alto Baudó (Chocó), con un 90,6% (DANE, 2020).

Figura 4

Índice de pobreza multidimensional en Colombia año 2019



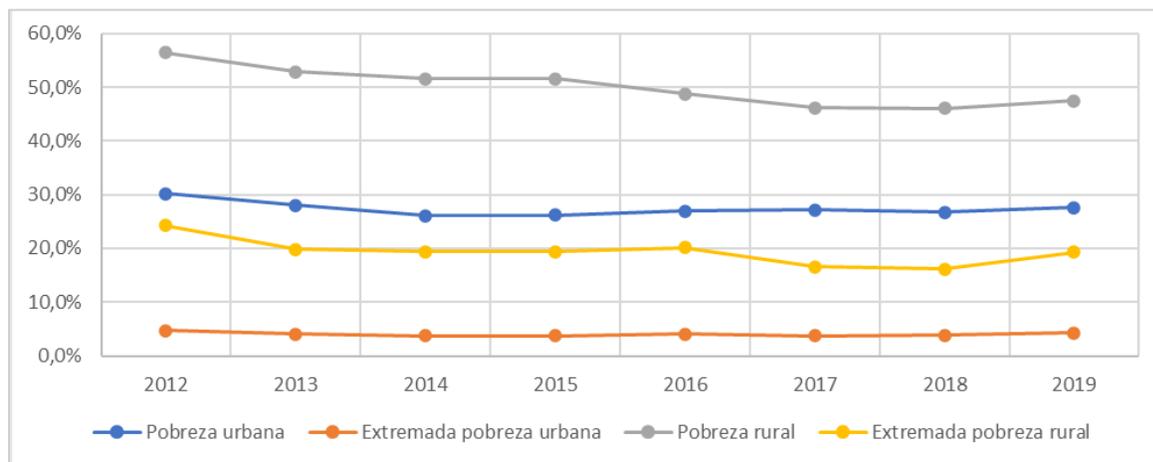
Nota. Gráfica elaborada a partir de la información obtenida de Superservicios (2020).

Estos niveles históricos de desigualdad en Colombia se evidencian en mayor medida cuando se comparan los porcentajes poblacionales de mayor pobreza en relación con la ubicación geográfica.

Según se aprecia a continuación en la figura 5, al 2019 el porcentaje de pobreza rural promedio era del 47,5%, y en el área urbana, de 27,6% (Colombia Reports, 2021).

Figura 5

Pobreza urbana versus pobreza rural en Colombia año 2019



Nota. Gráfica elaborada a partir de la información obtenida de Colombia Reports (2021).

Los resultados de diversas investigaciones han establecido que, entre las razones fundamentales que originan estas grandes brechas entre las zonas rurales y urbanas están los más de 50 años de conflicto interno, las altas concentraciones de ingresos en las zonas urbanas, como son las principales capitales del país, los bajos niveles de educación, las deficientes infraestructuras civiles y una histórica deficiencia en la calidad de la prestación de servicios domiciliarios: en primer lugar, los servicios de agua potable; en segundo lugar, los servicios de alcantarillado, y, en tercer lugar, el tema central alrededor de la problemática que da origen a esta propuesta investigativa: los servicios de la energía eléctrica (IFAD, 2016; López, 2019; O'Boyle, 2017; Colombia Reports, 2021).

7.4 Análisis tecnológico

En concordancia con las políticas mundiales que buscan impulsar las investigaciones orientadas a las innovaciones y desarrollos de nuevas tecnologías de generación eléctrica no convencionales para disminuir el uso de combustibles fósiles y reducir las emisiones de CO₂, este trabajo centra su investigación en el desarrollo de centrales hidrocinéticas. Sin embargo, otros recursos energéticos renovables tales como el viento, el sol, la biomasa, la energía geotérmica y la hidráulica también están siendo investigados por industrias privadas alrededor del mundo (Ibrahim y otros, 2021).

Estas fuentes energéticas son de gran interés debido a su condición de renovables; sin embargo, en unos casos, tales como en la energía solar y en la eólica, por condiciones de la intermitencia natural del recurso, se requieren estudios más profundos sobre las irradiaciones de los rayos del sol y las variaciones de velocidades del aire, con el fin de seleccionar el lugar exacto donde se deben instalar estos equipos (Khan y otros, 2008). En otros casos, tales como las energías geotérmicas y las hidráulicas tradicionales, se requieren estudios de mayor sofisticación que concluyan en mayores inversiones.

Lo anterior le abre un espacio prometedor a la exploración de generación hidrocinética, que aprovecha la energía cinética desarrollada por las corrientes de energía que fluyen libremente a través de los ríos, que la convierten en una alternativa amigable con el medio ambiente, económica y deseable para zonas rurales, debido a su portabilidad

(Vermaak y otros, 2014). Esta tecnología aparece con mayor intensidad en 1990, con el desarrollo de la turbina Underwater Electric Kite desarrollada por la Corporación Norteamérica UEK. De allí en adelante han tenido lugar múltiples desarrollos que se basan principalmente en el posicionamiento de las turbinas en relación con la dirección del flujo del agua, cuyas capacidades de generación eléctricas van desde los 500 W hasta los 40 kW. Actualmente, se identifican como principales cuatro empresas comerciales dedicadas al desarrollo de estas tecnológicas (Ibrahim y otros, 2021), las cuales serán nombradas y detalladas en el estudio de mercado.

7.5 Análisis ecológico

En Colombia, el ente encargado de avalar los proyectos de infraestructuras que están sujetos a licenciamiento, permisos o concesiones ambientales es la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), establecido en el artículo 2 del Decreto 3573 de 2011 (Presidencia de la República, 2011b).

Particularmente, los recursos del departamento del Chocó son gestionados por la CAR Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (Codechocó), que se encarga de fomentar el conocimiento de los recursos naturales de la región, fomentar el uso de tecnologías apropiadas y proteger los recursos naturales regionales (Congreso de Colombia, 1993).

El departamento tiene restricciones especiales en el aprovechamiento de los recursos hídricos principales, como son los ríos Atrato, San Juan, el Baudó y afluentes, los cuales solo podrán ser aprovechados siempre y cuando se respeten de manera tácita los lineamientos expuestos en la Sentencia T-622 de 2016 (Corte Constitucional, 2016b), que otorga el nivel de sujetos de derecho como principio de protección ambiental, y su aplicación para proteger el derecho a la salud a las personas que habiten o dependan de dichos ríos.

7.6 Análisis legal

El sector energético en el Estado colombiano está compuesto por tres instituciones, que son el Ministerio de Minas y Energías, la CREG y la Superservicios, las cuales, en este orden, se encargan de cumplir las políticas energéticas del país, reglamentar los comportamientos de los servicios públicos en el mercado mediante las normas jurídicas y hacer vigilancia y control sobre el cumplimiento de las normas (CREG, s. f.).

Esta composición tiene como objetivo cumplir con el artículo 365 de la Carta Política, el cual, mediante la sentencia T-189/16, confirma que la prestación adecuada y eficiente del servicio de la energía eléctrica es un requisito ponderable para garantizar el derecho a la vivienda digna, lo que obliga al Estado a velar por el cumplimiento de este deber en todo el territorio nacional, independientemente de si el servicio se presta de manera directa o indirectamente (Corte Constitucional, 2016a).

Para atender las necesidades energéticas de las ZNI, el gobierno nacional presentó ciertas modificaciones en las normativas y regulaciones en el Plan de Desarrollo 2018-2022, dirigidas a redefinir la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica en las ZNI. Entre ellas, la inclusión del suministro de energía eléctrica por medio de soluciones individuales o privadas en el programa de servicios públicos domiciliarios en las ZNI, para encargarse de la entrega final en el domicilio, incluyendo la conexión y medición (Superservicios, 2020). Asimismo, se extendieron las vigencias de los programas Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectada (FAZNI) y se creó la Ley 2036 de julio de 2020, para promover la participación de las entidades territoriales en proyectos de generación de energías alternativas y renovables. Todos ellos enmarcados en el direccionamiento estratégico del IPSE (2020).

Lo anterior se expresa en el plan de transición energética de Colombia 2020 a 2022 (Ministerio de Minas y Energía, 2020), donde se plantea como objetivo estratégico aumentar la generación eléctrica a partir de fuentes no convencionales, estrictamente renovables y amigables con el medio ambiente, con el propósito de llegar a las zonas más aisladas del país con tecnologías que sean adaptables a las condiciones naturales de los territorios. Como respuesta a este objetivo estratégico, se crearon fondos para el financiamiento de estos proyectos, con el fin de optimizar la gestión de las fuentes de recursos económicos (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

A continuación, en la tabla 3 se listan las leyes, decretos y sentencias más relevantes que describen las acciones legales desarrolladas por el Estado colombiano para sustentar los pronósticos que se plantean en los programas de transición energética.

Tabla 3

Normatividad colombiana sobre programas de transición energética

Legislación	Descripción
Sentencia T-189/2016	Prestación eficiente del servicio de la energía eléctrica
Ley 855 de 2003	Definición de las ZNI
Decreto 2884 de 2001	Fondo de Apoyo Financiero para Energización de ZNI (FAZNI)

8 Estudio de mercado

En el presente estudio, se identifican los agentes que se identifican como participantes en el ámbito comercial del proyecto; por lo tanto, desde la estrategia comercial se analizan la demanda, los competidores actuales, los proveedores, el precio de los equipos y de la energía, la oferta y los actuales y posibles canales de comercialización.

8.1 Definición del producto

El producto objetivo de esta propuesta es la generación, operación y prestación del servicio por medio de una microcentral hidrocínética de generación eléctrica renovable, requerida para generar energía eléctrica en poblaciones ribereñas con un retiro del río no superior a los 500 metros. Este sistema convierte en energía eléctrica la energía cinética de las corrientes de los ríos de baja cabeza o cabeza cero. Tiene una capacidad de generación eléctrica de 7 kW de potencia, conforme a la velocidad promedio del río donde esté ubicado el sistema. La administración, operación y mantenimiento del equipo y periféricos se realiza mediante un sistema inteligente de monitoreo con mínima intervención del recurso humano.

8.2 Consumidores

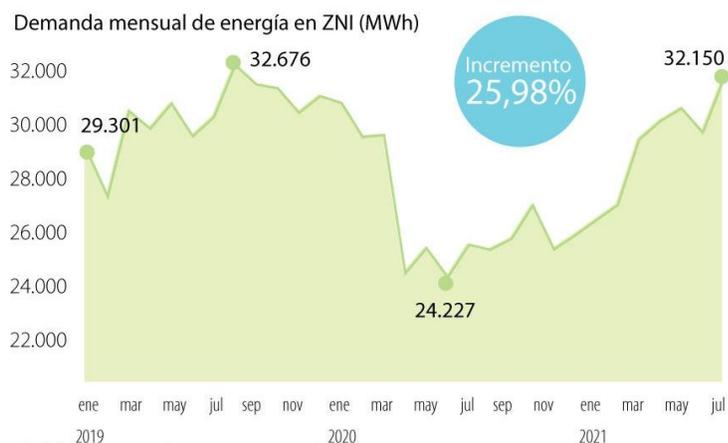
La microcentral de generación hidrocínética está dirigida principalmente a las regiones que hacen parte de la tipificación ZNI y a los dueños de fincas productivas que requieran el suministro eléctrico continuo, ya sea para cumplir las necesidades básicas domésticas que tengan un consumo promedio de 152 kWh mes de energía (EPM, 2012) y(o) para uso agroindustrial, para ser utilizado en los trabajos del día. La operación de esta tecnología demanda que los interesados estén ubicados en zonas ribereñas o que posean cuerpos de agua de corrientes con velocidades mínimas de 0,5 m/s a 1m/s en adelante.

8.3 Demanda energética de la ZNI

La demanda energética en el país es socorrida mediante la utilización de generación tradicional y alternativa. En las últimas mediciones hechas en Colombia sobre demanda energética, tanto en las SIN como en las ZNI se registró un aumento debido a las restricciones de movilidad por la pandemia y a las medidas de toques de queda que se impusieron en todo el país. Según los indicadores de demanda eléctrica, en los primeros meses de pandemia, a nivel nacional en las ZNI se alcanzó un consumo de 32150 MWh, que representa un 25,98% más de lo históricamente reportado (figura 6). Posteriormente se registró una reducción en el consumo de 6000 MWh, por el cierre de la actividad comercial (Urrego, 2021).

Figura 6

Demanda mensual de generación eléctrica en las ZNI del país en el período 2019-2021



Nota. Gráfica tomada del artículo de Urrego (2021), publicado en la página web de La República.

Según el Centro Nacional de Monitoreo e IPSE (2020), en el Chocó hay caracterizadas 22 localidades pertenecientes al sistema no interconectado nacional, y la demanda promedio de electricidad histórica asciende a 45,724 MW/h anual, de las cuales están atendidas 20,9 MW/h, que corresponden a 10,97 horas de servicio promedio. En la tabla 4 se presentan las capacidades de servicios brindadas en el 2020 y los tipos de tecnológicas con los que son atendidas las demandas energéticas.

Las 22 localidades caracterizadas como ZNI son consideradas ribereñas, ya que en la mayoría de los casos poseen una cuenca de agua o río aledaño a la población (tabla 4).

Tabla 4*Demanda energética de las localidades ZNI del Chocó*

Localidad	Tecnología	Capacidad kW	Horas de servicio/día	Ríos cercanos	Usuarios
Acandí	Central térmica	3572	19:42	Río Acandí	3127
Arusí (Nuquí)	Planta	110	1:43	Río Arusí	132
Balboa (Unguía)	Central térmica	330	7:32	Río Natí, río Tanela	333
Bellavista Bojayá	Central térmica	1265 270	12:56 6:17	Río Bojayá	484
Beté (Medio Atrato)	Central térmica	396	9:30	Río Atrato	294
Capurganá (Acandí)	Central térmica	1680	18:23		1143
Ciudad Baudó (Pie de Pató)	Central térmica	900	12:54	Río Baudó	447
Comunidad indígena Panguí (Yucal, Nuquí)	Turbina Pelton y central térmica	50	19:12	Río Panguí	88

Localidad	Tecnología	Capacidad kW	Horas de servicio/día	Ríos ceranos	Usuarios
Cucurupí (Litoral Sanjuan)	Central térmica	250	16:00	Río San Juan	154
Cupica (Bahía Solano)	Pch	13.2	20:58	Río Cupica	345
El Valle (Bahía Solano)	Pch	34.5	23:52		790
Juradó	Central térmica	1914	N/A	Río Juradó	747
Loma de Bojayá	Central térmica	270	7:42	Río Bojayá	257
Mutis (Bahía Solano)	Pch	3675	23:56	Río Jella, río Chocotal	2750
Napipí (Bojayá)	Central térmica	150	N/A	Río Atrato	286
Nuquí	Central térmica	1446	19:34	Río Nuquí	1368
Pilizá (Bajo Baudó, Pizarro)	Central térmica	180	N/A	Río Baudó	265

Localidad	Tecnología	Capacidad kW	Horas de servicio/día	Ríos cercanos	Usuarios
Pizarro (Bajo Baudó)	Central térmica	2542	20:54	Río Baudó	1502
Puerto Conto (Bojayá)	Central térmica	100	3:35	Río Atrato	249
San Francisco (Acandí)	Central térmica y Panel Solar	344	N/A		271
San Roque (Medio Atrato, Beté)	Central térmica	156	N/A	Río Atrato	208
Santa Genoveva de Docordó	Central térmica	1100	17:12	Río San Juan	506
Sipí	Central térmica	523	5:42	Río Sipí	300
Tagachí (Quibdó)	Central térmica	109	3:36	Río Atrato	221
Titumate (Unguía)	Central térmica Panales	124 105	5:40	Río Hilda	138

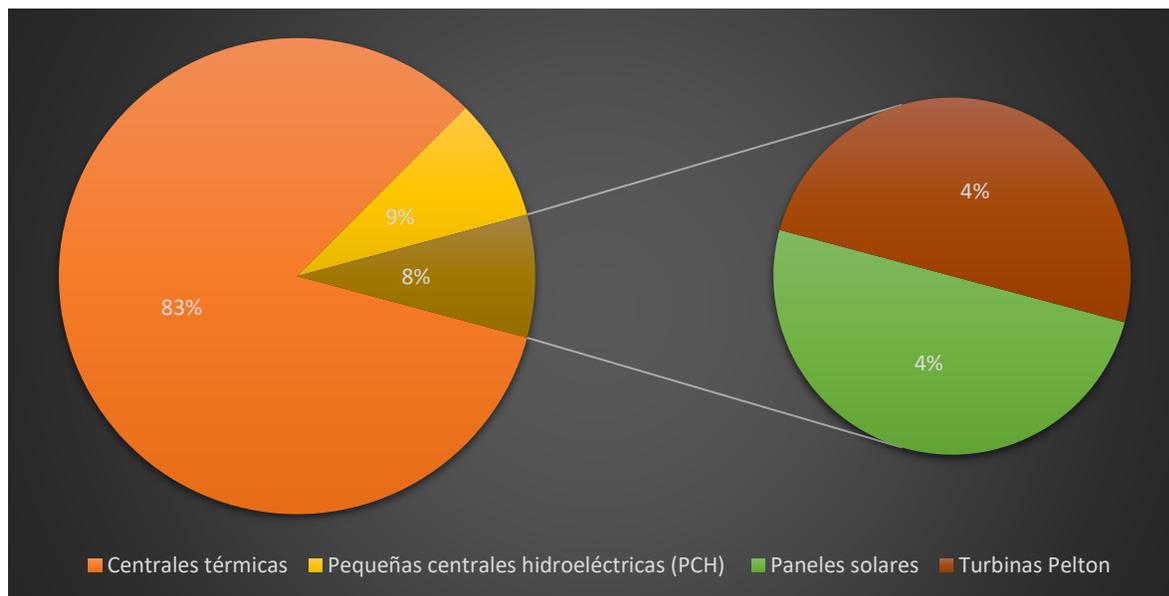
Localidad	Tecnología	Capacidad kW	Horas de servicio/día	Ríos cercaños	Usuarios
Togoromá Playa (San Juan)	Central térmica	170	N/A	Río San Juan	151
Unguía	Central térmica	1395	15:43	Río Unguía	2461

Nota. Tabla elaborada a partir de la información tomada de Superservicios (2020).

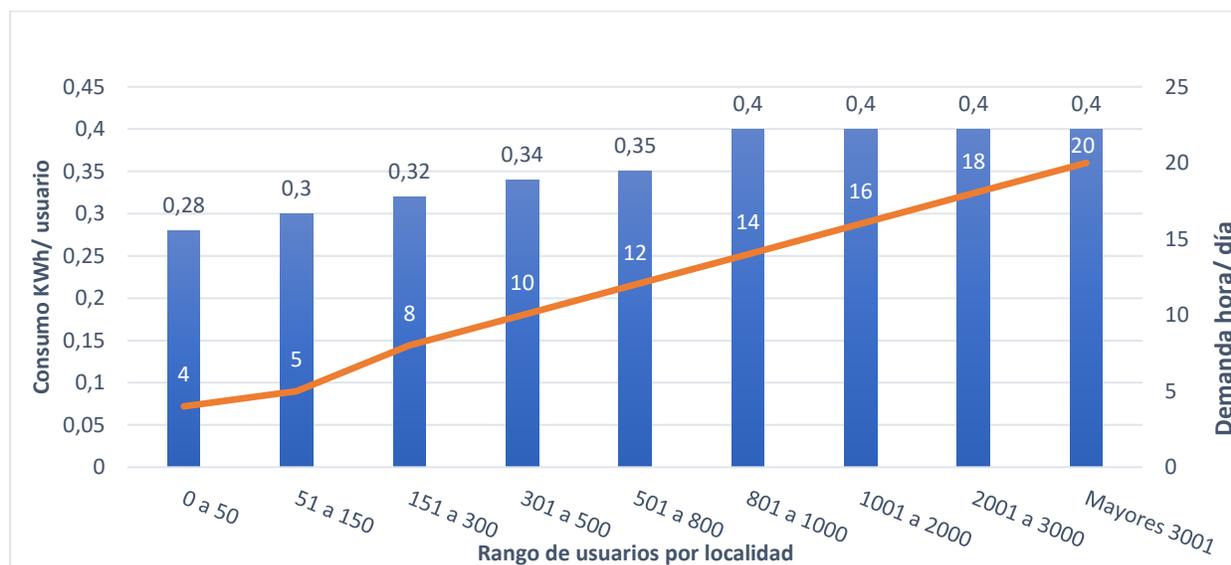
En el estudio realizado por Centro Nacional de Monitoreo e IPSE (2020) se observa que el 83% de su energía proviene de tecnologías tradicionales. Las centrales térmicas tienen un alto impacto nocivo en el medio ambiente y requieren llevar el combustible como principal producto complementario (figura 7), lo cual iría en contravía de las políticas ambientales que se trazó el Gobierno nacional y no respeta los compromisos ambientales a los que está sujeto el país. Más adelante, en la figura 8 se analiza la demanda individualizada por usuario en las ZNI y la relación que tiene con la disponibilidad del bien durante las 24 horas del día.

Figura 7

Tipos de fuentes para abastecimiento de energía eléctrica en las ZNI del Chocó



Nota. Gráfica elaborada a partir de la información tomada de Superservicios (2020)

Figura 8*Relación consumo por usuario*

Nota. Gráfica elaborada a partir de los consumos de los usuarios, por rangos de localidades. Información tomada de Flórez (2020).

La gráfica anterior arroja que las localidades con menores cantidades de usuarios tienen una menor demanda de electricidad respecto a las localidades de mayor cantidad de usuarios; sin embargo, a medida que se va aumentando la cantidad de usuarios aumenta la cobertura eléctrica. También se observa que la demanda de los usuarios que habitan en localidades con menor número de usuarios se ve disminuida por la baja disponibilidad del servicio durante el día, y no por una baja cantidad de usuarios, ya que la estabilidad en la demanda energética se puede notar en las poblaciones que tienen de 800 usuarios o más, donde la disponibilidad del bien aumenta y la demanda de este se estabiliza con la de las comunidades con mayores cantidades de usuarios.

Con los datos obtenidos de los informe de telemetría mensuales del Centro Nacional de Monitoreo (CNM, 2021) se hizo un estudio de demanda futura, para establecer un estimado de la demanda mensual cubierta en las localidades para los próximos cuatro años (tabla 5).

Este análisis se hizo de forma inversa, tomando la demanda cubierta para determinar el ritmo de variación en el cumplimiento de la demanda. Se obtuvo, con un intervalo de confianza del 95%, que el crecimiento para el período 2022-2025 rondará cerca del 5% anual, por lo que al final de próximos cuatro años habría como mínimo un mercado desatendido de aproximadamente 20,4 MWh (figura 9).

Tabla 5

Demanda energética actual y pronosticada en el Chocó para el período 2013-2025

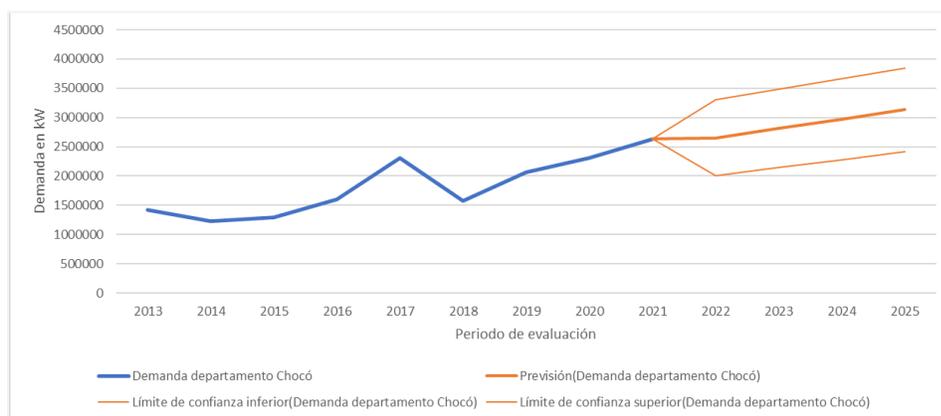
Período de evaluación anual	Demanda mensual cubierta en el Chocó kWh	Variación anual en porcentajes
2013	1421,80	0%
2014	1233,27	-13%
2015	1295,41	5%
2016	1602,75	24%
2017	2305,78	44%
2018	1576,28	-32%

Período de evaluación anual	Demanda mensual cubierta en el Chocó kWh	Variación anual en porcentajes
2019	2067,79	31%
2020	2309,64	12%
2021	2631,06	14%
2022	2654,48	1%
2023	2813,43	6%
2024	2972,37	6%
2025	3131,32	5%

Nota. Datos obtenidos de los informes mensuales de telemetría del período 2013-2025, del Centro Nacional de Monitoreo (CNM, 2021).

Figura 9

Gráfica de pronóstico de demanda en kW en ZNI del Chocó, para el período 2013-2025



Nota. Datos obtenidos de los informes mensuales de telemetría del período 2013-2025, del Centro Nacional de Monitoreo (CNM, 2021).

De acuerdo con la información analizada, se evidencian dos necesidades para abordar la demanda energética en las ZNI del Chocó. La primera, es cubrir la demanda energética que, en número de horas, solo cubre el 45% de las 24 horas en disponibilidad del bien, y la segunda, es el reemplazo del 83% de la tecnología de generación tradicional por generación renovable o, en su defecto, que sea amigable con el medio ambiente.

8.4 Oferta y precio

Debido al servicio que se brinda, su prestación está regulada por el Estado colombiano. La CREG (Centro Nacional de Monitoreo e IPSE, 2020) es la encargada de establecer las fórmulas y condiciones que rigen los costos unitarios de la prestación del servicio (CUPS). A continuación, en la tabla 6 se presentan los CUPS promedio del período 2019-2020 en las ZNI de las regiones.

Tabla 6

CUPS promedio

Región	CUPS	
	2019	2020
	\$/kWh	
Amazonía	1653,65	1413,22
Insular	947,77	961,13

Región	CUPS	
	2019	2020
	\$/kWh	
Norte	No disponible	No disponible
Orinoquía	1276,34	1205,24
Pacífico	1303,62	1535,12

Nota. Datos obtenidos de las variaciones anuales de los CUPS pertenecientes a las ZNI de las regiones mencionadas en el informe de Superservicios (2020).

Estos CUPS tienen en su cargo un componente de generación, uno de distribución y otro de comercialización. Debido que en las ZNI la gran mayoría de la población pertenece a estratos 1 y 2, dentro de este valor están los subsidios que se le dan al prestador del servicio por concepto de las pérdidas del sistema por operación y otras variables propias de la ubicación de la localidad (Superservicios, 2021).

En la tabla 7, se muestran los costos referencia de prestación de servicio eficiente establecidos por la CREG. A partir de estos valores se elaboran los cálculos para establecer los subsidios de cada ZNI (Flórez, 2020).

Tabla 7*Costos de la prestación del servicio eficiente*

Departamento	Costo de generación calculado \$/kWh	Costo de distribución y comercialización \$/kWh	Costo máximo de prestación en \$/kWh
Amazonas	190	36	226
Antioquia	191,4	34,1	225,5
Arauca	188,9	35,3	224,2
Caquetá	204,5	32,6	237,1
Casanare	201,7	35	236,7
Cauca	197,6	37,5	235,1
Chocó	232,5	41	273,5
Vaupés	344,2	36,6	380,8

Nota. Datos referentes a los precios eficientes de la energía eléctrica por departamento, detallando la composición final del precio en las ZNI. Información tomada de Flórez (2020).

Los factores de los subsidios varían de acuerdo con el nivel poblacional y con el estrato (1, 2 o 3), mediante una ponderación: de hasta 50% de subsidio, para el estrato 1; 40%, para el 2%, y 15%, para el estrato 3 (tabla 8). Además, el Gobierno permite adicionarle un 20% de pérdidas, sin importar la cantidad de usuarios (Superservicios, 2021).

Tabla 8*Subsidios del gobierno a los usuarios*

Rango de usuarios	Porcentaje de usuarios en estrato por localidad			Factor de subsidio
	localidad			
	1	2	3	
0 a 150	100%	0%	0%	50%
151 a 300	95%	5%	0%	49%
301 a 500	85%	15%	0%	48%
501 a 800	77%	18%	5%	46%
801 a 1000	70%	20%	10%	44%
1001 a 2000	63%	23%	14%	42%
Mayores 2001	55%	26%	19%	40%

Nota. Datos de los subsidios por la prestación de los servicios eléctricos según el estrato y el número de pobladores por localidad. Tabla elaborada a partir de la información tomada de Flórez (2020).

En el caso de la tecnología de generación hidrocínética, su utilización para contrarrestar la demanda en el país es limitada. Solo algunas investigaciones nacionales han tratado el tema sobre la viabilidad de la implementación de este tipo de tecnologías en el país. Actualmente solo se tiene registros de dos implementaciones por parte de la compañía alemana Smart Turbine, en el departamento del Huila, para la implementación de su turbina en un predio privado, la cual fue utilizada para el riego de dicha finca, y el segundo

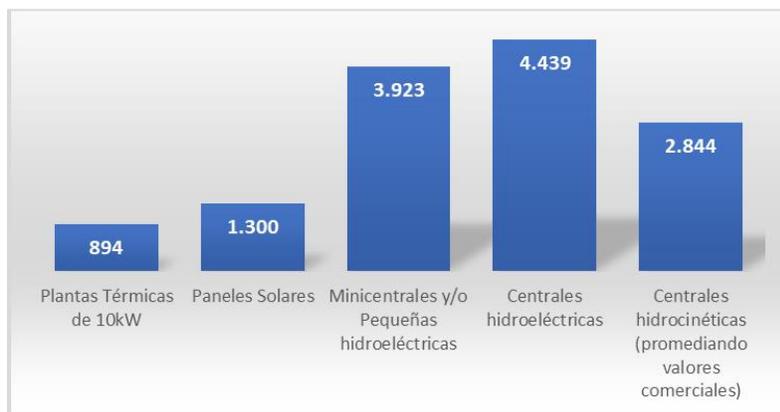
proyecto lo implementó en Salvajina, departamento del Valle (Sánchez, 2016; Smart Hydro Power, 2015a).

En Colombia se ha apostado por las energías renovables de tipo eólico y fotovoltaicos más que por las de tipo hidrocínético, geotérmico o de biomasa. Por tanto, se destaca que en el curso del 2022 se están ejecutando cerca de 37 proyectos de energías renovables para ser inaugurados este mismo año. De estos proyectos, 36 son de carácter fotovoltaico y 1 de carácter eólico (Gubinelli, 2021); sin embargo, con las investigaciones que se han ido desarrollando se abre la puerta a diversificar los tipos de generación de energías renovables en el país.

Una vez revisada la demanda energética de las ZNI en el departamento del Chocó, y contrastado con los productos propuestos y sustitutos, a continuación, en la figura 10 se presenta el listado de precios de inversión para adquirir la tecnología propuesta versus la tecnología utilizada en las zonas estudiadas.

Figura 10

Lista de precios unitarios/kW según la tecnología



Nota. Datos de los precios unitarios por kW según la tecnología. Gráfica de elaboración propia con información tomada de la tabla 10, página 33, del informe de costos de tecnologías de generación en Chile National Energy Commission of Chile (2020).

8.4.1 Empresas competidoras de la tecnología

Las empresas que actualmente se encuentran en el mercado de la comercialización de centrales hidrocinéticas en Colombia son extranjeras, y muchas de ellas están en fase de desarrollo. Hasta el momento se identifican los siguientes fabricantes. Las empresas más reconocidas fabricantes de esta tecnología se presentan a continuación en la tabla, con sus referentes tecnológicos y la capacidad de generación de sus equipos ofertados.

Las empresas Smart Hydro Power, Idénergie, Guinard Energies y Waterotor son las que tienen productos totalmente comerciales y ofrecen las siguientes referencias.

8.4.1.1 *Smart Hydro Power.* Se trata de una empresa alemana que lleva trabajando en el desarrollo de tecnologías de generación de energía renovable desde el 2010 (Smart Hydro Power, 2016). Los productos que tiene para el mercado son los que se presentan a continuación.

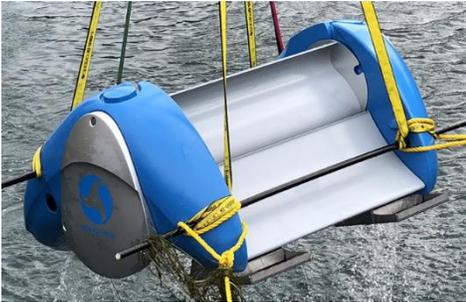
Producto y descripción	Imagen del producto
<p><i>Smart Monofloat:</i> es una turbina hidrocínética con capacidad de generación de 5 kW. Tiene un peso de 380 kg y una profundidad de operación mínima de 2,0 m. Genera los 5 kW en ríos con velocidades de 2,8 m/s (Smart Hydro Power, 2010b). <i>El precio presentado en la página del proveedor es de US\$15.605,5.</i></p>	 <p>The image shows the Smart Monofloat hydrokinetic turbine. It consists of a blue cylindrical body with a white propeller-like structure on top, mounted on a metal frame. It is positioned outdoors near a body of water.</p>
<p>Smart Free Stream Turbina: turbina hidrocínética con capacidad de 5 kW. Tiene un peso de 300 kg y requiere una profundidad de operación mínima de 1,2 m. Genera los 5 kW en ríos con velocidades de 3,2 m/s (Smart Hydro Power, 2010a). El precio incluido en la página del proveedor es de US\$13.368,5.</p>	 <p>The image shows the Smart Free Stream Turbina. It is a complex metal structure with a central turbine component, mounted on a frame. Two people are visible in the background, one appears to be adjusting or inspecting the turbine.</p>

Nota. Información tomada de Smart Hydro Power (2022a).

Los precios listados no incluyen el sistema de almacenamiento y distribución. Solo la empresa Smart Hydro Power (2022b), que ofrece un sistema de almacenamiento por un valor de US\$14.556,56, que incluye:

- Sistema Híbrido Fuera de la Red de Gabinete Eléctrico SMART (incluye inversor, controlador, descarga de carga y caja de fusibles).
- Banco de baterías de 48 V con una capacidad de consumo de 10 kWh.

8.4.1.2 *Waterotor Energy Technologies Inc.* Empresa fundada en el 2011, que se dedica a generar soluciones de energía renovable. Posee un modelo comercial y disponible para la generación hidrocínética llamado Waterotor Wetx, con escalabilidad (Waterotor Energy Technologies, 2022).

Producto y descripción	Imagen del producto
<p><i>WetX 1kW</i>: rotor hidrocínético con capacidad de generación de 1 kW, y requiere una profundidad de operación de 1,12 m (Waterotor Energy Technologies, 2022). <i>El precio es de US\$5.000.</i></p>	
<p><i>WetX 10 kW</i>: rotor hidrocínético con capacidad de generación de 10 kW, y requiere una profundidad de operación de 1,5 m (Waterotor Energy Technologies, 2022). <i>El precio puesto en la página del proveedor es de US\$50.000.</i></p>	

Nota. Información tomada de Waterotor (2022).

8.4.1.3 *Idénergie*. Es una empresa canadiense que se dedica a la generación de soluciones amigables con el medio ambiente (Idénergie, s. f.). Esta empresa desarrolló y comercializa la turbina hidrocínética River Turbine.

Producto y descripción	Imagen del producto
<p><i>River Turbine</i>: es una turbina tipo Darrieus doble. Tiene un peso de 131 kg. La capacidad de generación es de 500 W, con una velocidad máxima en el río de 3,5 m/s. La profundidad de operación</p>	

Producto y descripción	Imagen del producto
mínima es 0,8 m (Idénergie, 2016). El precio puesto en la página del proveedor es de US\$9966.5.	

Nota. Información tomada de Siciliano (2016).

8.4.1.4 *Empresa Guinard Energies.* Es una empresa francesa localizada en Brest. Fue creada en el 2020, para el desarrollo de proyectos innovadores en la creación de productos de generación de energía renovables para ríos y mares. La empresa cuenta con dos productos de generación hidrocínética (Guinard, 2021). No se tiene referencia del valor comercial.

Producto y descripción	Imagen del producto
<i>P66:</i> turbina hidrocínética que tiene una potencia de salida de 3,5 kW en 3 m/s. El peso es de 90 kg y requiere una profundidad mínima de operación de 1,5 m.	
<i>P154:</i> turbina hidrocínética de 20 kW a 3 m/s. Requiere una profundidad de 3 m y pesa 750 kg.	

Nota. Información tomada de Guinard (2022a; 2022b).

8.5 Productos sustitutos

En relación con esta propuesta, y en concordancia con las políticas energéticas del país en materia de energías renovables para las zonas no interconectadas, el Gobierno le ha apostado al uso de paneles solares y a la generación de energía tradicional, tales como plantas de combustión preferiblemente diésel, por razones de urgencia en el suministro del bien. Teniendo en cuenta que se está planteando la viabilidad de una central de generación hidrocínética de tamaño micro, se identifica que los productos sustitutos son los sistemas de generación solar, las plantas diésel, las pequeñas centrales hidráulicas y otras centrales de generación hidrocínéticas.

8.5.1 Paneles solares

Los paneles solares se consideran productos sustitutos porque son un medio de generación eléctrica renovable a partir de uso de módulos fotovoltaicos, los cuales, mediante la interacción con los rayos del sol, captan la luz y, por medio de celdas solares, convierten los fotones en energía eléctrica (electrones), que generan una corriente continua DC, la cual se regula, se almacena en baterías y, por medio de un inversor, la tensión es elevada a 110 voltios, en alterna, para que pueda destinarse a uso doméstico (Celsia, s. f.).

Cada módulo fotovoltaico va desde los 100 W hasta los 540 W de potencia, a 12 y 24 voltios de tensión en directa. Los paneles tienen en promedio un área física de dos metros cuadrados, por lo que, para estimar llegar a tener una capacidad instalada de 5 kW, es necesario contar con un área de 18,5 metros cuadrados solo en el despliegue físico de la estructura donde se soportan los paneles, por lo que hay una gran proporcionalidad entre la generación y los metros cuadrados de captación (Celsia, s. f.).

Esta es una tecnología madura que está al alcance de gran parte de la población mundial. Su forma de operar ha llevado a los usuarios a utilizar paneles en áreas que están sometidas a una alta exposición solar, como son los techos o extensiones de tierra no utilizada, que les permite tener autogeneración eléctrica. Esto conduce a reducir los costos del servicio domiciliario, e incluso, en ocasiones, a poder vender la energía sobrante al sistema de generación interconectado en el que se encuentran. El precio de este producto por vatio instalado promedio finales del 2022 era de aproximadamente 1,3 USD/W (Solar Reviews, 2022).

8.5.2 Plantas térmicas de generación con diésel de 10kW

Las generadoras térmicas, referidas a la generación convencional, hacen parte del modelo tradicional que se ha utilizado para garantizar el cumplimiento de la energía eléctrica en las ZNI, pues consta de un generador conectado a un motor conducido por un motor alimentado por gasolina o diésel. Este producto tiene su principal dependencia

de un bien complementario, como lo son los combustibles fósiles y, en este caso específico, el diésel o la gasolina. Se estima que el costo de generación eléctrica es aproximadamente 894 USD/kW (Comisión Nacional de Energía – CNE [Chile], 2020).

La gran mayoría de estas generadoras tienen autonomía de 4 a 7 horas de uso continuo, puesto que tienen un tanque de almacenamiento de combustible con capacidad para 28 a 35 litros (Maquitec de Colombia, 2022). Como producto complementario, el diésel tuvo un costo promedio de 2.343,47 COP/L, entre diciembre de 2021 y febrero de 2022 (Global Petrol Prices, 2022).

8.5.3 Centrales hidráulicas (CH)

Las centrales hidráulicas son centrales de generación hidroeléctrica que utilizan la energía potencial y la energía cinética para convertir la energía potencial en energía mecánica, y la mecánica, en eléctrica. Esto lo logran al tomar flujos de aguas que hacen pasar por una canalización o tubería, los llevan de una altura mayor a una altura menor, y luego a un turbogenerador con determinada energía, que posibilita el giro de la turbina (Sierra y otros, 2011). De acuerdo con la UPME (Ingfocol, 2015), la clasificación de las centrales hidroeléctricas según su capacidad de generación se presenta en la tabla 9.

Tabla 9

Clasificación del Potencial Hidroenergético (PCH) de Colombia, según la potencia

Tipo de hidroeléctrica	Potencia
Picocentrales	0,5 a 5 kW
Microcentrales	5 kW a 50 kW
Minicentrales	50 kW a 500 kW
Pequeñas centrales hidroeléctricas	500 kW a 20.000 kW
Centrales hidroeléctricas	20MW >>>

Nota. Elaboración propia, a partir de Clasificación de las hidroeléctricas, *Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia* (Ingfocol, p. 28).

El costo asociado a esta tecnología varía de acuerdo con la potencia. esto debido a que, a mayor potencia, mayores obras civiles, más personal, responsabilidad ambiental y capacidad de prestación del servicio. Se estima que una central hidroeléctrica de pasada,² dependiendo del emplazamiento, tiene un costo de inversión entre 3.263 y 3.923 USD/kW instalado, y una central hidroeléctrica con embalse se estima que tiene un costo de 4.439 USD/kW instalado. Esto teniendo en cuenta que, debido a su complejidad, cada proyecto es muy diferente a los demás (Comisión Nacional de Energía – CNE [Chile], 2020).

² Referencia a picocentrales, microcentrales, minicentrales y PCH.

8.5.4 Empresas de distribución prestación del servicio

Actualmente, en el Chocó, la empresa Dispac S.A E.S.P. se encarga de la prestación del servicio eléctrico tanto de las zonas que están el SIN como de las que hacen parte del ZNI. Esta empresa, de carácter público en su composición accionaria, es 99,9946% de propiedad del Ministerio de Hacienda (Duque y otros, s. f.).

8.6 Proveedores

En este proyecto, los proveedores identificados se definen como generales, especiales e internacionales. Los generales, son proveedores nacionales que, en su gran mayoría, importan sus productos a gran escala y son proveedores de toda la industria de la construcción y manufacturera del país, de productos tales como acero, hierro, cableado eléctrico y equipo de elevación y disminución de tensión eléctrica. La principal ventaja de estos proveedores es que, de presentarse una dificultad en su cadena de suministros, se genera un gran impacto en sectores con un gran porcentaje de participación en el PIB nacional, por lo cual en cada momento se están definiendo políticas y tomando medidas gubernamentales para que estos suministros puedan tener gran circulación. La principal desventaja es el poder de negociación. Al ser proveedores de gran escala, un cliente nuevo o pequeño tiene pocos chances para negociar una materia prima.

Los proveedores especiales importan sus productos a escalas menores, lo cual se traduce en una baja disponibilidad del recurso, y su importación requiere tiempo, lo que puede afectar el desempeño del proyecto en materia de disponibilidad y tiempo. Estos productos referidos son los sistemas electrónicos de control, PLC, pantallas de información, sensores especiales y tarjetas de comunicación.

Los proveedores internacionales son los referidos al alternador eléctrico. Este producto tiene un diseño y unas características especiales para la tecnología hidrocínética, y se fabrican de manera específica para la utilización que se le vaya a dar a cada uno. No se encontró en la investigación de mercado un proveedor nacional de estos alternadores eléctricos, por lo que se eligieron los fabricantes directos, tales como Mecc Alte y Sincro (italianos), todos los cuales son empresas internacionales dedicadas al diseño y fabricación de alternadores y generadores eléctricos a nivel mundial.

8.7 Canales de comercialización

Hasta el momento, estos sistemas de generación son negociados y vendidos directamente por sus fabricantes, acomodados a las necesidades específicas de cada región donde se vaya a implementar la tecnología. Lo anterior, porque el servicio va de la mano con un alto contenido de consultoría técnica, debido al desconocimiento que el usuario tiene final sobre esta nueva tecnología.

Para el presente proyecto, se plantean dos canales de comercialización:

- Directamente el fabricante.
- Distribución mayorista.

9 Estudio técnico

El tamaño del proyecto, la localización de la central hidrocínética y los costos de instalación y operación se van a determinar con base en los datos obtenidos del estudio de mercado. Este estudio será el insumo principal para establecer los valores de inversión que debe tener el proyecto para ser realizable.

9.1 Tamaño del proyecto

Los resultados obtenidos establecen que la demanda del servicio eléctrico es creciente tanto por el incremento poblacional como por el mejoramiento en los accesos a una mayor cantidad de bienes que demandan carga eléctrica; por lo tanto, se calcula la generación conforme crezca la demanda, teniendo como base un consumo promedio de un hogar de 157 kWh mensual (EPM, 2012).

Este proyecto de generación eléctrica tiene como intención hacer parte de un programa social y que preste un servicio relevante en las ZNI del Chocó, acogiéndose para ello al plan de aumento de la cobertura de los servicios públicos promovido por el Gobierno nacional, a partir del listado de costos de instalación y operación según la ZNI del país (Flórez, 2020). Para ello se tomaría como garantía financiera el programa de subsidios para los usuarios del servicio, y así indirectamente asegurarle un ingreso al proyecto, en función de los costos de operación ya previamente regulados por la CREG.

Según la Superservicios (2020), el CUPS promedio en el Pacífico es de 1.603,62 \$/kWh. Para cubrir parte de la demanda estimada en una ZNI con localización ribereña, el proyecto propone la adquisición, instalación, puesta en marcha y operación y distribución de energía de una central hidrocínética de generación eléctrica con capacidad instalada de 7,5 kW, que tendrá un consumo disponible de 10 kWh.

El nivel de inversión económica se determinará para una central hidrocínética que será puesta en operación durante 10 años, y se estima que alcance una capacidad de consumo anual de 69,4 MWh equivalente a 56 casas durante las 24 horas del día, prestando un servicio ininterrumpido.

9.2 Localización de la central de generación hidrocínética

El proyecto se llevará a cabo en el departamento del Chocó, en una zona no interconectada. Se tienen inicialmente 22 localidades con ríos potenciales, todos con acceso fluvial, de las cuales se eligen tres poblados que dependen de centrales térmicas: Tagachí, Beté y Puerto Conto. Los tres poblados, que se describen a continuación, están sobre el río principal, el Atrato, y son cercanos a Quibdó, capital del Chocó.

Poblado 1, Tagachí: Corregimiento de Quibdó, se encuentra a cinco horas de navegación (única manera de acceder) de Quibdó por el río Atrato en un motor 40, hacia el Norte del departamento. Sus principales actividades son la explotación maderera y la pesca. Tiene

un poblado de 198 habitantes aproximadamente. EL 97,3% de las viviendas son fabricadas en madera, y el 2,7% restante son en concreto (Quibdoeducativa, s. f.).

Poblado 2, Beté: municipio de Medio Atrato, que se encuentra a 40 minutos de Quibdó por transporte fluvial. Sus actividades económicas son la agricultura y la pesca. Una pequeña localidad al extremo Oriente del municipio tiene un servicio de electricidad limitado (Quibdoeducativa, s. f.).

Poblado 3, Puerto Conto: corregimiento de Bojayá, que se encuentra a siete horas de navegación desde Quibdó por el río Atrato en un motor 40, hacia el Norte del departamento. Sus principales actividades son la explotación maderera y la pesca. Tiene un poblado de 198 habitantes aproximadamente (Quibdoeducativa, s. f.).

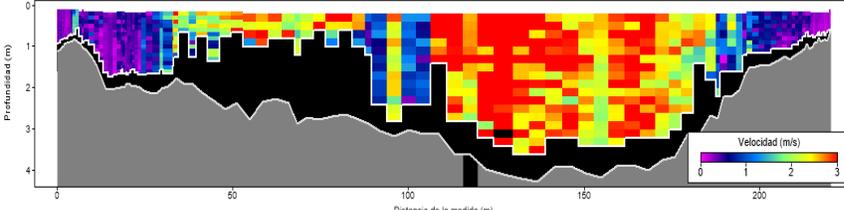
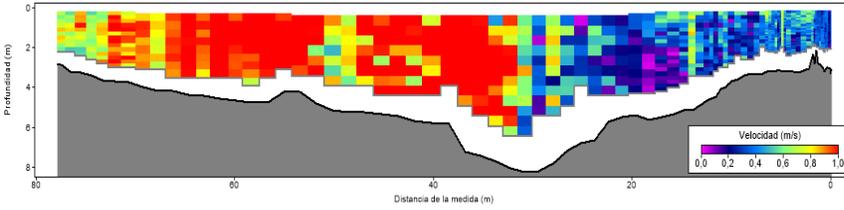
El río Atrato, localizado al noroccidente de Colombia, al mismo tiempo divide y relaciona los departamentos de Chocó y Antioquia. Su cuenca tiene el mayor caudal relativo del mundo, con valores de $4.082 \text{ m}^3/\text{s}$, que lo convierten en un río supremamente caudaloso (Atrato, s. f.).

Según el estudio de monitoreo fuente hídrica superficial Río Atrato Parte Baja elaborado por Codechocó (comunicación personal, 20 de enero, 2022), las velocidades máximas en ciertos puntos de medición en el río son de $2,5 \text{ m/s}$, y en otros es de $0,65 \text{ m/s}$. Su ubicación en el medio Atrato entrega velocidades aceptables para la operación del

generador hidrocínético. Los puntos de medición en las zonas de localización de la microcentral se presentan a continuación, en la figura 11.

Figura 11

Puntos de medición de velocidades en el río Atrato realizadas por Codechocó

Punto de medición medio Atrato		Q. Total (m ³ /s)	552,3
	Velocidad promedio (m/s)	2,5	
	Profundidad (m)	1,87	
	Punto de medición bocatoma Atrato		Q. Total (m ³ /s)
	Velocidad promedio (m/s)	0,65	
	Profundidad (m)	4,5	

Nota. Información tomada del estudio Plan de Monitoreo fuente hídrica superficial Río Atrato Parte Baja, elaborado por Codechocó (comunicación personal, 20 de enero, 2022).

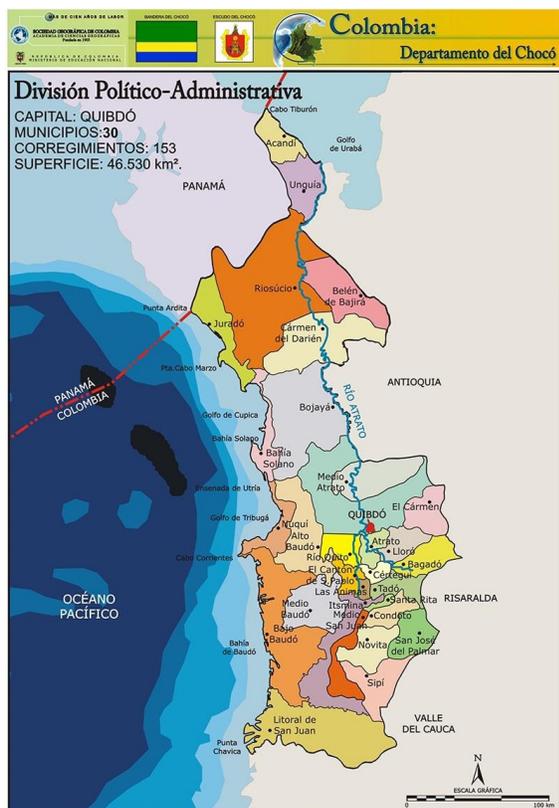
Al determinar la localización, se elabora un análisis cualitativo por puntos, con las siguientes cinco restricciones:

- 1) Cercanía a ciudad, con desarrollo semiindustrial con mano de obra calificada.
- 2) Recurso laboral disponible en la zona.
- 3) Importancia del proyecto para la localidad.
- 4) Facilidad de transporte en el lugar.
- 5) Estado de la seguridad civil.

El medio de transporte para llegar a estas cinco opciones es por vía fluvial (figura 12).

Figura 12

Mapa del departamento del Chocó



Nota. Mapa tomado de Toda Colombia (2022)

La mano de obra y la materia prima son aspectos difíciles de encontrar en estas zonas, ya que, debido a su limitado desarrollo, estos recursos no son comunes en estos lugares y tendrían que ser llevados desde otras partes de la región; sin embargo, se buscará capacitar a la población para hacerla parte del proyecto.

De acuerdo con el resultado de elección de la localidad por medio del método por puntos, se determinó que la localidad donde va a estar el proyecto es el corregimiento de Tagachí, perteneciente a Quibdó, capital del departamento (tabla 10).

Tabla 10*Método de localización por puntos*

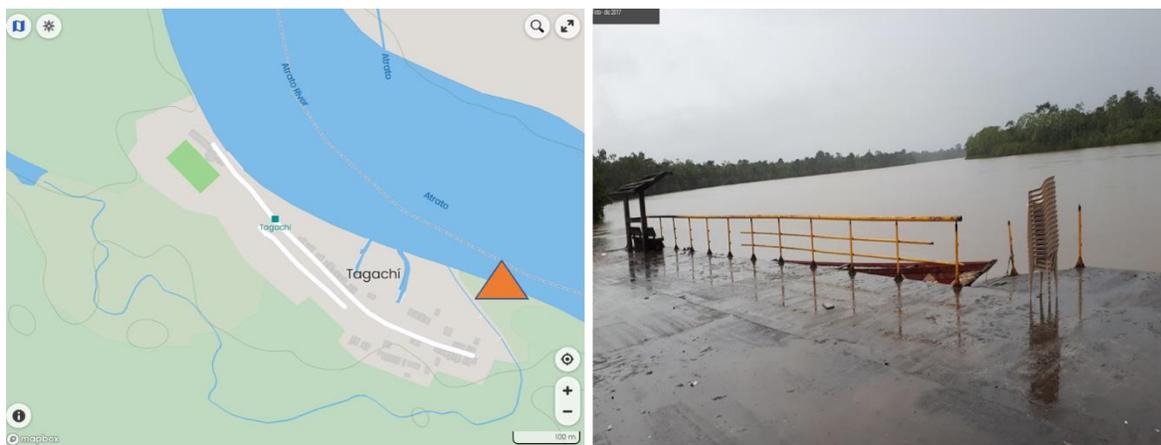
Factores relevantes	Peso	Tagachí		Beté		Pto Conto	
		Clasificación	Ponderación	Clasificación	Ponderación	Clasificación	Ponderación
Cercanía a ciudad capital	11%	5	0,55	8	0,88	4	0,44
Recurso laboral disponible en la zona	30%	4	1,2	8	2,4	5	1,5
Importancia del proyecto en la zona	37%	9	3,33	3	1,11	9	3,33
Facilidad de transporte en el lugar.	7%	6	0,42	7	0,49	4	0,28
Estado de la seguridad civil.	15%	6	0,9	6	0,9	4	0,6
Total	100%		6,4		5,78		6,15

9.3 Microlocalización

De acuerdo con el análisis anterior, la planta de operación quedará en el corregimiento de Tagachí, Quibdó. Los datos de impuestos municipales y costo del terreno serán los establecidos por el municipio de Quibdó en las zonas rurales. Los usuarios estarán situados a una distancia de 200 metros desde el centro de acopio (figura 13).

Figura 13

Ubicación de la planta de operación del proyecto



Nota. Imágenes del corregimiento Tagachí, tomadas de Google (2022)

Se construirá una planta para la generación, almacenamiento, transmisión de la electricidad y operación administrativa, que servirá como el centro de operaciones de la empresa generadora.

Esta planta será de un solo piso, con un área total de 36 m². Dentro de esta, en forma de isla estarán la zona de generación, la zona administrativa y la zona de bodega y mantenimiento (ver figuras 14 y 15).

Figura 14

Croquis de la distribución de la planta

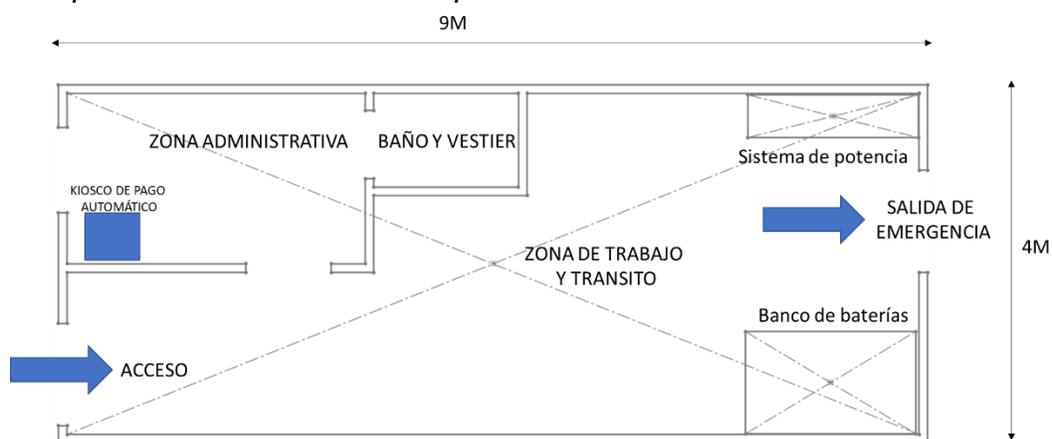
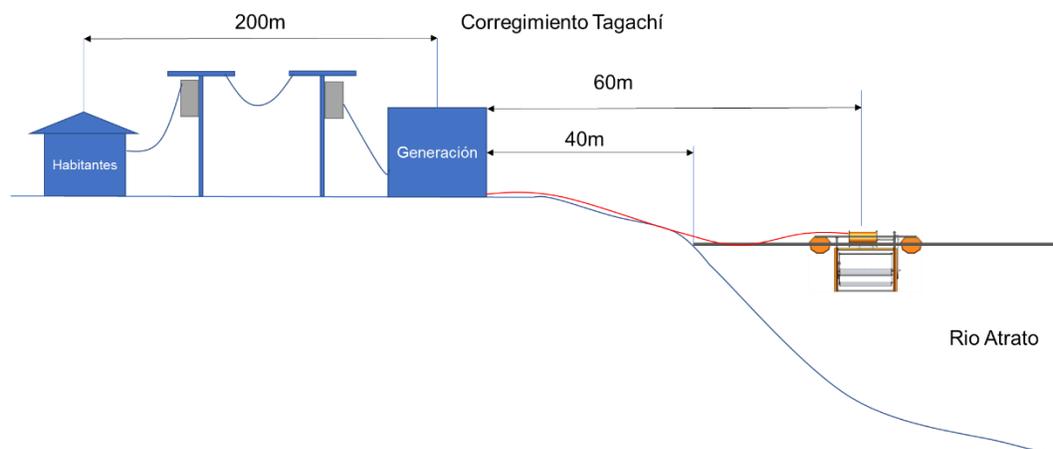


Figura 15

Distancias de retiro del río



Más adelante, en el balance de obra física se presenta el costo de la planta.

9.4 Proceso de producción

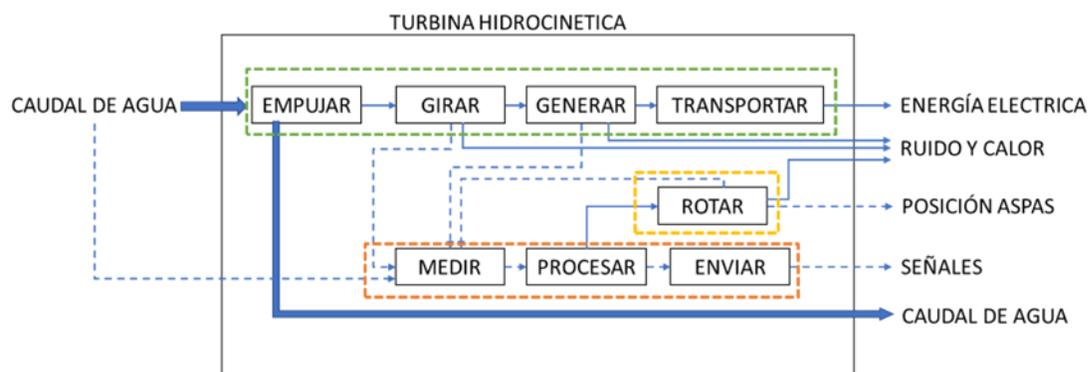
El proceso de producción se establecerá en tres etapas: construcción, generación y almacenamiento y operación o prestación del servicio.

9.4.1 Proceso de la generación de electricidad

El proceso de generación de electricidad involucra diferentes ciencias y etapas. El equipo de generación energía eléctrica por medio de la turbina hidrocínética se convierte energía cinética de las corrientes de los cuerpos de agua y se transforma en movimiento por medio de álabes (figura 16).

Figura 16

Bloque de funciones

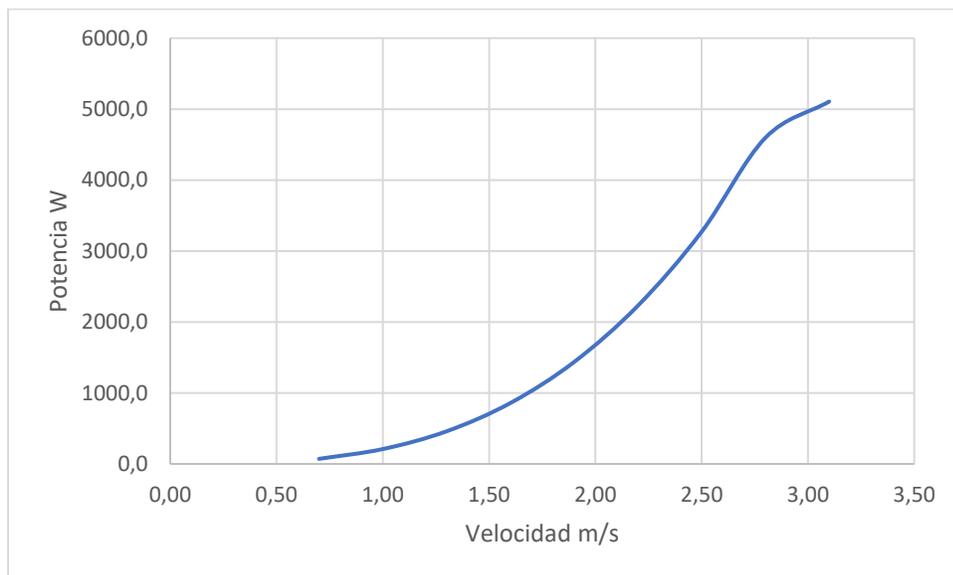


Nota. Diagrama elaborado para E SIGHT SAS (2022).

La curva de generación del equipo se presenta a continuación en la figura 17.

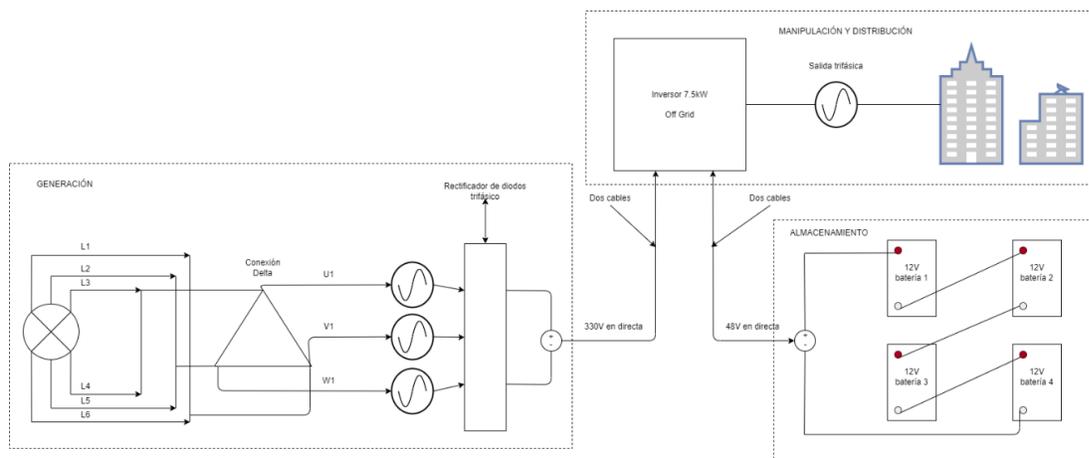
Figura 17

Curva de potencia generada (W) por el equipo



Nota. Gráfica de elaboración propia del generador hidrocínético de la empresa E SIGHT SAS (2022)

El movimiento generado es transferido a un alternador o a un generador, por medio de diferentes acoples mecánicos, y allí se produce energía eléctrica. El alternador trabaja a una frecuencia de giro variable, porque depende de la velocidad que tenga el río para hacer mover los álabes. De acuerdo con la frecuencia en que trabaje el alternador, entregará un voltaje y una potencia máxima (figura 18).

Figura 18*Esquema de generación y distribución eléctrica*

Nota. Esquema de generación y distribución eléctrica de propia elaboración para E SIGHT SAS (2022).

Luego del alternador, la corriente pasa por un rectificador de diodos, que es un elemento de electrónica de potencia cuya función es convertir la corriente alterna en corriente directa. Este elemento tiene la capacidad de soportar la potencia entregada por el alternador. Su hoja de datos se presenta a continuación.

9.4.2 Proceso de almacenamiento y distribución

Una vez rectificada la corriente, esta es enviada a el inversor, el cual se encargará de entregarle la carga al banco de las baterías, para que almacenen la energía, y servirá como fuente de respaldo en caso de que la turbina no esté proporcionando energía

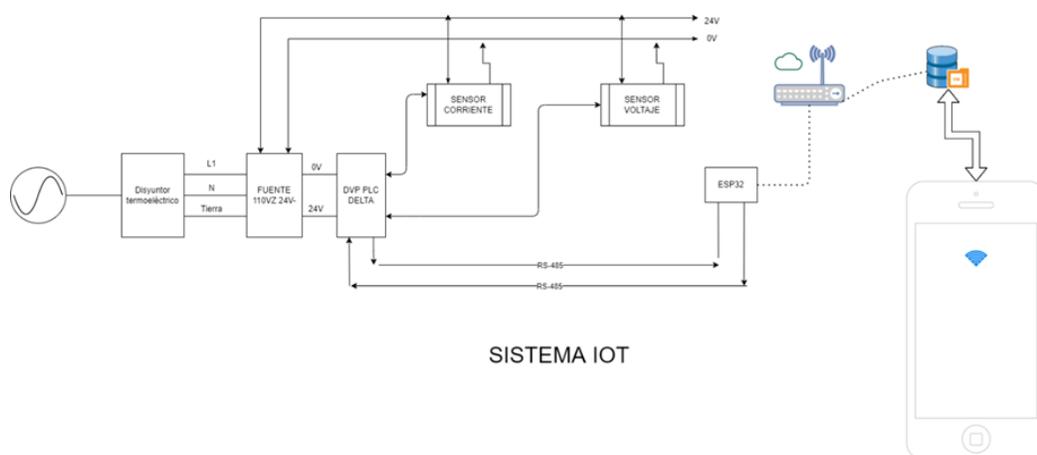
suficiente para alimentar la carga. El inversor, a su vez, se encargará también de transformar la corriente de entrada en corriente alterna de 110v a 60 Hz, para utilizar energía convencional.

9.4.3 Proceso de operación y monitoreo

La microcentral posee un sistema de monitoreo, el cual está adquiriendo datos de corriente, voltaje y potencia cada instante, y lo envía a una base datos en la nube para que, mediante una aplicación, estos puedan ser visualizados en todo momento utilizando un equipo móvil o una estación de trabajo local. En la figura 19 se presenta el esquema de adquisición de datos, comunicación y envío a la base de datos en la nube.

Figura 19

Sistema de control y monitoreo



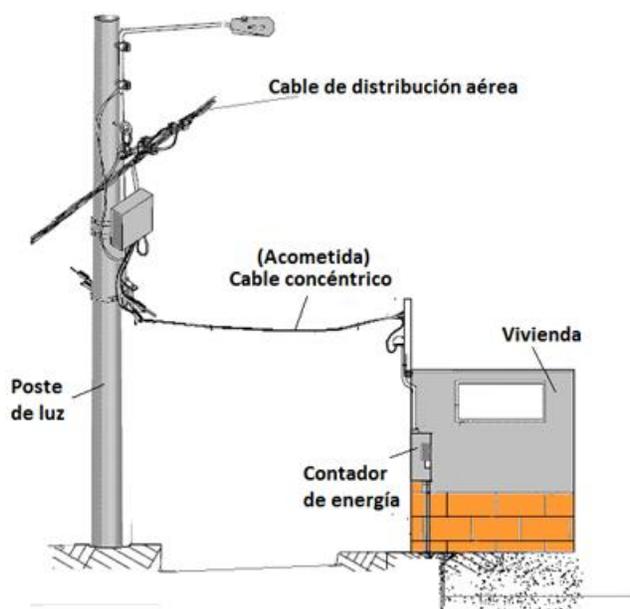
Nota. Diagrama tomado de E SIGHT SAS (2022).

9.4.4 Proceso de prestación del servicio

Una vez conseguida y almacenada la energía, viene el proceso de distribución a escala (figura 20). La energía almacenada sale de las baterías hacia el inversor, que la entrega a 110 VAC; pero, para distribuirla, esta debe ser elevada de tensión mediante un transformador 440 VAC, y de ahí se transfiere por medio de postes de energía para luego bajar la tensión a 110 VAC para ser consumidas por los usuarios. El proceso de prestación termina con la medición y cobro del servicio vendido al usuario.

Figura 20

Esquema de distribución



Nota. Diagrama tomado de Dynatech (2015).

Se establece un sistema de medición conectado al Centro Nacional de Monitoreo, el cual se encarga de confirmar los indicadores de consumo, para luego ser reportados a la IPSE.

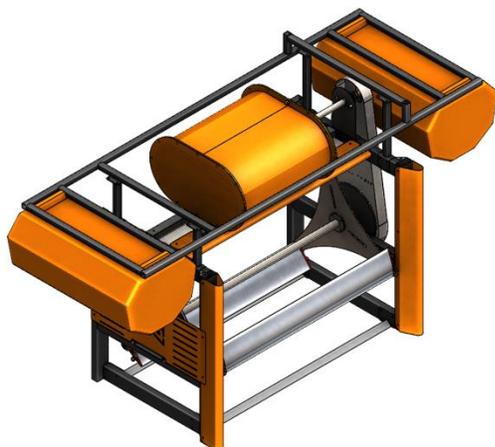
9.4.4.1 *Administración y cobro.* La administración y cobro se hará mediante un de punto de pago automático ubicado en el lugar, en el cual cada usuario inscrito cada mes prepagará el servicio de electricidad sin la utilización de intermediarios. Este equipo está interconectado a la red de habilitación y corte del servicio. Mediante este sistema se reduce la carga del recurso humano, permitiendo así la viabilidad económica del proyecto.

9.5 Maquinaria y equipo

A continuación, se detallan los equipos de generación, distribución, control, herramientas para operación y mantenimiento, para alcanzar la generación que se estableció según la demanda.

9.5.1 Generador hidrocínético

El equipo está compuesto por tres subsistemas principales: la estructura soporte de los subsistemas, la turbina hidrocínética y el generador eléctrico. Precio: \$42.000.000 (figura 21).

Figura 21*Generador eléctrico hidrocínético*

Nota. Imagen del generador hidrocínético de E SIGHT SAS (2022).

9.5.1.1 *Datos específicos del sistema.* A continuación, en la tabla 11 se presentan los datos específicos del sistema: las dimensiones, la potencia de generación, y el sistema datos de procesamiento.

Tabla 11*Datos específicos de la turbina hidrocínética ESG5kW-01*

Estructura	Valores	Unidades
Alto	1,20	m
Ancho	1,20	m
Largo	1,80	m
Acero estructural	A36	

Generación energética	Valores	Unidades
Generación estable de potencia con diferentes velocidades de río	$5 < P < 8$	kW
Generación diaria	$\geq 7,4$	kWh
Entrega en corriente alterna final	110 a 220	V
Generador Mecc Alte trifásico BTP3-1S/4 1500 rpm	7,5	KVA
Transformador	110 a 48	AC
Almacenamiento y distribución		
Arreglo de baterías de litio	72	V
Inversor	8	kW
Datos de monitoreo		
Indicadores de potencia (W), consumo (Wh) y transferencia de datos (Baudios)	10300	Baudios

Nota. Tabla elaborada con las especificaciones técnicas del sistema de generación hidrocínética de E SIGHT SAS (2022).

9.5.1.2 *Estructura soporte.* La estructura soporte es la que sostiene todo el andamiaje del equipo de generación. Está hecha de acero estructural, con pintura electroestática. La estructura se compone de dos marcos laterales, cuatro largueros transversales unidos por tornillería galvanizada y dos flotadores en polietileno de 1,55 m x 0,54 m, cuya función es evitar la sumersión completa del generador (figura 22).

Figura 22

Estructura y flotadores

- Materiales: acero A36
- Perfilera estructural PTC
- Pintura electroestática
- Dimensiones:

Ancho (frente a la corriente del río): 3,2 m

Alto: 1,72 m (profundidad).

Largo 1,3 m

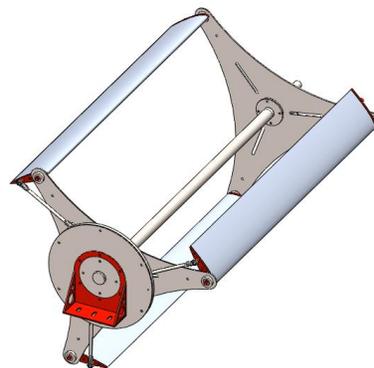


Nota. Imagen de la estructura y flotadores del generador, tomadas en el taller del E SIGHT SAS (2022).

9.5.1.3 *Turbina Darrieus.* La estructura es en acero inoxidable (figura 23).

Figura 23*Turbina hidrocínética Darrieus*

- Materiales: acero inoxidable
- Material del ábabe: aluminio
- Cantidad de álabes: 3
- Álabes perfil Naca 008
- Dimensión del ábabe 1,43 m x 0,15 m x 0,0025 m.
- Dimensión de la turbina: diámetro 1 m, largo 1,43 m



Nota. Imagen de la turbina hidrocínética del generador, tomadas de E SIGHT SAS (2022).

9.5.1.4 *Sistema de generación y rectificación.* Alternador italiano, marca Mecc Alte referencia BTP3-1S/4 trifásico de 1500 rpm (figura 24). Con transformador Buck Boost y un rectificador MDS100A-1600V (figura 25).

Figura 24

Generador Mecc Alte BTP3-1S/4 trifásico de 1500 rpm

- Generador Mecc Alte BTP3-1S/4 trifásico de 1500 rpm
- Potencia 7,5 kW
- Voltaje máximo 415v



Nota. Mototech (2022).

Figura 25

Rectificador trifásico

- Rectificador trifásico MDS100A-1600V



Nota. EYTSA (2022).

9.5.2 Sistema de almacenamiento y control monitoreo IOT

El sistema de almacenamiento está conformado por una plataforma banco de trabajo inversor Off Grid, un arreglo de seis baterías, sistemas de protección de carga y reguladores. Este equipo se encarga de almacenar y distribuir energía.

Precio: 49.800.000 COP

- Dimensiones de la plataforma
- Alto: 2,5 m, ancho: 1,5 m, largo: 1 m
- Peso: 369 kg

A continuación, se especifican los subsistemas.

9.5.2.1 *Plataforma de almacenamiento.* La plataforma está construida de acero estructural en pintura electrostática con ruedas inferiores y sistema de protección eléctrica. Su función es sostener las baterías, el inversor y el armario de control (figura 26).

Figura 26

Sistema de almacenamiento y distribución

- Dimensiones de la plataforma
- Acero estructural
- Alto: 2.5m, ancho: 1,5 m, largo: 1 m
- Peso: 80 kg



9.5.2.2 *Inversor Off Grid.* El inversor se encarga de transformar la corriente de entrada en corriente alterna a 110v, para utilizar energía convencional. Es marca comercial Growatt SPH6000TL BL-US. Dicho inversor tiene capacidad de trabajar con una potencia máxima de 6000 kW (figura 27).

Figura 27

Inversor Growatt SPH6000TL BL-US

- Potencia 6000 kW
- Dimensiones de la plataforma
- Alto: 670 mm, ancho: 565 mm, largo: 179 mm
- Peso: 25 kg

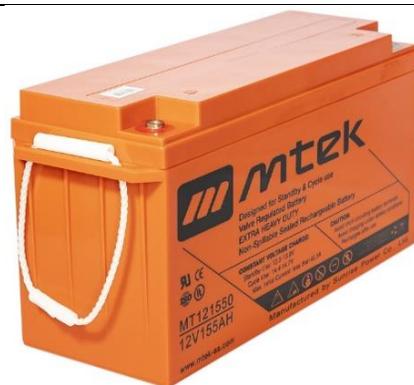


9.5.2.3 *Baterías.* El equipo consta de seis baterías de plomo de la referencia MT121550. y una capacidad de 12 kWh (figura 28).

Figura 28

Baterías secas MTEK

- Voltaje nominal: 12v
- Corriente 155Ah
- Dimensiones: largo: 485 mm,
ancho: 172 mm y alto: 240 mm
- Peso: 44 kg



9.5.3 Sistema de control y monitoreo mediante APP

Aplicación web donde se visualizarán los datos de corriente, voltaje, potencia y RPM de la turbina. A continuación, en las figuras 29 y 30 se presentan los componentes del sistema de monitoreo.

Figura 29

Sistema Scada IOT

Softwares involucrados en el desarrollo:

- ISPsoft 3.15
- Arduino IDE
- Angular
- Firebase

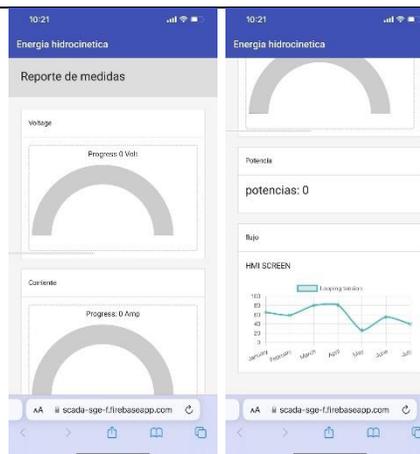


Figura 30

Armario de control

- PLC Delta serie DVP12SE
- Disyuntor termomagnético
- Fuente 24VDC
- Tarjeta WIFI ESP32
- Sensor de corriente trifásico
- Sensor de voltaje trifásico
- Sensor de flujo



9.5.4 Sistema de distribución y prestación

En esta fase está toda la materia prima y equipos para prestar el servicio eléctrico (figuras 31 a la 37).

Características	Imagen de producto
<ul style="list-style-type: none"> • Transformador monofásico seco • Marca Magnetron • Potencia 10 KVA • Tensión baja 120v • Tensión alta 240v • Peso 100 kg • Precio/und.: \$2.720.550,00 	 <p data-bbox="842 1073 1419 1178">Figura 31 Transformador monofásico 10KVA (Inter Eléctricas, 2022).</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Tendido de cableado: cable soldador AWG N° 6 • Diámetro interno 4,9 mm • Diámetro externo 9,24 mm • Tensión máxima 600v • Flexible, color negro • Precio/m: \$16.184,00 • Peso: 1,4 kg/m 	 <p data-bbox="842 1631 1365 1736">Figura 32 Cable AWG N°6 (Solartex, 2022).</p>

Características	Imagen de producto
<ul style="list-style-type: none"> • Postes seccionados de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) para transmisión eléctrica conexión. • Referencia S08 x 0510 • Altura 10 metros • Diámetro base 33 cm, diámetro cima 14 cm • Carga de operación 510 kg • Empotramiento 1,4 m • Peso 101 kg • Precio/und.: \$1.200.000,00 	 <p data-bbox="841 947 1406 982">Figura 33 Poste PRFV (Escarsa, 2018).</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Medidores o contadores de eléctricos monofásicos • Marca MAX METER • Frecuencia 60Hz • Precio/und.: \$75.000,00 	 <p data-bbox="841 1602 1417 1709">Figura 34 Contador de consumo eléctrico monofásico (Max Meter, 20 22).</p>

Características	Imagen de producto
<ul style="list-style-type: none"> • Multímetro Digital Unit UT39C • Mide voltaje DC en los rangos 200mv, 2v, 20v, 200v, 1000v, con precisión de $\pm (0,5\% + 1)$. • Calcula voltaje AC en los rangos 2v, 20v, 200v, 750v, con precisión de $\pm (0,8\% + 3)$. • Precio \$165.113 	 <p data-bbox="841 835 1386 867">Figura 35 Multímetro (Suconel, 2022a)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Pinza amperimétrica Flexible Profesional Trms de 3000A UT281C • Precio \$974.503 	 <p data-bbox="841 1373 1414 1482">Figura 36 Amperímetro flexible (Suconel, 2022b)</p>

9.5.5 Administración y cobro

Figura 37

Máquina de pago automático (123RF,2022)

-
- Máquina de pago de estacionamiento al aire libre con energía solar.
 - Pago en efectivo.



9.6 Plan de gestión de mantenimiento de los componentes especiales

En esta sección, se presentan los planes generales del mantenimiento y la vida útil, los cuales se visualizan desde la tabla 12 a la tabla 14. Por las características de ser una central de generación tamaño micro y de limitado mantenimiento, se plantea la subcontratación en una entidad con especialidad en el mantenimiento predictivo y preventivo de estos sistemas.

Tabla 12*Generador hidrocínético - Tabla de mantenimiento*

Componentes principales	Acción preventiva	Ocurrencia
Turbina hidrocínética	Revisar rotor, generador, sistema de transmisión.	Cada tres años
Estructura	Estado de la estructura y ajuste de anclaje.	cada seis meses
Baterías	Limpiar y revisar estado, medición de voltaje individual.	Cada año
Inversor	Revisar y ajustar terminales.	Cada año

Tabla 13*Red de transmisión - tabla de mantenimiento*

Componentes principales	Acción preventiva	Ocurrencia
Cableado	Revisar rotor, generador, sistema de transmisión.	cada tres años
Postes	Revisar estado y ajuste de anclaje.	cada seis meses
Empalmes	Revisar estado y cambiar.	Cada año

Componentes principales	Acción preventiva	Ocurrencia
Medidor	Revisar valores y ajustar terminales.	Cada año
Transformador	Limpiar contactos, medir tensión y corriente.	24 meses

Tabla 14*Plan de reemplazo de equipo*

Componentes	Período en años		
	0	5	10
Turbina hidrocínética			
Baterías		x	x
Inversor			x
Medidor de consumo		x	x
Transformador			

9.7 Balances de generación y transmisión de la energía eléctrica

Los materiales e insumos adicionales que hacen posible la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento, como lo son herramientas de instalación, elementos

de sujeción y equipos de instrumentación eléctrica son listados y evaluados a continuación.

Tabla 15

Balance de obra física planta construcción metálica

Equipos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Adquisición terreno y legalización	m ²	156	\$50.000,00	\$7.800.000,00
Adecuación de terreno (rozado y paisajismo)	m ²	82	\$2.000,00	\$164.000,00
Cerco malla 1,8 m x 10 m	m ²	156	\$16.661	\$2.599.133,16
Zona administrativa	m ²	28	\$1.000.000,00	\$28.000.000,00
Zona de generación y transmisión	m ²	30	\$1.000.000,00	\$30.000.000,00
Zona de bodega y mantenimiento	m ²	16	\$1.000.000,00	\$16.000.000,00
Total, inversión total en obra física planta				\$84.563.133,16

Tabla 16*Balance de equipos y maquinaria de generación y transmisión*

Equipos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Generador eléctrico hidrocínético	UND	1	\$42.000.000,00	\$42.000.000,00
Sistema de almacenamiento y control monitoreo IOT	UND	1	\$49.800.000,00	\$49.800.000,00
Sistema de control y monitoreo	UND	1	\$5.000.000,00	\$5.000.000,00
Transformador monofásico 120 a 240V 10kVA	UND	9	\$2.720.550,00	\$24.484.950,00
Equipo Carga de energía	UND	1	\$5.000.000,00	\$5.000.000,00
Poste PRFV	UND	9	\$1.200.000,00	\$10.800.000,00
Contadores eléctricos monofásicos	UND	10	\$75.000,00	\$750.000,00

Equipos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cableado AWG Numero 6	m	400	\$16.184	\$6.473.600
Total, inversión total en maquinaria				\$144.308.550,00

Tabla 17*Balance logístico Medellín-Quibdó y Quibdó-Tagachí*

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Transporte generador, sistema complementarios y accesorios Medellín Quibdó por carretera.	kg	600	\$2.500	\$1.500.000
Seguro de transporte 100%, equivale al 10% del valor.	100%	0,01	\$144.308.550	\$1.443.086
Transporte generador, sistema complementarios y accesorios Quibdó Tagachí por río.	Kg	600	\$3.500	\$2.100.000
Transporte postes PRFV, sistema complementarios y accesorios Medellín Quibdó por carretera.	Kg	1014	\$2.500	\$2.535.000

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Seguro de transporte 100%, equivale al 10% del valor.	100%	1%	\$12.000.000	\$120.000
Transporte generador, sistema complementarios y accesorios Quibdó Tagachí por río.	100%	1014	\$3.500	\$3.549.000
Total, logística equipo de generación				\$11.247.086

Tabla 18*Balance instalación generación transmisión y conexión*

Equipos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Instalación de generador hidrocinético	UND	1	\$2.000.000	\$2.000.000
Instalación de sistema de almacenamiento y control	UND	1	\$1.000.000	\$1.000.000
Instalación de postes cada 38 m	UND	9	\$250.000	\$2.250.000
Instalación de contadores en casa	UND	10	\$20.000	\$200.000
Instalación de transformadores en postes	UND	8	\$250.000	\$2.000.000
Instalación de línea de transmisión	m	200	\$35.000	\$7.000.000

Equipos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Total, inversión total instalación				\$11.450.000

Tabla 19*Resumen inversión de generación y transmisión*

Ítem	Valor
Total, inversión en obra física planta	\$84.563.133,16
Total, inversión en maquinaria	\$144.308.550,00
Total, logística equipo de generación	\$11.247.086
Total, inversión en obra física instalación de postes	\$11.450.000
Total, inversión de generación y transmisión	\$240.118.768,66

9.8 Balances de prestación del servicio (operación)**Tabla 20***Balance de equipos y maquinaria de operación y mantenimiento*

Equipo	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Multímetro digital UNIT UT39C	3	\$165.113,00	\$495.339,00
Pinza amperimétrica flexible profesional UT	3	\$974.503,00	\$2.923.509,00

Equipo	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Caja de herramientas	1	\$180.000,00	\$180.000,00
Juego de destornilladores llaves y <i>ratchet</i>	1	\$950.000,00	\$950.000,00
Carro estibas 2 toneladas	1	\$1.934.900,00	\$1.934.900,00
Gato grúa 2 toneladas	1	\$1.249.000,00	\$1.249.000,00
Diferencial de cadena 6 metro	1	\$459.700,00	\$459.700,00
Mesa industrial de taller	1	\$380.000,00	\$380.000,00
Prensa de banco	2	\$298.600,00	\$597.200,00
Pinzas mecánicas	3	\$18.900,00	\$56.700,00
Cizalla manual corta cable	2	\$95.900,00	\$191.800,00
Planta a gasolina de respaldo 7,5 KW 13 HP MP MAX	1	\$3.794.151,38	\$3.794.151,38
Martillo de goma	1	\$20.000,00	\$20.000,00
Total, inversión total en maquinaria		\$13.232.299,38	

Tabla 21*Materiales e insumo bienes fungibles*

Materiales	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Guantes electricista clase 00500	UND	5	\$124.900,00	\$624.500,00

Materiales	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Equipo de protección gafas	UND	5	\$124.900,00	\$624.500,00
Kit Línea de vida 20 m de altura	UND	5	\$820.900,00	\$4.104.500,00
Gafas protectoras	UND	5	\$13.900,00	\$69.500,00
Chaleco naranja con reflectivo 4,5 cm	UND	5	\$21.900,00	\$109.500,00
Botas industriales	UND	5	\$85.000,00	\$425.000,00
Chaleco salvavidas Adulto	UND	5	\$137.000,00	\$685.000,00
Gasolina para generador de respaldo	GL	8	\$9.030,00	\$72.240,00
Total, inversión total en bienes fungibles				\$6.714.740,00

Tabla 22*Balance de materiales e insumo administrativa*

Equipo	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Escritorio con silla	2	\$180.000	\$360.000
Sillas individuales	6	\$85.000	\$510.000
Mesas de reuniones	1	\$250.000	\$250.000

Equipo	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Computadores	2	\$1.800.000	\$3.600.000
Impresora	2	\$500.000	\$1.000.000
Canecas de basura	5	\$17.000	\$85.000
Implementos de aseo	2	\$150.000	\$300.000
Tanque elevado de 500 L	1	\$322.900	\$322.900
Iluminación	1	\$500.000	\$500.000
Motobomba de agua 1/2HP 110v	1	\$116.900	\$116.900
Total, inversión total en materiales administrativos			\$7.044.800,00

A continuación, en las tablas 23 y 24 se presentan los costos por empleados, en los que debe incurrir el proyecto.

Tabla 24*Balance, costo de nómina operacional por mes*

Cantidad	Costo mes del empleado	Costo total mes del empleado
1	\$2.611.656,00	\$2.611.656,00
1	\$1.747.368,00	\$1.747.368,00
1	\$1.594.297,51	\$1.594.297,51
	\$5.953.321,51	\$5.953.321,51

El resumen total de la inversión en la generación y transmisión se presenta en la tabla 25.

Tabla 25*Resumen inversión de generación y transmisión*

Ítem	Valor
Total, inversión operación en maquinaria	\$13.232.299,38
Total, inversión en bienes fungibles	\$6.714.740,00
Total, inversión en materiales administrativos	\$7.044.800
Total, nómina mensual	\$24.695.949
Total, operación	\$51.687.788

Total, inversión	\$291.806.557
------------------	---------------

9.9 Flujo del proceso

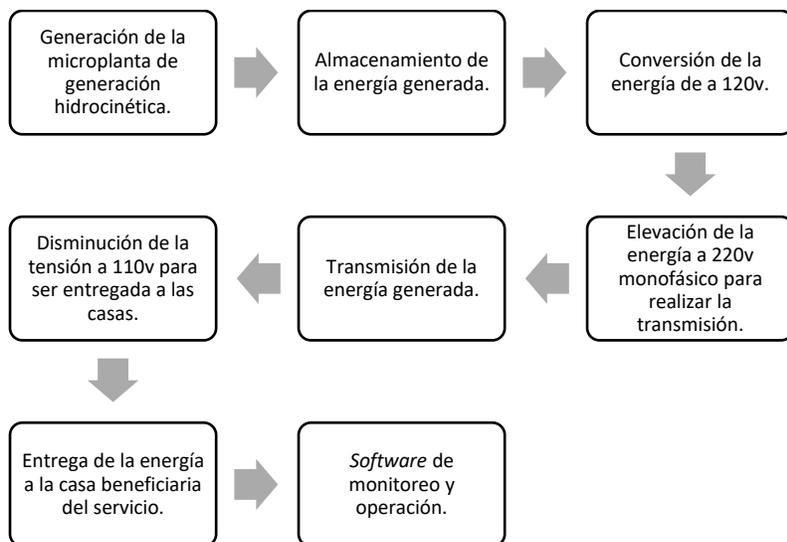
En esta sección se presenta el flujograma de los procesos de generación eléctrica y administración y operación del sistema.

9.9.1 Flujo del proceso de generación

A continuación, en la figura 38 se muestra el flujo de generación de energía paso a paso.

Figura 38

Flujo de generación de energía eléctrica

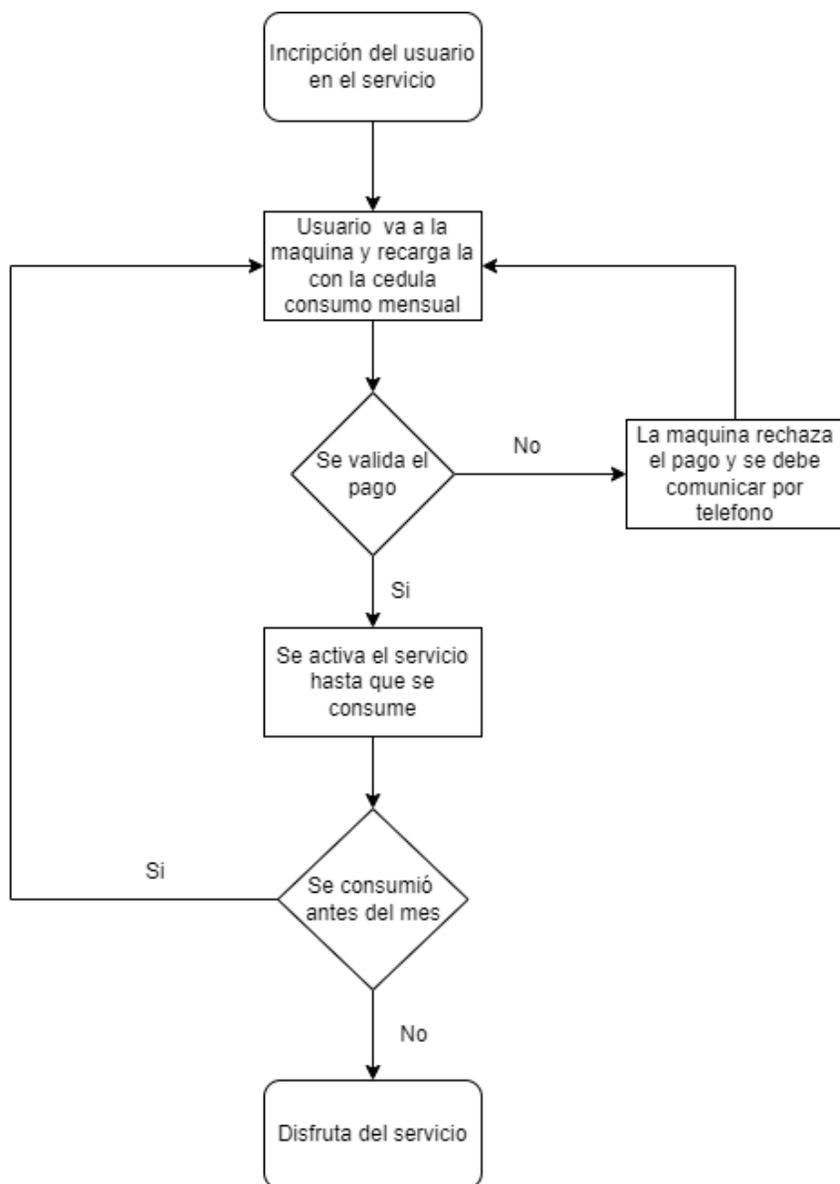


9.9.2 Flujo del proceso de administración

A continuación, en la figura 39 se presenta el flujo del proceso administrativo.

Figura 39

Flujo del proceso administrativo

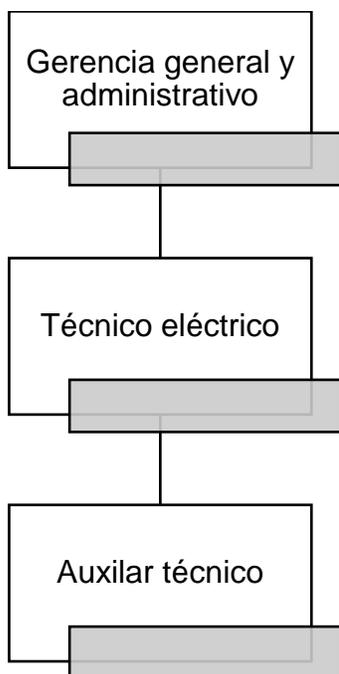


10 Estudio organizacional

Debido a la baja capacidad de generación que se propone en el proyecto, se establece un organigrama propio de la operación, conformado por tres personas de planta y personal de servicio con carácter ocasional (figura 40).

Figura 40

Organigrama



10.1 Funciones y responsabilidades de los cargos

Cargo	Funciones
Gerencia general	<ul style="list-style-type: none"> • La principal función es definir la estrategia de cumplir con los objetivos interpuestos en la generación eléctrica. • Responsabilidades: <ul style="list-style-type: none"> ○ Dirigir la administración, operación de la planta de generación. ○ Velar por el cumplimiento de objetivos de la empresa. ○ Velar por el cumplimiento de las normativas que rodea el proyecto de generación. ○ Se encarga de las finanzas de la empresa, como son las ventas, compras y de mantener la salud financiera de la operación, estable. ○ Elaborar los estados de resultados. ○ Pagarles a los empleados. ○ Verificar que el plan presupuestal se cumpla.
Técnico eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Su función es garantizar técnicamente que el equipo de generación y transmisión de electricidad trabaje según lo establecido. • Cumplir con los planes de mantenimientos interpuestos por los proveedores de los equipos y las normas RETIE. • Garantizar el buen estado de los equipos. • Elaborar informes técnicos de operación.

11 Estudio legal

En esta sección se revisan los requerimientos relacionados con la formalización de la empresa de prestación de servicios públicos, se evalúan los tipos de contratos que se suscribirán en la organización y se ilustra el marco legal que rodea el proyecto.

11.1 Formalización de la empresa

La empresa se crea bajo una sociedad simplificada SAS que tendrá dos accionistas, que es el requerimiento mínimo para que la empresa pueda prestar servicios públicos. Los pasos de la formulación se presentan a continuación.

1. Se investiga sobre los nombres de empresas disponibles en el Registro Único Empresarial (RUES), para elegir uno que esté disponible.
2. Elaborar el documento privado de constitución de la empresa entre los accionistas y como operará la dinámica empresarial.
3. Efectuar el registro PRE-RUT.
4. Fotocopiar la cédula del representante legal de la sociedad.
5. Diligenciar el RUES.
6. Con los documentos ya diligenciados, ir a la Cámara de Comercio de la ciudad a matricular el acto de creación e inscribirla en el registro mercantil correspondiente.
7. Se tramita antes la DIAN el RUT definitivo.
8. Con el RUT final, tramitar el registro mercantil definitivo.

9. Crear una cuenta bancaria (ahorro o corriente).
10. Expedir la resolución de facturas y firma digital en la DIAN.

El acto de constitución de una empresa tiene un valor promedio de \$48.000.

11.2 Tipos de contrato

Este proyecto tendrá para el personal de planta contratos indefinidos con todas las prestaciones establecidas por la ley según el *Código Sustantivo del Trabajo* (Silva, 1989).

Los costos asociados a los contratos se presentan en la sección de balance.

En cuanto a las obras adicionales que requieran desarrollarse en la administración y operación del proyecto se harán mediante la negociación a la que llegue la empresa con el prestador del servicio requerido.

11.3 Marco legal colombiano

La operación del proyecto está determinada legalmente por el Estatuto Tributario, las responsabilidades con la autoridad ambiental y la prestación del servicio.

Según el estatuto tributación colombiano la empresa creada debe cumplir con el pago de impuestos establecidos, los impuestos de declaración de renta, Industria y Comercio, renovar la matrícula mercantil y pago de IVA (declaración del impuesto).

La responsabilidad ambiental por la Sentencia T-622 DE 2016 (remitirse al estudio ambiental) y el artículo 238 del Decreto 1541 de 1978, rezan que la empresa tiene prohibidas las conductas atentatorias contra el medio acuático, tales como el depósito de cuerpos o sustancias sólidas que puedan alterar la fauna, la flora y la salud de las personas que sustentan del cauce (Presidencia de la República, 1981).

Las obligaciones como empresas prestadoras de servicios públicos son establecidas por el Ministerio de Minas y Energía (2022), en la *Ley de servicios públicos*:

ARTÍCULO 2.2.3.6.2.2,6.1. Obligaciones de las empresas de servicios públicos.

Las empresas de servicios públicos que generen suministren y comercialicen energía eléctrica y gas y realicen programas URE, deberán presentar cada tres (3) años información de los aspectos técnicos y financieros de sus programas URE a la Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME, para su seguimiento, análisis e incorporación en la Planeación Energética Nacional.

(Decreto 3683 de 2003, art. 19)

ARTÍCULO 2.2.3.6.2.2,6.2. Contenido de las facturas del servicio público domiciliario de energía eléctrica y gas. Las empresas de servicios públicos que presten servicios de energía eléctrica y gas deberán imprimir en la carátula de recibo de factura o cobro, mensajes motivando el uso racional y eficiente de la energía y sus beneficios con la preservación del medio ambiente.

Parágrafo. De conformidad con el inciso séptimo del artículo 146 de la Ley 142 de 1994, las empresas de energía y gas podrán incluir el cobro de otros servicios como los servicios energéticos en la factura del servicio público domiciliario respectivo sin que se altere la fórmula tarifaria.

(Decreto 3683 de 2003, art. 20)

ARTÍCULO 2.2.3.6.2.2,6.3. Obligaciones especiales de las entidades de la Rama Ejecutiva del Orden Nacional. Las entidades de la rama ejecutiva del orden nacional del sector central y descentralizadas por servicios a que hace referencia la Ley 489 de 1998, deberán motivar y fomentar la cultura de Uso Racional y Eficiente de la Energía.

(Decreto 3683 de 2003, art. 20). (parrs. 1-4)³

³ Las normas relacionadas con la fórmula tarifaria fueron explicadas en el estudio de mercado en la sección de oferta y precio.

12 Estudio ambiental

En esta sección se expone acerca de la riqueza ecológica y las normativas ambientales de protección a las que está sometido el proyecto en el lugar donde se vaya a implementar el proyecto, con el fin de que este esté alineado con la preservación y genere el menor impacto posible en la flora y fauna.

El proyecto se encuentra ubicado en la parte central del recorrido de la cuenca del río Atrato. Los suelos formados en esta zona están asociados al tipo de selva lluviosa, debido a la deposición de materiales aluviales. Su nacimiento se da en la cordillera occidental, considerada una de las cuencas de mayor rendimiento de la región, porque se encuentra en una de las zonas de mayor precipitación del continente americano (más de 9000 mm anuales), que lo convierten en el río más caudaloso del mundo ($0,112 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$). Su división geomorfológica está dividida en zonas de serranías, colinas, terrazas y valles aluviales (Martínez, 2014). En cuanto a la climatología, presenta una unidad climática súper húmeda, con una temperatura promedio de $28 \text{ }^\circ\text{C}$ (Klinger y Ramírez, 2011).

La estructura ecológica está sustentada en una gran riqueza biológica, representada por la diversidad de fauna, flora y fuentes hídricas. En cuanto a la fauna y la flora, tanto Beté con Tagachí comparten la misma estructura por la cercanía geográfica; por lo tanto, en cuanto a la flora, se identifican 239 especies en 186 géneros y 67 familias, y la fauna

está compuesta por 60 especies de aves, 310 clases de anfibios y 67 clases de reptiles (Klinger y Ramírez, 2011).

Este proyecto de generación de energía renovable no tiene impacto significativo, ya que la máquina está construida para ser amigable con el entorno ambiental y no requiere obras civiles en la cuenca que afecten el agua, el suelo, el aire, la fauna ni la flora para operar. Economipedia (Quiroa, s. f.) define la energía renovable como: “Toda la energía que se obtiene de fuentes naturales como el agua, el sol, el viento y la biomasa” (párr. 1), y agrega que son inagotables y no requieren ningún proceso de producción o extracción de residuos que contaminen el ambiente. La generación hidrocínética se alinea con el respeto al medio ambiente.

Como el emplazamiento del proyecto será en el río Atrato, es menester mencionar el fallo de la Sentencia T-622 DE 2016 (Corte Constitucional, 2016), el cual considera como sujeto de derecho a la cuenca del río Atrato. Este fallo fue proferido por la Corte Constitucional con el fin de proteger el recurso natural de los proyectos de explotación minera, pues esta labor ilegal le estaba generando daños irreversibles a la cuenca y a los más de 400.000 habitantes de municipios y comunidades que dependen de la cuenca. Esta sentencia recomienda el cese de licencias ambientales para proyectos de actividad minera, por lo que este fallo no afecta a proyectos de carácter renovable efectuados en la cuenca del río Atrato.

Para desarrollar el proyecto, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) dice que, al tratarse de una central de microhidrocinética generación (5 a 10kW), no requiere una licencia ambiental otorgada por la CAR (Presidencia de la Republica de Colombia, 2014); sin embargo, cualquier tipo de proyecto que requiera el aprovechamiento de aguas para generación hidroeléctrica, entendiéndose en este caso como: generación cinética como el movimiento de molinos, demanda tramitar una solicitud de concesión ante una Corporación Autónoma Regional (CAR) (Presidencia de la República, 1981). En este caso específico, la CAR responsable de cuidar y gestionar los recursos ambientales del Chocó es Codechocó.

Para elaborar la solicitud de concesión, se debe suministrar la siguiente información (Presidencia de la República, 1981):

- a. Razón social, domicilio y documentos de constitución.
- b. Nombre de la fuente donde se desea utilizar el agua.
- c. Nombre de predio, municipio o comunidades que se van a beneficiar.
- d. Declaración de efecto ambiental.
- e. Información sobre el destino del agua.
- f. Cantidad de agua que se vaya a utilizar en litro/segundos.
- g. Información acerca de si se necesita establecer servidumbres.
- h. Término por el cual se solicitó la concesión.
- i. Estudio de factibilidad del proyecto completo.
- j. Especificar la potencia instalada y la generación anual.

- k. Anexar estudios ecológicos y ambientales, según el artículo 28 del Decreto Ley de 1974.

En el presente estudio de prefactibilidad se tiene definido que el caudal requerido mínimo es de 5000 lt/s, se necesita solicitar una servidumbre para la distribución de la electricidad en baja de tensión de 220 VAC y una concesión que, al ser para la prestación de un servicio público, podrá ser solicitada para un período de hasta 50 años (Presidencia de la República, 1981).

El trámite anterior no contempla el tendido de líneas de transmisión eléctrica, por lo que este debe ser radicado de forma independiente. El proyecto tiene como propósito hacer el tendido de una línea de baja tensión BT de 220v, por lo cual no requiere una zona de servidumbre, ya que la línea de tensión nominal no es igual o mayor de 57,5 KV (Ministerio de Minas y Energía, 2005).

13 Estudio financiero

En esta sección se presenta la relación financiera de los estudios anteriores, propendiendo por establecer el valor de inversión y probable retorno total de proyecto propuesto.

13.1 Fuente de financiación

Este proyecto se enmarca en el programa de apoyo para la electrificación de zonas no interconectadas que el IPSE tiene en su haber. Por lo tanto, mediante el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no Interconectadas (FAZNI) se busca obtener la financiación para la construcción e instalación de la microcentral hidrocínética. De la administración, operación y mantenimiento se encargará la empresa prestadora del servicio eléctrico (creada). De acuerdo con lo anterior, se traen los valores de costo y gastos determinados en el estudio técnico en relación con la administración, operación y mantenimiento, para establecer la estructura de financiación, la cual consta de porcentaje *equity* y porcentaje recursos propios (tabla 26).

Tabla 26*R D/E*

Concepto	Monto
Deuda	\$20.254.788,44
Aportes socios	\$8.680.623,62

Al ser una empresa recién creada se estableció solicitar al banco un crédito de libre inversión por el valor relacionado al 70% (\$20.254.788,44) de la inversión inicial el cual está dividido como se presenta a continuación.

Tabla 27*Resumen de la inversión total del proyecto*

Tipo de inversión	Concepto	Monto
Inversión en activos	Materiales y herramientas	\$6.245.516,00
	Muebles y enseres	\$6.167.900,00
	Materiales fungibles Iniciales	\$2.861.240,00
Inversión en capital de trabajo		\$13.660.756,1
Total		\$28.935.412,05

El modelo de préstamo que se eligió fue de libre inversión, en el banco Davivienda (Alegre, 2022), el cual tiene una tasa de 22,56% EA a 28 de julio de 2022 a para plazos hasta máximo 36 meses (3 años).

El restante 30%, por valor de \$8.680.623,62, será aportado con recursos propios. Este recurso se le prestará al proyecto según las Beta del sector en Estados Unidos. Al no ser una empresa no cotizante en el mercado, con ayuda de información obtenida en la red se encontraron los parámetros para hacer los siguientes cálculos.

Se analizó el costo de los recursos propios (K_e), de la deuda (K_d) y los riesgos operativos y financiero con las betas (desapalancada y apalancada) con el modelo CAPM. Usando la página de Damodaran (2022) se tomó como base el sector de energías renovables (*green & renewable energy*), la beta apalancada 1,59 y la relación deuda capital de 66.63% con una tasa de impuesto efectiva de 1,43%, y se obtuvo la beta desapalancada del sector.

Figura 41

Indicadores tomados de la página de Damodaran

Industry Name	Number of firm	Beta	D/E Ratio	Effective Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value	Unlevered beta corrected for cash
Green & Renewable Energy	20	1,59	66,63%	1,43%	1,07	2,45%	1,10

Nota. Información tomada del sitio web de Damodaran (2022).

Posteriormente, se reapalancó la beta para aplicarle la estructura de deuda del proyecto y, finalmente, se encontró el costo de *equity*. La tasa libre de riesgo fue obtenida de los Títulos de Tesorería (TES) a 2024, de la curva de rentabilidad tasa fija la cual fue de 10,55% EA (Grupo Aval, 2022).

Por último, la prima de mercado del sector nacional, que se aprecia en la tabla 28, fue obtenida indagando en el sector, y arrojó que se esperaba una variación de 3,39% a 4,84% (Corficolombiana, 2022), el cual se estimó para este proyecto en una variación 4,5% para la fecha de medición 07 de 2022 (tabla 28).

Tabla 28

Indicador de tasa de rendimiento del mercado

Información del sector EA		$\beta l = \beta usect * \left[1 + \frac{D}{E} (1 - tax) \right]$	
Beta apalancada (βl)	1,59		
Relación D/E	70,00%		
Taxes del sector	1,43%		
Información del proyecto EA		$\beta usect = \frac{\beta l}{\left[1 + \frac{D}{E} (1 - tax) \right]}$	
Beta desapalancado ($\beta usect$)	0,94083		
Información del proyecto EA			$\beta lproy = \beta usect * \left[1 + \frac{D}{E} (1 - tax) \right]$
Relación D/E	2,33		
Taxes de Colombia	32%		
Beta reapalancado ($\beta lproy$)	2,43362		
Tasa libre de riesgo (Rf)	10,55%	$Ke = Rf + (MP) * \beta lproy$	
Tasa prima de mercado (MP)	4,5%		
TIO EA	21,494%		

Nota. Tabla de elaboración propia. Datos de indicadores tomados de la página de Damodaran (2022).

Luego se calculó el costo promedio ponderado de capital para determinar los indicadores de comportamiento del proyecto en el flujo de caja.

13.2 Flujo de caja estocástico

En esta sección se presenta el flujo de caja constante del proyecto en cuanto a la operación, administración y mantenimiento. De igual manera, los flujos relacionados con la inversión. Los datos obtenidos provienen del estudio técnico.

Se establece un flujo de caja con un horizonte de 10 años, para revisar el comportamiento de este.

Tasa del banco	22,56%	EA
Plazo	3	Años

Los ingresos asociados al proyecto dependen exclusivamente de la prestación del servicio. Al ser una central micro, esta unidad consume todo lo demandando, ya que en la ZNI escogida hay un total de 160 usuarios que no tienen la demanda atendida, y este equipo puede atender la demanda de 49 usuarios, que es el 30% de lo requerido.

Se establece que el consumo máximo por casa en una ZNI es de 99kWh; sin embargo, se utiliza una función probabilística triangular con un valor mínimo de 92, uno medio de 99 y un máximo de 120kWh. A continuación, se presenta la tabla 29, de consumo anual que puede tolerar el equipo.

Tabla 29

Cálculo de consumos anuales

Energía consumida promedio una casa mensual	92,00	99	120	kWh mes
Energía consumida promedio una casa anual	1104	1188	1440	kWh anual
Costo de la energía promedio en ZNI	\$ 1.635,12	\$kWh		
Energía anual generada por el equipo 7,5kW	73440	kWh anual		
Tiempo fuera por mantenimiento	0,5%	porcentaje		
Porcentaje de funcionamiento respecto al 100%	95%	porcentaje		
Energía promedio generada estimada efectiva	69400	kWh anual		
Reserva de energía 2%	1388	kWh guardada		
Energía consumida promedio por en centro distribución energética	840	kWh anual		
Precio de la energía para el centro	\$ 250	\$kWh mensual		
Energía disponible para la venta	67172	kWh anual		
Demanda completa de usuarios teórica	61	usuarios/mes		
Demanda completa de usuarios real	160	usuarios/mes		
Obra física				
ADQUISICIÓN TERRENO Y LEGALIZACIÓN		\$	1.800.000	
ADECUACION DE TERRENO (Rozado y paisajismo)		\$	164.000	
CERCO MALLA 1,8m X 10m		\$	599.800	
ZONA DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN		\$	21.000.000	
SERVIDUMBRE		\$	-	
Compra e instalación Generador eléctrico hidrocinético				
Generador eléctrico hidrocinético		\$	42.000.000	
Sistema de almacenamiento y control monitoreo IOT		\$	49.800.000	
Transformador monofásico 120 a 240V 10kVA		\$	24.484.950	
Equipo Carga de energía		\$	5.000.000	
Poste PRFV		\$	6.000.000	
Kiosco de pago automatico con panel solar		\$	6.500.000	
Contadores eléctricos monofásicos		\$	675.000	
Cableado AWG Numero 6		\$	6.473.600	

Los activos sometidos a depreciación son los adquiridos por la empresa prestadora de servicios en la labor de administración, operación y mantenimiento programado, entre los cuales se destacan los materiales, herramientas, muebles, enseres y los cambios de unidad de baterías y contadores.

A continuación, en la tabla 30 se presentan los factores de variación en incrementos y posteriormente, los flujos de caja del proyecto e inversión.

Tabla 30*Listado de variaciones e incrementos*

Variación consumo energético anual	Valores	Función
Incremento servicios públicos anual	IPC, 4,86% al 5%	Triangular
Incremento nómina anual	3,8% al 4,2%	Uniforme
Incremento costos variables de artefactos de seguridad	5% al 5,5%	Uniforme
Incremento gasolina, generador de respaldo	IPC 4,86% al 5%	Uniforme
Incremento servicio de mantenimiento	IPC 4,86% al 5%	Uniforme
Incremento servicio de revisión de toda la red y reemplazo de cableado	5% al 5,5%	Uniforme
Incremento cambio de fusibles de potencia	5% al 5,5%	Uniforme
Incremento cambio de medidor de consumo cada 5 años	5% al 5,5%	Uniforme
Incremento cambio de baterías de las 6 baterías cada 5 años	6% al 8%	Uniforme
Incremento cambio del inversor cada 10 años	6% al 8%	Uniforme

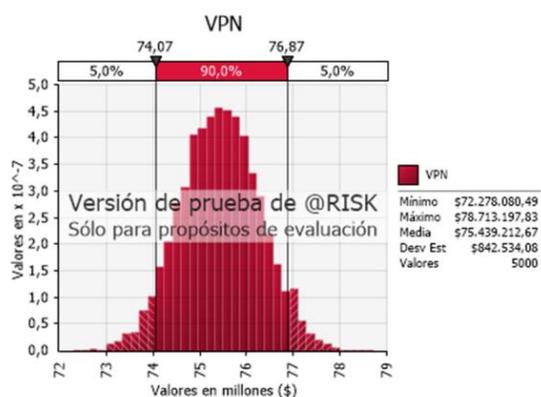
13.2.1 Flujo de caja del inversionista

De acuerdo con lo presentado en el flujo de caja estocástico del inversor, el proyecto tiene un VPN esperado de \$72.133.500,58; además se estima, con una confianza del

90%, que el VPN estará entre \$74,07 y \$76,87 millones; con menor probabilidad de ocurrencia, se estima que el VPN máximo es de \$78.713.197,83 (figura 42).

Figura 42

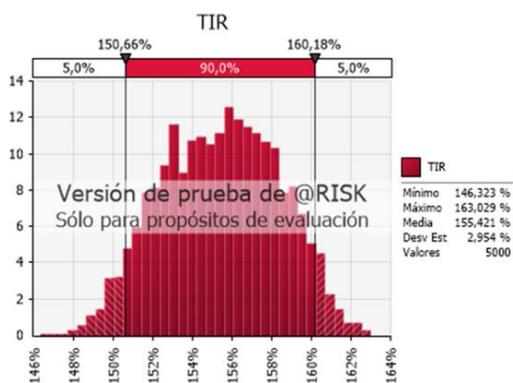
VPN del flujo de caja del inversionista



La TIR del proyecto, es alta con una tasa esperada de 155,421% EA (figura 43).

Figura 43

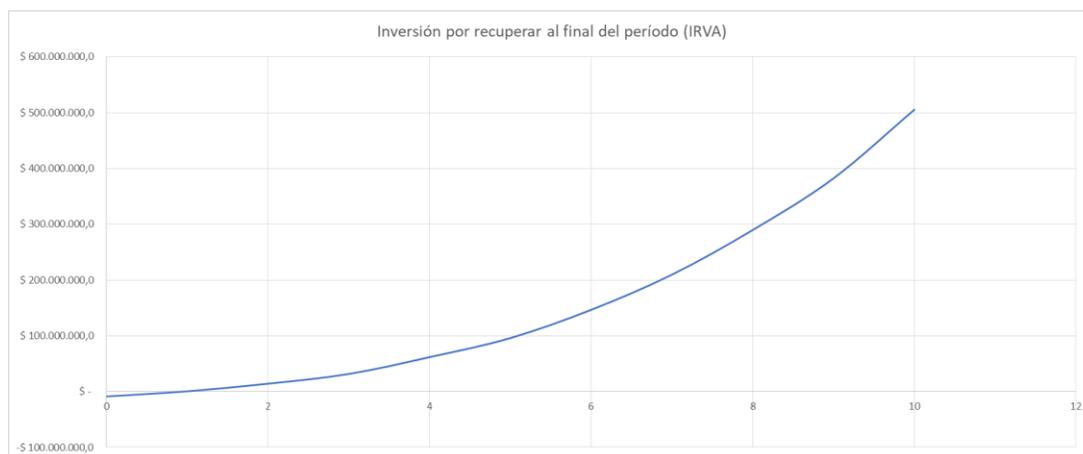
TIR del flujo de caja del inversionista



El IRVA del inversionista muestra que a partir del período 1 se recupera el capital invertido y empieza la creación de valor. Por tanto, el IRVA es positivo (figura 44).

Figura 44

Indicador del IRVA



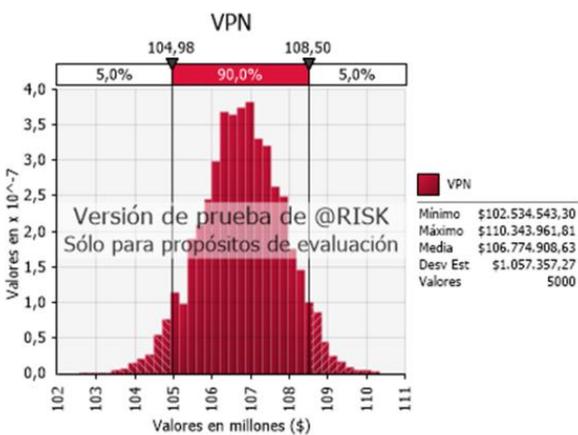
A continuación, en la tabla 31 se presenta el flujo de caja del inversionista.

13.2.2 Flujo de caja del proyecto

De acuerdo con lo presentado en el flujo de caja estocástico del proyecto, se tiene un VPN esperado de \$106.774.908,63; además, se estima, con una confianza del 90%, que el VPN estará entre \$104,98 y \$108,50 millones; con menor probabilidad de ocurrencia, se estima que el VPN máximo es de \$110.343.961,81 (figura 45).

Figura 45

VPN del proyecto



El IRVA del inversionista muestra que a partir del período 2 se recupera el capital invertido y empieza la creación de valor. Por tanto, el IRVA es positivo (figura 46).

Figura 46*IRVA del proyecto*

A continuación, en la tabla 32 se presenta el flujo de caja del proyecto.

TASA DEL BANCO	22,56% IA																			
PLAZO	AÑOS																			
FINANCIACIÓN DEL PRÉSTAMO BANCARIO																				
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Ingreso préstamos o crédito	\$ 20.258.301,50	\$ 14.823.763,05	\$ 8.163.194,08	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Abono a capital	\$ -	\$ 5.494.537,84	\$ 6.660.569,58	\$ 8.163.194,08	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Intereses	\$ -	\$ 4.570.272,82	\$ 3.344.241,08	\$ 1.841.616,58	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Cuota	\$ 10.004.810,66	\$ 10.004.810,66	\$ 10.004.810,66	\$ 10.004.810,66	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
WACC																				
FUENTE	MONTO	CAI	CDI	Participación	Ponderación	10,18%														
Pasivo	\$ 20.258.301,50	22,56%	15,1%	70,0%	10,18%															
Patrimonio	\$ 6.682.129,21	21,49%	14,4%	30,0%	4,32%															
TOTAL	\$ 28.940.430,71		29,5%	1,000%	14,900%															
WACC 14,900% IA																				
CRITERIOS DE EVALUACIÓN																				
INDICADORES	PROYECTO	IA																		
VPN	\$ 102.713.183,68	COP																		
VPN Probabilística	\$ 106.774.908,63	COP	106774908,6																	
TIR	76,809%	IA																		
TIR Probabilística	81,262%	IA	0,81261782																	
BAUE	\$ 20.388.539,0	COP																		
RBC	1,177																			
PRI PROYECTO	-2	4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
PRO DESCENTADO PROYECTO	-2	4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
INGRESOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
TOTAL INGRESOS OPERACIONALES	\$ -	\$ 113.121.603,72	\$ 118.698.498,78	\$ 124.550.334,77	\$ 130.690.666,28	\$ 137.133.716,12	\$ 143.894.408,33	\$ 150.988.402,66	\$ 158.432.130,91	\$ 166.242.834,97	\$ 174.443.986,07	\$ 183.079.191,48	\$ 191.459.200,00	\$ 199.599.400,00	\$ 207.520.000,00	\$ 215.340.000,00	\$ 223.020.000,00	\$ 230.570.000,00	\$ 238.000.000,00	\$ 245.320.000,00
Ingreso por PNEgrosos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Recuperación del capital de trabajo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL INGRESOS	\$ -	\$ 113.121.603,72	\$ 118.698.498,78	\$ 124.550.334,77	\$ 130.690.666,28	\$ 137.133.716,12	\$ 143.894.408,33	\$ 150.988.402,66	\$ 158.432.130,91	\$ 166.242.834,97	\$ 174.443.986,07	\$ 183.079.191,48	\$ 191.459.200,00	\$ 199.599.400,00	\$ 207.520.000,00	\$ 215.340.000,00	\$ 223.020.000,00	\$ 230.570.000,00	\$ 238.000.000,00	\$ 245.320.000,00
VPN INGRESOS	\$ 483.391.113,33																			
EGRESOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
TOTAL COSTOS Y GASTOS FIJOS	\$ -	\$ 76.517.805,38	\$ 77.628.566,88	\$ 80.402.719,87	\$ 83.829.126,79	\$ 87.184.637,58	\$ 90.674.507,38	\$ 94.304.094,41	\$ 98.076.993,48	\$ 102.005.023,31	\$ 106.088.233,86	\$ 110.324.664,00	\$ 114.724.400,00	\$ 119.294.000,00	\$ 124.034.000,00	\$ 128.974.000,00	\$ 134.104.000,00	\$ 139.424.000,00	\$ 145.034.000,00	\$ 150.844.000,00
TOTAL COSTOS VARIABLES	\$ -	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23	\$ 5.466.254,23
Gastos financieros	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intereses 3%	\$ -	\$ 9.862.352,08	\$ 11.380.150,90	\$ 13.229.884,03	\$ 15.330.746,97	\$ 17.674.134,13	\$ 20.258.301,50	\$ 23.000.000,00	\$ 25.894.000,00	\$ 28.940.430,71	\$ 32.150.000,00	\$ 35.520.000,00	\$ 39.000.000,00	\$ 42.600.000,00	\$ 46.330.000,00	\$ 50.180.000,00	\$ 54.150.000,00	\$ 58.240.000,00	\$ 62.450.000,00	\$ 66.780.000,00
Abono a capital	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subsistencia Herramientas	\$ -	\$ 6.248.516,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Muebles y enseres	\$ -	\$ 6.247.880,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Materiales fungibles iniciales	\$ -	\$ 2.861.240,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión de capital de trabajo	\$ -	\$ 13.665.774,71	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión del capital de trabajo	\$ -	\$ 162.362,16	\$ 789.176,16	\$ 1.789.431,94	\$ 3.286.980,34	\$ 4.826.707,67	\$ 6.366.523,82	\$ 7.906.429,21	\$ 9.446.384,60	\$ 10.986.384,60	\$ 12.526.384,60	\$ 14.066.384,60	\$ 15.606.384,60	\$ 17.146.384,60	\$ 18.686.384,60	\$ 20.226.384,60	\$ 21.766.384,60	\$ 23.306.384,60	\$ 24.846.384,60	\$ 26.386.384,60
COSTOS TOTALES	\$ 28.940.430,71	\$ 92.019.262,57	\$ 96.149.150,18	\$ 100.209.556,05	\$ 104.299.440,04	\$ 108.419.823,91	\$ 112.570.707,79	\$ 116.753.102,66	\$ 120.966.097,53	\$ 125.208.592,40	\$ 129.480.587,27	\$ 133.783.082,14	\$ 138.115.077,01	\$ 142.476.571,88	\$ 146.848.566,75	\$ 151.250.561,62	\$ 155.682.556,49	\$ 160.144.551,36	\$ 164.636.546,23	\$ 169.158.541,10
VPN EGRESOS	\$ -580.677.925,65																			

Análisis IRVA							
T	Inversión por recuperar al inicio	Costo del capital invertido	Amortización de la inversión y valor agregado	Flujo de caja	Inversión por recuperar al final del periodo	Tasas de descuento	VPN Acumulada en T
0	-	-	-	-	28.940.430,7	14,90%	-28.940.431
1	28.940.431	4.312.374	16.789.966	21.102.340,7	12.150.464,3	14,90%	10.574.737
2	12.150.464	1.810.524	21.738.824	23.549.348,6	9.588.360,0	14,90%	7.262.694
3	9.588.360	1.428.749	25.775.487	24.346.738,7	35.363.847,3	14,90%	23.312.541
4	35.363.847	5.269.519	28.689.737	23.420.218,2	64.053.584,5	14,90%	36.749.400
5	64.053.585	9.544.538	30.474.724	20.930.185,9	94.528.308,3	14,90%	47.200.370
6	94.528.308	14.085.535	44.065.518	29.979.983,0	138.593.826,5	14,90%	60.228.786
7	138.593.827	20.651.678	52.201.418	31.549.739,2	190.795.244,1	14,90%	72.161.320
8	190.795.244	28.430.141	63.405.056	34.974.915,4	254.200.300,4	14,90%	83.673.838
9	254.200.300	37.878.042	68.242.514	30.364.471,9	322.442.814,7	14,90%	92.372.572
10	322.442.815	48.046.767	89.521.080	41.474.313,2	411.963.895,0	14,90%	102.713.184

13.3 Análisis de riesgo

Los riesgos asociados al proyecto fueron valorados de mediante el método Delphi. Se determinaron once posibles riesgos con los expertos en la prestación del servicio son los siguientes.

Nombre del riesgo	Descripción del riesgo	Tipo	Estrategia
Desbordamiento del río Atrato.	Se refiere a las inundaciones que se viven en esta zona debido a la alta precipitación.	Económico	Mitigar mediante pólizas
Disminución de cantidad de horas de la cantidad de usuarios inscritos.	Se refiere a que la demanda sea insuficiente para cubrir con los costos y gastos del proyecto.	Económico	Asumir
Riesgo financiero.	Se refiere a los efectos provenientes de las variaciones de las tasas de interés, plazos y variaciones cambiarias y financieras frente a las estimaciones iniciales del contratista.	Financiero	Asumir

Nombre del riesgo	Descripción del riesgo	Tipo	Estrategia
Multas por incumplimiento.	Se refiere a la penalización en la cual se puede incurrir ante alguna situación de incumplimiento contractual.	Operacional	Asumir
Fluctuación de precios.	Se refiere al cambio de precios de insumos, tarifas, jornales o materiales, presentados durante la ejecución del contrato.	Económico	Asumir
Accidentalidad de los equipos de operación minera.	Se refiere a los perjuicios ocasionados por la operación inadecuada de los equipos.	Operacional	Mitigar mediante pólizas
Ausentismo por enfermedad o accidente.	Se refiere a la posibilidad de que durante la ejecución del contrato los colaboradores sufran accidentes de trabajo o enfermedades profesionales.	SST	Asumir
Ambiental.	Disminución del nivel del río y, por ende, en el caudal.	Ambiental	Mitigar mediante pólizas

Nombre del riesgo	Descripción del riesgo	Tipo	Estrategia
Presencia de riesgos biológicos	Se refiere a la posibilidad de que durante la ejecución del contrato los colaboradores presenten síntomas de enfermedades altamente contagiosas y que afecten y deterioren la salud del personal. De no avisar, puede ser multado con 75 SMMLV.	SST	Mitigar mediante pólizas
Orden público	Se refiere a la posible ocurrencia de actos terroristas, paros, huelgas y demás eventos que afecten el orden público.	Social	Asumir
Escasez de insumos	Se refiere a la baja oferta de materiales o repuestos con los que se debe ejecutar el proyecto.	Económico	Mitigar mediante pólizas

Estos riesgos fueron cuantificados mediante una distribución PERT, donde por cada riesgo se tomaron tres valores, oscilando simétricamente entre un mínimo, un medio y un máximo anclado a la probabilidad de ocurrencia del evento determinado por los

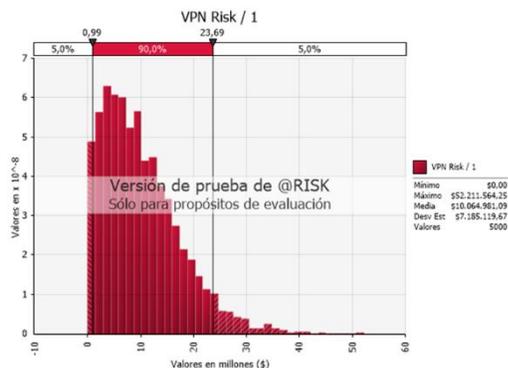
históricos de la ZNI (Tagachí). Luego se planteó un modelo de cuantificación tiempo Poisson, para conocer la ocurrencia del evento durante los años de administración operación y mantenimiento.

13.3.1 Resultados

Se obtuvo un VPN de riesgo medio o esperado de \$10.064.981,09, dejando el VPN real en \$96.709.927,54 y manteniendo un 90,57% fuera de riesgo. Se estima que no hay probabilidad de que el VPN del riesgo sea mayor al VPN del proyecto; además, el estudio arroja que el VPN de riesgo con una probabilidad del 90% va a estar entre \$0,99 y \$23,69 millones (figura 47).

Figura 47

VPN del riesgo

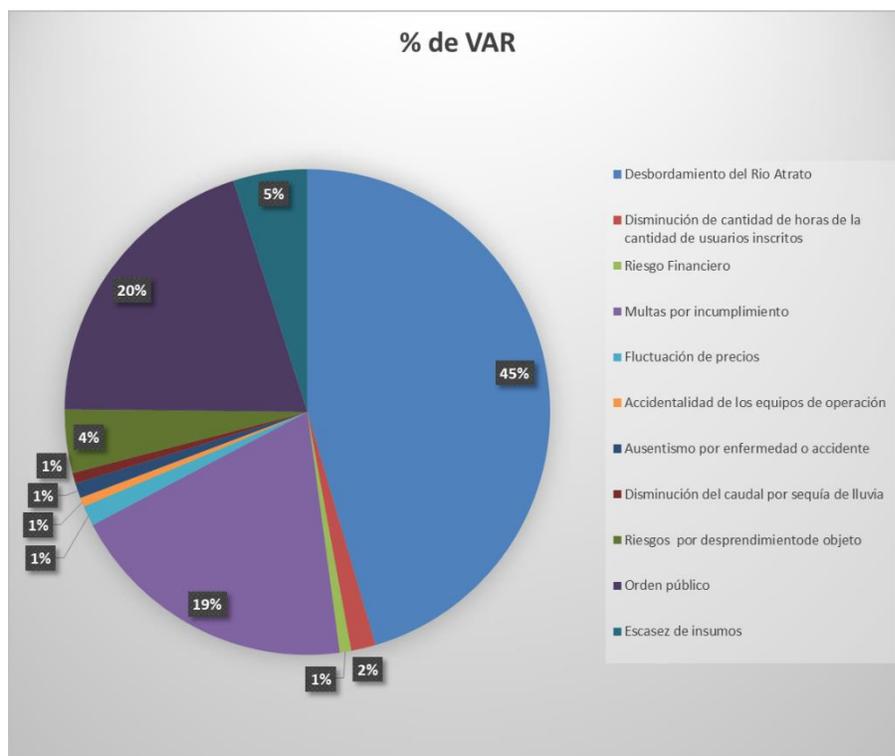


Los riesgos de mayor impacto fueron el desbordamiento del río Atrato, con un 45%; multa por incumplimiento, 20%; orden público de la zona, 19%, y el desprendimiento de alguna

pieza del generador hidrocínético, 4%, el cual debe ser impedido por la condición que tiene el río Atrato como sujeto de derecho (figura 48).

Figura 48

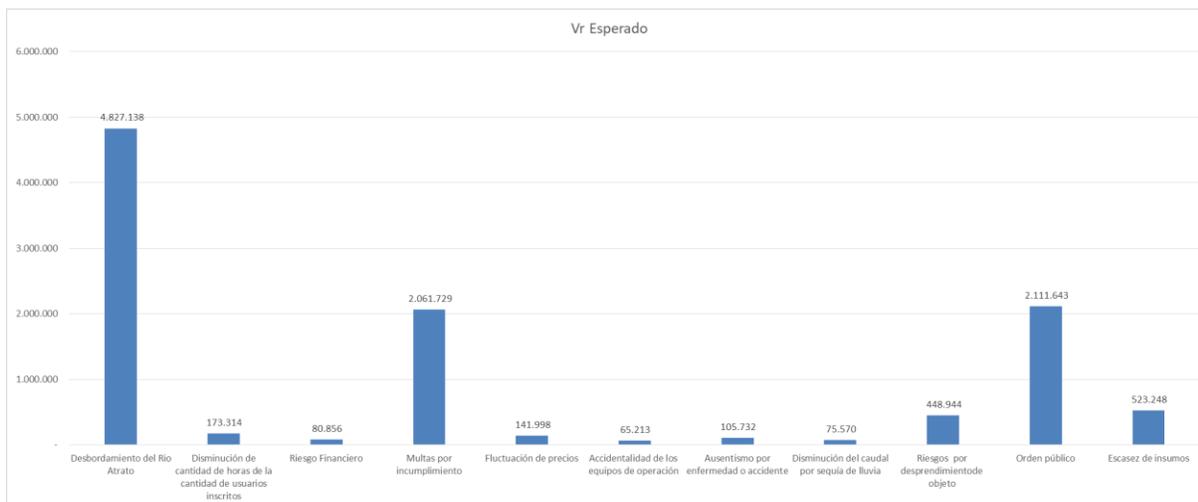
Riesgos de mayor relevancia



De acuerdo con lo anterior, el riesgo que mayor impacto económico generaría en el proyecto, en el evento de materializarse, es el de desbordamiento del río Atrato, correspondiente a un valor medio de \$4.827.915,62; seguido por el riesgo asociado al orden público de la zona, con un valor medio de \$2.111.643, y el riesgo por incumplimiento contractual, con un valor medio de \$2.061.729 (figura 49).

Figura 49

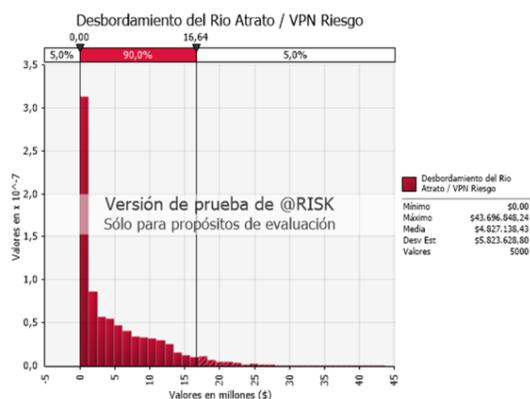
Valor económico del riesgo esperado



13.3.2.1 Desbordamiento del río Atrato: en este riesgo, el estudio arrojó un posible valor mínimo de cero, hasta un valor máximo de \$43.696.848,24, y un valor medio de \$4.827.138,43; se espera que, con una probabilidad de 90%, el VPN del riesgo estará entre 0 y \$16,64 millones (figura 48). Este suceso pondría en riesgo la operación de la central (figura 50). Como estrategia de mitigación, revisar estado y posición de los elementos electrónicos, para que estén lejos de la humedad, y revisar los anclajes de la turbina hidrocínética, para que se mantenga en posición. Adquisición de seguro.

Figura 50

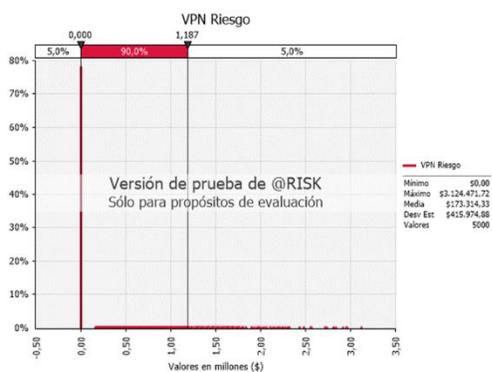
Desbordamiento del río Atrato



13.3.2.2 Disminución de la demanda energética: este evento costaría un valor medio de \$173.314,33. La estrategia para evitar la disminución es una mejora continua del servicio con la intención de crear sentido de pertenencia por la empresa en la zona (figura 51).

Figura 51

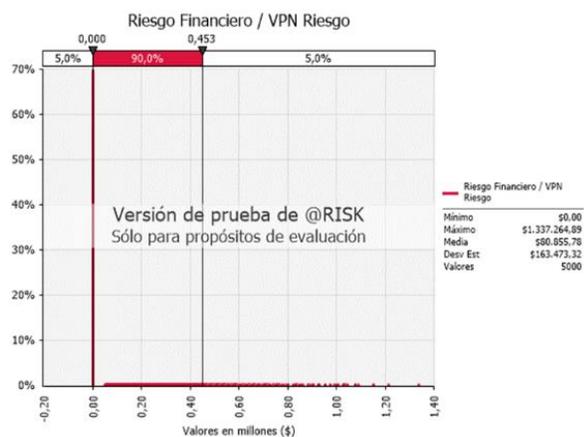
Disminución de la demanda energética



13.3.2.3 Variaciones a tasas financieras: este proyecto no contempla adquirir préstamos durante su operación, a menos que se materialice el riesgo número 1. Este es un riesgo que será asumido por el proyecto. El estudio arrojó, con un 90% de confianza, el incremento en los precios de las tasas bancarias puede generarle una pérdida de hasta \$453.000 (figura 52).

Figura 52

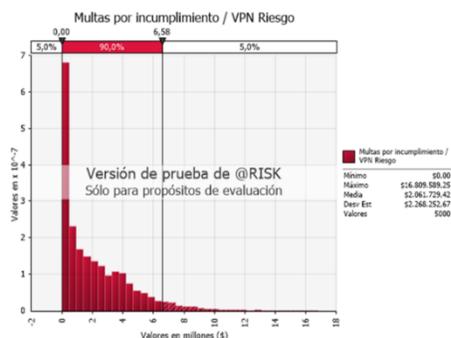
Riesgo tasas bancarias



13.3.2.4 Multas por incumplimiento: este riesgo tiene un valor máximo de \$16.809.589,25 y un valor mínimo de 0; además, el análisis arroja que el riesgo esperado es de \$2.061.729,42, con una probabilidad del 90% de que el riesgo esté entre 0 y \$6,58 millones. Por lo tanto, la estrategia acordada es la atención diaria a la ejecución de actividades de operación y mantenimiento de equipos, para el cumplimiento contractual (figura 53).

Figura 53

Riesgo de multas por incumplimiento



13.3.2.5 Fluctuación en los precios de materias primas e insumos: según el estudio, el costo máximo que puede llegar a tener este evento es de \$2.389.635,22, y el costo medio en el que se incurriría, si se materializase, significaría para el proyecto un valor de \$141.998,37; además, se afirma, con una confianza del 90%, que el valor está entre 0 y \$793.000 (figura 54). Este riesgo es asumido.

Figura 54

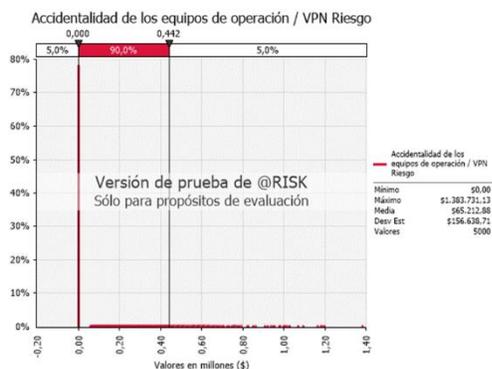
Fluctuaciones en el precio



13.3.2.6 Accidentalidad de los equipos de generación: el estudio concluye con una confianza del 90%, que el costo relacionado a este riesgo está entre 0 pesos y 442 mil pesos. Además, se estima que el costo medio de este evento es de \$65.212,88. Y con una menor ocurrencia probabilista se afirma que el costo máximo es de \$1.383.731,13 (figura 55). El riesgo será mitigado mediante la capacitación del uso de los equipos en operación y el cuidado propio.

Figura 55

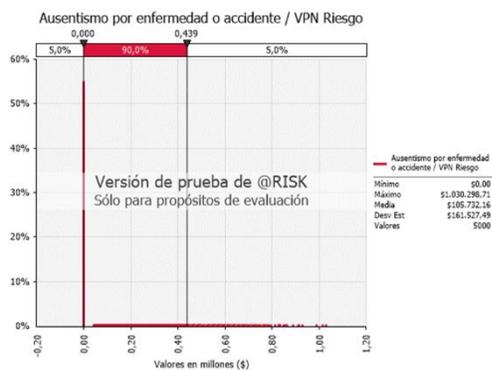
Riesgo por accidentalidad



13.3.2.7 Riesgo por enfermedad: este riesgo se mitigará mediante el cumplimiento de las medidas de autoprotección y el seguimiento continuo de la evolución del trabajador. El estudio arroja que el costo esperado de este evento será de \$105.732,16 y el máximo costo de este riesgo será de \$1.030.298.71; con una confianza del 90%, el costo estará entre 0 y \$469.000 (figura 56).

Figura 56

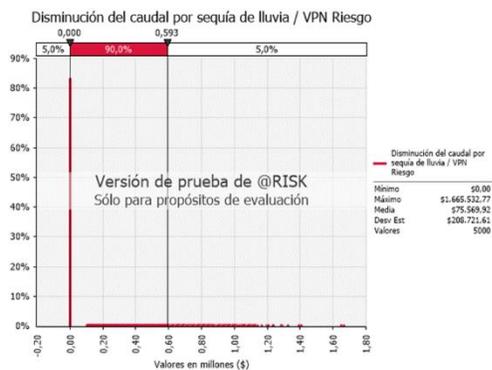
Riesgo por enfermedad de trabajadores



13.3.2.8 Riesgo por disminución de caudal por sequía de lluvia: este riesgo puede tener un costo máximo de \$1.665.532,77 y un valor esperado de \$75.569,92. Este riesgo es ambiental y debe ser asumido (figura 57). Para seguir cumpliendo con la prestación del servicio, se tiene una planta eléctrica de 7,5kW a diésel, para los momentos de emergencia.

Figura 57

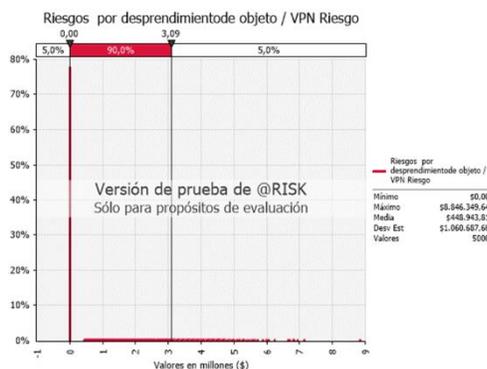
Riesgo por disminución del caudal



13.3.2.9 Riesgo por desprendimiento de objeto de la central hidrocínética: este riesgo con una confianza del 90% tendrá un costo que estará entre 0 y 3,09 millones de peso. El valor esperado del riesgo es de \$448.943,81 y el valor máximo será de \$8.846.349,64 lo que hace que a este riesgo se le ponga total atención (figura 58). La estrategia es mitigarlo mediante el seguimiento del manual de operación y mantenimiento del equipo.

Figura 58

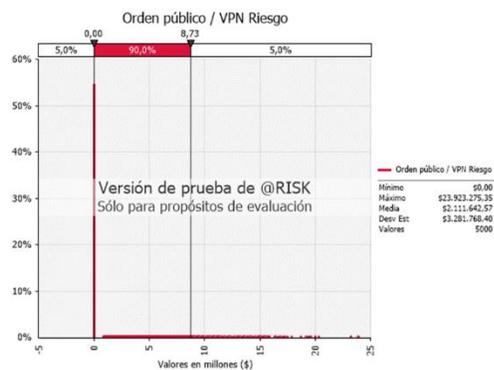
Riesgo por desprendimiento



13.3.2.10 Orden público: en este riesgo de alto impacto económico se espera que, con un 90% de probabilidad, el costo esté entre 0 y \$8,73 millones; además, se espera que el valor medio sea de \$2.111.642,57 y el costo máximo sea de \$23.923.275,35, en menor probabilidad de ocurrencia (figura 59). La mitigación de este riesgo es con la alerta temprana a los entes de control sobre posibles actos vandálicos, para recibir a tiempo la protección.

Figura 59

Riesgo de orden público



13.3.2.11 Escasez de insumos: el riesgo tiene un valor medio de \$523.248,42 y un valor máximo de \$5.520.836,42; sin embargo, con una confianza del 90%, el costo del evento, si se materializase, estará entre 0 y \$2,15 millones (figura 60). Se va a mitigar este riesgo teniendo un listado extenso de proveedores nacionales.

Figura 60

Riesgo de escasez de insumos



14 Conclusiones

- El proyecto es viable en el escenario de la administración y operación empleando sistemas autónomos, de forma que se disminuya la planta de personal. Esta eficiencia laboral lleva a la empresa prestadora del servicio a capacitar arduamente a los usuarios del sistema, por lo que su utilización en las ZNI pueda tener resistencias en los primeros meses de operación debido al bajo nivel intelectual de sus beneficiarios potenciales.
- Mediante el uso de la aplicación de control y monitoreo se tendrá un conocimiento preciso de los datos de generación y consumo en cada instante, de manera que, año a año, se pueden hacer inferencias mediante IA, para la toma de decisiones respecto a las variables que intervienen en el éxito financiero del proyecto.
- Gracias a la intervención del Estado, con la creación de fondos de financiación tales como el FAZNI, para la implementación de proyectos de renovación energética, es posible que las ZNI del país tengan soluciones rápidas que le aporten a la matriz energética de la zona y con ello permitan el crecimiento económico sin afectar los recursos naturales.
- La tecnología hidrocínética en pequeñas capacidades de generación, si se incluye la adquisición del equipo, no es rentable en períodos cortos de tres años.

- Aunque en los resultados financieros la inversión fue baja respecto al VPN del proyecto, si se divide mensualmente, el valor por recibir en el año de mayor ingreso es solo 1,97 veces el valor del SMMLV, por lo que se puede decir que esta iniciativa tiene un componente social importante.
- La viabilidad de una central hidrocíntrica se vuelve atractiva cuando se tienen capacidades de 50kW en adelante; sin embargo, tanto el tamaño del equipo como la particularidad geográfica de la zona hacen que el proyecto sea difícil de implementar.
- Desde el punto de vista de la iniciativa privada, es válido evaluar la generación de energía híbrida mezclando el uso del equipo hidrocíntrico y el equipo de generación solar, con el fin de aprovechar los meses de alta radiación solar y los meses de abundante precipitación. Esto por cuanto cuando hay mayor radiación solar hay una disminución en el caudal del río, y en los meses de mayor precipitación disminuye la aportación del sol debido a la alta densidad de nubes, por lo cual se podrán aprovechar las variaciones climáticas de la zona.
- Los riesgos de mayor impacto económico en el proyecto son el desbordamiento del río Atrato y el orden público, ya que ese territorio históricamente ha sido víctima de la violencia. Estos dos aspectos inciden respectivamente en el 46% y el 20% del presupuesto que se destina como riesgo.

15 Cronograma de actividades

A continuación, en la tabla 33 se presenta un cronograma aproximado con las actividades que se deben realizar para cumplir con el trabajo.

Tabla 33

Cronograma

Cronograma		Mes					
Objetivo específico	Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Identificar y seleccionar una ZNI del departamento del Chocó con fuentes hídricas.	Zona geográfica que contenga ríos llanos o lineales (V).						
	Ríos con poblaciones en las Riberas (V).						
	ZNI del departamento (V).						
Realizar el estudio del entorno y análisis sectorial.	Sector energético (C).						
	Entorno sociocultural (A).						
	Entorno político-legal (C).						
	Entorno tecnológico (C).						
	Desarrollo del producto (A).						

Cronograma		Mes					
Objetivo específico	Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Elaborar estudio de mercado	Estudio de la demanda (V).						
Determinar la viabilidad técnica del proyecto.	Métodos de evaluación para la localización cuantitativo por puntos (V).						
Definir la estructura administrativa	Definición del tipo de configuración organizacional (C).						
Realizar el estudio legal	Revisión de sentencias (C).						
Efectuar el estudio ambiental	Licencia ambiental (C).						
Realizar la evaluación financiera	Flujos de caja, proyecto e inversionista (V).						
	Análisis de riesgos (A).						

16 Identificación de los recursos

A continuación, en la tabla 34 se listan los recursos físicos necesarios para cada actividad.

Tabla 34

Recursos físicos necesarios para cada actividad

Objetivo específico	Actividades	Recursos
Identificar y seleccionar una ZNI del departamento del Chocó con fuentes hídricas.	Zona geográfica que contenga ríos llanos o lineales (V).	Desplazamiento de personal a las zonas seleccionadas, viajes y estadías.
	Ríos con poblaciones en las Riberas (V).	
	ZNI del departamento (V).	
Realizar el estudio del entorno y análisis sectorial.	Sector energético (C).	Acceso a bases de datos públicas y privadas.
	Entorno sociocultural (A).	
	Entorno político -legal (C).	
	Entorno tecnológico (C).	
Elaborar estudio de mercado.	Desarrollo del producto (A).	Personal para formular encuestas y desarrollar investigaciones de mercado.
	Estudio de la demanda (V).	

Objetivo específico	Actividades	Recursos
Determinar la viabilidad técnica del proyecto.	Métodos de evaluación para la localización cuantitativo por puntos (V).	N/A
Definir la estructura administrativa.	Definición del tipo de configuración organizacional (C.)	N/A
Hacer el estudio legal.	Revisión de sentencias (C.)	N/A
Efectuar el estudio ambiental.	Licencia ambiental (C.)	N/A
Hacer la evaluación financiera.	Flujos de caja, proyecto e inversionista (V)	Herramienta informática específica Microsoft Excel
	Análisis de Riesgos (A)	Herramienta informática específica @Risk

Referencias bibliográficas

- Alegre, A. (2 de febrero, 2022). Mejores créditos de libre inversión 2022. *Rankia*.
<https://www.rankia.co/blog/mejores-creditos-y-prestamos-colombia/3149239-mejores-creditos-libre-inversion>
- Álvarez-Álvarez, E., Rico-Secades, M., Fernández-Jiménez, A., Espina-Valdés, R., Corominas, E. L., & Calleja-Rodríguez, A. J. (2020). Hydrodynamic water tunnel for characterization of hydrokinetic microturbines designs. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(9), 1843-1854. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01924-w>
- Arango, M. C. (5 de marzo, 2019). Panorama energético de Colombia. *Actualidad económica y sectorial*. Grupo Bancolombia.
<https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia>
- Asian Development Bank (2010). *Mini Hydro Pre-Feasibility Studies*.
https://prdrse4all.spc.int/system/files/ta_7329_prefeasibility_reports_hydro_rev5.pdf
- Atrato – Portal informativo (s. f.). Volumen II-Geología y Geomorfología- La cuenca del río Atrato. Rioatrato.org. <http://rioatrato.org/literatura>
- Benítez González, M. P., y Giraldo Gómez, M. I. (2020). *Estudio de prefactibilidad para producción y comercialización de velas a base de soya para fines aromaterapéuticos* [tesis de Grado, Universidad Eafit]. Repositorio Institucional.
<https://repository.eafit.edu.co/xmlui/handle/10784/24832?locale-attribute=en>

- Betancur G., J. D., Ardila, M., J. G., Chica, A., E. L., Graciano, U., J. A., & Vélez García, S. (2020). Evaluation of the fluid-structure interaction of a hydrokinetic turbine blade by computational fluid dynamics and finite element analysis. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(12), 4706-4711. https://ripublication.com/irph/ijert20/ijertv13n12_90.pdf
- Bustamante, C. A., Florez, W. F., Power, H., & Hill, A. F. (2015). Hydrokinetic turbine location analysis by a local collocation method with Radial Basis Functions for two-dimensional Shallow Water equations. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 195, 3-13. <https://doi.org/10.2495/ESUS150011>
- Celsia (s. f.). *Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia*. <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>
- Centro Nacional de Monitoreo – CNM (2021). *Informe telemetría mensual de enero 2021*. <https://ipse.gov.co/cnm/informe-mensuales-telemetry/>
- Centro Nacional de Monitoreo (CNM) e IPSE (2020). *Caracterización energética zonas no interconectadas Centro Nacional de Monitoreo – cnm 2 semestre 2020*. Minenergía.
- Colombia Reports (27 de abril, 2021). *Poverty and inequality*. <https://colombiareports.com/colombia-poverty-inequality-statistics/>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG (s. f.). *Estructura del Sector*. <https://www.creg.gov.co/sectores-que-regulamos/gas-natural/estructura-del-sector-0/estructura-del-sector>

Comisión Nacional de Energía – CNE [Chile] (2020). Informe de costos de tecnologías de generación. *Informe anual*. <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf%0Ahttp://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>

Congreso de Colombia (1993). Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”. *Diario Oficial*, 41146. <https://funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Constitución Política de Colombia (1991). Artículo 365. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Constitucion/1687988>

Corficolombiana (2022). Rentabilidad esperada del capital propio. [https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/221011_Informe Rentabilidad Esperada del Capital Propiov2.pdf/732b9734-fefb-7f13-a694-7fd670a3aae6](https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/221011_Informe_Rentabilidad_Esperada_del_Capital_Propiov2.pdf/732b9734-fefb-7f13-a694-7fd670a3aae6)

Corte Constitucional (2016a). Sentencia T-189/16. [https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/T-189-16.htm#:~:text=\(i\)%20el%20acceso%20al%20servicio,la%20seguridad%20de%20las%20personas](https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/T-189-16.htm#:~:text=(i)%20el%20acceso%20al%20servicio,la%20seguridad%20de%20las%20personas)

Corte Constitucional (2016b). Sentencia T-622, Pub. L. No. Expediente T-5.016.242. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/T-622-16.htm>

Damodaran, A. (2022). *Betas by Sector* (US).

http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE (2010). Colombia. Proyecciones de Población Departamentales por Área 2005 - 2020. *Estudios Postcensales*, 7.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/7Proyecciones_poblacion.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE (2020). Medida de Pobreza Multidimensional Municipal CNPV 2018. *Boletín Técnico* https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2018/informacion-censal/bt-censal-pobreza-municipal-2018.pdf

Dispac (s. f.). *Reseña histórica*. <https://dispac.com.co/nuestra-empresa/resena-historica/>

Duque Márquez, I., Mesa Puyo, D., Lotero Robledo, M., y Sandoval Valderrama, S. (2021). *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia* (R. Ávila, ed.). BID. <https://www.minenergia.gov.co/libro-transicion-energetica>

Duque Daza, J. (2017). El Chocó: clanes familiares, paramilitarismo y corrupción desaforada (primera parte). *Razón Pública*. <https://razonpublica.com/el-choco-clanes-familiares-paramilitarismo-y-corrupcion-desafortada-primera-parte/>

Dynatech (1 de diciembre, 2015). *Tipos de cableado eléctrico*. <http://dynatechtechnologies.blogspot.com/2015/12/tipos-de-cableado-electrico.html>

EPM (2012). Uso inteligente de la energía eléctrica. *Banco de recomendaciones*. https://www.epm.com.co/site/Portals/2/documentos/banco_de_recomendaciones_uso_inteligente_energia_electricamarzo_27.pdf

Escarsa (7 de junio, 2018). *Postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (P.R.F.V.)*.

<https://postesescarsa.wordpress.com/2018/06/07/postes-de-poliester-reforzado-con-fibra-de-vidrio-p-r-f-v/>

EY TSA. (2022). *Modulo puente rectificador 100A-1200-1600v*.

<https://www.eytsa.com/producto/modulo-puente-rectificador-100aifav-1200-1600vrrm-mds100-elesemi/>

Flórez Espinosa, F. (2020). Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central. Caracterización del sector energético. *Región Central*.

<https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/Capitulo-1.-Entidades-y-Agentes-del-mercado-Regio%CC%81n-Central.pdf>

García Suárez, A. L. (2019). El desarrollo de la democracia colombiana y sus efectos en el binomio Fuerzas Militares-ciudadanía. *Revista Científica General José María Córdova*, 17(26), 253-268.

<https://doi.org/10.21830/19006586.393>

Global Petrol Prices (2022). *Colombia Precios del diesel*. Consultado 13 junio de 2022,

en https://es.globalpetrolprices.com/Colombia/diesel_prices/

Gobernación del Chocó (22 de julio, 2021). *Plan Departamental de Desarrollo 2020 – 2023. Generando Confianza*.

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37191/Ver_Documen_to_37191.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Departamento Nacional de Planeación, Gómez, N., Quiroz, O., y Ariza, D. (2017).

Panorámica Regional (3ª ed.). Dnp, 2000, 1–13. [https://](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DesarrolloTerritorial/Portal)

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DesarrolloTerritorial/Portal>

[Territorial/KitSeguimiento/Pobreza/Publicación Ipm deptal.pdf](#)

González, X. (13 de julio, 2020). Energías renovables no convencionales tienen US\$500 millones en inversiones. *La República*.

<https://www.larepublica.co/economia/energias-renovables-no-convencionales-tienen-us500-millones-en-inversiones-3029880>

Google. (2022). Tagachí Chocó.

<https://www.google.com/maps/place/Tagachi,+Vigía+Del+Fuerte,+Antioquia/@6.221786,76.7259796,17z/data=!4m5!3m4!1s0x8e48b369fec960cd:0x8f7ddd9da625fea!8m2!3d6.2213067!4d-76.7262229>

Grupo Aval (2022). *Portal Financiero*. Consultado julio de 2022.

<https://www.grupoaval.com/wps/portal/grupo-aval/aval/portal-financiero/renta-fija/tes/datos-historicos>

Gubinelli, G. (12 de marzo, 2021). Los 37 proyectos de energías renovables que se inaugurarán este año en Colombia. *Energía Estratégica*.

<https://www.energiaestrategica.com/exclusivo-los-37-proyectos-de-energias-renovables-que-se-inauguraran-en-colombia-este-ano/>

Guinard Energies Nouvelles (2021). *The company*. <https://www.guinard-energies.bzh/en/about-us/>

Guinard Energies Nouvelles (2022a). *Hydrokinetic turbine 3.5kW River & Marine renewable energy production*. <https://www.guinard-energies.bzh/en/our->

[products/p66-hydrokinetic-turbine-3-5-kw/](#)

Guinard Energies Nouvelles (2022b). P 154. *Hydrokinetic turbine 20kW. River & Marine current turbine.* <https://www.guinard-energies.bzh/en/our-products/p154-hydrokinetic-turbine/>

Henrique da Costa Oliveira, C., de Lourdes Cavalcanti Barros, M., Alves Castelo Branco, D., Soria, R., & Cesar Colonna Rosman, P. (2021). Evaluation of the hydraulic potential with hydrokinetic turbines for isolated systems in locations of the Amazon region. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101079. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101079>

Human Rights Watch (2020). Colombia. Eventos de 2019. *Informe Mundial 2020.* <https://www.hrw.org/es/world-report/2020/country-chapters/336672>

Ibrahim, W. I., Mohamed, M. R., Ismail, R. M. T. R., Leung, P. K., Xing, W. W., & Shah, A. A. (2021). Hydrokinetic energy harnessing technologies: A review. *Energy Reports*, 7, 2021-2042. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.04.003>

Idénergie (2016). Riverlution Turbine. *Brochure.* <https://idenergie.ca/wp-content/uploads/2016/11/Brochure-Id%C3%A9nergie-Riverlution-Turbine-2016-EN.pdf>

Idénergie (2022). *Idenergy / Idénergie.* <https://idenergie.ca/en/>

Ingfocol Ltda. (2015). Hidroenergía. En Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). *Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia* (pp. 25-36). https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No

Interconectadas – IPSE (2018). *Contexto ZNI*. IPSE

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No

Interconectadas – IPSE (2020). *Informe de Rendición de cuentas 2019 - 2020*.

https://ipse.gov.co/documento_planeacion/documento/rendicion_de_cuentas/2020/

[Informe%20Rendicion%20de%20Cuentas%20IPSE%202020.pdf](https://ipse.gov.co/documento_planeacion/documento/rendicion_de_cuentas/2020/Informe%20Rendicion%20de%20Cuentas%20IPSE%202020.pdf)

Inter Eléctricas – ÍE (2022). *Transformador Monofasico en Aceite de 10 KVA - 13.200 v -*

120 - 240 v. [https://interelectricas.com.co/transformadores/2376-transformador-](https://interelectricas.com.co/transformadores/2376-transformador-monofasico-en-aceite-de-10-kva-13200-v-120-240-v-abb-ref-uaa0132.html)

[monofasico-en-aceite-de-10-kva-13200-v-120-240-v-abb-ref-uaa0132.html](https://interelectricas.com.co/transformadores/2376-transformador-monofasico-en-aceite-de-10-kva-13200-v-120-240-v-abb-ref-uaa0132.html)

International Fund for Agricultural Development – IFAD (2016). *Investing in rural people*

in

Colombia.

<https://www.ifad.org/documents/38714170/39150184/Investing+in+rural+people+in>

[+Colombia.pdf/ee2fe52b-dab3-436c-8a2b-5f91e40d5c6d](https://www.ifad.org/documents/38714170/39150184/Investing+in+rural+people+in+Colombia.pdf/ee2fe52b-dab3-436c-8a2b-5f91e40d5c6d)

Khan, M. J., Iqbal, M. T., & Quicoe, J. E. (2008). River current energy conversion

systems: Progress, prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy*

Reviews, 12(8), 2177–2193. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.04.016>

Klinger Braham, W., y Ramírez Moreno, G. (2011). Estructura ecológica principal de la

región del Chocó Biogeográfico colombiano. *Atrato - Portal Informativo*.

<http://rioatrato.org/literatura>

Koko, S. P., Kusakana, K., & Vermaak, H. J. (2015). Micro-hydrokinetic river system

modelling and analysis as compared to wind system for remote rural electrification.

Electric Power Systems Research, 126, 38-44.

<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.04.018>

- Kusakana, K. (2015). Feasibility analysis of river off-grid hydrokinetic systems with pumped hydro storage in rural applications. *Energy Conversion and Management*, 96, 352-362. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.089>
- Ladokun, L. L., Sule, B. F., Ajao, K. R., & Adeogun, A. G. (2018). Resource assessment and feasibility study for the generation of hydrokinetic power in the tailwaters of selected hydropower stations in Nigeria. *Water Science*, 32(2), 338-354. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.05.003>
- Laws, N. D., & Epps, B. P. (2016). Hydrokinetic energy conversion: Technology, research, and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1245-1259. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.189>
- Lin, S., Ma, T., & Shahzad Javed, M. (2020). Prefeasibility study of a distributed photovoltaic system with pumped hydro storage for residential buildings. *Energy Conversion and Management*, 222(February), 113199. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113199>
- López Muñoz, L. V. (2019). Pobreza y subdesarrollo rural en Colombia. Análisis desde la Teoría del Sesgo Urbano. *Estudios Políticos*, 54, 59-81. <https://doi.org/10.17533/udea.espo.n54a04>
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind Energy Explained*. John Wiley & Sons.
- Maquitec de Colombia (2022). *Planta Eléctrica Diésel Cabinada KTC 10 kW 110/220V 1F Silencioso 437-SDG12-1*. <https://cutt.ly/iZ7dfSk>
- Martínez, E. (2014). Estudio de suelos de la cuenca del río Atrato. *Ideam*.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/371/2014edisonmartinez2.pdf?sequence=7>

Max Meter (2022). Medidor monofasico 120V. *Mercado Libre*. <https://cutt.ly/5Z7fKv8>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo – MinCIT (2003). *Decreto 210 de 2003*, por el cual se determinan los objetivos y la estructura orgánica del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial*, 45086. <https://www.mincit.gov.co/normatividad/decretos/2003>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo – Mincomercio (2021). *Información : Perfiles Económicos Departamentales* [diapositivas] PowerPoint. Recuperado 2021, de <https://www.mincit.gov.co/estudios-economicos/perfiles-economicos-por-departamentos>

Ministerio de Minas y Energía – Minenergía (2005). Resolución 18 0498. Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 180398 de 2004. *Diario Oficial*, 45.895. <https://www.mincit.gov.co/temas-interes/reglamentos-tecnicos/ministerio-de-minas-y-energia/resolucion-18-0498-del-29-de-abril-de-2005.aspx>

Ministerio de Minas y Energía – Minenergía (2020). *La Transición Energética de Colombia* (R. Ramirez, L. Quiroga, y S. Acosta, eds.). https://www.minenergia.gov.co/documents/5744/Memorias_al_Congreso_2019-2020.pdf

Ministerio de Minas y Energía – Minenergía (2021). Sección 2. Fondo de apoyo financiero para la energización de las zonas no interconectadas – FAZNI. *Normativa*. <https://www.minenergia.gov.co/fazni1>

Ministerio de Minas y Energía – Minenergía (2022). Subsección 2.6 - Obligaciones de las Empresas de Servicios Públicos y Entidades de la Rama Ejecutiva del Orden Nacional. *Normativa*. <https://minenergia.gov.co/es/repositorio-normativo/normativa/obligaciones-de-las-empresas-de-servicios-p%C3%BAblicos-y-entidades-de-la-rama-ejecutiva-del-orden-nacional/>

Ministerio de Minas y Energía (Minenergía) y Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (2020). *Plan Energético Nacional 2020-2050*. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf

Montoya Ramírez, R. D., Isaza Cuervo, F., & Monsalve Rico, C. A. (2016). Technical and financial valuation of hydrokinetic power in the discharge channels of large hydropower plants in Colombia: A case study. *Renewable Energy*, 99, 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.047>

Mototech (2022). *Mecc Alte BTP3-1S/4*. <https://mototech.ru/komplektuyushchie-i-zapchasti/alternatory/mecc-alte-btp3-1s-4/>

Musa, M., Heisel, M., & Guala, M. (2018). Predictive model for local scour downstream of hydrokinetic turbines in erodible channels. *Physical Review Fluids*, 3(2), 024606. <https://doi.org/10.1103/PhysRevFluids.3.024606>

Naciones Unidas (1978). *Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial*. Organización de las Naciones Unidad para el Desarrollo Industrial (Onudi). <https://open.unido.org/api/documents/4690277/download/MANUAL%20FOR%20THE%20PREPARATION%20OF%20INDUSTRIAL%20FEASIBILITY%20STUDIES>

[%20%2808219s.es%29](#)

Niebuhr, C. M., van Dijk, M., Neary, V. S., & Bhagwan, J. N. (2019). A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: Technology, applicability and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109240. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.047>

O'Boyle, B. (2017). A tale of two Colombias. *Americas Quarterly*. <https://www.americasquarterly.org/fullwidthpage/town-country-a-visual-guide-to-colombias-urban-rural-divide/>

Okot, D. K. (2013). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515-520. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.006>

Olatunji, O. A. S., Raphael, A. T., & Yomi, I. T. (2018). Hydrokinetic energy opportunity for rural electrification in Nigeria. *International Journal of Renewable Energy Development*, 7(2), 183-190. <https://doi.org/10.14710/ijred.7.2.183-190>

Ortegón, E., Pacheco, J., y Prieto, A. (2015). Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. *Serie Manuales Cepal*, 42. Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/5607>

Presidencia de la República (1981). Decreto 1541 de 1978. Modificado por el Decreto Nacional 2858 de 1981. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. *Diario Oficial*. <https://funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1250>

Presidencia de la República (2011a). *Decreto 3570 de 2011. Por el cual se modifican los*

objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

https://www.minambiente.gov.co/images/Ministerio/Misi3n_y_Vision/dec_3570_270911.pdf

Presidencia de la Rep3blica (2011b). Decreto 3573. Por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales –ANLA– y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial*, 48.205.

<http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2011/Documents/Septiembre/27/dec357327092011.pdf>

Presidencia de la Rep3blica (2014). Decreto 2041 de 2014, por el cual se reglamenta el T3tulo VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. *Diario Oficial* 49305.

<https://www.jep.gov.co/Normograma/Administracio%CC%81n%20de%20Bienes%20y%20Servicios/18%20Decreto%202041%20de%202014.pdf>

Quibdoeducativa (s. f.). *Tagach3*. *Corregimientos del municipio de Quibd3*.

<https://quibdoeducativa.wordpress.com/tagachi/>

Quiroa, M. (2022). Energ3a renovable. *Economipedia*.

<https://economipedia.com/definiciones/energia-renovable.html>

123RF. (2022). Estacionamiento de autoservicio estaci3n de pago con la energ3a solar.

https://es.123rf.com/photo_18011557_estacionamiento-de-autoservicio-estaci3n-de-pago-con-la-energ3a-solar.html

Riva, G., Giakoumelos, E., Malamatenios, C., & Signanini, P. (2018). Handbook on Renewable Energy Sources. In *Comprehensive Energy Systems* (Vols. 1–5).

https://www.ener-supply.eu/downloads/ENER_handbook_en.pdf

Sánchez, C. (2016). Turbinas hidrocínéticas una alternativa para generación eléctrica. *Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial*, 5(2), 10-15.

https://www.researchgate.net/publication/322835380_TURBINAS_HIDROCINETICAS_UNA_ALTERNATIVA_PARA_GENERACION_ELECTRICA

Semana (21 de octubre, 2019). *Los Sánchez Montes de Oca: el cuestionado clan que quiere recuperar el poder en Chocó*. <https://www.semana.com/nacion/articulo/los-sanchez-montes-de-oca-el-cuestionado-clan-que-quiere-recuperar-el-poder-en-choco/636886/>

Shinn, L. (1 de junio, 2022). Renewable Energy: The Clean Facts. NRDC. <https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>

Siciliano, L. (24 de noviembre, 2016). This portable turbine turns a river's energy into power for your home. *Insider*. <https://www.businessinsider.com/idenergie-portable-turbine-turns-river-energy-power-home-environment-green-2016-11>

Sierra Vargas, F. E., Sierra Alarcón, A. F., y Guerrero Fajardo, C. A. (2011). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. *Informador Técnico*, 75, 73-85. <https://doi.org/10.23850/22565035.22>

Silva Mariño, P. T. (2010). Código sustantivo del trabajo. Código procesal del trabajo y de la seguridad social. *Códigos de bolsillo "Jorge Ortega Torres"* (8ª. ed.). Temis.

Sipares (2019). *Patronaje vs cacicazgo político Chocó*. <https://docslib.org/doc/4116542/informe-completo-clanes-pol%C3%ADticos-del-choc%C3%B3>

- Smart Hydro Power (2010a). *Smart Free Stream Turbine*. 1. <http://www.smart-hydro.de/renewable-energy-systems/hydrokinetic-turbines-river-canal/>
- Smart Hydro Power (2010b). *Smart monofloat turbine*. 1. <http://www.smart-hydro.de/renewable-energy-systems/hydrokinetic-turbines-river-canal/>
- Smart Hydro Power (2015a). *Proyecto de Riego SMART en Neiva, Colombia*. <https://www.smart-hydro.de/es/blog/2015/05/05/hybrid-power-plant-solar-panels-river-turbine-optimal-solution-decentralized-electrification-colombia/>
- Smart Hydro Power (2015b). *Proyecto SMART de Electrificación Híbrida de una Aldea en Marisol, Perú*. <https://www.smart-hydro.de/es/proyectos-energias-renovables/electrificacion-hibrida-de-una-aldea-peru/>
- Smart Hydro Power (2016). *Servicios Comunitarios con un Sistema Híbrido SMART en Bellavista, Perú*. <https://www.smart-hydro.de/es/proyectos-energias-renovables/servicios-comunitarios-con-un-sistema-hibrido-smart-en-peru/#project>
- Smart Hydro Power (2022a). *Images*. <https://www.smart-hydro.de/decentralized-rural-electrification-projects-worldwide/germany-turbine-behind-power-plant/>
- Smart Hydro Power. (2022b). *Products Overview*. <https://www.smart-hydro.de/renewable-energy-systems/prices-hydrokinetic-photovoltaic/>
- Solar Reviews (19 de mayo, 2022). *Calculate how many solar panels you need for your home*. <https://www.solarreviews.com/blog/how-many-solar-panels-do-i-need-to-run-my-house>
- Solartex (2022). *Cable AWG N°6 Soldador Soldaflex*. <https://www.solartex.co/tienda/producto/cable-awg-6-0-soladador-soldaflex/>

Suconel (2022). *Multimetro Digital Unit UT39C*. <https://suconel.com/product/multimetro-digital-unit-ut39c-2/>

Suconel (2022). *Pinza Amperimetrica Flexible Profesional Trms De 3000A UT281C*. <https://suconel.com/product/pinza-amperimetrica-flexible-profesional-trms-de-3000a-ut281c/>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – Superservicios (2021). *Zonas No Interconectadas –ZNI. Informe Sectorial de la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica 2021*. https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe_sectorial_zni_2021%20%281%29.pdf

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – Superservicios (2020). *Zonas No Interconectadas –ZNI. Informe Sectorial de la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica 2020*. <https://vdocuments.net/zonas-no-interconectadas-zni-informe-sectorial-de-la-zonas-no-interconectadas.html?page=1>

Suryadimal, S., Ambiyar, A., Ganefri, G., Rizal, F., & Jalinu, N. (2020). Selection criteria of feasibility assessment on mini hydro power plant in Batang Sumani River Solok West Sumatera. *Journal of Physics: Conference Series*, 1469(1), 012177. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1469/1/012177>

Toda colombia. (2022). Municipios del Chocó División Política. <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/choco/municipios-division-politica.html#1>

Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable Energy Resources* (3rd. ed.). Roulledge. <https://doi.org/10.4324/9781315766416>

Universidad de Barcelona (2022). *Sistema Político*.

<http://www.solidaritat.ub.edu/observatori/esp/colombia/datos/sistema1.htm#inici>

Universidad del Valle (s. f.). *Chocó*. Centro de Investigaciones Pacífico.

<http://pacifico.univalle.edu.co/region-pacifico/choco>

Unwin, J. (28 de enero, 20202). *What is geothermal energy?* [https://www.power-](https://www.power-technology.com/features/what-is-geothermal-energy/)

[technology.com/features/what-is-geothermal-energy/](https://www.power-technology.com/features/what-is-geothermal-energy/)

Urrego, A. (4 de septiembre, 2021). Demanda de energía eléctrica en zonas no interconectadas ha incrementado 25,9%. *La República*.

<https://www.larepublica.co/economia/demanda-de-energia-electrica-en-zonas-no-interconectadas-ha-incrementado-25-9-3227491>

Valora Analitik (7 de octubre, 2020). Sector energético en Colombia tiene 33 proyectos priorizados con inversiones por \$36 billones. *Valora Analitik*.

<https://www.valoraanalitik.com/2020/10/07/sector-energ-tico-en-colombia-tiene-33-proyectos-priorizados-con-inversiones-por-36-billones/>

Van Els, R. H., & Brasil Junior, A. C. P. (2015). The Brazilian Experience with Hydrokinetic Turbines. *Energy Procedia*, 75, 259-264.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.328>

Vermaak, H. J., Kusakana, K., & Koko, S. P. (2014). Status of micro-hydrokinetic river technology in rural applications: A review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 625–633.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.066>

Waterotor Energy Technologies (2022). Waterotor Energy Technologies Low cost power from slow moving water. *Products*. <https://waterotor.com/products/#specsheat>

Xu, W., & Matzner, S. (2018). Underwater Fish Detection Using Deep Learning for Water Power Applications. *2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2018*, 313-318. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/CSCI46756.2018.00067>