

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META
Facultad de Ingeniería Eléctrica



UNIMETA
Fundada en 1985

TRABAJO DE GRADO

Diseño de una Micro central Hidroeléctrica para el suministro eléctrico del sistema de iluminación del Mariposario del PMML de la Corporación Universitaria del Meta

PRESENTADO POR

Natalia Sofia Olaya Barragán

José Daniel Silva Daza

TRABAJO DE TESIS

Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Electricistas

Villavicencio
Septiembre, 2024

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META
Facultad de Ingeniería Eléctrica



TRABAJO DE GRADO

Diseño de una Micro central Hidroeléctrica para el suministro eléctrico del sistema de iluminación del Mariposario del PMML de la Corporación Universitaria del Meta

PRESENTADO POR

Natalia Sofia Olaya Barragán

José Daniel Silva Daza

TRABAJO DE TESIS

Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Electricistas

DIRECTOR DISCIPLINAR

Luciano Emilio Belandria Uzcátegui
Ing. Electricista – Ph. D en Ingeniería eléctrica

DIRECTOR METODOLÓGICO

Luis Andres Bobadilla Bautista
Ing. Civil – Esp en Estructuras

Villavicencio
Septiembre, 2024

DEDICATORIA

Dedico este proyecto inicialmente a Dios, por haberme guiado hasta este momento en mi camino profesional y personal. A mi familia, mi pilar y fuente de inspiración, les dedico este trabajo con profundo agradecimiento, por su incondicional apoyo y motivación en cada paso de este camino. También dedico este proyecto a aquellas personas que han sido parte esencial de mi formación educativa, a mis amigos, compañeros de clase y educadores de la Corporación Universitaria del Meta, quienes con su dedicación y ejemplo han contribuido significativamente a mi crecimiento como estudiante y futuro ingeniero.

José Daniel Silva Daza

Con profunda gratitud, agradezco a Dios por su guía en cada paso de este viaje académico.

A mi querida familia, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido el pilar de mi trayectoria, su aliento ha sido mi fuerza en los momentos más difíciles y su celebración, mi mayor alegría en los logros alcanzados.

A mis mentores, Luciano Belandria y Luis Bobadilla, quienes han dirigido mis pasos con sabiduría. Su dedicación y compromiso me han motivado a superar obstáculos y a crecer profesionalmente.

Y a ti, mujer en ingeniería, que desafías los límites y contribuyes con tu talento y pasión al progreso de la ciencia y la tecnología, tu persistencia es una luz que ilumina el camino para las futuras generaciones. ¡Gracias por ser un ejemplo de fuerza y determinación!

Natalia Sofia Olaya Barragán

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su guía constante y su infinita bondad, que han sido mi fuerza en cada paso de este camino. A mi familia, mi más sincero agradecimiento por su amor incondicional y su apoyo constante y a quienes les debo todo mi éxito y gratitud por ser mi pilar en este viaje y confiar en mí.

Quiero expresar mi reconocimiento especial a los ingenieros Luciano Belandria y Luis Andres Bobadilla por su invaluable orientación y asesoramiento durante este proceso, quienes fueron parte fundamental en la creación de este proyecto. Agradezco también a mis amigos, compañeros de clase y educadores de la Corporación Universitaria del Meta por su colaboración y apoyo durante esta etapa crucial de mi formación académica.

José Daniel Silva Daza

Agradezco de todo corazón a mis mentores, Luciano Belandria y Luis Bobadilla, cuya guía, apoyo incondicional y sabiduría fueron fundamentales en cada fase de este trabajo.

También quiero reconocer a mi compañero de toda la carrera, José Daniel Silva, por su colaboración, amistad y por compartir conmigo los desafíos y triunfos en este recorrido conjunto.

Expreso mi gratitud a la Corporación Universitaria del Meta por proporcionarme los espacios, recursos y herramientas necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Además, doy las gracias a todas las personas que, tanto dentro como fuera de la universidad, contribuyeron con su apoyo, motivación y conocimientos para hacer realidad este proyecto. Su generosidad y cooperación fueron cruciales para alcanzar nuestros objetivos.

Natalia Sofia Olaya Barragán

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	20
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
3	JUSTIFICACIÓN	24
4	OBJETIVOS	27
	4.1 OBJETIVO GENERAL:.....	27
	4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	27
5	ANTECEDENTES	28
	5.1 PANORAMA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	34
6	MARCO DE REFERENCIA.....	36
	6.1 MARCO GEOGRÁFICO	36
	6.2 MARCO HISTÓRICO	38
	6.3 MARCO TEÓRICO:	40
	6.3.1 Clasificación Centrales Hidroeléctricas:.....	41
	6.3.2 Centrales de agua fluyente o de pasada:	42
	6.3.3 Centrales de embalse:.....	42
	6.3.4 Centrales de acumulación por bombeo:	42
	6.3.5 Centrales mareomotrices:	42
	6.3.6 Potencial Hidro energético de los Llanos:.....	42
	6.3.7 Subregión del Ariari:.....	45
	6.3.8 Subregión Piedemonte:.....	46
	6.3.9 Subregión Rio Meta:.....	47
	6.3.10 Subregión Capital:.....	48
	6.3.11 Componentes de una Central Hidroeléctrica:	49
	6.3.12 1. Selección del Tipo de Turbina	51
	6.3.13 Selección del Diámetro de Tubería.....	52
	6.3.14 Resultados del Análisis Técnico	52
	6.3.15 Esquemas y Ubicación de Componentes	54
	6.3.16 Turbinas Hidráulicas.....	56
	6.3.17 Generador.....	61
	6.3.18 Tipos de Generadores.....	62

	6.4	MARCO LEGAL:.....	64
7		METODOLOGÍA.....	66
	7.1.	<i>Identificación y Análisis del Problema</i>	66
	7.2.	<i>Estudio del Área de Implementación</i>	67
	7.3.	<i>Cálculo del Caudal Disponible</i>	67
	7.4.	<i>Selección de la Turbina</i>	68
	7.5.	<i>Diseño del Sistema de Iluminación</i>	69
	7.6.	<i>Dimensionamiento de los Componentes Eléctricos</i>	70
	7.7.	<i>Diseño del Sistema de Captación de Agua</i>	70
	7.8.	<i>Instalación del Sistema Hidroeléctrico</i>	71
8		RESULTADOS.....	72
	8.1	DISEÑO DE LA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA:.....	72
	8.2	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA:.....	73
	8.3	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	84
	8.4	DATOS METEOROLÓGICOS DE LA ZONA:.....	85
	8.5	ESTIMACIÓN DEL CAUDAL.....	86
	8.6	REGLA DE LOS TRAPECIOS.....	89
	8.7	ESTIMACIÓN SALTO DE AGUA.....	95
	8.8	SELECCIÓN TIPO DE MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	98
	8.9	OBRAS CIVILES:.....	99
	8.10	SISTEMA DE GENERACIÓN.....	106
	8.11	TURBINA HIDRÁULICA.....	106
	8.12	VELOCIDAD ESPECIFICA DE LA TURBINA.....	108
	8.13	GENERADOR ELÉCTRICO.....	114
	8.14	VELOCIDAD SÍNCRONA:.....	115
	8.15	POTENCIA ÚTIL.....	117
	8.16	REGULACIÓN DE VOLTAJE.....	120
	8.17	INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	121
	8.18	CONDUCTOR ELÉCTRICO.....	123
	8.18.1	<i>Cálculos para la Selección del Conductor Eléctrico</i>	123
	8.18.2	<i>Análisis Económico</i>	126
	8.18.3	<i>Impacto Ambiental</i>	130
9		DISCUSIÓN.....	131

	9.1	RESULTADOS OBTENIDOS Y POTENCIA DE GENERACIÓN:	131
	9.2	VIABILIDAD FINANCIERA:	131
	9.3	IMPACTO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD:.....	131
	9.4	DESAFÍOS Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	132
	9.5	COMPARACIÓN CON OTROS PROYECTOS	132
	9.6	VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA	133
10		CONCLUSIONES.....	134
11		REFERENCIAS	136

Lista de Figuras

Figura 1 Potencial Desarrollado y Remanente de la Pequeña Central Hidroeléctrica de ≤ 10 MW por Región (MW)	32
Figura 2 Capacidad Instalada de Pequeña Central Hidroeléctrica de ≤ 10 MW por País	33
Figura 3 Georreferenciación del Parque Metropolitano María Lucia	37
Figura 4 Fuentes Hídricas del Parque Metropolitano María Lucia PMML	38
Figura 5 Regiones geográficas del Departamento del Meta	43
Figura 6 Red hidrológica del Departamento del Meta.....	44
Figura 7 Potencial Hidro energético de la Subregión del Ariari.....	46
Figura 8 Potencial Hidro energético de la Subregión del Pie de Monte	47
Figura 9 Potencial Hidro energético de la Subregión del Rio Meta	48
Figura 10 Potencial Hidro energético de la Subregión Capital.....	49
Figura 11 Turbina Helicoidal pequeña central Hidroeléctrica.....	57
Figura 12 Turbina Pelton pequeña central Hidroeléctrica	58
Figura 13 10 Turbina Francis pequeña central Hidroeléctrica.....	59
Figura 14 Turbina Kaplan pequeña central Hidroeléctrica	60
Figura 15 Turbina Kaplan pequeña central Hidroeléctrica	60
Figura 16 Turbina acoplada al generador.....	61
Figura 17 Diagrama de Flujo, Desarrollo del Diseño de la MCH.....	72
Figura 18 Estructura Geodésica – Mariposario del PMM.....	75
Figura 19 Distancia del sendero	78
Figura 20 Mariposario	79
Figura 21 11.5 Área de la presa.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 22 General	80

Figura 23 Diagrama - Cuadro de cargas	83
Figura 24 Esquema simplificado del proceso de generación hidroeléctrica en una MCH	84
Figura 25 Análisis de precipitaciones 2017-2022.	86
Figura 26 Sección transversal del canal.....	88
Figura 27 Medición sección transversal del canal #1.....	88
Figura 28 Medición sección transversal del canal #2.....	88
Figura 29 Figura método del flotador superficial.....	91
Figura 30 Medición de la velocidad del flujo mediante el método del flotador.....	92
Figura 31 Punto más alto Z_m	96
Figura 32 Punto bajo Z_a	96
Figura 33 Cotas de nivel y componentes generales de una turbina Kaplan.....	97
Figura 34 Micro hidroeléctrica con presa.....	99
Figura 35 Dimensiones del canal	100
Figura 36 Vista General de la Presa.....	102
Figura 37 Vista Posterior de la presa	103
Figura 38 Vista Frontal de la presa.....	103
Figura 39 Vista Lateral Derecha de la presa.....	104
Figura 40 Vista Lateral izquierda de la presa.....	104
Figura 41 Vista de superior de la presa.....	105
Figura 42 Rejilla en la compuerta	106
Figura 43 Rejilla llegada a la turbina	106
Figura 44 Diagrama selección de turbina	107
Figura 45 Turbina Kaplan.....	107
Figura 46 Zona de operación de las turbinas.....	110
Figura 47 Sistema de Generación – MCH.....	115

Figura 48 Partes de un generador síncrono de imán permanente	115
Figura 49 Diagrama Unifilar - Protecciones	120
Figura 50 Diagrama unifilar de la instalación eléctrica.....	122

Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación de Centrales Hidroeléctricas según su capacidad de generación.....	41
Tabla 2 Aspectos relevantes de una hidroeléctrica.....	52
Tabla 3 Aspectos operativos para el diseño de Hidroeléctrica.....	55
Tabla 4 Tipos de Generadores.....	63
Tabla 5 Criterios guía para la escogencia de zonas estipuladas con Clases de iluminación P para otras zonas del espacio público.	74
Tabla 6 Clases de iluminación P para otras zonas del espacio público	75
Tabla 7 Dimensiones del Mariposario.....	76
Tabla 8 Categorización Grados de Protección	81
Tabla 9 Estimación de la Demanda.....	83
Tabla 10 Precipitación Anual.....	85
Tabla 11 Áreas sección transversal del Canal.....	91
Tabla 12 Distancias y tiempos del Objeto en el canal.....	92
Tabla 13 Relación entre distancia recorrida y velocidad.....	93
Tabla 14 Parámetros para el cálculo del caudal	95
Tabla 15 Comparación de alturas.....	96
Tabla 16 Relación Velocidad especifica y tipo de Turbina	109
Tabla 17 Características Turbina Kaplan Seleccionada	110
Tabla 18 Comparativo número de polos y velocidad de rotación.....	116
Tabla 19 Características Generador síncrono	118
Tabla 20 Dispositivos de Protección.....	119
Tabla 21 Características Regulador de Voltaje.....	121
Tabla 22 Llenado permitido en tuberías eléctricas	126

Tabla 23 Análisis Económico	127
-----------------------------------	-----

Glosario

Caudal: Cantidad de agua que pasa por un punto específico de un río o corriente en un tiempo determinado, generalmente medido en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

Generador: Dispositivo que convierte la energía mecánica en energía eléctrica, utilizado en centrales hidroeléctricas para producir electricidad a partir del movimiento de las turbinas.

Micro central hidroeléctrica: Pequeña planta de generación de energía hidroeléctrica, generalmente con una capacidad de generación de hasta 100 kW, diseñada para abastecer de electricidad a áreas locales o específicas.

Turbina: Máquina que convierte la energía del agua en movimiento en energía mecánica mediante la rotación de sus palas o álabes, lo cual impulsa el generador para producir electricidad.

Potencia eléctrica: Cantidad de energía eléctrica generada o consumida por unidad de tiempo, medida en vatios (W) o kilovatios (kW).

Carga: Diferencia de altura entre la toma de agua y la salida en una central hidroeléctrica, que determina la cantidad de energía potencial (energía almacenada en un sistema debido a la posición de sus componentes) disponible para generar electricidad.

Transformador: Dispositivo eléctrico que ajusta los niveles de voltaje de la corriente eléctrica, permitiendo su distribución eficiente desde la central hidroeléctrica hasta los usuarios finales.

Sistema de iluminación: Conjunto de dispositivos eléctricos utilizados para iluminar un área específica, en este caso, el mariposario, alimentado por la energía generada por la micro central.

Eficiencia del sistema: Medida de cuánta energía útil se obtiene en comparación con la energía total disponible, un factor clave para evaluar el desempeño de una central hidroeléctrica.

KW (Kilovatio): Unidad de medida de la potencia eléctrica equivalente a 1.000 vatios, utilizada para cuantificar la capacidad de generación o consumo de electricidad.

KWh (Kilovatio-hora): Unidad de medida de la energía eléctrica equivalente al consumo de un kilovatio de potencia durante una hora, comúnmente utilizada para facturar el consumo de electricidad.

Energía renovable: Energía obtenida de fuentes naturales que se regeneran de manera continua, como la energía hidráulica, solar, y eólica.

Impacto ambiental: Efectos que una acción o proyecto tiene sobre el medio ambiente, incluyendo la flora, fauna, aire, agua y suelo.

Sostenibilidad: Capacidad de un proyecto o proceso de mantenerse en el tiempo sin agotar los recursos naturales ni causar un daño ambiental significativo.

Energía renovable: Energía obtenida de fuentes naturales que se reponen a sí mismas, como el agua en este caso.

Vertedero: Estructura diseñada para controlar el exceso de agua en un embalse o presa, permitiendo que el agua sobrante se libere de manera controlada y segura, evitando desbordamientos y regulando el caudal que pasa por la central hidroeléctrica.

Transición energética: Proceso mediante el cual se cambia de un sistema energético basado en combustibles fósiles a uno basado en fuentes de energía renovables y sostenibles, como la energía hidroeléctrica. En el contexto de tu proyecto, la transición energética implica la adopción de tecnologías limpias y renovables para mejorar la sostenibilidad del suministro eléctrico del mariposario.

Eficiencia: En el ámbito de la ingeniería hidroeléctrica, la eficiencia se refiere a la capacidad de una micro central hidroeléctrica para convertir la energía potencial del agua

en electricidad utilizable de manera óptima. Se mide como la relación entre la energía generada y la energía total disponible en el flujo de agua, reflejando cuán efectivamente se aprovecha el recurso hídrico para el suministro de energía.

Resumen

Este proyecto de investigación tiene como objetivo principal diseñar una micro central hidroeléctrica capaz de suministrar energía eléctrica al mariposario del Parque Metropolitano María Lucía (PMML) de la UNIMETA, al hacerlo, se busca promover la generación de energía limpia y renovable, convirtiendo al parque en un referente de sostenibilidad e innovación, esta iniciativa se alinea con otros proyectos existentes en el área, creando un ecosistema integral que fomenta la investigación y la educación.

El diseño de este sistema de generación tiene como finalidad suministrar energía para el sistema de iluminación del mariposario y sus alrededores, para lograrlo, se adopta una metodología mixta, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos. A través de una búsqueda exploratoria secuencial, se recolectan datos in situ mediante mediciones hidrométricas, georreferenciación y cartografía en ArcGIS, posteriormente, se realizan cálculos hidráulicos, eléctricos y de iluminación, donde se procede al dimensionamiento de la infraestructura y la selección de los equipos óptimos: generador, turbina, regulador y demás equipos, estableciendo así los parámetros de diseño del sistema de distribución, generación e iluminación del mariposario.

Seguidamente, se realiza un análisis de la información recopilada, lo cual permite determinar el tipo de micro central hidroeléctrica (MCH) y equipos más adecuados para el proyecto. Donde tras realizar una evaluación de diversas alternativas, se opta por una MCH de embalse y se selecciona una turbina Kaplan que ira acoplada directamente a un generador de imán permanente para garantizar una operación eficiente, con el fin de estabilizar la tensión de salida, se incorpora un regulador de tensión al sistema, paralelamente, se desarrolla el diseño del sistema de iluminación, incluyendo las protecciones eléctricas necesarias. Para visualizar y analizar el proyecto en su conjunto, se elaboran modelos bidimensionales y tridimensionales utilizando el software de diseño

asistido por computadora (AutoCAD). Finalmente, se lleva a cabo estudios de viabilidad económica y ambiental para evaluar la sostenibilidad y rentabilidad del proyecto.

Es así, como la implementación de esta micro central hidroeléctrica no solo resolverá las necesidades energéticas del mariposario, sino que también contribuirá a la investigación, la educación y la sostenibilidad de la región, marcando un avance significativo en la gestión responsable de los recursos naturales, sumado a esto, proporcionará una guía para la implementación del sistema a los interesados, permitiéndoles realizar análisis de eficiencia esperada y revisar los requisitos para su instalación.

Palabras clave: *Micro central hidroeléctrica, iluminación, eficiencia, sostenibilidad energética, energía eléctrica, Mariposario.*

Abstract

The main objective of this research project is to design a micro hydroelectric power plant capable of supplying electricity to the butterfly garden of the Maria Lucia Metropolitan Park (PMML) of UNIMETA, by doing so, it seeks to promote the generation of clean and renewable energy, making the park a benchmark of sustainability and innovation, this initiative is aligned with other existing projects in the area, creating a comprehensive ecosystem that promotes research and education.

The design of this generation system is intended to supply energy for the lighting system of the butterfly farm and its surroundings, to achieve this, a mixed methodology is adopted, combining qualitative and quantitative approaches. Through a sequential exploratory search, in situ data are collected through hydrometric measurements, georeferencing and mapping in ArcGIS, then hydraulic, electrical and lighting calculations are made, where the infrastructure is sized and the optimal equipment is selected: generator, turbine, regulator and other equipment, thus establishing the design parameters of the distribution, generation and lighting system of the butterfly farm.

Next, an analysis of the information collected is carried out, which allows determining the type of micro hydroelectric power plant (MCH) and the most appropriate equipment for the project. After an evaluation of various alternatives, a reservoir MCH is chosen, selecting a Kaplan turbine directly coupled to a permanent magnet generator to ensure efficient operation, in order to stabilize the output voltage, a voltage regulator is incorporated into the system, in parallel, the design of the lighting system is developed, including the necessary electrical protections. To visualize and analyze the project as a whole, two-dimensional and three-dimensional models are developed using computer-aided design software (AutoCAD). Finally, economic and environmental feasibility studies are carried out to evaluate the sustainability and profitability of the project.

Thus, the implementation of this micro hydroelectric power plant will not only solve the energy needs of the butterfly farm, but will also contribute to research, education and sustainability of the region, marking a significant advance in the responsible management of natural resources, in addition to this, it will provide a guide for the implementation of the system to stakeholders, allowing them to perform expected efficiency analysis and review the requirements for installation.

Keywords: *Micro hydroelectric power plant, lighting, efficiency, energy sustainability, electric power, Mariposario.*

1 Introducción

Ante la necesidad global de mitigar el cambio climático y fomentar la sostenibilidad, el Parque Metropolitano María Lucía se posiciona como un referente en la adopción de prácticas ecológicas. El diseño de una Micro central Hidroeléctrica (MCH) en este espacio no solo responde a la necesidad de diversificar la matriz energética, sino que también representa un compromiso con la conservación del medio ambiente y la eficiencia en el uso de los recursos naturales, este proyecto se erige como un ejemplo tangible de cómo aprovechar el potencial hídrico local para generar energía limpia y contribuir al desarrollo sostenible.

Con este proyecto se busca abastecer de energía al mariposario del Parque Metropolitano María Lucía (PMML), esta iniciativa se alinea con el objetivo del parque de convertirse en un referente en la generación de energías renovables, fortaleciendo su compromiso con la conservación y la educación ambiental, al diversificar su matriz energética. El diseño de la MCH no solo permite garantizar la autonomía energética para el mariposario, sino que también representa un avance significativo en la construcción de un sistema de generación distribuida capaz de cubrir un porcentaje de la demanda energética del PMML, en este sentido, la creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles y eficientes ha llevado a la exploración de fuentes de energía renovables a pequeña escala, como las micro centrales hidroeléctricas, que aprovechan recursos hídricos disponibles en áreas específicas para generar energía de manera limpia y constante [1],

La investigación implementa un estudio exploratorio y un enfoque metodológico mixto, donde combina enfoques cuantitativo y cualitativo, inicialmente, se realiza una revisión de proyectos similares para fundamentar el diseño, posteriormente, se lleva a cabo un levantamiento de datos hidrométricos y geográficos in situ, con el objetivo de caracterizar el área de estudio, evaluar el potencial hidroeléctrico y dimensionar el sistema de generación capaz de satisfacer la demanda energética del mariposario.

El desarrollo del proyecto implica varias fases cruciales; se realiza un análisis del sitio, evaluando parámetros clave como caudal, desnivel, capacidad de almacenamiento y condiciones meteorológicas para seleccionar óptimamente el sistema de captación y conducción, luego, se procede a la evaluación y selección de tecnologías de turbinas, generadores y equipos auxiliares, priorizando la eficiencia y compatibilidad con las características del sitio y se establece el diseño del sistema de control y protección para garantizar la confiabilidad y seguridad del suministro eléctrico.

Asimismo, se emplea AutoCAD para modelar con precisión los sistemas involucrados en el diseño de la microcentral hidroeléctrica, incluyendo estructuras y sistemas eléctricos, esta herramienta facilita la comprensión integral del proyecto y optimiza los procesos de diseño.

La planificación del diseño de la microcentral hidroeléctrica debe considerar integralmente los impactos ambientales, el análisis económico y las condiciones específicas del sitio, dado que el caudal es un parámetro crítico, es fundamental diseñar un sistema capaz de operar de manera óptima y resiliente ante las variaciones estacionales y maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico.

Así pues, este proyecto representa un avance significativo en la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles, que no solo beneficiarán al Parque Metropolitano María Lucía y su mariposario, sino que además, tiene el potencial de servir como un modelo replicable en otros espacios que enfrenten desafíos similares.

2 Planteamiento del problema

Para empezar, el conjunto de recursos energéticos en Colombia depende principalmente de grandes hidroeléctricas y centrales térmicas, las cuales presentan limitaciones en cuanto a cobertura y generan impactos ambientales significativos, lo que requiere soluciones más sostenibles. En este contexto, el Parque Metropolitano María Lucía (PMML), ubicado en Villavicencio, Meta, es un espacio vital para la conservación de la biodiversidad, sin embargo, enfrenta un desafío relacionado con su infraestructura energética, ya que, aunque el parque está conectado a fuentes de energía convencionales a través del sistema de distribución local, la cobertura eléctrica es limitada debido a la gran extensión de su terreno, que abarca 120 hectáreas.

Actualmente, solo las instalaciones cercanas, como las viviendas, salones de eventos y aulas de estudio, están conectadas a la red eléctrica, mientras que el mariposario, ubicado en una zona central del parque, se encuentra alejado de estas instalaciones, lo que supone un desafío técnico y económico considerable, ya que la solución convencional requeriría extender un punto de conexión de la red eléctrica local, ya sea por instalación de cableado aéreo o subterráneo, y esto no solo generaría un alto costo inicial en infraestructura, sino también un gasto continuo por el suministro de energía convencional.

El mariposario del Parque Metropolitano María Lucía es una instalación dedicada a la conservación y estudio de diversas especies de mariposas, donde la iluminación es esencial no solo para mantener las condiciones óptimas de temperatura y luz para la vida de las mariposas, sino también para facilitar las actividades educativas y de investigación que se realizan en este espacio. Actualmente, la falta de acceso a la red eléctrica limita la capacidad de los investigadores para trabajar en horarios nocturnos, conectar dispositivos electrónicos, como equipos de monitoreo, cámaras, y acceder a tecnologías que permitirían un estudio más profundo y detallado de las especies, por tanto la instalación de una micro

central hidroeléctrica se presenta como una solución ideal, ya que, a diferencia de otros sistemas como la energía solar, puede generar electricidad de manera constante sin depender de las condiciones climáticas, ya que la cercanía de un canal de agua permite aprovechar los recursos hídricos disponibles para producir energía limpia, renovable y de bajo impacto ambiental, lo que no solo asegura la operación continua del mariposario, sino que también contribuye a la sostenibilidad del parque, teniendo en cuenta que los costos de operación a largo plazo son relativamente bajos, lo que convierte a la micro hidroeléctrica en una opción económicamente viable y ambientalmente responsable, garantizando un suministro energético eficiente para el bienestar de las mariposas y las actividades científicas y educativas que se llevan a cabo [2].

La problemática planteada se centra en la necesidad de encontrar soluciones sostenibles que aseguren un suministro eléctrico eficiente y sostenible para el mariposario del Parque Metropolitano María Lucía, debido a el espacio no solo es vital por su valor científico y ambiental al promover el estudio de la biodiversidad y la conservación de insectos, sino que, al ser parte de la universidad, también facilita la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en diferentes áreas académicas. El mariposario actúa como un laboratorio vivo donde se integran disciplinas como la ingeniería, la biología y las ciencias ambientales, permitiendo el desarrollo de proyectos enfocados en el uso de tecnologías de energía renovable y otras aplicaciones afines a las carreras ofrecidas por la universidad.

Esto plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué tipo de micro central hidroeléctrica, considerando su capacidad instalada, eficiencia energética y compatibilidad ambiental, resulta óptima para satisfacer la demanda eléctrica del mariposario en el Parque Metropolitano María Lucía, bajo las condiciones hidrológicas y topográficas existentes?.

3 Justificación

El mariposario, parte de la Corporación Universitaria del Meta (UNIMETA), está ubicado en una zona alejada de las conexiones eléctricas existentes, ya que, aunque el predio donde se encuentra el parque tiene acceso a la red eléctrica local, extender esta conexión al mariposario de manera convencional, requeriría una inversión significativa; tanto por el costo inicial de la infraestructura, debido a que se requeriría implementar un sistema de cableado, ya sea aéreo o subterráneo, instalación de postes o banco de ductos, en conjunto con instalación de facilidades eléctricas necesarias para garantizar una conexión segura y eficiente, y costos recurrentes asociados al pago por el servicio de energía eléctrica, lo que significa que, a largo plazo, los costos de operación se incrementarán continuamente, representando una carga financiera para el mariposario y, por ende, para la universidad. Por la anterior situación, se plantea la necesidad de buscar una solución energéticamente eficiente y sostenible que, además de cubrir las necesidades actuales, ofrezca oportunidades de investigación y desarrollo tecnológico para la universidad.

Es importante destacar que la iluminación en el mariposario es fundamental por varias razones, en primer lugar, garantiza condiciones óptimas para los estudios científicos, ya que muchos de los equipos de monitoreo, cámaras y dispositivos electrónicos que los investigadores utilizan requieren un suministro de electricidad para su funcionamiento, asimismo, la iluminación adecuada permitiría realizar estudios y actividades durante las horas nocturnas, ampliando significativamente las oportunidades de investigación, además, la presencia de iluminación mejora la seguridad y comodidad de los visitantes y el personal, permitiendo extender el horario de actividades y mejorar la experiencia educativa.

Teniendo en cuenta esta necesidad energética, surgen varias alternativas para proporcionar electricidad al mariposario, incluyendo la posibilidad de conectarlo a la red eléctrica convencional, instalar paneles solares fotovoltaicos o implementar una micro central hidroeléctrica. Esta última opción se destaca como la más atractiva, dado que el parque cuenta con un canal de agua cercano, lo que ofrece una oportunidad única para la instalación de una micro central hidroeléctrica, lo que permitiría aprovechar el recurso hídrico local para generar energía de manera constante y sostenible, ya que aunque Villavicencio, con temperaturas que oscilan entre los 27 °C y 32 °C, es ideal para la implementación de energía solar fotovoltaica, es una tecnología que ya se ha comenzado a utilizar en otras áreas del parque y presenta desventajas frente a la energía hidroeléctrica porque dependen de la luz solar y pueden ser ineficientes en días nublados o durante la noche, mientras que una micro central hidroeléctrica puede proporcionar un suministro continuo de energía sin interrupciones [3]. Además, la utilización de recursos hídricos propios para la generación de energía no solo aborda la problemática de costos, sino que también apoya la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, lo que alinearía al mariposario con los objetivos de conservación y educación ambiental que promueve la universidad, al tiempo que se optimiza el uso de los recursos naturales disponibles en la región.

Además de satisfacer las necesidades energéticas inmediatas del mariposario, la implementación de una micro central hidroeléctrica en el PMML tiene un fuerte componente educativo y de investigación, como el parque es de propiedad privada de la UNIMETA, este proyecto no solo facilitará la operación del mariposario, sino que también permitirá a los estudiantes y académicos aplicar los conocimientos adquiridos en ingeniería, energías renovables y sostenibilidad. Es así como la micro central servirá como un laboratorio vivo, fomentando la investigación y mejorando los estándares académicos de la institución, de

esta manera UNIMETA se posicionará como un referente en la promoción de soluciones energéticas sostenibles, integrando la transición energética y la descarbonización en su currículum académico.

En este contexto, las micro centrales hidroeléctricas son particularmente eficaces para optimizar el uso del agua como recurso renovable, garantizando un bajo impacto ambiental, al no depender de combustibles fósiles ni generar emisiones directas de gases de efecto invernadero, estas centrales contribuyen de manera activa a la lucha contra el cambio climático, reduciendo la huella de carbono asociada a la producción de energía, porque en comparación con otras fuentes, como el gas natural o el carbón, la hidroeléctrica es una alternativa más limpia que, a largo plazo, minimiza los costos operativos y los efectos nocivos sobre el medio ambiente. [4]

Cabe resaltar que este tipo de energía, al ser renovable y sustentada por la corriente natural de los cuerpos de agua, no solo garantiza la disponibilidad continua de electricidad, sino que también fomenta la gestión responsable de los recursos hídricos. De hecho, el diseño propuesto incluye medidas para evitar el deterioro del ecosistema acuático local, como el uso de vertederos y presas que regulan el flujo de agua sin comprometer la biodiversidad de la zona. Este enfoque ecológico asegura que el entorno natural no solo sea protegido, sino que pueda coexistir armónicamente con la infraestructura tecnológica.

En resumen, la implementación de una micro central hidroeléctrica en el PMML no solo resolverá las necesidades energéticas del mariposario, sino que también contribuirá a la investigación, la educación y la sostenibilidad, reforzando el compromiso de la universidad con la protección del medio ambiente, la innovación en energías renovables, esto no solo mejorará la experiencia de los visitantes y el trabajo de los investigadores, sino

que también marcará un precedente para la adopción de soluciones energéticas sostenibles en la región, contribuyendo a la transición hacia un futuro más limpio y eficiente.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General:

Diseñar una micro central hidroeléctrica de embalse para proporcionar un suministro energético eficiente y sostenible destinado a la iluminación de las instalaciones del mariposario ubicado en el Parque Metropolitano María Lucía de la Corporación Universitaria del Meta.

4.2 Objetivos específicos:

- Definir los requisitos eléctricos específicos del sistema, considerando la capacidad de generación y la demanda energética estimada.
- Establecer los parámetros de diseño, teniendo en cuenta las características hidrológicas, meteorológicas y topográficas del Parque Metropolitano María Lucía.
- Seleccionar el sistema de captación y conducción de agua óptimo para alimentar la turbina de la micro central hidroeléctrica, considerando los parámetros de diseño establecidos.
- Evaluar las tecnologías actuales de turbinas, generadores y reguladores, seleccionando los componentes más adecuados para la MCH, en función de sus condiciones específicas.
- Elaborar un diseño de la micro central hidroeléctrica, incluyendo la instalación civil, mecánica y eléctrica, y realizando los modelados correspondientes.

5 Antecedentes

El panorama energético mundial se encuentra en un punto de inflexión crucial. La necesidad de diversificar las fuentes de energía, reducir las emisiones de carbono y combatir el cambio climático ha impulsado un crecimiento sin precedentes en las energías renovables, el informe "Estadísticas de capacidad renovable 2023", publicado por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), confirma esta tendencia al alza, con un aumento récord de 473 GW en la capacidad global de generación renovable durante el año 2022. [5] [12].

Si bien el crecimiento ha sido generalizado, Asia, Estados Unidos y Europa se consolidan como las regiones líderes en la adopción de estas tecnologías limpias, Oceanía mantiene un ritmo de crecimiento sostenido, mientras que Sudamérica experimenta un notable avance con un aumento de 18,2 GW, Medio Oriente también destaca por un crecimiento histórico del 12,8%, lo que refleja un compromiso cada vez mayor con la diversificación energética. [6].

En este contexto, se resalta que la energía hidroeléctrica continúa siendo una fuente renovable fundamental, con un aumento de 21 GW en su capacidad global durante 2022, esta tendencia confirma la importancia de esta tecnología como pilar del desarrollo sostenible y la transición hacia un futuro energético más limpio y resiliente. [5]

Avances en la eficiencia y sostenibilidad de la generación hidroeléctrica: Un análisis del panorama global. Este análisis de la Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica (IHA) revela que el potencial hidroeléctrico disponible supera con creces lo necesario para alcanzar las metas de cero emisiones netas para 2050 establecidas por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). Un dato aún más significativo es que cerca de la mitad del potencial hidroeléctrico

viable desde el punto de vista económico aún no se ha explotado, este potencial puede materializarse mediante cuatro acciones generales [7][12]:

- Desarrollo de nueva energía hidroeléctrica, lo que implica la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas en zonas con recursos hídricos y terrenos adecuados.
- Desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH), se refiere a la construcción de centrales hidroeléctricas a menor escala, con impactos ambientales y sociales reducidos.
- Modernización de la infraestructura existente, implica la actualización y mejora de las centrales hidroeléctricas ya existentes para aumentar su eficiencia y capacidad de generación.
- Modernización de presas sin energía, se refiere a la instalación de sistemas de generación hidroeléctrica en presas existentes que no contaban con ellos originalmente.

Al implementar estas acciones de manera estratégica, se podrá desbloquear el enorme potencial de la energía hidroeléctrica para contribuir a un futuro energético sostenible y descarbonizado.

Cabe exaltar que la matriz energética mundial se ha fortalecido y diversificado en los últimos años gracias a la incorporación de estas fuentes de energía, sin embargo, aún queda un camino importante por recorrer para alcanzar un sistema energético sostenible y compatible con los objetivos climáticos globales, por ende, es crucial enfocarnos inicialmente en impulsar el desarrollo de proyectos de generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala, como la instalación de micro centrales en ríos y canales, turbinas en tuberías de agua potable o sistemas de bombeo solar, estos proyectos minimizan el impacto ambiental, fomentan la generación de energía limpia y permiten el acceso a energía en zonas remotas.

Múltiples estudios, como los realizados por Li Chonghao, Tang Hongbin y Li Shushan, coinciden en que las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) son una de las fuentes de energía más ventajosas. [8]

Dentro de las PCH, encontramos la micro, mini y pico generación, categorías que permiten la participación de diversos actores en la producción de energía renovable a pequeña escala, poseen una gran flexibilidad en su operación, permitiendo iniciar o detener las unidades rápidamente, y ofrecen una rápida capacidad de ajuste de la potencia, además, se trata de una fuente de energía renovable, limpia y libre de emisiones. [9]

En China, las pequeñas centrales hidroeléctricas son la principal fuente de energía distribuida, con una amplia dispersión geográfica, su contribución al suministro eléctrico es fundamental, especialmente en zonas rurales remotas, sin embargo, su carácter distribuido a gran escala, la dispersión geográfica y las fluctuaciones en la potencia debido a la variabilidad del caudal, generan desafíos considerables en la gestión y operación [8].

Las mini y micro centrales hidroeléctricas (MHC) desempeñan un papel crucial en la electrificación rural de países en desarrollo, proporcionando energía descentralizada a comunidades aisladas. Su funcionamiento suele ser autónomo, sin conexión a la red eléctrica, lo que las convierte en la única fuente de energía disponible [8].

En el área de la Red eléctrica del sur de China (CSG), la generación hidroeléctrica a pequeña escala juega un papel fundamental en el suministro de energía a los distritos locales,

especialmente a aquellos rurales en zonas no interconectadas. La gran cantidad de pequeñas centrales hidroeléctricas en la región, con una capacidad instalada total de 12000 MW, aporta una importante cantidad de energía limpia al sistema eléctrico. [8]

Por otro lado, actualmente Cuba atraviesa una profunda crisis energética, con apagones recurrentes que pueden extenderse hasta 20 horas, esta situación se debe a la dependencia del país de fuentes no renovables para la generación de energía,

principalmente de las termoeléctricas que utilizan derivados del petróleo, donde la falta de reservas de este combustible en la isla compromete la producción de energía. [10]

Si bien Cuba ha impulsado la generación de energía a través de fuentes renovables, aún queda un largo camino por recorrer, actualmente, el país cuenta con 144 centrales hidroeléctricas en funcionamiento, de las cuales 107 son mini y micro centrales ubicadas en zonas montañosas y aisladas del Sistema Eléctrico Nacional, estas centrales abastecen de energía a miles de personas y contribuyen al desarrollo social y económico de las comunidades, demostrando el impacto que tiene las pequeñas centrales hidroeléctricas. [10]

En este contexto la crisis climática y la escasez de combustibles fósiles nos instan a replantear la generación de energía, la optimización de los sistemas hidroeléctricos surge como una solución viable, integrando tecnologías antiguas y modernas en un diseño moderno. [11]

Transformar inventos históricos en herramientas útiles para la generación de energía limpia es clave, el tornillo de Arquímedes, la rueda hidráulica y los principios físicos como los vórtices de agua con flujo turbulento ofrecen alternativas eficientes y amigables con el medioambiente. [11]

Las turbinas de vórtice hidroeléctricas demuestran este potencial al poder producir hasta 8 veces más energía que las placas solares en el mismo lugar, marcando un avance importante en la generación de energía limpia; su influencia es significativa, el modelo más pequeño tiene la capacidad de producir entre 5 y 70 kW de energía, lo cual es adecuado para abastecer hasta 200 hogares. Por otro lado, el modelo más grande puede alcanzar los 200 kW, siendo perfecto para comunidades pequeñas. Además, su diseño modular permite la instalación en diversas configuraciones para adaptarse a las necesidades específicas de cada ubicación [12, p. 45].

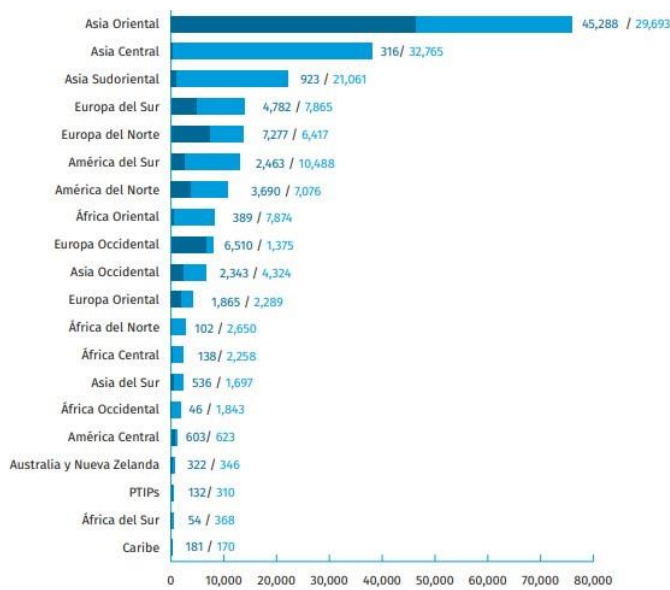
Esta reinterpretación abre un camino hacia un futuro sostenible. Aprovechar el poder del agua de forma responsable nos permite generar energía sin afectar la fauna, protegiendo el planeta para las generaciones venideras.

En resumen, como exalta el Informe Mundial sobre Pequeñas Centrales Hidroeléctricas 2022 (WSHPDR 2022) revela que la capacidad global instalada de PCH de hasta 10 MW, incluyendo la micro generación, ha ido incrementando, logrando alcanzar los 78.9 GW. El potencial total conocido de este tipo de centrales, incluyendo las que aún no han sido desarrolladas, se estima en 221.7 GW. Sin embargo, a pesar del atractivo y los beneficios de estos sistemas, gran parte del potencial mundial (64%) aún no se ha explotado [13].

La figura 1 ilustra el Potencial Desarrollado y Remanente de la Pequeña Central Hidroeléctrica de ≤ 10 MW por Región, destacando las diferencias significativas entre las regiones.

Figura 1

Potencial Desarrollado y Remanente de la Pequeña Central Hidroeléctrica de ≤ 10 MW por Región (MW)



Nota. Fuente: United Nations Industrial Development Organization [13]

Como se indica en el Informe, China sigue siendo el principal país a nivel mundial en la generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala, con el 53% de la capacidad instalada y aproximadamente el 29% del potencial total conocido a nivel global. Los EUA. se encuentran entre los principales países productores de energía eléctrica a nivel global. En cuanto a la capacidad de producción, Estados Unidos se sitúa entre los principales generadores de electricidad a nivel global; a China le seguirían los Estados Unidos, Italia, Japón, y Noruega, juntos, estos cinco países controlan cerca del 71% de la capacidad global total de pequeñas centrales hidroeléctricas de ≤ 10 MW.[13]

En la figura 2 se presenta la Capacidad Instalada de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de ≤ 10 MW por País (MW), lo que permite visualizar las variaciones en la capacidad instalada en diferentes países. Esta información es fundamental para entender el potencial hidroeléctrico en el contexto de las energías renovables y el desarrollo sostenible.

Figura 2

Capacidad Instalada de Pequeña Central Hidroeléctrica de ≤ 10 MW por País



Nota: Vienen destacados en gris los países que no disponen de datos de PCH de ≤ 10 MW o aquellos que no disponen de instalaciones de plantas de PCH.

Nota. Fuente: United Nations Industrial Development Organization [13]

5.1 Panorama en América Latina y el Caribe

De acuerdo con el reciente informe de la Organización Latinoamericana de Energía, la región de América Latina y el Caribe está avanzando en la transición energética, lo cual es fundamental para reducir las emisiones de carbono y cumplir con los compromisos del Acuerdo de París. Desde la firma de este acuerdo, se han observado progresos en diversos aspectos del desarrollo energético sostenible. [14].

En este escenario, Colombia se destaca como uno de los países con más abundancia de agua a nivel mundial y en Latinoamérica, con 1,141.748 km² de tierra y 928,660 km² de áreas marítimas según el ministerio de comercio. Actualmente, cuenta con un gran potencial hídrico para atender las necesidades de su población, con una capacidad neta efectiva de 16,420 MW al cierre de 2015; hubo un aumento de 931 MW en comparación con 2014, lo que representa un incremento del 6%, la subida se debe principalmente a la puesta en marcha de diversas centrales hidroeléctricas y térmicas en 2022, como El Quimbo, Carlos Lleras, Cucuana, San Miguel, Bajo Tuluá, PROVIDENCIA, Gecelca 3 y Tasajeros [15, p. 28].

En Colombia, desde 1925 se han estado estableciendo pequeñas centrales hidroeléctricas, como la central Rio Cali en Cali, valle del Cauca, que ya están operativas, en los últimos 25 años, casi el 70% de las 116 PCHs en operación actualmente han sido instaladas, lo que destaca la necesidad de investigar más sobre esta tecnología en crecimiento en el país [15, p. 29].

Como se evidencia en el municipio de Mesetas, Meta, donde se desarrolló el diseño de una microcentral hidroeléctrica (MCH) de 10 kW, aprovechando el caudal de la quebrada Las Peñas. Las características del sitio y las condiciones hidráulicas determinaron la selección de una turbina Francis con inyectores, optimizando la generación de energía, esta iniciativa busca reducir la dependencia de fuentes energéticas convencionales y garantizar el acceso a servicios básicos en zonas aisladas. La MCH representa una solución

sostenible y eficiente, aprovechando el abundante recurso hídrico local para mejorar la calidad de vida de la comunidad.[54]

Como bien señala Daniel Cristancho en su trabajo de grado,

La matriz energética colombiana se puede considerar limpia, pues generación hidráulica centralizada tiene una participación anual promedio del 70%. A pesar de lo anterior, nuestro país ha dado pasos certeros a hacia la transición energética y la economía verde, dando preponderancia a las fuentes de generación fotovoltaica y eólica, en complemento de los sistemas de generación térmica, basados en carbón, ACPM y GLP.

También se ha impulsado el concepto de generación distribuida y no centralizada, el cual resulta compatible con la implantación de pequeños sistemas de generación hidráulica dispersos, que pueden abastecer la demanda en centros poblados distantes del Sistema Interconectado Nacional (SIN), sacando provecho de pequeñas caídas de agua en los Estudio de la Micro Generación Hidráulica de Energía (MGH), como fuente no convencional de generación distribuida cursos naturales (con pequeñas caídas, hacemos referencia a diferencias de altura entre 1m y 3m típicamente) causando un muy bajo impactos en ecosistemas acuáticos y otros servicios de tipo ambiental, que usualmente se ven afectados por sistemas de embalses de gran altura.

Colombia es uno de los países del mundo con mayor oferta hídrica superficial (OHS), dada su localización en la franja intertropical, y sus condiciones fisiográficas que incluyen extensas zonas de llanura en el oriente del país, sistemas de cordilleras en la zona central y costas en los océanos Pacífico y Atlántico. [55, p 12]

La generación distribuida, que aprovecha el potencial energético de pequeños cursos de agua a través de tecnologías como la micro hidroeléctrica, representa una solución clave para la transición hacia un sistema energético más sostenible. Al producir energía de manera descentralizada y eficiente, se reduce la huella de carbono y se promueve el desarrollo local.

6 Marco de Referencia

En esta sección se presenta el conjunto de fundamentos teóricos, contextuales y legales que enmarcan el planteamiento del problema y guían el desarrollo de la investigación. Estos marcos permiten comprender el entorno en el que se desarrolla el proyecto, proporcionando una base sólida que sustenta la pertinencia y viabilidad de la propuesta.

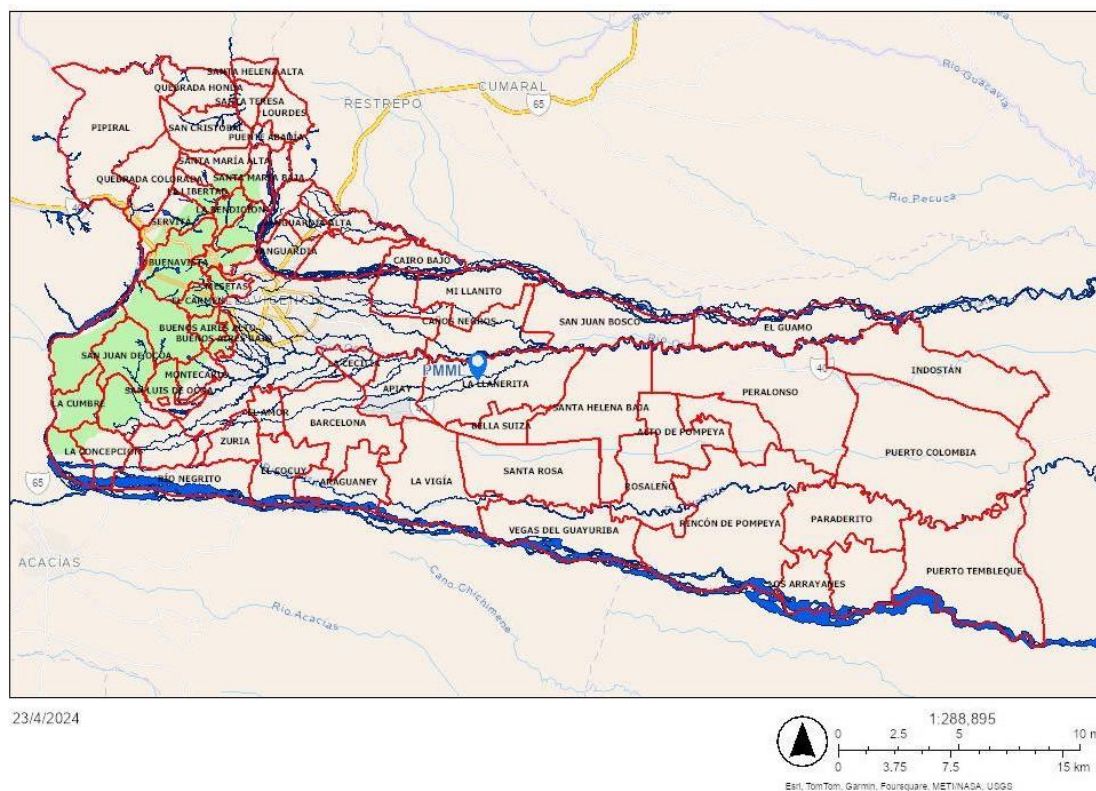
6.1 Marco Geográfico

En la figura 3 se muestra la georreferenciación del Parque Metropolitano María Lucía, obtenida a través de la plataforma ArcGIS. Esta visualización espacial es fundamental para la planificación del diseño y ubicación de la micro hidroeléctrica, permitiendo identificar las características topográficas y áreas clave dentro del parque que podrían verse afectadas o beneficiadas por la instalación. El análisis georreferenciado facilita la evaluación del impacto ambiental y la correcta distribución de los recursos energéticos.

El presente trabajo de investigación se desarrolla en el Parque Metropolitano María Lucía de la Corporación Universitaria del Meta, un lugar que alberga una gran biodiversidad de flora y fauna, ofreciendo un espacio para la educación ambiental y la investigación científica, situado en la vereda La Llanerita del municipio de Villavicencio, en el Kilómetro 8 vía Puerto López, en el departamento del Meta. Este parque abarca una extensión de 120 hectáreas de terreno, con coordenadas geográficas de latitud $4^{\circ} 5' 36,53''$ N y longitud $73^{\circ} 30'31,46''$ O, donde se encuentra el mariposario geodésico.

Figura 3

Georreferenciación del Parque Metropolitano María Lucía



Nota. Fuente: Tomado de ArcGIS [4]

La zona donde se encuentra el PMML se caracteriza por su potencial para la generación de energía renovable, particularmente hidroeléctrica. La presencia de ríos y cursos de agua como el río Ocoa y los caños Blanquita y Piñalito que atraviesan el parque, ofrece una oportunidad para aprovechar esta fuente de energía limpia y sostenible.

El punto de diseño del sistema de generación de energía es un canal creado artificialmente que recibe agua del Caño Piñalito. Esto facilita el desarrollo del proyecto al estar a tan solo 18 m del mariposario y tener la forma adecuada para el diseño de la micro central hidroeléctrica.

En la figura 4 se representan las Fuentes Hídricas del Parque Metropolitano María Lucía (PMML). Esta información es vital para el diseño de la micro hidroeléctrica, ya que

permite identificar las áreas donde se localizan los cuerpos de agua dentro del parque. El conocimiento detallado de estas fuentes hídricas facilita la evaluación de su capacidad para generar energía sostenible sin comprometer el ecosistema local.

Figura 4

Fuentes Hídricas del Parque Metropolitano María Lucia PMML



Nota. Fuente: Tomado de ArcGIS [4]

6.2 Marco Histórico

En el presente marco histórico se identificarán las fechas claves relacionadas con el avance en la generación de energía mediante centrales hidroeléctricas, como lo destaca Enel Green Power [16].

- **100 a.C.** - Nacimiento del uso de la energía hidráulica: En la ciudad egipcia de Alejandría, los engranajes de las norias, accionados por la fuerza de los ríos, movían piedras de molino. Estas norias representaban una tecnología simple pero poderosa, permitiendo aprovechar la energía cinética del agua en movimiento para

tareas mecánicas. Esta invención fue un precursor clave en el desarrollo de tecnologías hidráulicas que más tarde se transformarían en lo que hoy conocemos como hidroeléctricas.

- **1848 - Introducción de la turbina hidráulica:** James B. Francis, un ingeniero inglés, inventó la turbina Francis, capaz de transformar la energía cinética del agua en movimiento en energía mecánica, que a su vez se podía convertir en energía eléctrica. La turbina Francis marcó el inicio del uso eficiente de la energía del agua para la generación eléctrica, sentando las bases de las futuras centrales hidroeléctricas, incluyendo las micro centrales.
- **1882 - Primera central hidroeléctrica en Appleton, Wisconsin:** En Estados Unidos se instala la primera central hidroeléctrica en Appleton, Wisconsin. Este avance abrió las puertas al aprovechamiento del agua para generar electricidad a gran escala, sentando el precedente para las futuras micro centrales que se desarrollarían en todo el mundo.
- **1889 - Primeras pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia:** Colombia instala sus primeras pequeñas centrales hidroeléctricas, un paso fundamental en la evolución de la generación de energía en este país. Esto representa el inicio de la integración de micro centrales hidroeléctricas en la matriz energética colombiana, particularmente en áreas rurales y aisladas.
- **1892 - Primera línea de corriente alterna en Italia:** Se pone en funcionamiento la central hidroeléctrica de Acquoria en Tívoli, Italia, la cual transporta la energía producida en la primera línea de corriente alterna del mundo. Este hito destaca la creciente sofisticación de la tecnología hidroeléctrica, incluyendo la posibilidad de llevar energía generada en micro centrales a mayores distancias.

- **1913 - Invención de la turbina Kaplan:** El profesor austriaco Viktor Kaplan inventa la turbina Kaplan, diseñada para aprovechar pequeños desniveles de agua, lo que la hace ideal para centrales pequeñas o micro centrales. Esta turbina es crucial para el desarrollo de las micro centrales hidroeléctricas, ya que permite la generación de energía en lugares con menores recursos hídricos.
- **1962 - Expansión de la energía hidroeléctrica:** La energía hidroeléctrica representaba aproximadamente el 65% de la producción total de energía mundial. Este crecimiento incluyó tanto grandes como pequeñas centrales hidroeléctricas, consolidando la importancia de las micro centrales en la electrificación de áreas rurales y el desarrollo sostenible.
- **1991 - Micro centrales en Colombia:** La matriz energética colombiana se basaba en gran medida en pequeñas centrales hidroeléctricas, particularmente en grandes ciudades y zonas rurales. Las micro centrales desempeñaron un papel esencial en la electrificación y el desarrollo económico de regiones aisladas.
- **Actualidad - Energía hidroeléctrica y micro centrales:** Hoy en día, la energía hidroeléctrica representa más del 50% de la producción mundial de energía renovable, y aproximadamente el 17% de la capacidad instalada total a nivel global. Las micro centrales hidroeléctricas han ganado relevancia en contextos de energía limpia, proporcionando electricidad en zonas rurales y apoyando la transición hacia fuentes de energía renovable.

6.3 Marco Teórico:

El marco teórico proporciona los fundamentos conceptuales y científicos que sustentan el desarrollo de este proyecto. En esta sección, se presentan los conceptos clave y teorías relevantes para el diseño de una micro hidroeléctrica en el Parque Metropolitano

María Lucía (PMML). A través de un análisis de estudios previos, teorías energéticas, y principios de ingeniería hidráulica, se busca establecer una base sólida que permita comprender los aspectos técnicos y ambientales involucrados en la implementación del sistema hidroeléctrico. Además, se revisarán conceptos relacionados con la generación de energía renovable, eficiencia energética y los impactos ambientales asociados a las pequeñas centrales hidroeléctricas, destacando su importancia en el contexto de la transición energética global, permitiendo no solo entender la viabilidad del proyecto en términos técnicos, sino también evaluar los beneficios que una micro hidroeléctrica puede aportar a la conservación y desarrollo sostenible del parque.

6.3.1 Clasificación Centrales Hidroeléctricas:

Si bien la clasificación de centrales hidroeléctricas carece de un criterio universal, cada país establece sus propios parámetros. En Colombia, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), adscrita al Ministerio de Minas y Energía, define la clasificación con base en las directrices de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Esta clasificación se basa en la capacidad de generación de las centrales [17].

Tabla 1

Clasificación de Centrales Hidroeléctricas según su capacidad de generación.

Clasificación	Capacidad kW
Micro centrales	0,5 – 50
Minicentrales	50 – 500
Pequeñas Centrales	500 – 20000
Centrales Hidroeléctricas	> 20000

Nota. Fuente: tomado de la Unidad de Planeación Minero-Energética UMPE [17]

Al igual, su clasificación también se basa en el tipo de central y su método de aprovechamiento del recurso hídrico [17]:

6.3.2 Centrales de agua fluyente o de pasada:

Aprovechan el flujo natural de un río o arroyo. El agua se canaliza hacia turbinas que la transforman en energía eléctrica y luego se devuelve al cauce natural aguas abajo. La producción de energía depende del caudal del río, por lo que no es controlable.

6.3.3 Centrales de embalse:

Cuentan con un embalse, natural o artificial (creado por una presa), donde se almacena agua de uno o varios ríos. Esta agua se libera de forma controlada hacia turbinas para generar electricidad y luego regresa al río. Permite un mejor control de la producción energética, tanto en caudal como en cantidad.

6.3.4 Centrales de acumulación por bombeo:

Poseen dos embalses a diferentes alturas. El agua se bombea desde el embalse inferior al superior aprovechando el excedente de energía en momentos de baja demanda. Luego, en momentos de alta demanda, el agua fluye del embalse superior al inferior pasando por turbinas que generan electricidad.

6.3.5 Centrales mareomotrices:

Utilizan la energía de las mareas para generar electricidad. Funcionan como un embalse tradicional, llenándose con la marea alta y reteniendo el agua hasta la bajamar. Luego, el agua se libera a través de conductos estrechos que aumentan la presión, accionando turbinas que generan electricidad.

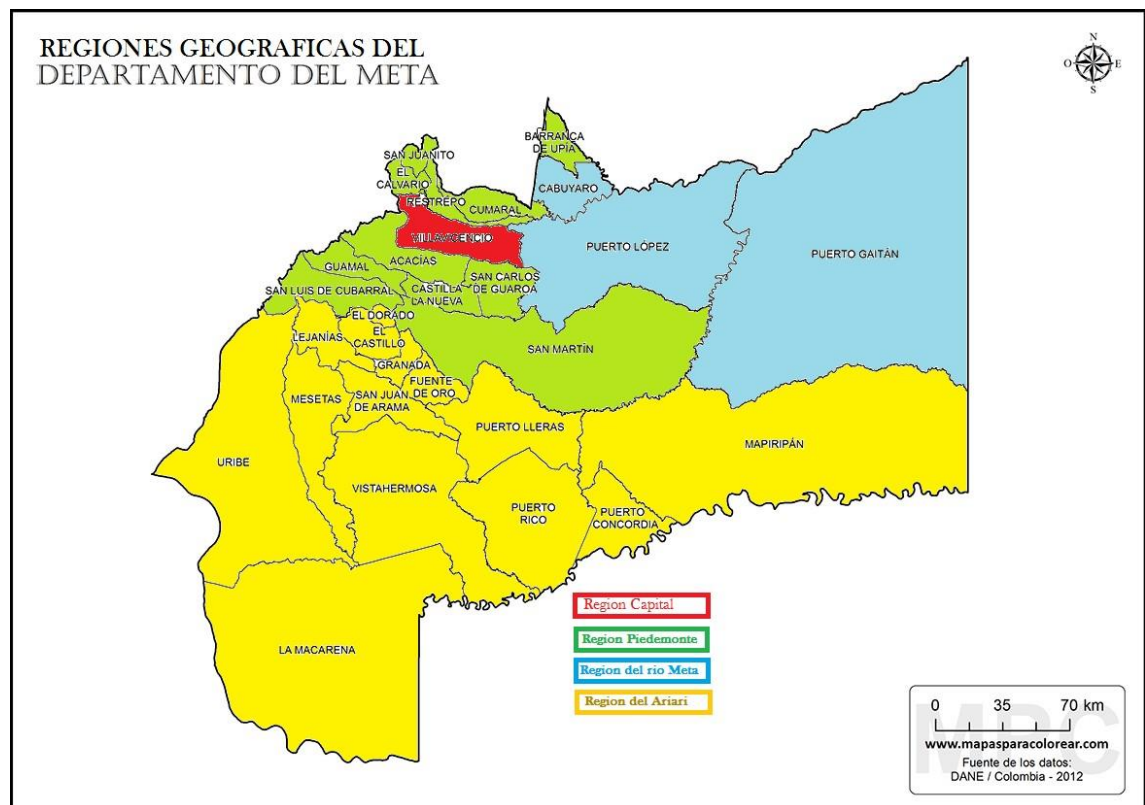
6.3.6 Potencial Hidro energético de los Llanos:

El departamento del Meta, ubicado en el centro de Colombia, se distingue por su rica diversidad geográfica e hídrica, su territorio se divide en cuatro subregiones: Ariari, Capital, Piedemonte y Río Meta, cada una con características únicas, reflejando la diversidad de factores geográficos, hidrológicos y ambientales que la definen.

La figura 5 ilustra las Regiones geográficas del Departamento del Meta, proporcionadas por la plataforma ArcGIS. Esta georreferenciación es esencial para el análisis territorial y ambiental del proyecto de micro hidroeléctrica en el PMML, facilitando la evaluación de los recursos naturales disponibles y permite una mejor integración del proyecto en el entorno regional.

Figura 5

Regiones geográficas del Departamento del Meta



Nota. Fuente: Tomado de ArcGIS [4]

La red hídrica del Departamento es compleja, influenciada por diversos parámetros, como por la presencia de la Cordillera Oriental y la Serranía de la Macarena, así como por la variabilidad estacional de las precipitaciones, dando origen a numerosos ríos y

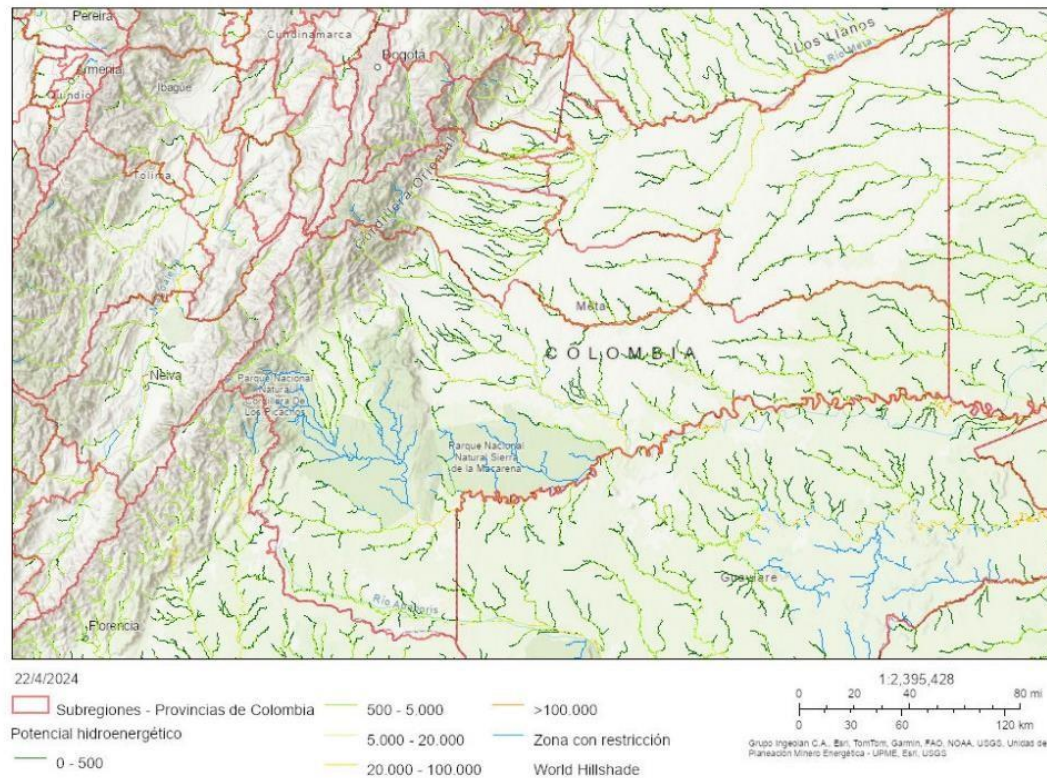
quebradas que nutren la región y ofrecen un gran potencial para actividades como la pesca, la navegación y la generación de energía hidroeléctrica.

En este ambiente el departamento se destaca por su gran potencial hidroenergético, estimado entre 20.000 y 100.000 Kw, con el río Meta y sus afluentes concentrando la mayor parte de este potencial.

En la figura 6 se representa la Red hidrológica del Departamento del Meta, obtenida de la plataforma ArcGIS. Esta red hidrológica es crucial, ya que permite identificar los cuerpos de agua y ríos que podrían ser utilizados para la generación de energía.

Figura 6

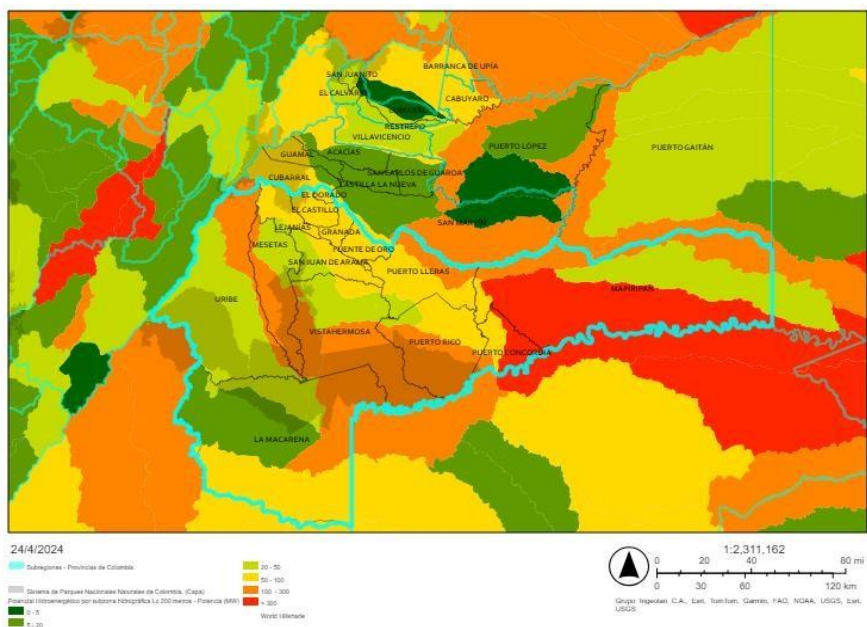
Red hidrológica del Departamento del Meta.



Nota. Fuente: Tomado de ArcGIS [4]

6.3.7 Subregión del Ariari:

La Subregión del Ariari está compuesta por 14 municipios: El Castillo, El Dorado, Fuente de Oro, Granada, La Uribe, Lejanias, Mapiripan, Mesetas, Puerto Concordia, Puerto Lleras, Puerto Rico, San Juan de Arama, Vista Hermosa y La Macarena. En cuanto al potencial hidroeléctrico, la zona con menor potencial se ubica entre el norte de La Macarena y el sur de La Uribe, con un potencial de 5 MW por subzona hidrográfica para una longitud de conducción de 200 metros. Por otro lado, el municipio de Mapiripan presenta un potencial superior a los 300 MW. Es de resaltar que esta región cuenta con áreas de conservación, las cuales no pueden ser intervenidas, entre estas áreas se encuentran los Parques Nacionales Naturales el Cordillera de los Picachos, Tinigua y Serranía de La Macarena, que abarcan miles de hectáreas y albergan una rica biodiversidad. Estos parques son esenciales para la preservación de la naturaleza y el equilibrio ambiental de la región. En la figura 7, se muestra el Potencial Hidroenergético de la Subregión del Ariari, una de las áreas más importantes del Departamento del Meta en términos de recursos hídricos.

Figura 7**Potencial Hidro energético de la Subregión del Ariari**

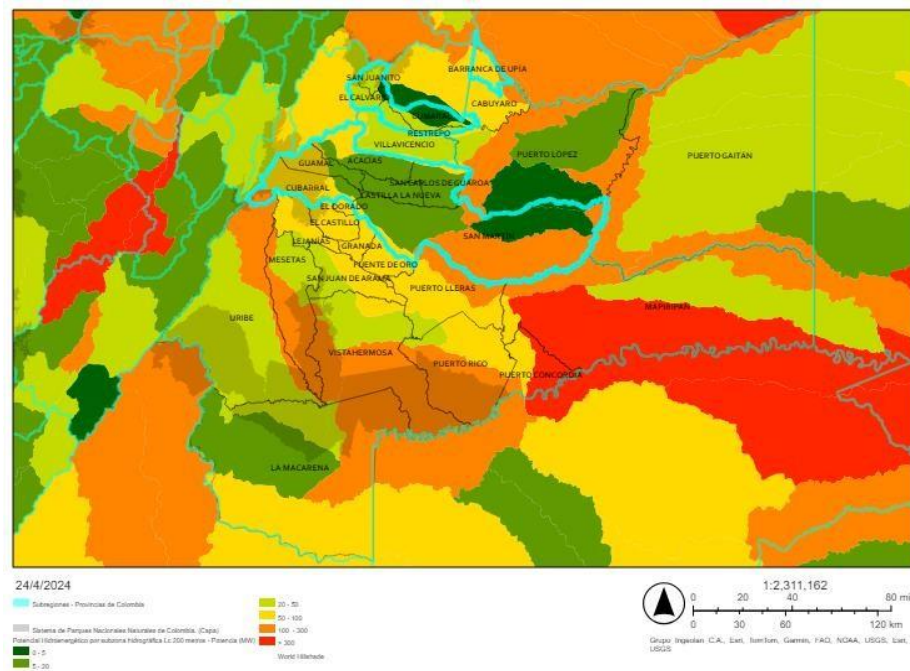
Nota. Fuente: Tomado de ArcGIS [4]

6.3.8 Subregión Piedemonte:

La Subregión del Piedemonte está integrada por 11 municipios: Barranca de Upía, Cumaral, Restrepo, El Calvario, San Juanito, Acacías, Guamal, Castilla la Nueva, San Carlo de Guaroa, San Martín y San Luis de Cubarral. En cuanto al potencial hidroeléctrico, las zonas con menor potencial se ubican en áreas específicas de los municipios de San Martín y Cumaral, donde se registra un potencial de 5 MW por subzona hidrográfica para una longitudde conducción de 200 metros. Por otro lado, gran parte del municipio de San Martín presentaun potencial hidroenergético que oscila entre 100 y 300 MW. La figura 8, muestra el Potencial Hidroenergético de la Subregión del Pie de Monte, facilitando la identificación de áreas viables para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos.

Figura 8

Potencial Hidro energético de la Subregión del Pie de Monte



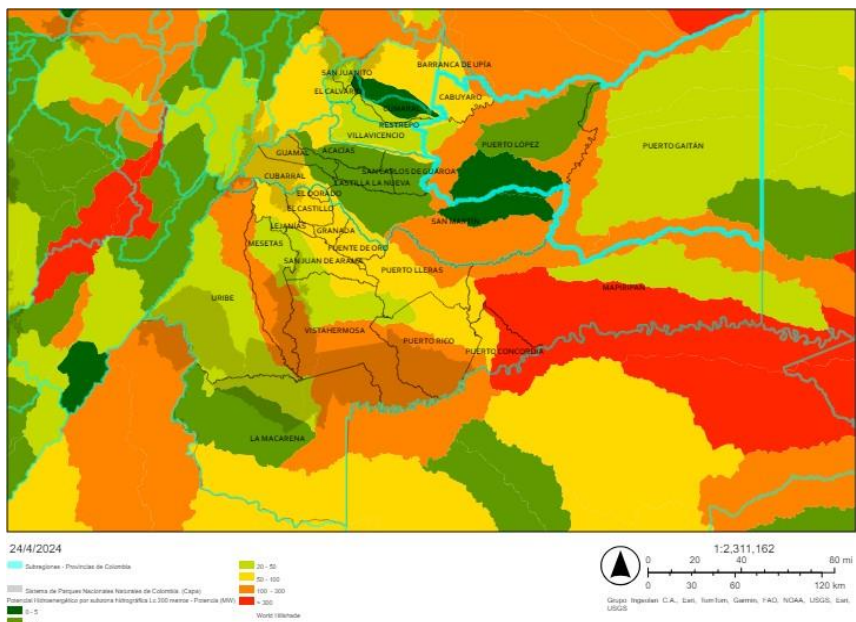
Nota: Fuente: Tomado de ArcGIS [4].

6.3.9 Subregión Río Meta:

La Subregión del Río Meta está compuesta por 3 municipios: Cabuyaro, Puerto López y Puerto Gaitán. En cuanto al potencial hidroeléctrico, el municipio de Puerto López presenta la mayor variabilidad, con valores que oscilan entre los 100 y los 300 MW. Paradójicamente, en este mismo municipio se encuentra también el menor potencial hidroenergético, con valores de entre 0 y 5 MW por subzona hidrográfica para una longitud de conducción de 200 metros. Esta subregión presenta un potencial hidroeléctrico significativo, que varía en diferentes áreas, ya que las zonas con mayor capacidad de generación se localizan a lo largo de los cuerpos de agua que atraviesan la región, ofreciendo oportunidades para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos sostenibles. En la figura 9 se muestra el Potencial Hidroenergético de la Subregión del Río Meta, destacando las áreas más adecuadas para la implementación de proyectos de energía renovable.

Figura 9

Potencial Hidro energético de la Subregión del Río Meta



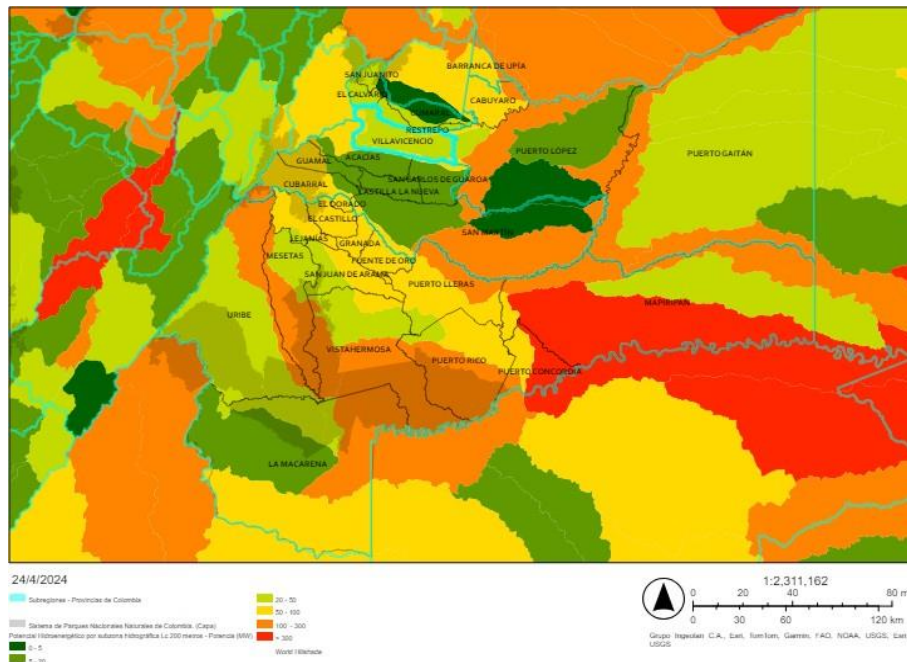
Nota. Fuente: Tomado de ArcGIS [4]

6.3.10 Subregión Capital:

Esta Subregión está integrada por un único municipio: Villavicencio, la capital del departamento del Meta. Esta región presenta un potencial hidroeléctrico medio, con valores que oscilan entre los 20 y los 50 MW por subzona hidrográfica para una longitud de conducción de 200 metros. Entre los ríos que atraviesan esta subregión se encuentran el Guatiquía, el Guayuriba, el Ocoa, Manzanares y el río Negro, junto con sus afluentes. La Subregión Capital incluye municipios clave en el Departamento del Meta y se caracteriza por su acceso a diversos cuerpos de agua, esta área presenta un potencial hidroeléctrico notable y las variaciones en el potencial hidroenergético a lo largo de la subregión indican oportunidades significativas para la implementación de soluciones renovables. En la figura 10 se representa el Potencial Hidroenergético de la Subregión Capital, destacando las áreas más propicias para proyectos hidroeléctricos.

Figura 10

Potencial Hidro energético de la Subregión Capital.



Nota. Fuente: Tomado de ArcGIS [4].

El departamento demuestra un gran potencial para aprovechar su riqueza hídrica en la generación de energía limpia y sostenible, esto se evidencia en la factibilidad de implementarsistemas hidroeléctricos a pequeña escala.

El desarrollo de este potencial impulsaría el progreso económico y social de la región, contribuyendo a la sostenibilidad del país y al cumplimiento de sus compromisos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

6.3.11 Componentes de una Central Hidroeléctrica:

Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía potencial del agua para generar electricidad. Si bien sus componentes específicos varían según el tipo de central, existen elementos comunes que conforman su estructura y funcionamiento básico.

6.3.11.1 Componentes esenciales:

- **Presa:** Estructura fundamental que retiene el agua de un río o curso fluvial, creando un embalse artificial. Su función principal es almacenar y regular el caudal de agua disponible para la generación de energía.
- **Embalse:** Depósito artificial creado por la presa, donde se almacena el agua retenida. Su tamaño y capacidad dependen de diversos factores, como la potencia deseada de la central y la variabilidad del caudal del río.
- **Tubería de aducción:** Conducto que transporta el agua desde el embalse hasta la sala de máquinas. Su diseño y construcción deben considerar aspectos como la presión, el caudal y la topografía del terreno.
- **Turbina hidráulica:** Máquina rotativa que transforma la energía cinética del agua en energía mecánica. El tipo de turbina empleado depende del caudal, la altura del salto y la potencia requerida.
- **Generador eléctrico:** Dispositivo que convierte la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica. Su principio de funcionamiento se basa en la inducción electromagnética.
- **Sala de máquinas:** Edificio que alberga las turbinas, generadores y equipos de control de la central. Su diseño debe garantizar la seguridad, la eficiencia y el acceso para mantenimiento.
- **Transformador:** Elemento que eleva el voltaje de la electricidad generada para su transmisión y distribución a través de la red eléctrica.

- **Sistemas de control y regulación:** Conjunto de dispositivos que permiten monitorear, controlar y operar los componentes de la central hidroeléctrica de manera segura y eficiente. [18]

Es importante destacar que la implementación de los componentes descritos anteriormente no es general para todas las centrales hidroeléctricas. La selección y configuración específica de los elementos dependen de diversos factores, como el tipo de central, su ubicación, la capacidad de generación deseada y las características del recurso hídrico disponible.

En el caso de las micro centrales hidroeléctricas, por su menor potencia y escala, la configuración de componentes puede presentar algunas variaciones. Por ejemplo, en algunas micro centrales se puede prescindir de la presa, utilizando en su lugar sistemas de captación directa del agua del río o a su vez establecer una presa de menor tamaño. De igual manera, el diseño de la sala de máquinas y los sistemas de control y regulación pueden ser más simples y compacto.

La descripción ofrece un panorama general de los componentes que suelen encontrarse en una central hidroeléctrica:

6.3.12 1. Selección del Tipo de Turbina

Se hace necesario un proceso de preselección basado en criterios de rendimiento, costo y mantenimiento. Las turbinas preseleccionadas fueron:

- Turbina de flujo cruzado Michelle-Banki/Ossberger
- Turbina Francis
- Turbina Kaplan
- Turbina Pelton

Después se procede a evaluar criterios como facilidad de construcción, costo de implementación, mantenimiento y rendimiento, se seleccionó la Turbina Pelton debido a su mayor puntaje en los factores evaluados.

6.3.13 Selección del Diámetro de Tubería

Para el diseño hidráulico, se procede a calcular un diámetro preliminar de tubería idóneo para todas las variables hidráulicas utilizando un diagrama específico basado en el caudal de diseño. Este diámetro se ajustará después de verificar la velocidad del fluido y las pérdidas para asegurar que sea adecuado para las condiciones del proyecto.

6.3.14 Resultados del Análisis Técnico

A continuación, se presentan algunos resultados clave del análisis técnico:

Tabla 2

Aspectos relevantes de una hidroeléctrica

Ítem	Definición	Importancia
Altura neta	Altura vertical total desde el punto de captación del agua hasta el punto de salida en la turbina.	Determina la energía potencial disponible para la generación de electricidad y afecta la potencia hidráulica.
Caudal de diseño	Cantidad de agua que se espera que fluya por la central hidroeléctrica bajo condiciones normales de operación.	Es fundamental para dimensionar la capacidad de generación y la infraestructura de la central.
Diámetro nominal de la tubería	Tamaño estándar de la tubería que transporta el agua desde la captación hasta la turbina, influenciando las pérdidas	Impacta en las pérdidas de energía por fricción y en la eficiencia general del sistema hidráulico.

	de carga.	
Pérdidas en la tubería de presión	Pérdida de energía debido a la resistencia al flujo dentro de la tubería de presión.	Afecta la eficiencia del sistema al reducir la energía disponible para la turbina.
Velocidad en el inyector	Velocidad del agua en la entrada de la turbina, determinando la eficiencia del proceso de conversión de energía.	Impacta directamente en la eficiencia y rendimiento de la turbina en la generación de electricidad.
Diámetro exterior del rodete	Diámetro exterior del rotor de la turbina, que interactúa con el flujo de agua para generar energía mecánica.	Afecta la eficiencia de conversión de energía hidráulica a energía mecánica y eléctrica.
Número de revoluciones de la turbina	Cantidad de vueltas completas que realiza la turbina por unidad de tiempo.	Influencia directamente en la frecuencia de generación eléctrica y en la eficiencia de la turbina.
Número específico de revoluciones (Nq)	Parámetro que relaciona las dimensiones de la turbina con su velocidad de operación, afectando su rendimiento hidráulico.	Ayuda a seleccionar la turbina óptima para las condiciones específicas de la central hidroeléctrica.
Número específico de revoluciones (Ns)	Otro parámetro que define la velocidad crítica de la turbina en relación con su tamaño y forma, importante para el diseño eficiente.	Facilita la comparación y selección de turbinas basadas en su capacidad para aprovechar la energía hidráulica.
Longitud de decantación	Longitud del canal donde se realiza la decantación para separar sedimentos del agua antes de su ingreso a la central.	Asegura la calidad del agua ingresante a la central, protegiendo equipos y optimizando la operación.

Ancho del desarenador	Ancho de la estructura diseñada para eliminar arena y sedimentos del agua, asegurando la protección de la turbina y la eficiencia del sistema.	Garantiza la operación continua y eficiente de la central al prevenir obstrucciones y daños.
Capacidad del tanque	Volumen máximo que puede contener el tanque asociado a la estructura de desarenado, garantizando la operatividad y el mantenimiento adecuado.	Permite un manejo eficiente de sedimentos y garantiza la operación ininterrumpida de la central.

Nota. Fuente: Tomado de UMPE [17].

6.3.15 Esquemas y Ubicación de Componentes

Se desarrollarán cálculos hidráulicos, operativos y financieros de los componentes principales de la central hidroeléctrica, incluyendo el desarenador, la cámara de carga y la tubería de presión, con detalles como dimensiones y capacidades.

El diseño detallado de la central hidroeléctrica incluye una cuidadosa selección de turbinas, dimensionamiento preciso de la tubería y especificaciones técnicas completas de los componentes civiles y mecánicos. Estos datos son cruciales para asegurar la eficiencia y la operatividad óptima de la central hidroeléctrica una vez construida. Asimismo, para la eficiencia operativa y energética de este proyecto se hace necesario tener en cuenta lo siguiente:

Tabla 3*Aspectos operativos para el diseño de Hidroeléctrica*

Elemento	Importancia
Sedimento	Los sedimentos transportados por el agua pueden dañar las turbinas y obstruir el sistema de captación, reduciendo la eficiencia y vida útil de la central. Es crucial gestionarlos eficazmente.
Caudal adecuado	Mantener un caudal constante es vital para evitar sobrecargas y daños en el sistema. Requiere sistemas de captación y retención bien diseñados para gestionar fluctuaciones estacionales del caudal.
Avenidas	Las crecidas repentinas pueden transportar grandes cantidades de sedimentos y materiales, afectando la operación de la central si las estructuras no están dimensionadas para manejar estas condiciones.
Turbulencia	Las turbulencias pueden provocar erosión en las estructuras, afectando su integridad y funcionalidad a largo plazo.
Pérdidas del salto	Minimizar las pérdidas de energía entre la captación y la turbina asegura que más energía hidráulica se convierta en electricidad, aumentando la eficiencia global del sistema.
Golpe de ariete	Prevenir los picos de presión protege la tubería y otros componentes contra daños, asegurando una operación segura y continua.

Nota. Fuente: Tomado de UMPE [17].

6.3.16 Turbinas Hidráulicas

La conversión de la energía potencial del agua en energía mecánica para generar electricidad se realiza mediante una turbina hidráulica, que varía según las características del flujo de agua y su método de captación. Para convertir la energía potencial del agua en energía mecánica, es necesario que pase por dos mecanismos o procesos.

En primer lugar, el agua se convierte en energía cinética antes de llegar a la turbina a través de un sistema estático como un inyector para generar presión al agua, seguidamente, el agua presurizada ejerce una fuerza sobre las palas de la turbina y a medida que pasa por ella, la presión disminuye ya que esa energía se está transformando en energía mecánica que se transmite al generador.

Para elegir adecuadamente el tipo de turbina, es fundamental considerar varios factores, destacando la importancia de la altura de la caída y el caudal del agua en su diseño. Es importante tener en cuenta que la altura de la caída de agua permanece constante, mientras que el caudal puede variar según la estación.

Existen dos categorías de turbinas: las de acción, que aprovechan la energía cinética del agua, impulsadas por el impacto de agua a alta velocidad, y las de reacción, que utilizan la energía potencial de presión del agua con el elemento giratorio sumergido en agua dentro de una caja de presión.

Comparada con la turbina de reacción, la turbina de acción es más económica en su producción y mantenimiento, además de ser menos propensa a ser dañada por sedimentos u otros materiales en el agua; no obstante, su eficacia es reducida, rotando a velocidades más bajas y no siendo adecuada para áreas con pendientes leves.

A continuación, se presenta una descripción detallada de algunos tipos de turbinas de acción y reacción [18].

6.3.16.1 Turbinas de acción

Figura 11

Turbina Helicoidal pequeña central Hidroeléctrica



Nota. Fuente: propia.

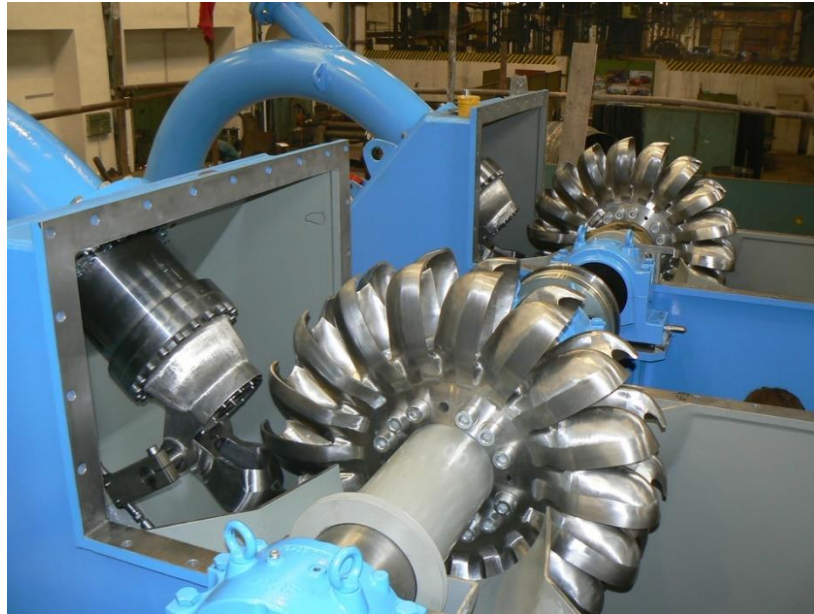
Entre las turbinas a acción se tiene las siguientes:

6.3.16.2 Turbina Pelton:

Esta es la turbina de acción más común, compuesta por un disco circular con paletas en formade doble cuchara en su borde y un inyector que controla el chorro de agua que impacta en las cucharas, generando así su movimiento. Se emplea en caídas de agua grandes con unaeficiencia de entre el 84% y 92%.

Figura 12

Turbina Pelton pequeña central Hidroeléctrica



Nota. Fuente: Tomado de la energía hidroeléctrica [21].

6.3.16.3 De flujo cruzado:

Esta variante de turbina es también llamada de doble impulso o Michael-Banki, está formada principalmente por un inyector de sección rectangular con una pala longitudinal para controlar el flujo de agua, el rotor es cilíndrico con palas soldadas a discos, se emplea en caídas de agua de poca y mediana altura, su eficiencia varía entre el 70% y 80%.

6.3.16.4 Turbinas de Reacción:

Entre las turbinas de reacción tenemos:

6.3.16.5 Francis:

La más común en grandes centrales eléctricas, las turbinas de este tipo reciben agua en dirección radial y la orientan hacia la salida en dirección axial. Se utilizan en saltos de agua de 15 a 150 metros, con una eficiencia del 90 a 94%.

Figura 13

Turbina Francis pequeña central Hidroeléctrica



Nota. Fuente: Tomado de ONUDI y CIPCH [19].

6.3.16.6 Kaplan:

Se trata de una turbina de tipo hélice, que incluye una entrada ajustable, un distribuidor fijo, un rodete con cuatro o cinco palas en forma de hélice y un tubo de succión. Es ideal para caudales elevados y pequeñas alturas de agua, con una eficiencia del 93% - 95%.

Figura 14

Turbina Kaplan pequeña central Hidroeléctrica



Nota. Fuente: Tomado de ONUDI y CIPCH [19].

Figura 15

Turbina Kaplan pequeña central Hidroeléctrica



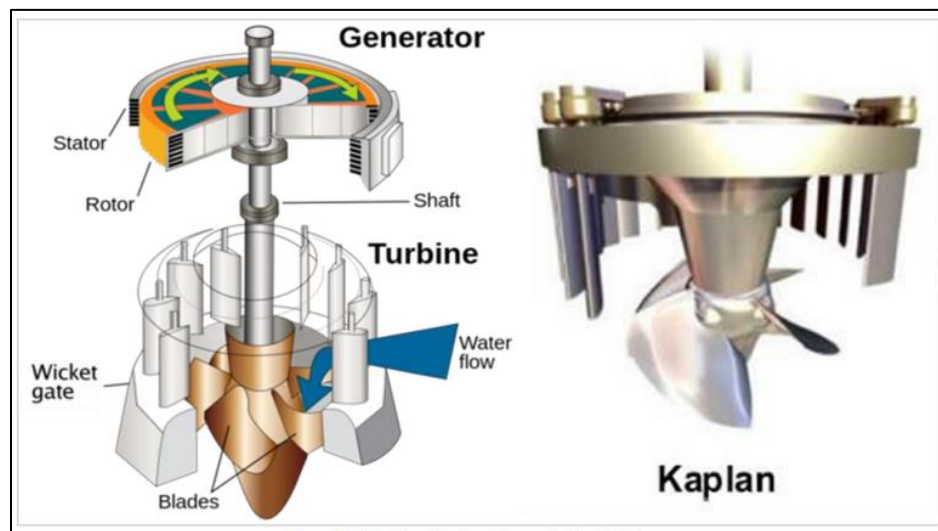
Nota. Fuente: Tomado de ONUDI y CIPCH [19].

6.3.17 *Generador*

Las centrales hidroeléctricas, tanto grandes como pequeñas, aprovechan la energía potencial del agua almacenada en un desnivel entre dos puntos para convertirla en electricidad mediante un proceso secuencial. Inicialmente, la energía cinética del agua se transforma en energía mecánica a través de una turbina hidráulica. Esta energía mecánica, a su vez, impulsa un generador que convierte la energía mecánica en electricidad. La turbina hidráulica es crucial en estas instalaciones, ya que utiliza tanto la energía cinética como la potencial del agua para generar un movimiento rotativo que, mediante un eje, activa el generador, produciendo así energía eléctrica. [22]

Figura 16

Turbina acoplada al generador



Nota. Fuente: Tomada de M. A. Tamayo Rincón, [23]

Las turbinas hidráulicas se categorizan en dos tipos principales: de acción y de reacción, dependiendo de cómo interactúan con el agua para generar energía. El generador, ubicado en una carcasa impermeable dentro del sistema de conducción, está protegido durante su operación. Aunque ofrece un rendimiento ligeramente superior al de

las turbinas tubulares, la complejidad de los equipos dificulta el mantenimiento, a pesar de que requiere menos obras civiles.

La potencia nominal de la central hidroeléctrica se determina mediante una fórmula que considera el caudal del agua, el salto neto de diseño y los rendimientos de la turbina y el generador. Para optimizar el tamaño y costo del generador, a veces se instala un multiplicador de velocidad entre la turbina y el generador, aunque esto introduce pérdidas mecánicas que deben ser consideradas en el cálculo de la potencia nominal y en la evaluación económica y técnica de su instalación.

El generador, esencialmente un tipo de alternador convierte la energía mecánica rotativa de la turbina en electricidad mediante la inducción electromagnética, basándose en los principios de la ley de Faraday. Los generadores pueden ser síncronos o asíncronos: los primeros generan electricidad a una velocidad constante, mientras que los segundos utilizan la velocidad de rotación del rotor para inducir el campo magnético excitador, simplificando así el control de velocidad en la turbina. [23]

En resumen, las minicentrales hidroeléctricas representan una forma eficiente de aprovechar la energía hidráulica para la generación de electricidad, aunque implican consideraciones detalladas en cuanto a diseño, rendimiento, mantenimiento y costos operativos, que varían según las características específicas del proyecto y el entorno geográfico donde se implementen.

6.3.18 Tipos de Generadores

En la Tabla 4, se realizará un comparativo entre los diferentes tipos de generadores, teniendo en cuenta sus características.

Tabla 4

Tipos de generadores

Tipo de Generador	Pros	Contras
Generador síncrono	<p>Produce corriente alterna estable con frecuencia y voltajes controlados.</p> <p>Ampliamente utilizado en generación de energía.</p> <p>- Alta eficiencia en aplicaciones industriales.</p>	<p>Requiere una corriente de excitación continua para el campo magnético del rotor.</p> <p>Necesita dispositivos adicionales para controlar la excitación del rotor.</p>
Generador asíncrono	<p>No requiere dispositivos de excitación para el rotor.</p> <p>Funcionamiento estable y automático sin regulador de velocidad.</p> <p>Arranque sencillo sin necesidad de equipamiento adicional complejo.</p>	<p>Necesita potencia reactiva de la red para la magnetización inicial.</p> <p>Mayor deslizamiento a medida que aumenta la carga.</p> <p>Menor eficiencia en comparación con generadores síncronos para grandes potencias.</p>
Generador de imanes permanentes	<p>- Alta eficiencia y menor mantenimiento debido a la ausencia de partes móviles.</p> <p>- Ideal para aplicaciones donde se requiere alta eficiencia y durabilidad.</p>	<p>Costo inicial más elevado debido a los imanes permanentes.</p> <p>Limitaciones en la capacidad de ajuste de la velocidad y potencia.</p>
Alternadores sin escobillas	<p>Requieren menos mantenimiento al eliminar las escobillas y anillos colectores.</p> <p>Mayor eficiencia y menor pérdida de energía.</p> <p>Utilizados en aplicaciones donde se necesita fiabilidad y baja necesidad de mantenimiento.</p>	<p>Costo inicial más alto debido a la tecnología de electrónica de potencia requerida.</p> <p>Complejidad adicional en el control electrónico del rotor.</p>

Nota. Fuente: Tomado de OLADE [20]

6.4 Marco Legal:

El diseño e implementación de una micro central hidroeléctrica en el Mariposario del Parque Metropolitano María Lucía (PMML) de la Corporación Universitaria del Meta, requiere un marco legal sólido que garantice el cumplimiento de las normativas nacionales relacionadas con la generación de energía, el uso eficiente de recursos naturales, y la protección ambiental, además que en Colombia, la generación de energía eléctrica mediante fuentes hídricas está sujeta a una serie de leyes y decretos que regulan tanto la concesión de derechos sobre el uso del agua como los lineamientos para el uso de energías alternativas y renovables. Entre las normativas más relevantes para este proyecto destacan las siguientes:

- Ley 143 de 1994: Establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión y comercialización de electricidad en Colombia. Esta ley es clave para entender las regulaciones aplicables a la generación de energía, incluyendo proyectos pequeños como una micro central hidroeléctrica. [24]
- Ley 373 de 1997: Promueve el uso eficiente y el ahorro de agua, un recurso esencial en proyectos hidroeléctricos. Esta ley refuerza la necesidad de gestionar de manera sostenible el agua utilizada para la generación de energía. [25]
- Decreto 1541 de 1978: Regula el uso de las aguas no marítimas en Colombia, y especifica que cualquier persona o entidad que quiera aprovecharlas, ya sea para generación hidroeléctrica u otros fines, debe obtener una concesión. El decreto también establece que estas concesiones no pueden superar los 10 años, lo cual es importante para la planificación a largo plazo del proyecto. [26]
- Ley 697 de 2001: Fomenta el uso racional y eficiente de la energía, y promueve la utilización de fuentes alternativas de energía, como las hidroeléctricas. [27]

- Resolución 1280 de 2006: Establece los términos de referencia para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) en proyectos hidroeléctricos, esto en base al entorno natural del mariposario, ya que es esencial al momento de realizar un estudio de impacto ambiental para evaluar los posibles efectos. [28]
- Decreto 2820 de 2010: Reglamenta el otorgamiento de licencias ambientales en Colombia. El artículo 9 regula las centrales generadoras de energía hidroeléctrica con capacidades menores a 100 MW, lo cual aplica a micro centrales, salvo que esté destinada a operar en Zonas No Interconectadas (ZNI), donde las exigencias pueden variar. [29]
- Ley 1715 de 2014: Regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y a las Zonas No Interconectadas (ZNI). Esta ley es crucial, ya que fomenta la implementación de fuentes renovables de energía en áreas rurales o alejadas del SIN. [30]
- Decreto 348 de 2017: Establece lineamientos para la gestión eficiente de la energía y permite la entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala. Este decreto facilita la incorporación de proyectos de pequeña escala al sistema eléctrico, optimizando el uso de la energía generada. [31]

La construcción y operación de centrales generadoras con una capacidad mayor o igual a 10 y menor de 100 MW, diferentes a las centrales generadoras de energía a partir de recurso hídrico.

La construcción y operación de centrales generadoras de energía a partir del recurso hídrico con una capacidad menor a 100 MW; exceptuando las pequeñas hidroeléctricas destinadas a operar en Zonas No Interconectadas.

7 Metodología

En la presente sección se presenta la guía metodológica para el diseño de una micro central hidroeléctrica destinada a proveer energía eléctrica al mariposario del Parque Metropolitano María Lucía (PMML), de este modo, el propósito de esta metodología es orientar sobre los pasos y consideraciones técnicas necesarias para el desarrollo de un diseño eficiente y adecuado a las condiciones específicas del proyecto, sin entrar en la fase de implementación. Por tanto, se detallan los procedimientos a seguir, desde la recolección y análisis de datos hidráulicos hasta la selección de equipos, como turbinas y generadores, y el dimensionamiento del sistema eléctrico, asimismo, se incluyen criterios para la evaluación de la viabilidad técnica y económica del sistema propuesto. Cabe resaltar, que el diseño metodológico propuesto aquí servirá como una base clara y estructurada para cualquier futuro desarrollo del proyecto, asegurando que todos los aspectos técnicos y de viabilidad sean debidamente considerados.

Este estudio adopta un enfoque metodológico mixto, combinando elementos cuantitativos y cualitativos. La caracterización de la zona de estudio y los componentes de la MCH se abordan desde una perspectiva descriptiva, mientras que la determinación de parámetros de diseño y cálculos se realiza de manera cuantitativa, asimismo se ha optado por un diseño secuencial exploratorio, iniciando con la investigación cualitativa para posteriormente llevar a cabo el análisis cuantitativo. Para cumplir de manera sistemática con los objetivos establecidos, se proponen tres fases fundamentales en las cuales se llevará a cabo el presente proyecto.

FASE 1:

En la Fase 1, se recopila información sobre la zona de estudio, así como de los tipos de micro centrales hidroeléctricas y sus componentes. Se realiza una caracterización detallada del área, recolectando datos hidrométricos, geográficos y determinando la demanda energética, estableciendo así los parámetros de diseño iniciales, para ello, se

utilizan bases de datos como IGAC, DANE, NASA, así como artículos científicos y demás documentos disponibles, asimismo se emplean herramientas como ArcGIS, NASA Power y elementos de medición.

7.1. Identificación y Análisis del Problema

- Se debe comenzar con la identificación del problema energético que se desea resolver, en este caso, la falta de una fuente de energía sostenible y confiable para la iluminación del mariposario en el Parque Metropolitano María Lucía.
- El objetivo principal del proyecto es diseñar una micro central hidroeléctrica que aproveche el caudal disponible del caño Piñalito, proporcionando una fuente de energía limpia, eficiente y sustentable para el sistema de iluminación del PMML.

7.2. Estudio del Área de Implementación

- Se realiza un análisis del sitio donde se implementará la micro central, enfocándose en el curso de agua disponible y las características topográficas del área, para esto, es necesario realizar una visita al lugar para tomar las medidas del terreno, identificar la ubicación más adecuada para la captación de agua, y evaluar las condiciones ambientales.
- Se deben recopilar datos hidrológicos del caño Piñalito, obteniendo tanto datos históricos como mediciones in situ para evaluar la variabilidad del caudal a lo largo del año, para esto, se recomienda acceder a bases de datos como las proporcionadas por el IDEAM.

7.3. Cálculo del Caudal Disponible

- Seleccionar un método adecuado para medir el caudal del canal.
Una opción efectiva es el método de sección-velocidad para pequeños cuerpos de

agua, ya que este método consiste en medir la sección transversal del canal (ancho y profundidad media) y la velocidad del flujo.

- Determinar la sección transversal, siguiendo la recomendación de usar la regla de los trapecios debido a que es una aproximación para calcular el área de figuras irregulares como la del canal que se está utilizando y de acuerdo con los datos obtenidos se determina el área del canal
- Para la medición de la velocidad, se recomienda el uso de un flotador, midiendo el tiempo que tarda en recorrer una distancia conocida, teniendo en cuenta que la velocidad se calcula dividiendo la distancia por el tiempo promedio.
- El caudal se calcula mediante la fórmula $Q=A \times V$, donde Q es el caudal, A el área de la sección transversal y V la velocidad media. Cabe mencionar que se debe realizar esta medición en varias épocas del año para obtener un valor promedio representativo del caudal disponible.

FASE 2:

Una vez recopilada la información, se lleva a cabo un análisis para seleccionar los componentes óptimos y las tecnologías más adecuadas al proyecto, considerando las condiciones específicas del sitio y los últimos avances en el sector. Con estos datos, se procede a modelar la microcentral en AutoCAD, generando representaciones en 3D detalladas y planos bidimensionales que permiten visualizar la geometría y disposición de todos los elementos.

7.4. Selección de la Turbina

- Para la selección de la turbina, tener en cuenta las características del caudal y la altura de caída (denominada “carga” en términos hidroeléctricos), ya que se debe

investigar qué tipos de turbinas son apropiados para caudales bajos y alturas de caída moderadas.

- Las turbinas más comunes para estas condiciones son la turbina Kaplan, la turbina Francis y la turbina Pelton, cada una con características específicas.
- Es fundamental realizar un análisis de eficiencia considerando las fluctuaciones del caudal y la demanda energética.
- La turbina seleccionada debe garantizar un balance óptimo entre eficiencia, costo y mantenimiento y la decisión debe basarse en cálculos de potencia teórica, considerando el caudal y la altura disponible, utilizando la fórmula:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Donde:

P es la potencia en vatios,

η es la eficiencia de la turbina,

ρ es la densidad del agua,

g es la aceleración debido a la gravedad,

Q es el caudal en metros cúbicos por segundo,

H es la altura de caída en metros.

7.5. Diseño del Sistema de Iluminación

- Determinar la demanda de iluminación del mariposario, lo cual incluye medir el área total a iluminar y evaluar los niveles de luz necesarios para asegurar un ambiente adecuado tanto para los visitantes como para los insectos.
- Se debe calcular el número de luminarias necesarias para cumplir con los requerimientos de iluminancia (medidos en lux) y distribución de la luz. Cabe resaltar que las luminarias LED son recomendadas por su alta eficiencia energética y bajo mantenimiento.
- El sistema debe diseñarse de forma que optimice el uso de la energía generada por la micro central, minimizando las pérdidas eléctricas y garantizando una iluminación uniforme en todo el mariposario.

7.6. Dimensionamiento de los Componentes Eléctricos

- Para iniciar, se debe calcular la demanda eléctrica total del sistema de iluminación y otros dispositivos menores, esto incluye sumar las potencias de las luminarias y aplicar un factor de seguridad para evitar sobrecargas.
- El siguiente paso es seleccionar un generador eléctrico que sea compatible con la turbina y capaz de satisfacer la demanda del sistema, para este caso, se deben calcular las potencias esperadas y seleccionar un generador con una potencia nominal ligeramente superior a la demanda total, para garantizar un funcionamiento sin interrupciones.
- En este sentido, se diseña la red de distribución de la energía, calculando el calibre de los cables, las posibles pérdidas por distancia y considerando la instalación de dispositivos de protección (disyuntores, fusibles, etc.) para garantizar la seguridad del sistema.

7.7. Diseño del Sistema de Captación de Agua

- El diseño de la captación de agua debe asegurar que el caudal fluya hacia la turbina de forma controlada, por tanto, se debe construir una estructura de captación que incluya rejillas de filtrado para evitar que sedimentos o residuos ingresen en la turbina.
- Además, se deben instalar compuertas que permitan el control del flujo de agua en caso de variaciones de caudal o crecidas, el diseño debe ser robusto y adecuado a las condiciones locales del caudal.

7.8. Instalación del Sistema Hidroeléctrico

- La instalación de la turbina y el generador debe realizarse en el lugar seleccionado, asegurando una conexión eficiente entre el sistema de captación y el equipo de generación de energía.
- Es fundamental seguir los lineamientos de seguridad y realizar las pruebas iniciales para verificar que todos los componentes funcionan correctamente antes de poner en operación el sistema, estas pruebas deben incluir la medición del caudal real, la potencia generada y la eficiencia del sistema completo.

FASE 3:

Se lleva a cabo un estudio de factibilidad técnico-económica y ambiental para la construcción de la micro central hidroeléctrica. El análisis económico incluye una estimación de los costos de inversión, así como un análisis de sensibilidad para evaluar la viabilidad financiera del proyecto, por otro lado, se realiza una evaluación de los impactos ambientales, considerando aspectos como la calidad del agua, la biodiversidad, el paisaje y los recursos hídricos. Los resultados de este estudio permitirán definir los costos de inversión, diseñar las medidas de mitigación y compensación necesarias, y elaborar un plan de manejo ambiental para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.

8 Resultados

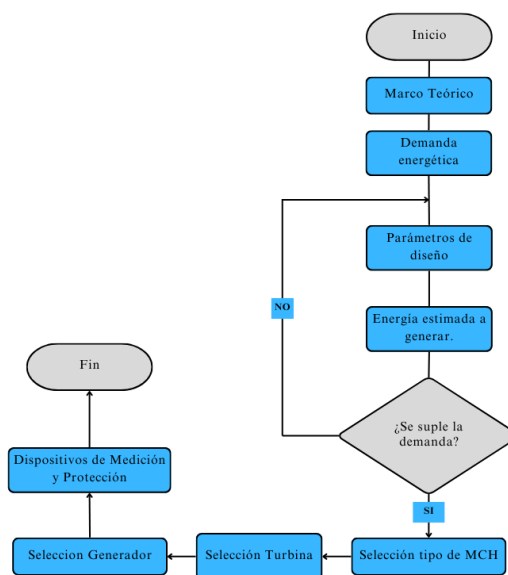
El objetivo del presente proyecto de investigación es el diseño una micro central, destinada a cubrir la demanda energética del mariposario, además de poder abastecer otros sistemas dentro del parque MML.

8.1 Diseño de la micro central hidroeléctrica:

El diseño de una micro central hidroeléctrica requiere un proceso que inicia con la evaluación de la demanda energética y las características del recurso hídrico disponible, a partir de este análisis, se selecciona la tecnología más adecuada (turbina, generador) y se optimiza el diseño considerando factores como el represamiento [32]. En la Figura 17, se visualiza este proceso a través de un Diagrama de Flujo, asegurando que se aborden todos los aspectos técnicos.

Figura 17

Diagrama de Flujo, Desarrollo del Diseño de la MCH.



Nota. Proceso de diseño de la MCH. Fuente propia.

8.2 Estimación de la Demanda:

La determinación de la demanda lumínica en el mariposario requiere un análisis de sus necesidades específicas, donde es fundamental evaluar factores como la intensidad lumínica y el espectro de luz para garantizar el bienestar de las mariposas.

De acuerdo con el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público *RETILAP*, específicamente en el Artículo 3.3.1.5. *Requisitos de iluminación de otras áreas del espacio público*, los mariposarios podrían clasificarse como complejos de protección ecológica y protección de fauna silvestre, esta clasificación los ubica en la Clase de iluminación P6 como se evidencia en las tablas 5 y 6, lo que implica los siguientes requerimientos; una iluminación muy tenue, con un promedio de entre 2 y 3 lux, una luz cálida, similar a la natural, con una temperatura de color entre 3000 K y 3500 K, así mismo que se de una iluminación homogénea, garantizando una uniformidad mínima de 0.2, a una altura de luminarias máximo 5 metros, donde no se permite flujo luminoso por encima de la horizontal, evitando así la contaminación lumínica, también se recomienda iluminar solo las áreas estrictamente necesarias, siempre priorizando la no perturbación de la fauna [33].

Estos parámetros buscan preservar los ciclos naturales de la flora y fauna dentro del mariposario, evitando alteraciones causadas por una iluminación artificial excesiva o inadecuada. Teniendo presente que la luz artificial puede desorientar a los insectos, alterar sus patrones de comportamiento, y afectar negativamente su desarrollo [34].

Para calcular el flujo luminoso necesario en el mariposario, es fundamental considerar sus dimensiones exactas; este cuenta con una estructura geodésica de frecuencia 3 de 5/8 de esfera de un diámetro de 10 m y una altura de cúpula de 6,40 m, como se muestra en la Figura 18.

Tabla 5

Criterios guía para la escogencia de zonas estipuladas con Clases de iluminación P para otras zonas del espacio público.

Clase de iluminación	Tipos de aplicación
P1	Zonas peatonales adyacentes a vías principales con clase de iluminación M1 y M2
P2	Zonas peatonales adyacentes a vías con clase de iluminación M3, senderos peatonales no adyacentes a vías y con alto índice de circulación de personas, paseos peatonales comerciales abiertos, zonas peatonales alrededor de zonas de parqueo abiertos y zonas de parqueo en zonas de reserva forestal.
P3	Senderos peatonales con alta afluencia de personas adyacentes o dentro de parques recreativos, polideportivos o similares, senderos peatonales no adyacentes a vías vehiculares
P4	Zonas peatonales adyacentes a vías con clase de iluminación M4 y M5.
P5	Zonas peatonales adyacentes a vías con clase de iluminación M6
P6	Zonas verdes dentro de parques urbanos o iluminación de Zonas peatonales dentro de reservas naturales, senderos rurales, complejos de protección ecológicos y de protección de fauna silvestre.1 , o zonas dentro de estos complejos, donde se autorice implementar iluminación de seguridad.

Nota. Categorización de los diferentes tipos de iluminación según su aplicación específica. Adaptada de la tabla 3.3.1.5 b, del RETILAP [33].

Tabla 6

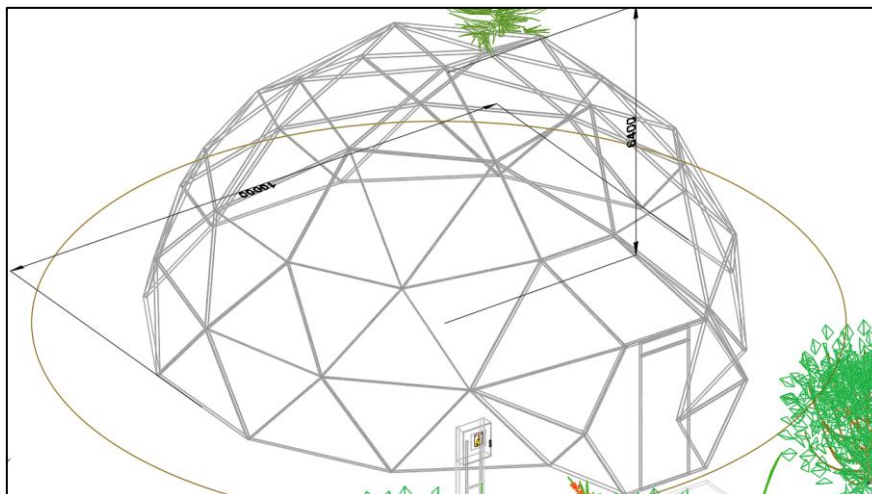
Clases de iluminación P para otras zonas del espacio público

Clase de iluminación	Rango Iluminancia promedio Emed.(lux)	Punto mínimo Emin(lux)	Iluminancia Vertical mínima (Evmin,lux)	Iluminancia Semi cilíndrica mínima (Esc,min,lux)
P1	15,0 - 22,50	3,0	5,0	3,0
P2	10,0 - 15,0	2,0	3,0	2,0
P3	7,5 - 11,25	1,5	2,5	1,5
P4	5,0 - 7,50	1,0	1,5	1,0
P5	3,0 - 4,50	0,6	1,0	0,6
P6	2,0 - 3,00	0,4	0,6	0,4

Nota. Categorización de los diferentes rangos de iluminancia de acuerdo a la Clase de iluminación. Adaptada del RETILAP [33].

Figura 18

Estructura Geodésica – Mariposario del PMM



Nota. Representación gráfica del Mariposario a escala 1:1000. Fuente propia.

Tabla 7*Dimensiones del Mariposario*

Dimensiones	
Diámetro	10 m
Radio	5 m
Altura	6,4 m

Nota: Fuente: Propia

En función a los datos de la tabla 7 se determina el área de la estructura del mariposario:

$$A_{\text{Mariposario}} = 2 * \pi * r^2$$

$$A_{\text{Mariposario}} = 2 * \pi * 5^2$$

$$A_{\text{Mariposario}} = 50\pi \text{ m}^2 = 157.07 \text{ m}^2$$

Teniendo el área del mariposario y nivel de iluminancia de 0.3 lux correspondientes al área, se procede a calcular el Flujo luminoso:

$$\text{Flujo Luminoso} = \text{Lux} * A_{\text{Mariposario}}$$

$$\text{Flujo Luminoso} = 0.3\text{Lux} * 157.07\text{m}^2$$

$$\text{Flujo Luminoso} = 47.12 \text{ lm}$$

Para garantizar el bienestar y facilitar la investigación de las mariposas, se determinó que el flujo luminoso óptimo dentro del mariposario de 47.12 lúmenes, esta intensidad lumínica, que solo se activará cuando sea necesario, permitirá realizar observaciones y experimentos sin perturbar el comportamiento natural de los insectos, en base a estos requisitos, se seleccionó la siguiente luminaria para su instalación en el domo; Luminaria LED tipo bolardo de 10w y 700lm, ver Anexo H.

Dado que el flujo luminoso de la luminaria es de 700 lm, superando el requerido que es de 47.12 lm, se reitera que su uso será limitado a momentos puntuales, como visitas nocturnas o investigaciones; esta medida, combinada con la temperatura de la luz de color cálida de 3000 K que ofrece la luminaria, se asegura un ambiente óptimo para las mariposas, minimizando el estrés causado por la exposición a la luz artificial.

$$N^{\circ} \text{ Luminarias} = \frac{47.12 \text{ lm}}{700 \text{ lm}}$$

$$N^{\circ} \text{ Luminarias} = 0.07 \cong 1$$

Con una única luminaria instalada en el punto central del domo, se cubren las necesidades de iluminación del espacio, asegurando un ambiente seguro y óptimo para las mariposas. Además de la iluminación en el mariposario, es necesario considerar la iluminación del sendero de acceso y de la estructura en guadua adyacente al mariposario, para el sendero, se requiere un nivel de iluminancia promedio de 2-3 lux, considerando que el sendero mide aproximadamente 31 metros de acuerdo con la figura 19.

$$\text{Área de cobertura por cada luminaria} = \frac{\text{Flujo Luminoso}}{\text{Nivel de Iluminación}}$$

$$\text{Área de cobertura por cada luminaria} = \frac{700 \text{ lm}}{3 \text{ lux}} = 233.33 \text{ m}^2$$

Esto indica que, en teoría, una luminaria tiene un área de cobertura aproximadamente de 233 m² a un nivel de luminancia de 3 lux. Para un sendero lineal de 31 metros, el cálculo del número de luminarias se basa en el espaciado para mantener un nivel uniforme de 3 lux, la cobertura teórica indica que una sola luminaria es más que suficiente para iluminar el sendero, pero en la práctica, se deberá considerar la distribución de la luz y la uniformidad, dado que una luminaria no puede cubrir homogéneamente una gran extensión de área, un espaciado de 5 metros debería ser adecuado para asegurar una cobertura continua y uniforme en el sendero, teniendo en cuenta esto;

$$\text{Número de luminarias} = \frac{\text{Longitud sendero}}{\text{Espaciado}} + 1$$

$$\text{Número de luminarias} = \frac{31\text{m}}{5\text{m}} + 1 = 7$$

Figura 19

Distancia del sendero



Nota. Imagen tomada de Google Maps [35].

Para el sendero, se instalarán 7 luminarias tipo bolardo, espaciadas cada 5 metros y para resaltar la estructura del mariposario y mejorar la visibilidad nocturna, se dispondrá de 2 luminarias adicionales en el exterior.

En la estructura de guadua, se instalarán 4 luminarias de 6W y 360 lúmenes cada una, con un nivel de iluminación objetivo de 100 lux adicionalmente, se instalará un reflector de 30W en la zona de la presa y los equipos electromecánicos, con el fin de mejorar la visibilidad y facilitar las operaciones en esta área.

La distribución de las luminarias se evidencia en las Figuras 20, 21 y 22.

Figura 20

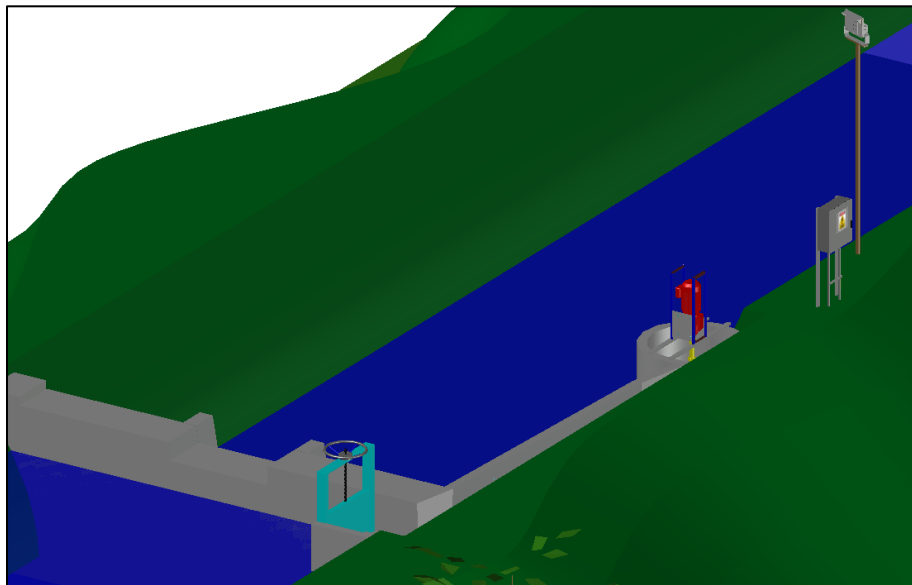
Iluminación área del Mariposario



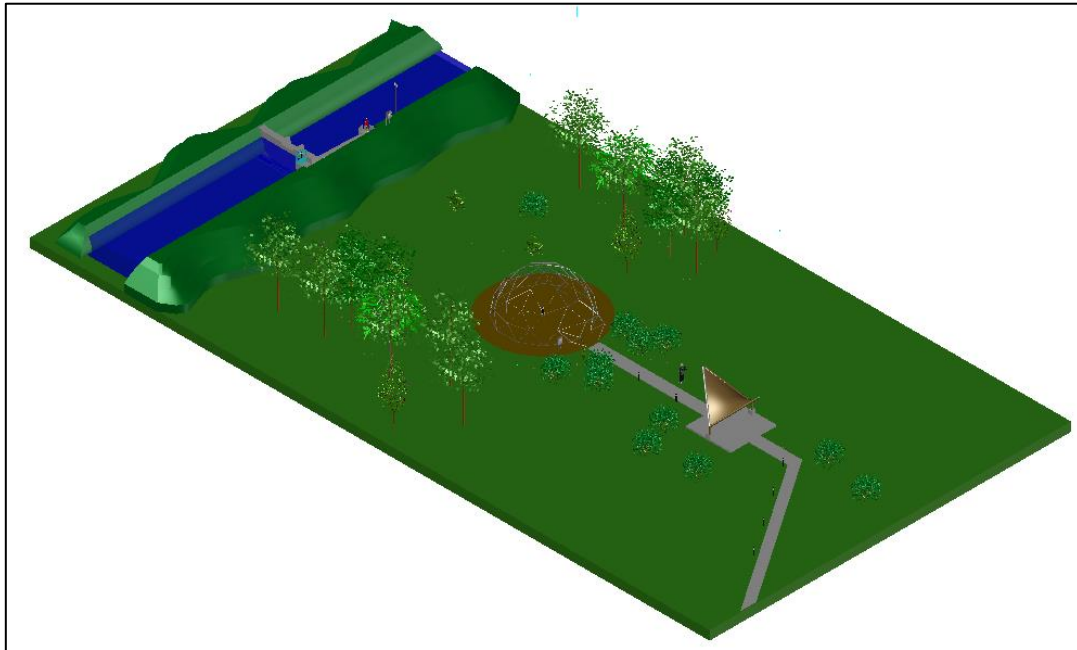
Nota. Sistema de iluminación en el área del mariposario. Fuente propia

Figura 21

Iluminación área de la presa.



Nota. Sistema de iluminación en el área de la presa. Fuente propia

Figura 22*Iluminación General*

Nota. Sistema de iluminación General. Fuente propia

Además de la instalación de un sistema de iluminación, se requiere la instalación de tomacorrientes para conectar equipos auxiliares necesarios en el mariposario.

Dada la exposición directa al agua en esta área exterior, es necesario cumplir con las normativas técnicas NTC 2050, 1650 y el RETIE.

De acuerdo con la NTC 2050, sección 410-57, los tomacorrientes en lugares húmedos o mojados deben contar con un encerramiento a prueba de intemperie, solo se permiten excepciones para herramientas y equipos portátiles utilizados bajo supervisión directa [36].

El RETIE, en su Artículo 3.17.10, establece que los tomacorrientes en áreas húmedas o mojadas deben tener un grado de protección IP o NEMA adecuado para las condiciones ambientales esperadas. Los tomacorrientes expuestos a lluvia o salpicaduras requieren una cubierta protectora [37].

Asimismo, la clasificación según el grado de protección contra el ingreso de agua se realiza de acuerdo con la norma técnica NTC-IEC 60529, esta norma establece el índice de protección IP, que indica el nivel de resistencia de un equipo a la penetración de sólidos y líquidos, la siguiente tabla muestra los diferentes grados de protección IP, donde el primer dígito indica la resistencia a sólidos y el segundo, a líquidos [34], evidenciado en la tabla 8.

Teniendo esto presente, para los tomacorrientes y luminarias expuestos directamente a la lluvia se deben tener una protección mínima IP 54, prefiriendo elegir de mayor grado para mejor protección. En base en el análisis previo, se elaborará un cuadro de cargas para determinar la demanda eléctrica estimada del área del mariposario, teniendo como cargas lo expuesto en la tabla 9 y la Figura 23;

Considerando una carga total de 754 W, se establece un factor de seguridad del 25% para garantizar que el generador seleccionado pueda suministrar la demanda eléctrica, de esta manera, la potencia nominal del generador a seleccionar debe ser de;

$$PT = P * 1,25$$

$$PT = 754 \text{ w} * 1,25$$

$$PT = 943 \text{ w}$$

Se requiere de un generador de al menos 1 kW, seleccionando uno de 1,5 kW para compensar las pérdidas del sistema y garantizar la potencia requerida.

Tabla 8*Categorización Grados de Protección*

Grado de protección para la protección contra contactos y cuerpos extraños; primer dígito.		Grado de protección contra agua; segundo dígito.	
IP 0X	Sin protección	IP X0	Sin protección
IP 1X	Protegida contra los cuerpos sólidos de diámetro superior o igual a 50 mm.	IP X1	Protegida contra la caída vertical de gotas de agua.
IP 2X	Protegida contra los cuerpos sólidos de diámetro superior o igual a 12.5 mm.	IP X2	Protegida contra la caída de gotas de agua (15° de inclinación).
IP 3X	Protegida contra los cuerpos sólidos de diámetro superior o igual a 2.5 mm.	IP X3	Protegida contra la lluvia (60° de inclinación).
IP 4X	Protegida contra los cuerpos sólidos de diámetro superior o igual a 1 mm.	IP X4	Protegida contra proyecciones de agua.
IP 5X	Protegida contra la penetración de polvo (entrada limitada, cantidad no perjudicial).	IP X5	Protegida contra los chorros de agua.
IP 6X	Completamente protegido al polvo.	IP X6	Protegida contra fuertes chorros agua.
		IP X7	Protegida contra los efectos de la inmersión temporal (-1 metro durante 30 minutos).
		IP X8	Protegida contra la inmersión prolongada (superior a 1 metro durante un tiempo definido por el fabricante).
		IP X9	Protección contra chorros de corto alcance a alta presión y de alta temperatura

Nota. Tabla adoptada de la Norma Técnica, NTC-IEC 60529.[38]

Tabla 9

Estimación de la Demanda

Equipo	Tensión	Potencia Unt	Cant	Potencia Total
Luminaria LED bolardo	120	10W	10	100W
LED panel redondo	120	6W	4	24W
Reflector LED	120	30 W	1	30 W
Tomacorrientes	120		2	600 W

Figura 23

Diagrama - Cuadro de cargas

CUADRO DE CARGAS									
Circuito Nº					Carga Total (w)	Fase	Conductor (AWG)	Interruptor (ITM)	Tipo de Carga
	300 w	30 w	10 w	6 w		A			
1	2				600 w	600 w	12	1x20A	Tomacorriente
2			10		100 w	100 w	12	1X20A	Iluminación
3		1		4	54 w	55 w	12	1X20A	Iluminación
4									
Total (w)					754 w	754 w			

	Diseño de una Micro central Hidroeléctrica para el suministro eléctrico del sistema de iluminación del Mariposario del PMML de la Corporación Universitaria del Meta		
	PROYECTO:		
	TITULO PLANO:	Cuadro de Cargas	APROBÓ:
	ESCALA:	ELABORÓ:	PLANO Nº:
1:1	Daniel Silva - Natalia Olaya	PL001	

Nota. Diagrama de cargas proyectadas. Fuente propia

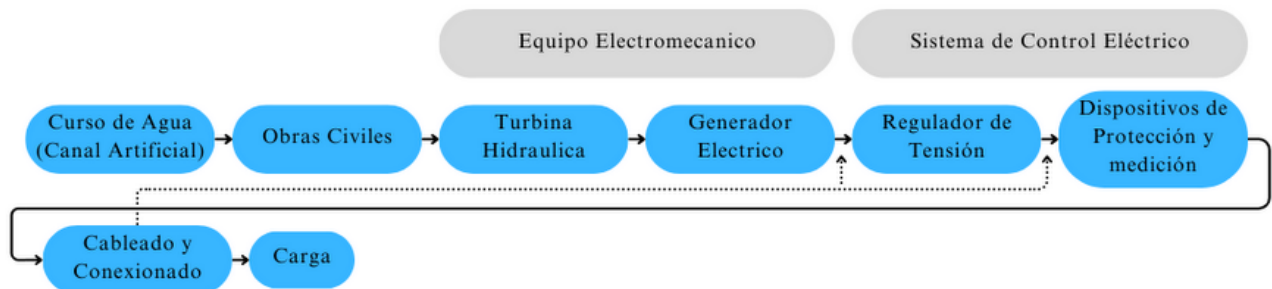
La energía eléctrica generada por la micro central hidroeléctrica que no sea utilizada inmediatamente en el mariposario podrá ser posteriormente distribuida para alimentar diversos sistemas del parque, como la iluminación perimetral y el funcionamiento de otros sistemas que lo requieran, esta estrategia permitirá optimizar el uso de la energía renovable generada y reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales.

8.3 Parámetros de diseño

El diseño óptimo de una Micro central Hidroeléctrica (MCH) depende de una evaluación de diversos factores, entre los criterios fundamentales se encuentran, el caudal disponible, la altura de caída del agua y las condiciones del sitio, estos parámetros determinan la potencia a instalar y la selección de los equipos más adecuados, asegurando así la eficiencia y viabilidad del proyecto [40]. Las partes que integran la MCH se ilustran en la Figura 24;

Figura 24

Esquema simplificado del proceso de generación hidroeléctrica en una MCH



Nota. La imagen muestra los componentes principales y el flujo del proceso, desde la captación del agua hasta la entrega de energía eléctrica a la carga. Fuente propia.

8.4 Datos meteorológicos de la zona:

A través de la herramienta *NASA POWER* se realizó el análisis de los datos de precipitación mensual total en parque metropolitano María Lucia durante el período 2017-2022.

Los resultados obtenidos muestran la precipitación máxima en el mes de mayo y menor en los meses de Enero y Febrero, lo que sugiere un posible aumento en el caudal del río y sus implicaciones para la generación hidroeléctrica, en la tabla 10 y la Figura 25, se representan los datos obtenidos del aplicativo.

Tabla 10

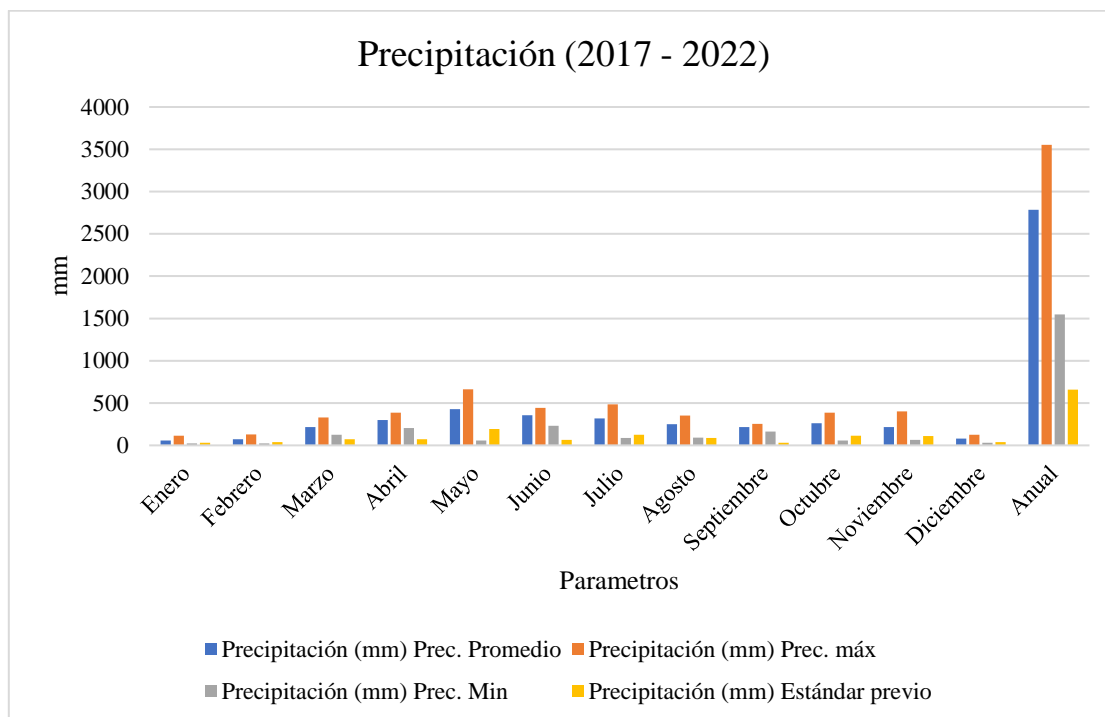
Precipitación Anual

Precipitación (mm)				
	Prec. Promedio	Prec. máx.	Prec. Min	Estándar previo
Enero	58	113	24	30
Febrero	74	128	23	40
Marzo	215	329	127	72
Abril	301	387	205	74
Mayo	427	662	59	192
Junio	358	445	233	65
Julio	320	484	87	126
Agosto	250	351	91	87
Septiembre	215	256	165	30
Octubre	263	387	57	114
Noviembre	216	400	66	112
Diciembre	81	126	30	37
Anual	2784	3553	1548	659

Nota. La tabla muestra los datos de precipitación Anual para la zona de estudio, obtenidos del aplicativo NASA POWER [41]

Figura 25

Análisis de precipitaciones 2017-2022.



Nota. Análisis de la variabilidad de las precipitaciones durante el período 2017-2022, adaptado del aplicativo NASA POWER.[41]

Esta información es fundamental para modelar el comportamiento hidrológico del canal y estimar los máximos caudales generados durante la época de lluvias, lo que permite dimensionar adecuadamente las obras hidráulicas asociadas.

8.5 Estimación del caudal

El proyecto se desarrollará en un canal artificial alimentado por el caño Piñalito, ubicado dentro del parque MML en la vereda La Llanerita, este canal presenta un caudal variable, influenciado directamente por las condiciones climáticas, durante la época seca el caudal disminuye considerablemente, lo que implica diseñar una micro central hidroeléctrica (MCH) capaz de operar de manera eficiente con caudales bajos, la selección de una turbina

adecuada, capaz de aprovechar al máximo la energía hidráulica disponible en estas condiciones, será fundamental para el proyecto [42].

Para determinar el caudal disponible en el canal, se empleó el método de sección-velocidad o flotador. Los datos obtenidos reflejan el caudal máximo promedio disponible en el canal, con el fin de garantizar un suministro de energía estable y acorde a la demanda, se ha definido un caudal promedio de operación, considerando las variaciones estacionales del caudal (época seca y de lluvias), las características del canal y la capacidad de generación de la turbina, a continuación, se determina el caudal máximo promedio del canal mediante mediciones directas de la velocidad del flujo y el área de la sección transversal, este valor representa el caudal máximo promedio disponible en condiciones óptimas de llenado del canal.

$$Q = V * A$$

Donde

Q: Caudal (m³/s)

V: Velocidad (m/s)

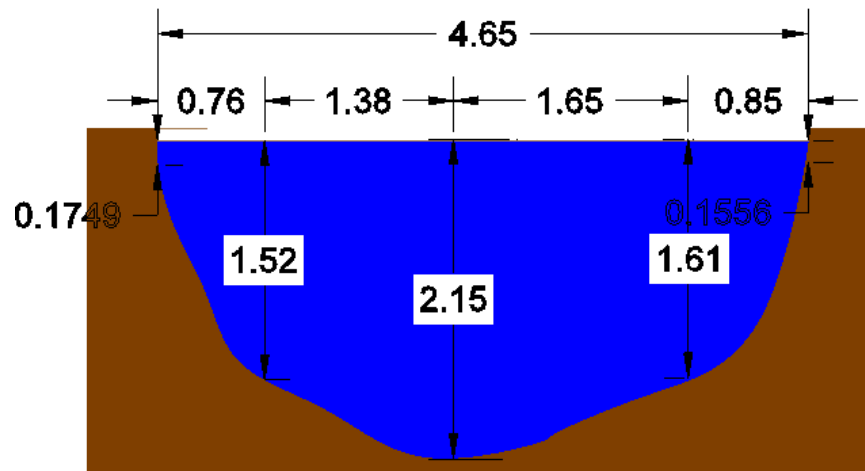
A: Área (m²)

La Figura 26 representa una sección transversal del canal de agua, donde se tiene los siguientes datos:

- **Ancho total:** 4.65 m.
- **Divisiones del ancho:** 0.76, 1.38, 1.65, 0.85 m.
- **Profundidades:** 0.17, 1.52, 2.15, 1.61, 0.15 m.

Figura 26

Sección transversal del canal.



Nota. Sección transversal del canal, elaboración propia

En las figuras 27 y 28 se evidencian las mediciones de la sección transversal del canal.

Figura 27

Medición sección transversal del canal #1

**Figura 28**

Medición sección transversal del canal #2



8.6 Regla de los Trapecios

La regla de los trapecios es una aproximación para calcular el área de figuras irregulares como la del canal, de acuerdo a los datos obtenidos se determina el área del canal:

1. Trapecio 1:

- Base menor: 0.17 m.
- Base mayor: 1.52 m.
- Altura: 0.76 m.

2. Trapecio 2:

- Base menor: 1.52 m.
- Base mayor: 2.15 m.
- Altura: 1.38 m.

3. Trapecio 3:

- Base menor: 2.15 m.
- Base mayor: 1.61 m.
- Altura: 1.65 m.

4. Trapecio 4:

- Base menor: 1.61 m.
- Base mayor: 0.15 m.
- Altura: 0.85 m.

Cálculo del Área

Teniendo en cuenta la fórmula para calcular el área de un trapecio:

$$A = h * \frac{Base Mayor + Base Menor}{2}$$

Se hallará el área de cada trapecio y el área total aproximada;

- **Área del Trapecio 1:**

$$A_1 = 0.76 * \frac{1.52 + 0.17}{2} = 0.845 m^2$$

- **Área del Trapecio 2:**

$$A_2 = 1.38 * \frac{2.15 + 1.52}{2} = 1.84 m^2$$

- **Área del Trapecio 3:**

$$A_3 = 1.65 * \frac{1.61 + 2.15}{2} = 1.88 m^2$$

- **Área del Trapecio 4:**

$$A_4 = 0.85 * \frac{1.61 + 0.15}{2} = 0.88 m^2$$

- **Área total aproximada:**

$$A_t = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_t = 0.845 + 1.84 + 1.88 + 0.88 = 5.44 m^2$$

En la tabla 11 se resumen los datos obtenidos.

Tabla 11

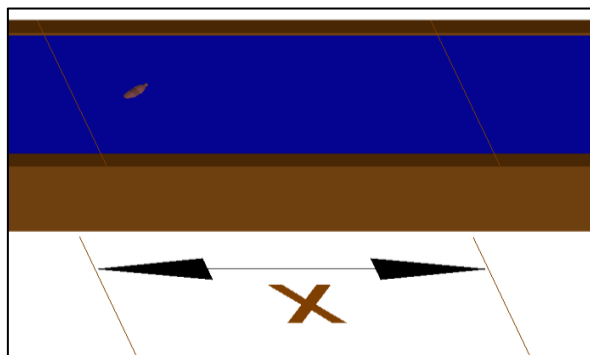
Áreas sección transversal del Canal

Áreas	Total
Área Trapecio 1	0.845 m ²
Área Trapecio 2	1.84 m ²
Área Trapecio 3	1.88 m ²
Área Trapecio 4	0.88 m ²
Área Total	5.44 m²

Con el fin de determinar el caudal del río, se realizó el cálculo del área de la sección transversal en un punto específico, posteriormente, se emplea el método del flotador superficial para medir la velocidad del flujo, tomando tres repeticiones en diferentes puntos de la sección, como se representa en la figura 29 y 30.

Figura 29

Figura método del flotador superficial.



Nota. La Figura muestra una representación esquemática del método del flotador, utilizado comúnmente para determinar la velocidad del flujo en canales abiertos, Fuente propia.

Figura 30

Medición de la velocidad del flujo mediante el método del flotador



Nota. Se establecieron distancias para medir el tiempo que tarda un objeto en recorrerlas, con el fin de determinar su velocidad.

Obteniendo los valores representados en la tabla 12, se determina la velocidad del agua en cada sección del canal.

Tabla 2

Distancias y tiempos del Objeto en el canal

Distancia (m)	Tiempo (s)
7	21.3
10	28.8
12	36.6

A partir de los tiempos registrados en los tres puntos de medición, se calcula la velocidad total del agua en el canal,

Donde;

X: Distancia (m)

t: Tiempo (s)

V: Velocidad (m/s)

$$V = \frac{x}{t}$$

Distancia (7 m)

$$V = \frac{7 \text{ m}}{21.3 \text{ s}} = 0.33 \text{ m/s}$$

Distancia (10 m)

$$V = \frac{10 \text{ m}}{28.8 \text{ s}} = 0.35 \text{ m/s}$$

Distancia (12 m)

$$V = \frac{12 \text{ m}}{36.6 \text{ s}} = 0.32 \text{ m/s}$$

La Tabla 13 muestra los datos recopilados y su promedio correspondiente.

Tabla 3

Relación entre distancia recorrida y velocidad

Distancias	Velocidad (m/s)
Distancia 1 (7m)	0.33 m/s
Distancia 2 (10m)	0.35 m/s
Distancia 3 (12m)	0.32 m/s
Promedio	0.33 m/s

Obteniendo una velocidad promedio del flujo de 0.33 m/s, se sustituyen los datos de la velocidad promedio y el área, para determinar el caudal:

$$Q = V * A$$

$$Q = 0.33 \text{ m/s} * 5.44 \text{ m}^2$$

$$Q = 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Los estudios realizados en el canal indican que el caudal presenta una marcada estacionalidad, durante época seca, se observa una disminución significativa del caudal, mientras que en la época de lluvias, este experimenta incrementos considerables, alcanzando un caudal máximo promedio de 1.8 m³/s, este caudal que llega a la presa, representa el total del flujo disponible, sin embargo, para garantizar la generación de energía necesaria y cubrir la demanda energética, es indispensable asegurar un caudal mínimo de 0.1 m³/s, descrito a continuación.

Teniendo que la potencia hidro energética teórica esta descrita por la siguiente ecuación;

$$Pt = \rho * g * Q * Hn$$

Teniendo que:

Pt: Potencia teórica (W)

ρ : Densidad del agua (997 kg/m³)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Q: Caudal (m³/s)

Hn: Salto neto (m)

Se determina el caudal necesario para obtener una potencia de generación de 1,5 kW:

$$Pt = \rho * g * Q * Hn$$

Teniendo la siguiente información, descrita en la Tabla 14;

Tabla 4*Parámetros para el cálculo del caudal*

Potencia	1,5 Kw
Densidad del agua	997 kg/m ³
Gravedad	9.81 m/s ²
Salto neto	1.5 m

Donde;

$$Q = \frac{Pt}{\rho * g * Hn}$$

$$Q = \frac{1500w}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1.5 \text{ m}}$$

$$Q = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Es necesario garantizar un caudal mínimo de 0.1 m³/s, para asegura que la micro central hidroeléctrica pueda generar la potencia eléctrica necesaria para satisfacer la demanda establecida, esta afirmación se sustenta en la relación directa entre el caudal y la potencia generada por la turbina.

8.7 Estimación Salto de agua.

Con el objetivo de evaluar el desnivel del terreno en el área de estudio, se utilizó un enfoque geodésico. Se seleccionaron dos puntos de interés y empleando la herramienta de posicionamiento GPS, se registraron las coordenadas geográficas, posteriormente, estos datos fueron procesados en el aplicativo en línea *CalcMaps*, el cual, a través de la triangulación de señales de satélites, calculó la altitud elipsoidal de cada punto, la diferencia entre ambas altitudes elipsoidales proporcionó el salto geodésico, que representa la variación vertical del terreno entre los dos puntos, donde Zm representaría la cota captación

de agua (Figura 31), y Za correspondería a la cota de instalación de la turbina (Figura 32) [46].

Figura 31

Punto más alto Zm

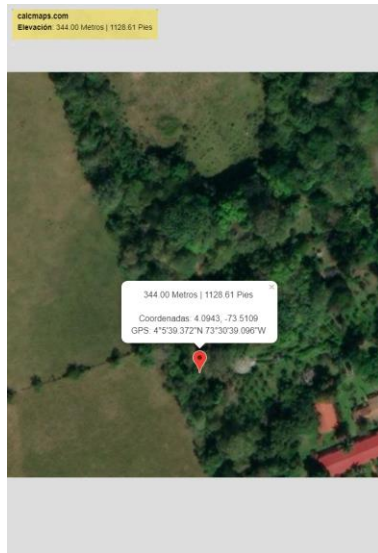
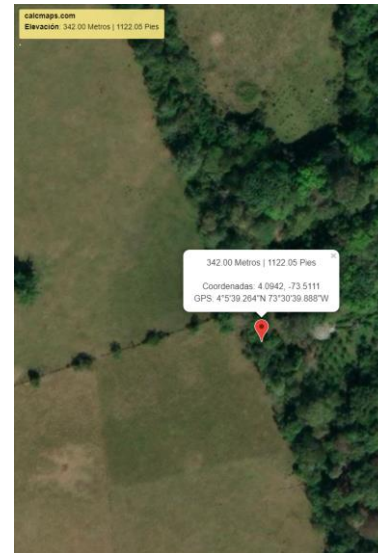


Figura 32

Punto bajo Za



Los resultados de ambas mediciones se presentan en la Tabla 15.

Tabla 5

Comparación de alturas

	Altura Zm	Altura Za
Elevación (m) sobre el nivel del mar.	344.00	342.00

Nota. Los datos de Altura Zm y Za presentados en esta tabla se obtuvieron utilizando la herramienta CalcMaps. [46]

Teniendo presente que el salto bruto o altura geométrica H en las turbinas de reacción, es la diferencia de niveles entre la cámara de carga y el canal de fuga a la salida del tubo de aspiración a la turbina o casa de máquinas.

$$H = Z_m - Z_a$$

Donde tenemos que

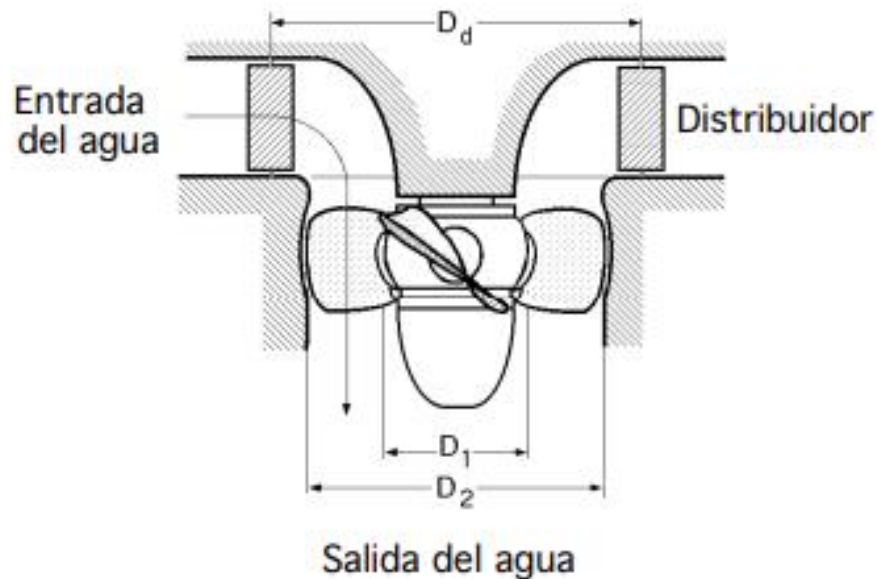
$$H = 344.00 - 342.00$$

$$H = 2 \text{ m}$$

Conociendo el salto bruto, se determina el cálculo del salto neto. El salto neto representa la energía disponible por Kg de agua para accionar la turbina, existen dos métodos principales para calcularlo: el europeo y el americano. El método europeo considera la turbina desde la entrada del distribuidor hasta el nivel del canal de desagüe, mientras que el método americano la considera desde la entrada del distribuidor hasta la salida del difusor [43], ver Figura 33.

Figura 33

Cotas de nivel y componentes generales de una turbina Kaplan



Nota. La imagen muestra Rotor de una turbina Kaplan y sus cotas [43].

Es de tener en cuenta, que el salto neto (H_n) depende del tipo de instalación, en turbinas de cámara abierta, sin tuberías de conexión, H_n es igual al salto bruto (H), mientras que, en turbinas de cámara cerrada, con tuberías, H_n es igual al salto bruto menos las pérdidas en las tuberías (h_t) [43].

En el diseño de la MCH no se requiere de trayectos de tubería para la conducción de agua, por ende, se omite las perdidas por fricción en la tubería, teniendo que el salto neto H_n , equivale a 2 m.

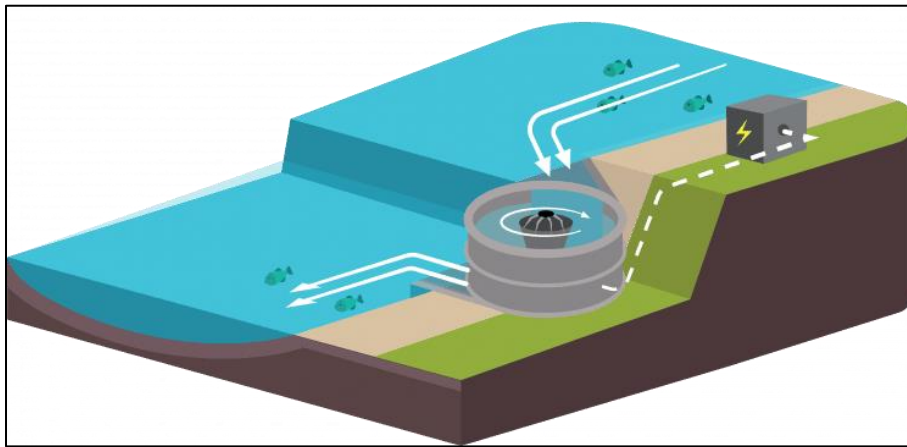
$$H_n = 2 \text{ m}$$

Este valor es una estimación aproximada del salto neto en el área.

8.8 Selección tipo de Micro Central Hidroeléctrica

Dada la topografía plana del terreno, la escasa diferencia de altura y la variabilidad en el caudal del canal, se ha determinado que la central hidroeléctrica más adecuada es del tipo embalse como se muestra en la figura 34, ya que permitirá regular el flujo de agua, garantizando una producción de energía más constante a lo largo del año, a pesar de las variaciones climáticas, además de generar energía, el embalse podrá abastecer de agua a otros sistemas del parque, como riego y consumo, optimizando el uso del recurso hídrico. [44].

A diferencia de otros estudios que exploran sistemas de captación sin presas, el proyecto requiere esta infraestructura debido a las marcadas fluctuaciones estacionales del caudal en el canal, al ser un cauce artificial alimentado por una fuente externa, su régimen de flujo es altamente variable, lo que dificulta garantizar un suministro constante. Para atender la demanda proyectada y mitigar los efectos de la estacionalidad, la construcción de una presa se erige como una solución técnica y económicamente justificada.

Figura 34*Micro hidroeléctrica con presa*

Nota. Micro hidroeléctrica con presa para sistema de baja altura.[49]

8.9 Obras civiles:

El diseño de las obras civiles para la Micro central Hidroeléctrica del Parque Metropolitano María Lucía busca maximizar el aprovechamiento de los recursos hídricos y las condiciones topográficas del sitio, estas obras, que incluyen principalmente una presa y un canal, serán ejecutadas con criterios técnicos y económicos que garanticen la viabilidad del proyecto. La elección de un diseño en espiral para la instalación de la turbina se basa en el aprovechamiento del fenómeno de vórtice gravitacional, optimizando así la eficiencia energética de la central [45].

Para determinar las dimensiones del vertedero que alimenta la turbina, es necesario calcular el radio hidráulico y aplicar la ecuación de Manning que permite determinar las dimensiones óptimas de un canal para un caudal determinado.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde;

Q: Caudal (m^3/s)

A: Área (m^2)

R: Radio hidráulico

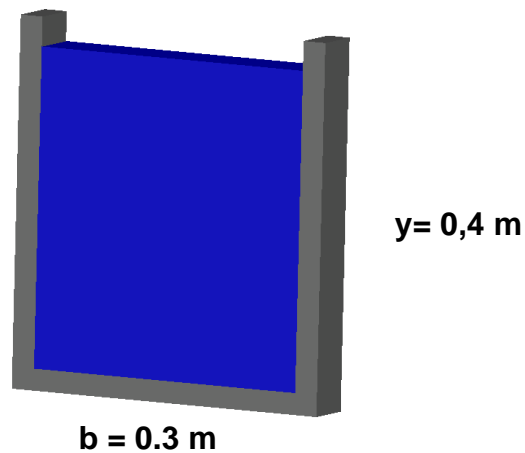
S: Pendiente

n: Rugosidad

Las dimensiones del canal se muestran en la Figura 35

Figura 35

Dimensiones del canal



Nota. Se muestran las medidas del canal diseñado para conducir el caudal hacia la turbina hidroeléctrica.

El área del canal corresponde a:

$$A = 0.4m * 0.3m$$

$$A = 0.12 m^2$$

Teniendo un área de $0.12 m^2$, se procede a establecer el radio hidráulico para secciones rectangulares, empleando la siguiente ecuación:

$$Rh = \frac{b * y}{b + 2 * y}$$

Donde;

Rh: Radio hidráulico

b: Ancho del canal

y: Alto del canal

$$Rh = \frac{0.3 \text{ m} * 0.4 \text{ m}}{0.3 \text{ m} + 2 * 0.4 \text{ m}}$$

$$Rh = 0,109\text{m}$$

A partir de los cálculos efectuados, se obtiene un radio hidráulico equivalente a 0,109 metros, asimismo, se establece la pendiente.

$$S = \frac{\Delta h}{l}$$

Donde;

S: Pendiente

Δh : Diferencia de altura (1,5m y 1,75m)

l; longitud

$$S = \frac{1,7\text{m} - 1,5 \text{ m}}{4 \text{ m}}$$

$$S = 0.05$$

Se ha definido una pendiente del 5% para el canal, con los datos obtenidos, se calcula el caudal resultante, considerando una rugosidad de 0,016 característica del concreto;

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \frac{1}{0.016} * 0.12 * 0.109^{\frac{2}{3}} * 0.05^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este caudal es el necesario para asegurar una generación eléctrica de 1.5 kW, garantizando así un flujo de agua de 0.4 m³/s a través del sistema.

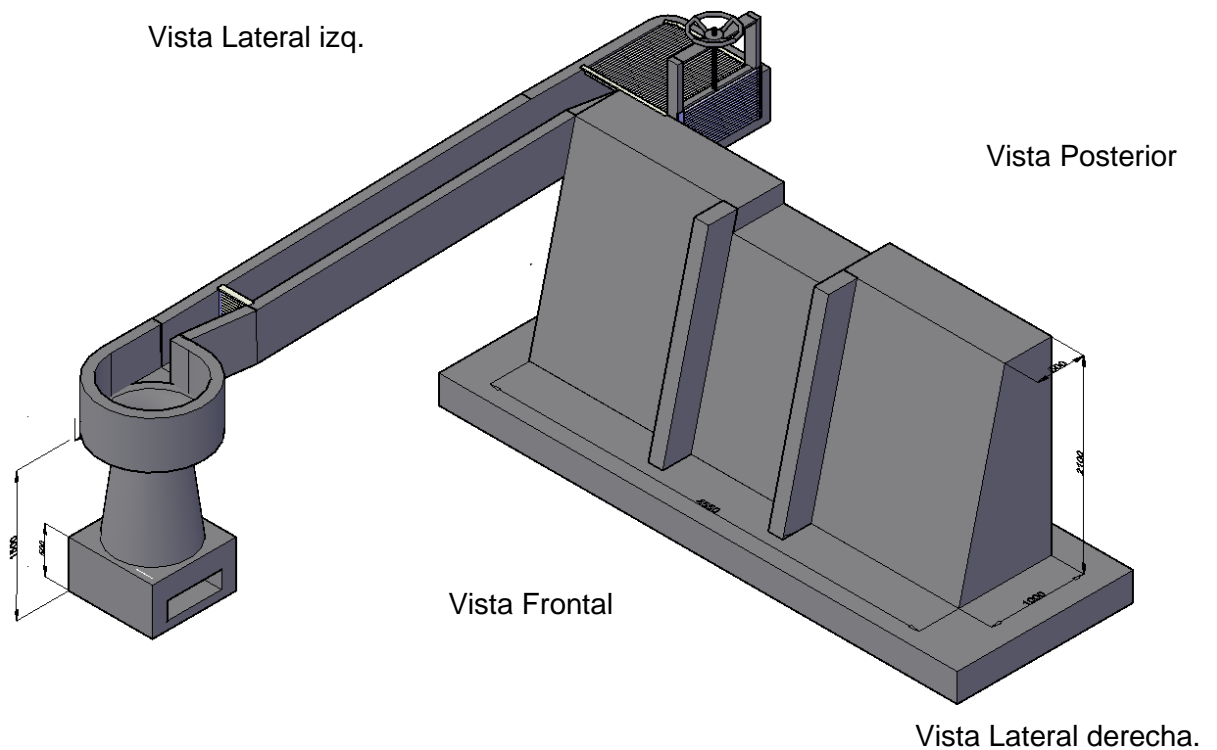
Las figuras de la 36 a la 41 ofrecen una visión completa de la presa y el canal desde diversos ángulos, permitiendo una mejor comprensión del diseño.

En el diseño estructural de la presa, se establecieron las siguientes dimensiones: una base de 1 metro de ancho, una altura total de 2.10 metros y una longitud de 4.65 metros.

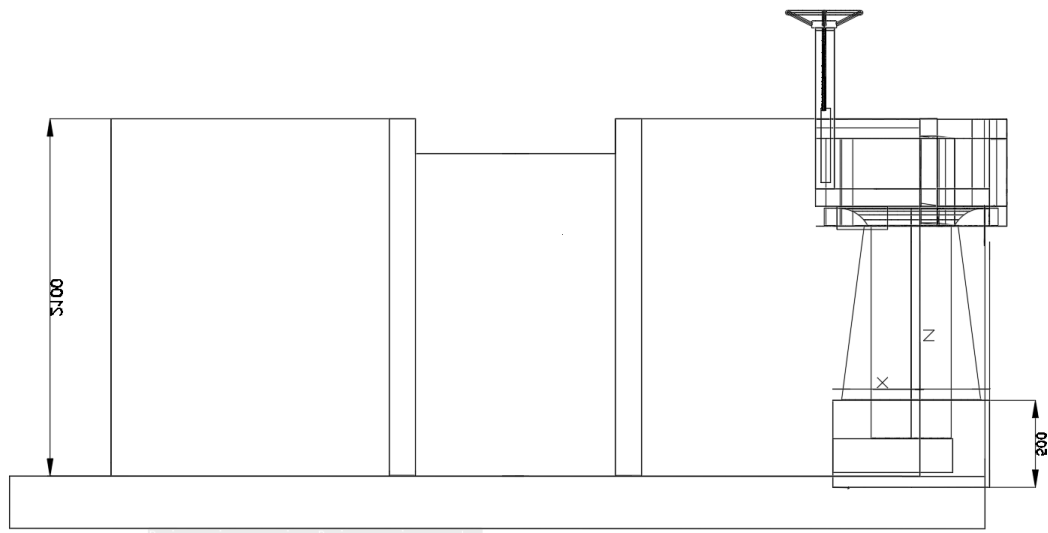
La toma del agua se realiza a través de una compuerta la cual la dirige por el canal hacia la turbina, donde se genera el efecto de vórtice gravitacional.

Figura 36

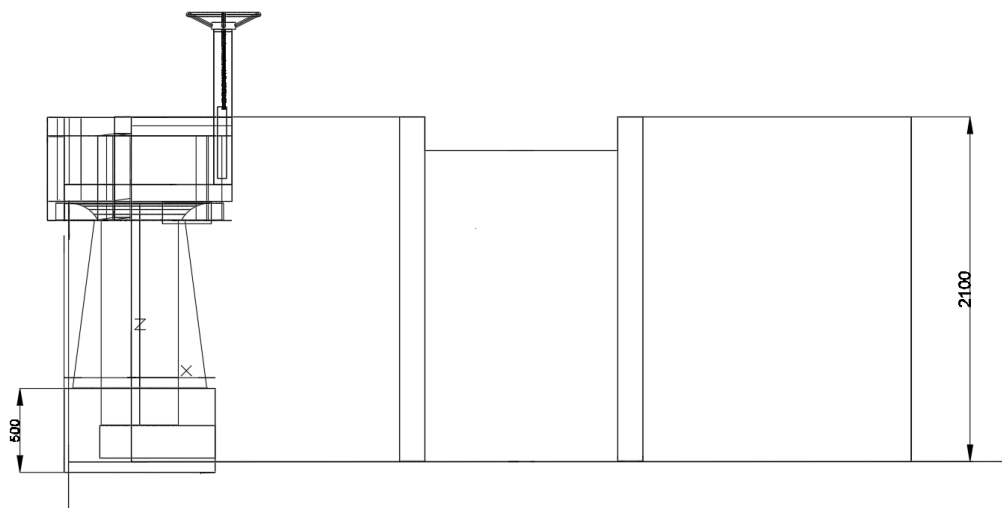
Vista General de la Presa



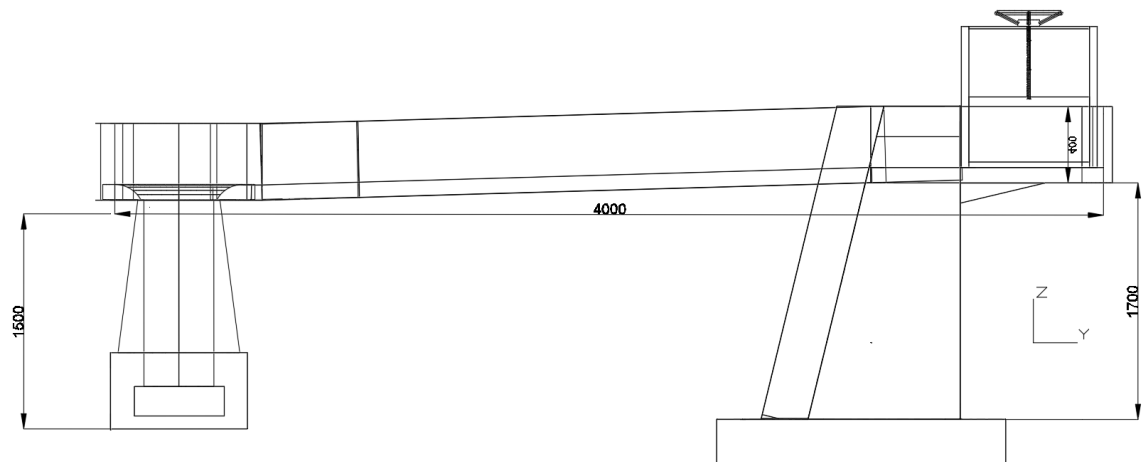
Nota Vista general de la presa y el sistema de conducción. Fuente propia.

Figura 37*Vista Posterior de la presa*

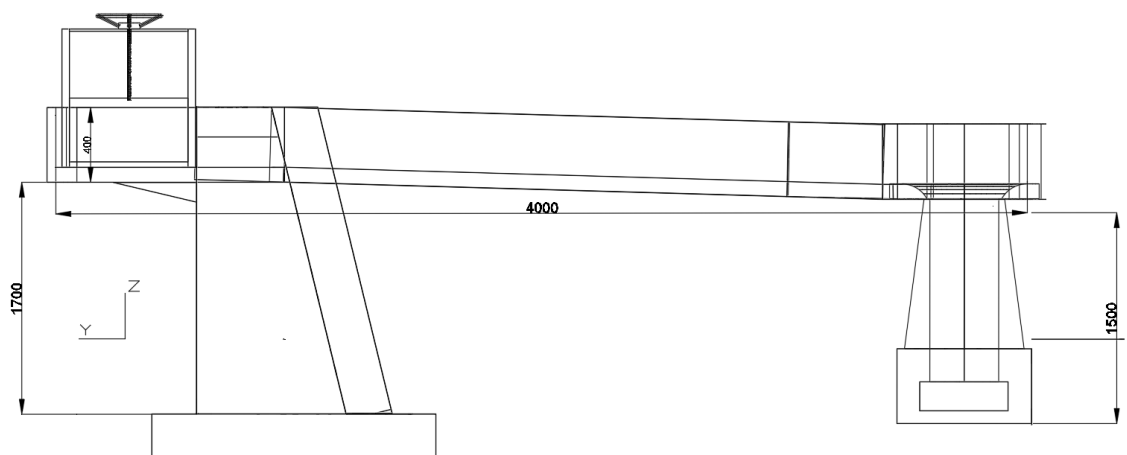
Nota: Vista posterior de la presa, escala 1:1000. Fuente propia.

Figura 38*Vista Frontal de la presa*

Nota: Vista frontal de la presa, escala 1:1000. Fuente propia.

Figura 39*Vista Lateral Derecha de la presa*

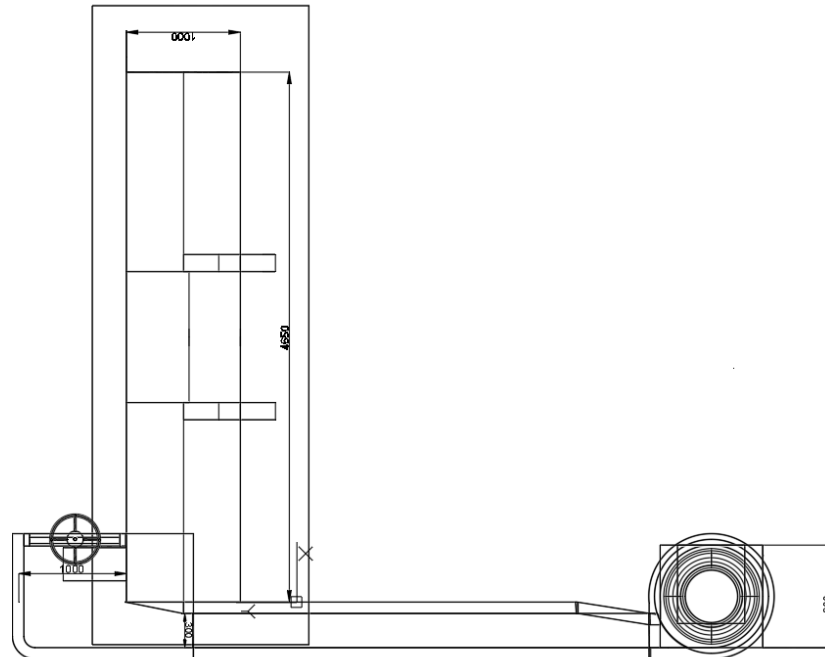
Nota: Vista Lateral Derecha de la presa, escala 1:1000. Fuente propia.

Figura 40*Vista Lateral izquierda de la presa*

Nota: Vista Lateral izquierda de la presa, escala 1:1000. Fuente propia.

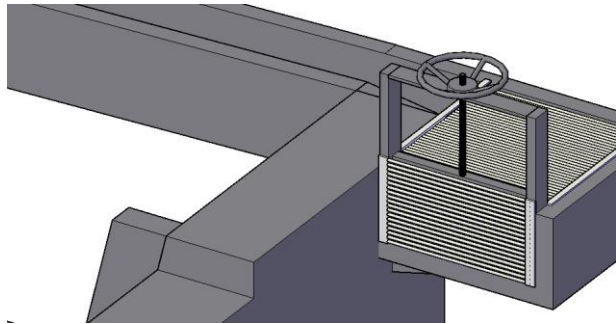
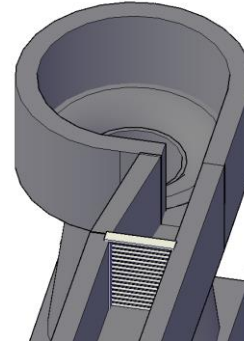
Figura 41

Vista de superior de la presa



Nota: Vista de planta de la presa, escala 1:1000. Fuente propia.

Para garantizar una captación de agua limpia y eficiente, se ha diseñado un sistema de doble filtrado, en primer lugar, una compuerta equipada con una rejilla que evita que cualquier objeto o material no deseado ingrese al conducto que lleva el agua hasta la turbina, de esta manera, se protege el equipo electromecánico, además, a la llegada de la turbina, se diseña una segunda rejilla de seguridad para realizar una filtración final antes de que el agua ingrese al sistema, como se muestra en las figuras 42 y 43.

Figura 42*Rejilla en la compuerta***Figura 43***Rejilla llegada a la turbina*

8.10 Sistema de Generación.

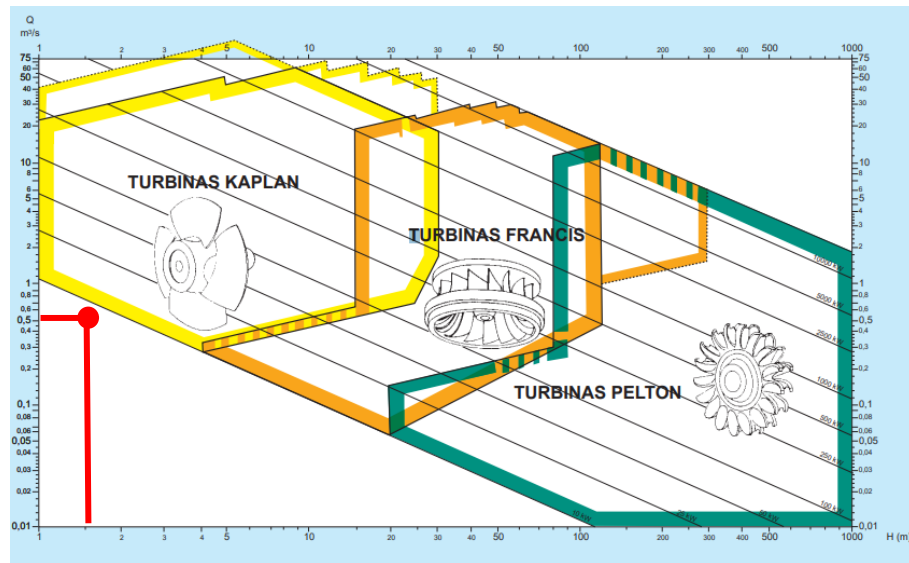
Para la generación de energía de una micro central hidroeléctrica, se requiere de equipos y maquinas, que transforma la energía cinética del agua en energía eléctrica [47].

En la micro central Hidroeléctrica para el parque Metropolitano María Lucia los equipos eléctricos y mecánicos que se emplearan será los siguientes; Turbina hidráulica, Generador eléctrico, elementos de regulación y control de la energía.

8.11 Turbina Hidráulica

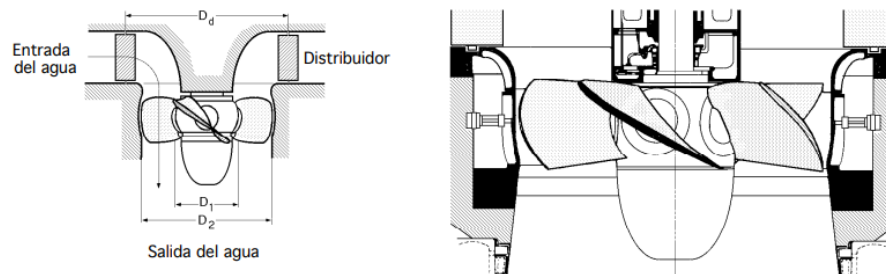
El componente clave para la generación de energía en una micro central hidroeléctrica es la turbina hidráulica, su selección depende de diferentes aspectos, considerando factores como el caudal, la altura de caída neta y las condiciones específicas del sitio. La turbina, un dispositivo rotativo, convierte la energía cinética del agua en energía mecánica, donde posteriormente, un generador eléctrico transforma esta energía mecánica en electricidad. [48][39].

De acuerdo con los datos de caudal y el salto obtenido en el análisis previo, se procede a ubicar el punto de operación correspondiente en el siguiente diagrama, ver Figura 44.

Figura 44*Diagrama selección de turbina*

Nota. La imagen muestra la relación entre la altura de salto y el caudal para seleccionar la turbina. [49]

Considerando los resultados obtenidos y las características, se selecciona la turbina Kaplan, se concluye que este tipo de turbina es el más adecuado para las condiciones hidráulicas del sitio.

Figura 45*Turbina Kaplan*

Nota. La imagen representa una turbina Kaplan [43]

8.12 Velocidad Especifica de la turbina

La velocidad específica (Ns) de una turbina hidráulica es un parámetro adimensional que relaciona su velocidad de rotación con la altura de caída y la potencia, permitiendo clasificar y comparar distintos tipos de turbinas, para así elegir la turbina que se adapte a las condiciones del sitio.

la velocidad específica (ns) y la velocidad de rotación (n) son dos conceptos fundamentales en el análisis de máquinas rotativas, entendiendo que la velocidad de rotación se refiere al número de vueltas que da un eje por unidad de tiempo y es una medida directa de la rapidez con la que una máquina gira, por otro lado, la velocidad específica es un parámetro adimensional que relaciona el caudal, la altura y la velocidad de rotación de una máquina, a diferencia de la velocidad de rotación, la velocidad específica permite comparar el rendimiento de máquinas de diferentes tamaños y configuraciones, independientemente de su velocidad de giro [43].

Aprovechando una altura de caída de 1,5 m, se produce una potencia de 1,5 kW al acoplarse al generador, donde se determina que la velocidad específica es equivalente a:

$$ns = \frac{n\sqrt{N}}{Hn^{5/4}}$$

Donde;

Ns: Velocidad específica

n: Velocidad síncrona de la turbina (rpm)

P: Potencia de la turbina (HP)

Hn: Altura neta (m)

La turbina, acoplada directamente al generador de 1,5 kW, operará a una velocidad de rotación estimada de 1800 rpm, esta velocidad se ha determinado considerando las características del generador y las condiciones de diseño del sistema. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las variaciones en el caudal pueden afectar la velocidad real de la turbina, lo cual debe ser considerado en el diseño y operación del sistema.

Esta potencia es equivalente a:

$$1,5Kw = 1,5kW * \frac{1HP}{745.7 W} = 2 HP$$

Donde la velocidad específica es:

$$ns = \frac{1800\sqrt{2 HP}}{1.5^{5/4}}$$

$$ns = 1533$$

La turbina presenta una velocidad específica (Ns) de 1533, lo cual indica que se trata de una turbina de velocidad altas, de acuerdo con este valor, se puede elegir la turbina de acuerdo a la tabla 14 y la figura 45, donde se especifican los rangos de operación en función a la velocidad específica de los diferentes tipos de turbinas.

Tabla 6

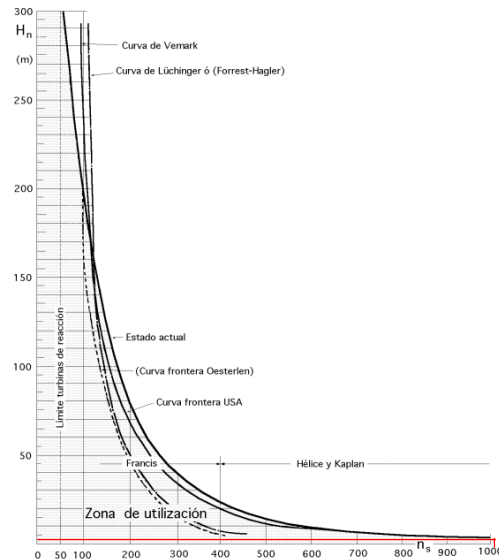
Relación Velocidad específica y tipo de Turbina

Velocidad Especifica	Turbina
$ns \leq 32$	Pelton
$32 < ns < 450$	Francis
$ns \geq 500$	Kaplan

Nota. La tabla clasifica los tipos de turbinas hidráulicas en función de su velocidad específica. Adaptada de turbinas hidráulicas, por P. Diéz. [43]

Figura 46

Zona de operación de las turbinas.



Nota. Relación entre salto neto y velocidad específica para diferentes tipos de turbinas, la posición de cada punto en el gráfico indica el rango de operación de cada tipo de turbina. Adaptado de P. Diez, Turbinas Hidráulicas. [43]

De acuerdo con el análisis de los datos presentados en la tabla 14 y la figura 46, se concluye que una turbina Kaplan satisface óptimamente las condiciones de caudal y altura de caída del sistema y corresponde a la velocidad específica obtenida.

Velocidad de rotación de la turbina

La determinación precisa de la velocidad de rotación de la turbina es un factor fundamental en el óptimo funcionamiento de una micro central hidroeléctrica, esta velocidad, relacionada con el caudal del canal y la altura, determina la frecuencia de la corriente eléctrica generada

y el par transmitido al rotor del generador, una regulación precisa de la velocidad es esencial para garantizar un suministro eléctrico estable.

El canal presenta dos secciones con velocidades de flujo determinadas a continuación;

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde;

V: Velocidad (m/s)

Q: Caudal del canal (m³/s)

A: Área del Canal (m²)

El canal de alimentación de la turbina presenta las siguientes características:

Área: 0,12 m²

Caudal: 0,4 m³/s

$$V = \frac{0,4 \text{ m}^3/\text{s}}{0,12 \text{ m}^2}$$

$$V = 3,33 \text{ m/s}$$

Dado que el canal presenta una sección angosta justo antes de la turbina, se determina la velocidad del fluido en este punto aplicando el principio de continuidad, este principio establece que, para un fluido incompresible en régimen permanente, como el agua, el caudal volumétrico se mantiene constante a lo largo de un conducto, en otras palabras, la cantidad de fluido que pasa por cualquier sección del canal en un determinado tiempo es siempre la misma. Matemáticamente, esto se expresa como [53]

$$Q = A1 * V1 = A2 * V2$$

A partir del área A1, caudal Q y velocidad V1 en una sección del canal, se determina la velocidad (V2) en la sección más angosta.

A1: 0,12 m²

Q: 0,4 m³/s

V1: 3,33 m/s

$$A1 * V1 = A2 * V2$$

La ecuación, despejada para V2 en la sección estrecha, es:

$$V2 = \frac{(A1 * V1)}{A2}$$

Donde el área (A2) equivale a:

$$A = 0.4m * 0.2m$$

$$A = 0.08 m^2$$

Con esta información, se calcula la velocidad en la sección más estrecha del canal.

$$V2 = \frac{(0,12 m^2 * 3,33 m/s)}{0,08 m^2}$$

$$V2 = 5 m/s$$

Se determina que la velocidad del flujo que llega a la turbina es de 5 m/s y entendiéndose que velocidad de rotación de la turbina está descrita por el caudal y la Altura de caída correspondientes al canal, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$N = Ns * \frac{H^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{Q}}$$

Donde:

N: Velocidad de rotación (rpm)

Ns: Velocidad Especifica

H: Altura

Q: Caudal

Teniendo una Velocidad especifica (Ns) equivalente a 1533, una altura de 1,5m, y un caudal de 0,4 m³/s

$$Q = V * A$$

$$Q = 5 \frac{m}{s} * 0,08m^2$$

$$Q = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acuerdo a las condiciones del sitio establecidas, se determina la velocidad de giro de la turbina Kaplan:

$$N = 1533 * \frac{1,5^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{0,4}}$$

$$N = 3285 \text{ rpm}$$

En resumen, el canal suministra un caudal de 0.4 m³/s a una velocidad de 5 m/s, bajo estas condiciones, la turbina Kaplan alcanza una velocidad de rotación de 3285 rpm, gracias a una presa, con una compuerta y un canal, que aprovecha la energía cinética del agua al generar un vórtice gravitacional, este fenómeno, combinado con una altura de caída de 1.5 m, optimiza la conversión de energía hidráulica en energía mecánica, permitiendo alcanzar la velocidad de rotación requerida de manera eficiente.

De acuerdo a los cálculos efectuados se selecciona una turbina tipo Kaplan, apta para las condiciones del sitio. Sus características se detallan en la tabla 15.

Tabla 7

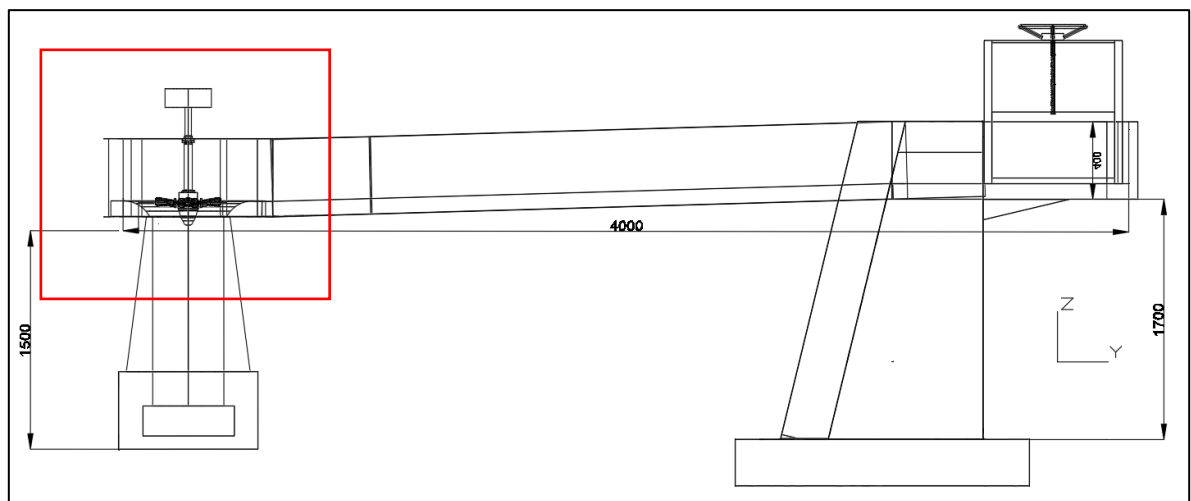
Características Turbina Kaplan Seleccionada

Tipo de Turbina	Kaplan
Rango Salto neto	1.5 ~ 2
Rango de caudal de agua mínimo	0.06 ~ 0.14 m ³ /s
Velocidad rotatoria	3300 rpm
Eficiencia	>60%
Potencia	1500 w
Acoplamiento	Directo

En la figura 47 se presenta una vista lateral esquemática del sistema de generación hidroeléctrica, evidenciando la disposición de la turbina y el generador, la turbina, ubicada en la sección inferior del canal de alimentación, se encuentra conectada mecánicamente al generador situado en una estructura elevada.

Figura 47

Sistema generación - MCH



Nota. La figura muestra la disposición de la turbina en la micro central hidroeléctrica.

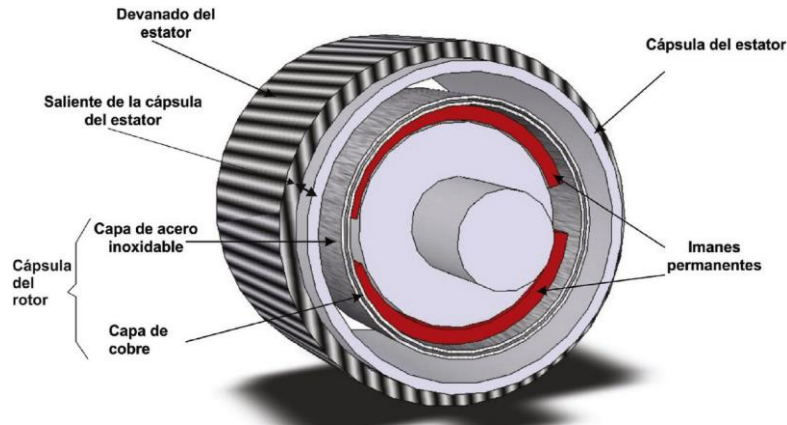
8.13 Generador Eléctrico

Para la generación de energía, se consideran dos tecnologías principales, generadores síncronos y asíncronos (o de inducción), ambos pueden ser empleados para la generación de energía, pero cuentan con características específicas [50]. Debido a las condiciones remotas del sitio y la necesidad de un generador de bajo mantenimiento, se ha seleccionado un generador síncrono monofásico sin escobillas, este tipo de generador es ideal para alimentar cargas resistivas e inductivas, ya que ofrece una alta eficiencia y requiere un mínimo mantenimiento, donde la ausencia de escobillas elimina la necesidad

de reemplazarlas periódicamente y reduce las pérdidas por fricción, lo que contribuye a una mayor vida útil del equipo.

Figura 48

Partes de un generador síncrono de imán permanente



Nota. La imagen representa las partes de un generador, tomado de GREEF.

8.14 Velocidad síncrona:

Dado que la turbina opera a una velocidad cercana a los 3300 rpm, se procede a determinar la velocidad síncrona necesaria para el generador síncrono de imanes permanentes de 1,5 kW, asegurando así la sincronización entre ambos componentes.

El número de polos en un generador eléctrico determina la velocidad síncrona del motor, a mayor número de polos, menor velocidad de rotación se necesita para generar una frecuencia determinada, en este caso, al conocer la velocidad de rotación de la turbina 3300 rpm y la frecuencia de la red de 60 Hz, se determina el número de polos necesarios para que el generador funcione correctamente, teniendo en cuenta que el eje de la turbina se acopla directamente al eje del generador, compartiendo la misma velocidad de rotación[43].

Para determinar el Número de polos, se utiliza la ecuación de Velocidad Síncrona:

$$N_s = \frac{120 * f_e}{NP}$$

Donde:

Ns: Velocidad Síncrona

f: Frecuencia

NP: Numero de Polos

Para determinar el número de polos, se despeja la variable correspondiente en la ecuación de velocidad síncrona y se sustituirá los valores conocidos.

$$NP = \frac{120 * fe}{Ns}$$

$$NP = \frac{120 * (60Hz)}{3300 rpm}$$

Se obtiene los numero de polos para el generador, teniendo en cuenta que el número de polos debe ser un valor par, este se aproxima al siguiente número par

Se calcula el número de polos del generador y se redondea al par entero más cercano.

$$P = 2,1$$

Se realiza el comparativo con la tabla 18, donde se determina según el número de polo la velocidad o rotación síncrona por minuto.

Tabla 8

Comparativo número de polos y velocidad de rotación

N° de Polos	Rotación síncrona por minuto (60Hz)
2	3600
4	1800
6	1200
8	900
10	720

La tabla indica que el número de polos en un generador está directamente relacionado con su velocidad de rotación. En este caso, un generador de 2 polos alcanzará 3600 rpm, de igual manera para calcular la velocidad síncrona del generador, se tiene que;

$$n_s = 120 * \frac{f}{p}$$

Dónde:

Ns: Velocidad síncrona (rpm)

f: Frecuencia (Hz)

Np: número de polos

$$n_s = 120 * \frac{f}{p}$$

$$n_s = \frac{120 * 60}{2}$$

$$n_s = 3600$$

8.15 Potencia útil

La potencia de salida efectiva de un generador síncrono depende principalmente de su eficiencia, la potencia máxima nominal y la eficiencia de la transmisión asociada, considerando una potencia estimada de generación de 1,5 kW, se obtiene la potencia útil

$$PT = PG * n$$

Donde:

PG: Potencia máxima que el generador entrega al sistema eléctrico (1,5 Kw)

n: Eficiencia del generador (0,85)

PT: Potencia útil

$$PT = 1500W * 0.85$$

$$PT = 1275 W$$

Teniendo en cuenta las características técnicas del generador, se ha determinado que su potencia de salida es de 1275 W.

Así mismo se ha seleccionado un generador síncrono de imanes permanentes, este tipo de generador no requiere una fuente de excitación externa, ya que los imanes permanentes integrados en el rotor generan el campo magnético necesario, al eliminar la necesidad de bobinados de excitación, los generadores son más compactos, ligeros y eficientes. Su conexión directa a una turbina simplifica la instalación y reduce pérdidas mecánicas [50].

En resumen, el generador seleccionado presenta las siguientes características:

Tabla 9

Características Generador síncrono

Tipo de Generador	Generador Síncrono de Imán permanente.
Potencia Nominal	1500 W
Voltaje Nominal	220 v
Frecuencia	60 Hz
Velocidad Rotatoria	3600 rpm
F.P	1.0
Fases	Monofásico
Grado de Protección	IP44

A fin de garantizar un velocidad de rotación, se recomienda utilizar una caja multiplicadora de velocidad en el eje, este componente compensará las posibles variaciones y garantizará la velocidad requerida.

Para asegurar la protección del generador y la continuidad del suministro eléctrico, se propone un sistema de protección integral que va a ser opcional para su integración, este sistema incluye relés diseñados para detectar y responder a condiciones anormales como sobre corriente, sobretensión y fallas a tierra, garantizando así la operación segura y

confiable del equipo [51]. Las funciones de protección ofrecen una cobertura integral para el generador, incluyendo tanto la protección primaria como la de respaldo, expresadas en la tabla 20.

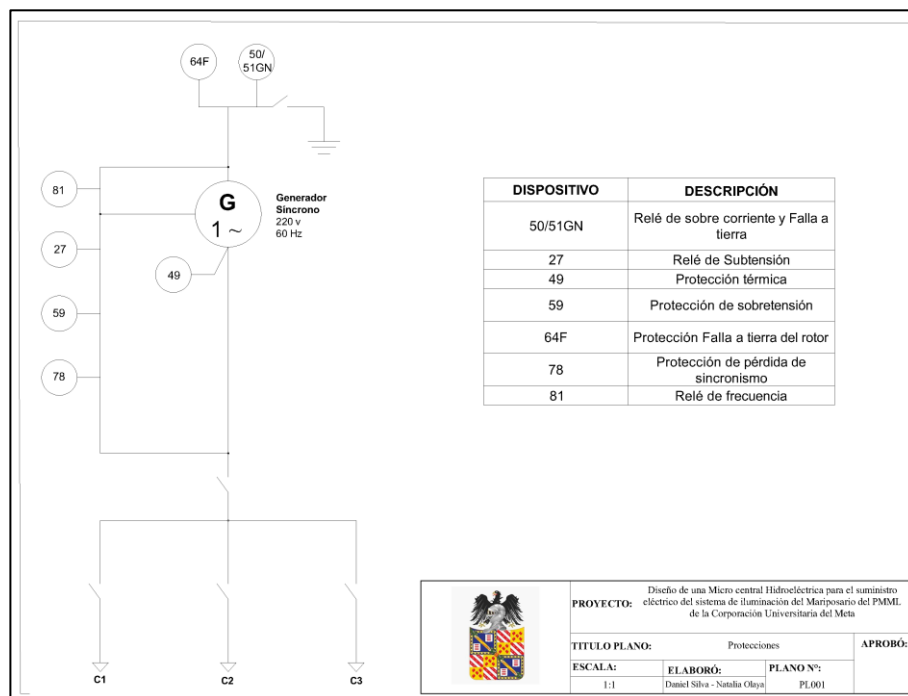
Tabla 10

Dispositivos de Protección

Dispositivo	Descripción
50/51GN	Relé de sobre corriente temporizado con elemento instantáneo. Protección primaria y/o de respaldo para fallas a tierra del generador.
27	Relé de sub-tensión.
49	Protección térmica del estator.
59	Protección de sobretensión
64F	Relé de tensión. Protección primaria para fallas a tierra del rotor.
78	Protección de pérdida de sincronismo.
81	Relé de frecuencia. Puede ser necesaria protección tanto contra sub-frecuencia como contra sobre frecuencia.

Nota, La tabla presenta algunas protecciones aplicables a generadores de CA, adaptadas la Guía IEEE para la protección de generadores de CA.[51]

El siguiente diagrama muestra la disposición de los elementos de protección, para el generador (Figura 48).

Figura 49**Diagrama Unifilar - Protecciones**

Nota. Diagrama unifilar que muestra la protección integral de un generador síncrono mediante relés 50/51GN, 27, 49, 59, 64F, 78 y 81. Fuente propia

La protección del generador es un aspecto a considerar en el diseño del sistema, y la elección de los relés dependerá de factores como la potencia del generador, la criticidad de la carga y los estándares de seguridad aplicables, debido a que el generador no es de grandes dimensiones y el caudal que ingresa a la turbina es controlable, la integración de un sistema de protección para el generador es opcional.

8.16 Regulación de Voltaje

Con el fin de asegurar la integridad del sistema, se debe implementar un sistema de regulación de voltaje a la salida del generador, este dispositivo es esencial para estabilizar la tensión y prevenir los sobrevoltajes que podrían comprometer al sistema eléctrico.

Este dispositivo garantiza una tensión de salida estable, tanto en condiciones de carga como en vacío, maximizando la eficiencia energética y minimizando el desgaste de los componentes.

El regulador seleccionado cuenta con las siguientes características:

Tabla 11

Características Regulador de Voltaje

Regulador de Voltaje Automático	
Nivel de Tensión de Entrada	220V
Nivel de Tensión de Salida	120V
Frecuencia	60Hz
Corriente	8,12 A

Nota. Fuente Propia.

8.17 Instalación Eléctrica

Para garantizar un suministro eléctrico a las cargas, se requiere una instalación eléctrica integral, esta incluye dispositivos de protección, conductores eléctricos y demás equipos y materiales necesarios, como se muestra en la Figura 49.

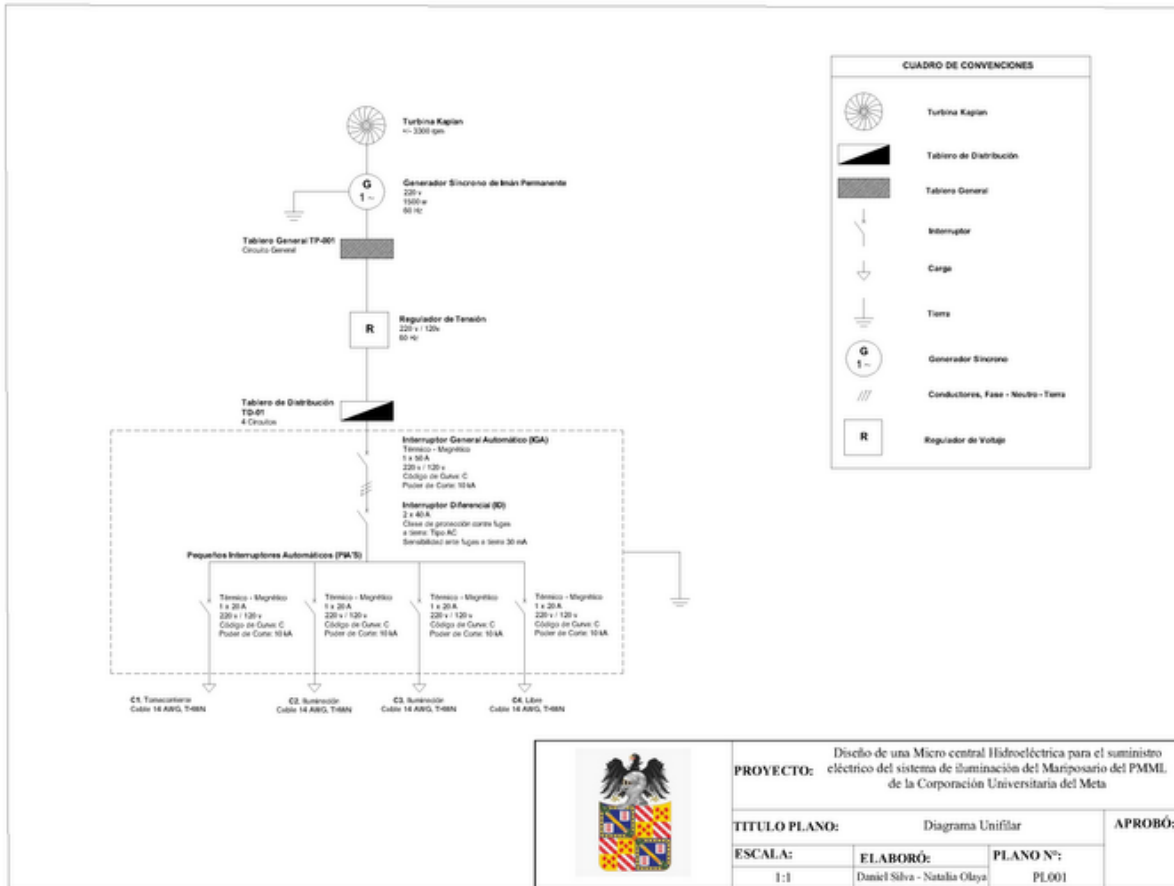
Considerando una distancia aproximada de 55 metros entre la micro central hidroeléctrica y las cargas, se llevará a cabo los respectivos cálculos para seleccionar el conductor más adecuado. El tablero general, ubicado cerca a la Micro Central Hidroeléctrica, albergará el regulador de tensión que garantizará la calidad de la energía suministrada.

El tablero de distribución, situado cerca al mariposario, contará con un interruptor automático principal de 25 A, para proteger la instalación ante sobrecargas y cortocircuitos, un interruptor diferencial residual (RCD), para la protección contra fugas de corriente a tierra

y así garantizar la seguridad de las personas, también interruptores automáticos magnetotérmicos para cada circuito, esto dispositivos de protección se basaron según la norma IEC 60898.

Figura 50

Diagrama unifilar de la instalación eléctrica.



Nota. Diagrama unifilar general de la instalación. Fuente Propia

Para optimizar el consumo energético y garantizar una iluminación adecuada, se propone un sistema de encendido dual para las luminarias; en el sendero, se utilizará un sistema de temporización programable para activar y desactivar las luces automáticamente, adaptándose a los horarios de mayor tránsito, en el mariposario, se instalará un interruptor

manual para un control más preciso de la iluminación, considerando los requerimientos del lugar.

8.18 Conductor Eléctrico

8.18.1 Cálculos para la Selección del Conductor Eléctrico

La selección adecuada del conductor eléctrico es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia de una instalación eléctrica, el dimensionamiento de conductores se rige por normas técnicas específicas como la IEC 60364 y la NTC 2050 y se determina calculando la corriente nominal necesaria para alimentar las cargas, considerando además la caída de tensión permitida.

Estos cálculos aseguran que el conductor seleccionado pueda soportar la corriente nominal sin sobrecalentarse y que la caída de tensión se mantenga dentro de los límites permitidos.

Para seleccionar el calibre adecuado del conductor, se calcula previamente la corriente nominal del sistema:

$$i = \frac{P}{f.p * V}$$

$$i = \frac{754 \text{ w}}{0.95 * 120}$$

$$i = 6.5 \text{ A}$$

Para asegurar la integridad del sistema y evitar sobrecargas, se dimensiona el cableado con un margen de seguridad del 25% por encima de la corriente nominal, esto garantiza que los conductores puedan soportar la demanda eléctrica sin riesgo de daños.

$$i_1 = 6.5 \text{ A} * 1,25$$

$$i_1 = 8,12 \text{ A}$$

En función del valor de corriente obtenido se selecciona el conductor adecuado conforme a los parámetros especificados en la Tabla de especificaciones del Anexo J, donde se selecciona el conductor de calibre 14 AWG con una corriente admisible de 25 A con una sección de 2,08 mm².

Se determina la resistencia total del conductor de cobre, cuya resistividad a 20 °C es de 0,0172 Ω.mm²/m y se tiene una longitud de 55 metros.

$$R = \rho * \frac{l}{S}$$

$$R = 0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} * \frac{55 \text{ m}}{2,08 \text{ mm}^2}$$

$$R = 0,45 \Omega$$

A continuación, se procede a determinar la caída de tensión, considerando la corriente nominal del circuito y la resistencia total.

$$\Delta V = i * R$$

$$\Delta V = 6,5A * 0,45 \Omega$$

$$\Delta V = 2,92 V$$

La caída de tensión admisible no debe superar el 3%,

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} * 100$$

$$\% \Delta V = \frac{2,95 V}{120 V} * 100$$

$$\% \Delta V = 2,4 \%$$

Utilizando un conductor calibre 14 AWG THHN/THWN-2 600V CT RoHS, se experimenta una caída de tensión de 2,4% de la tensión nominal, lo cual equivale a una pérdida de 2,92 voltios.

Para la sección del cable entre el generador y el tablero general TP-001, donde se encuentra el sistema de regulación, se selecciona un conductor calibre 12 AWG, lo que permite asegurar una capacidad de corriente suficiente para soportar la carga máxima del generador y cuenta con la protección necesaria para evitar sobrecalentamientos

Se lleva a cabo el cableado mediante ductos de PVC SCH 40, un material resistente a la corrosión y humedad, el diámetro de la tubería se determina según el número de conductores, utilizando la siguiente ecuación, se determina si la tubería cumple con las condiciones para la instalación [52]:

$$Fp = \frac{n * \frac{\pi}{4} * d^2}{\frac{\pi}{4} * D^2} * 100$$

Donde:

Fp: Porcentaje de llenado del ducto en %.

n: Numero de cables dentro del ducto.

d: Diámetro externo del cable.

D: Diámetro interno del ducto.

$$Fp = \frac{3 * \frac{\pi}{4} * 2,08^2}{\frac{\pi}{4} * 12,7^2} * 100$$

$$Fp = 8,05\%$$

Se realiza una comparación de este dato con los valores presentados en la tabla 22.

Tabla 12*Llenado permitido en tuberías eléctricas*

Cantidad de Conductores	Porcentaje Máximo de ocupación
1	53%
2	31 %
Más de 2	40 %

Nota. Tabla adaptada de la Norma técnica NTC 2050 [36]

Se selecciona un conducto de ½" para alojar los tres conductores de calibre 14 AWG (fase, neutro y tierra), con esta configuración, la ocupación del conducto es del 8,05%, dejando un margen de espacialidad del 90%.

8.18.2 Análisis Económico

A través de un análisis de costos, se ha cuantificado la inversión prevista para llevar a cabo el proyecto, lo que permite evaluar su factibilidad financiera, teniendo en cuenta que el proyecto involucra obras civiles, sistemas electromecánicos y una red de distribución eléctrica, en la tabla 23 se visualiza cada ítem correspondiente al proyecto.

Tabla 13*Análisis Económico*

Obras Civiles					
Ítem	Descripción	UND	Cant	Costo Unit - USD	Costo Total
Presa y Vertedero	Cemento	Bulto 50kg	63	\$7,58	\$477,15
	Arena	Bulto 40kg	201	\$1,95	\$391,46
	Grava	Bulto 40kg	214	\$1,95	\$391,46
	Acero	Gbl	-	-	\$480,88
Equipo Electromecánico					
Turbina y Generador	Turbina + Generador de 1.5 kW / 220v	Und	1	\$650	\$650
Regulador de Voltaje.	Regulador Automático de Voltaje, Ajustable.	Und	1	\$150	\$150
Costos Importación	-	Gbl	-	\$240	\$240
Instalación Eléctrica					
Cableado, Protecciones, tableros exteriores y demás dispositivos*	-	Gbl	-	\$ 330,70	\$ 330,70
Luminarias	Luminarias Led, Reflector, Panel Led, Tipo Bolardo.	Und	15	\$270,06	\$270,06
Total					\$3382

Nota. Los valores se encuentran expresados en dólares estadounidenses USD.

* Se incluye tubería, tableros exteriores y demás accesorios requeridos para la instalación eléctrica.

El costo total estimado para construir la micro central hidroeléctrica es de USD \$3382. Considerando una demanda promedio de 754W durante 12 horas diarias, se proyecta un gasto anual en energía de aproximadamente USD \$664,3 si estuviéramos conectados a la red, sin embargo, es importante resaltar que este valor es un estimado teórico, ya que ciertas luminarias no estarían encendidas todo el tiempo para no afectar a las mariposas y los tomacorrientes no tendrán carga en todo momento, teniendo presente que el valor por kW/h en la ciudad de Villavicencio se estima en USD \$0,20, para visualizar este proceso, consideremos las siguientes ecuaciones:

$$E = P * t$$

Donde:

E: Energía Eléctrica

P: Potencia

t: tiempo (horas)

Consumo diario:

$$E = P * t$$

$$E = 0.754kW * 12h$$

$$E = 9,1kWh$$

Consumo anual:

$$E = P * t$$

$$E = 9,1kWh/dia * 365 dias$$

$$E = 3321,5kWh$$

Costo anual:

Sabiendo que 1Kwh cuesta USD\$0,20;

$$C = E * Cu$$

Donde;

C: Costo

Cu: Costo Unitario kW/h

E: Energía Consumida

$$C = 3321,5Kwh * \$0,20$$

$$C = \$664,3$$

Con esta implementación, no solo lograremos un ahorro significativo, sino que también daremos un paso importante hacia un futuro más sostenible.

8.18.3 Impacto Ambiental

Las micro centrales hidroeléctricas MCH se distinguen por su bajo impacto ambiental y su alta eficiencia energética, este proyecto específico aprovecha un canal artificial existente, minimizando así la alteración de los ecosistemas naturales, debido a que el lugar no cuenta con un caudal constante, es necesario implementar una presa, aunque la intervención se realizará en una derivación artificial, es innegable que cualquier alteración en un sistema hídrico, por mínima que parezca tendrá repercusiones en el ecosistema, la instalación de una presa, incluso en una derivación, puede modificar los patrones de flujo, afectar la calidad del agua y alterar los hábitats de las especies acuáticas, tanto en la zona de la intervención como aguas abajo, sin embargo, al tratarse de una derivación de menor escala, el impacto ambiental será significativamente menor en comparación con una presa en un río, teniendo en cuenta que la instalación de una presa en este caso puede modificar los patrones de flujo, pero de forma más localizada, también puede contribuir a regular el caudal, prevenir pequeñas inundaciones locales y en algunos casos, mejorar la calidad del agua al retener sedimentos, estos beneficios, sumados a un diseño cuidadoso y la implementación de medidas de mitigación adecuadas, pueden minimizar los impactos negativos y generar un equilibrio entre el desarrollo y la conservación ambiental.

Asimismo, con el fin de mitigar los impactos hidrológicos y ecológicos derivados de la construcción de la presa, se propone la instalación de una estructura de toma y descarga. Esta obra permite mantener un caudal ecológico adecuado aguas abajo, garantizando así la preservación de los hábitats acuáticos y la biodiversidad de la zona.

9 Discusión

9.1 Resultados obtenidos y potencia de generación:

El sistema propuesto tiene un caudal de 0.4 m³/s y una capacidad de generación de 1.5 kW, suficiente para cubrir las necesidades energéticas del sistema de iluminación del mariposario, esta potencia permite mantener las condiciones lumínicas adecuadas para las mariposas y los visitantes, lo cual es crucial para la operación del conservatorio, ya que, si bien los resultados teóricos indican que la micro central es viable, es importante evaluar cómo factores como la eficiencia del equipo de generación y las pérdidas en el sistema podrían influir en la potencia final disponible.

9.2 Viabilidad financiera:

El proyecto se alinea con los objetivos de transición energética que promueve el país, lo que lo hace atractivo para recibir financiamiento de entidades públicas, además, hay que resaltar las buenas relaciones de la universidad con instituciones locales y gubernamentales, como la alcaldía y posibles fondos de apoyo a proyectos sostenibles, sugieren que existen oportunidades para asegurar recursos, debido a que el costo estimado de la instalación, se promedia entre los 14 millones (COP), se justifica por los beneficios a largo plazo, ya que no solo contribuirá a reducir la huella de carbono del conservatorio, sino que también podría disminuir los costos energéticos en el futuro.

9.3 Impacto ambiental y sostenibilidad:

Desde el punto de vista ambiental, el proyecto tiene un impacto positivo al utilizar una fuente de energía renovable, ya que la electricidad generada por la micro central suministrará energía al sistema de iluminación del conservatorio, reduciendo la dependencia de fuentes de energía no renovables y favoreciendo el desarrollo sostenible en la región; sin embargo, un canal artificial y la construcción de la presa podrían alterar de

manera temporal el entorno natural, por tanto, este aspecto requiere un seguimiento para mitigar cualquier posible afectación en la biodiversidad del área.

9.4 Desafíos y limitaciones del proyecto

Uno de los principales desafíos identificados es la variabilidad climática de la región, dado que el proyecto depende de un caudal de agua constante, las temporadas secas pueden reducir significativamente el suministro de agua disponible, afectando la capacidad de generación de energía, además, al ser un canal artificial, se debe prever un sistema de almacenamiento o medidas alternativas para asegurar un flujo de agua mínimo durante los periodos de baja precipitación, es por esto que la construcción y mantenimiento del canal también pueden presentar retos logísticos y económicos, que deberán ser gestionados adecuadamente.

La topografía plana del sitio representa una limitante para el diseño del proyecto, la falta de desnivel natural puede dificultar la generación de la caída de agua necesaria para el funcionamiento óptimo de los componentes electromecánicos de la central hidroeléctrica.

La construcción de la presa, aunque de pequeña escala, podría generar impactos ambientales, además, la acumulación de sedimentos en la presa disminuiría en parte la capacidad de generación de energía.

El costo inicial de construcción de la central hidroeléctrica puede ser un poco elevado

9.5 Comparación con otros proyectos

Este diseño es comparable con otras micro centrales hidroeléctricas en zonas rurales de Colombia, donde la energía renovable se utiliza para suministrar electricidad a pequeñas comunidades o proyectos específicos, porque en general, los sistemas de pequeña escala como éste han demostrado ser efectivos y sostenibles, siempre y cuando se tenga en cuenta la capacidad del recurso hídrico y la variabilidad climática local. En comparación con otros proyectos, la ventaja principal de esta micro central es que su

objetivo es específico (iluminación del mariposario del PMML) y el requerimiento energético es modesto.

9.6 Viabilidad técnica y económica

En resumen, el proyecto de la micro central hidroeléctrica es técnicamente viable y económicamente factible, dadas las circunstancias favorables de financiamiento, aunque existen desafíos, como la estacionalidad del caudal y los costos iniciales, el proyecto ofrece beneficios claros a largo plazo tanto en términos energéticos como ambientales, además, el alineamiento con la transición energética nacional y las posibilidades de financiamiento fortalecen aún más su viabilidad.

10 Conclusiones

- En definitiva, el diseño de la micro central hidroeléctrica para el Parque Metropolitano María Lucía (PMML) ha demostrado ser una solución viable y eficiente para mejorar el suministro de energía en el mariposario del parque. Con una potencia de generación estimada de 1.5 kW y un caudal de 0.4 m³/s, el sistema, basado en la instalación de una turbina tipo Kaplan y un sistema de vórtice gravitacional, garantiza un flujo continuo de energía limpia y renovable.
- Se ha constatado que el diseño de una presa, necesaria debido a las condiciones del canal artificial que alimenta el sistema, no impacta negativamente el ecosistema aguas abajo, ya que se han implementado vertederos para garantizar el caudal ecológico. Además, la compuerta aguas arriba asegura que el represamiento no cause inundaciones, lo que refuerza la viabilidad ambiental del proyecto.
- El suministro constante de energía eléctrica permite la iluminación del mariposario durante la noche, un avance significativo para el PMML, ya que ahora puede recibir visitas nocturnas y ampliar el estudio de las mariposas en condiciones de oscuridad, este logro también contribuye a la conservación del medio ambiente y la biodiversidad, al utilizar una fuente de energía renovable y limpia, en línea con los objetivos de transición energética.
- Todos los objetivos establecidos para el proyecto se cumplieron satisfactoriamente, se realizaron análisis detallados de las características hidrológicas y topográficas del parque, lo que permitió determinar el potencial hídrico disponible y seleccionar el sistema óptimo de captación y conducción de agua. Asimismo, se estudiaron y seleccionaron las tecnologías más adecuadas para la micro central, incluyendo turbinas, generadores y convertidores de potencia, lo que asegura un sistema

seguro y confiable. Además, se completó el diseño eléctrico y se desarrolló un modelo en AutoCAD que optimiza la futura implementación de la micro central.

- Finalmente, a pesar de los desafíos asociados con el clima y la variación del caudal en temporadas secas, el sistema ha sido diseñado para adaptarse a estas condiciones, la inversión inicial de entre 12 y 14 millones de pesos colombianos es viable económicamente, dado que representa un gasto único en infraestructura que eliminará los costos futuros de suministro de energía, además, el proyecto tiene el potencial de atraer financiamiento público al alinearse con los objetivos de transición energética del país.
- En conclusión, este proyecto representa un salto hacia un futuro más sostenible, al promover la generación distribuida y las energías renovables, no solo se garantiza un suministro energético estable y confiable, sino que también se contribuye a mitigar los efectos del cambio climático, este avance no solo beneficia al parque Metropolitano María Lucia, sino también al medio ambiente e impulsa la innovación.

11 Referencias

- [1] *Olade.org*. [En línea]. Disponible en: <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2023/01/Panorama-ALC-13-12-2022.pdf>. [Consultado: 25-ago-2024].
- [2] ENEL. “Informe de sostenibilidad enel américas 2022”. ENEL. [En línea]. Disponible: https://www.enelamericas.com/content/dam/enel-americas/investor/sostenibilidad/reporte_de_sostenibilidad/2022/IS-Enel-Americas-2022.pdf
- [3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. “Cuencas objeto de planificación estratégica (áreas hidrográficas)”. Minambiente. [En línea]. Disponible: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/cuencas-objeto-de-planificacion-estrategica-areas-hidrograficas/>
- [4] Unidad de Planeación Minero - Energética. “Geoportal”. ArcGIS Hub - UPME. [En línea]. Disponible: <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=642653d7a2c149b89a4a073da1f1c65c>
- [5] IRENA – International Renewable Energy Agency. “Las renovables registran un crecimiento récord pese a la crisis energética.” IRENA. [En línea]. Disponible: <https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Mar/Record-Growth-in-Renewables-Achieved-Despite-Energy-Crisis-ES>
- [6] C. Gonzalez Posso. “Panorama internacional de las energías renovables”. Instituto de estudio para el desarrollo y la paz, INDEPAZ. [En línea]. Disponible:

<https://indepaz.org.co/panorama-internacional-de-las-energias-renovables-por-camilo-gonzalez-posso/>

- [7] International Hydropower Association. “Hydropower status report.” International Hydropower Association. [En línea]. Disponible: https://cdn.prod.website-files.com/64f9d0036cb97160cc26feba/64f9d0036cb97160cc2714ce_IHA202212-status-report-02.pdf
- [8] *Olade.org*. [En línea]. Disponible en: <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2023/01/Panorama-ALC-13-12-2022.pdf>. [Consultado: 25-ago-2024].
- [9] ENEL. “Informe de sostenibilidad enel améicas 2022”. ENEL. [En línea]. Disponible: https://www.enelamericas.com/content/dam/enel-americas/investor/sostenibilidad/reporte_de_sostenibilidad/2022/IS-Enel-Americas-2022.pdf
- [10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. “Cuencas objeto de planificación estratégica (áreas hidrográficas)”. Minambiente. [En línea]. Disponible: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/cuencas-objeto-de-planificacion-estrategica-areas-hidrograficas/>
- [11] Unidad de Planeación Minero - Energética. “Geoportal”. ArcGIS Hub - UPME. [Enlínea]. Disponible: <https://geoportal.upme.gov.co/>
- [12] IRENA – International Renewable Energy Agency. “Las renovables registran un crecimiento récord pese a la crisis energética.” IRENA. [En línea]. Disponible: <https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Mar/Record-Growth-in-Renewables-Achieved-Despite-Energy-Crisis-ES>
- [13] United Nations Industrial Development Organization. “*Taller sobre la gestión del agua y el saneamiento*”. [En línea]. Disponible:

<https://www.unido.org/sites/default/files/files/2023-08/SP%20SUMMARY-WSHPDR-01-.pdf>

- [14] L. Chonghao, L. Shushan y T. Hongbin. "Generation dispatching management of small hydropower plants in CSG". Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [15] C. Yongjin, C. Zhifeng, X. Yanchun y L. Junxiong. "Analysis of operation characteristics of small hydropower isolated network during leading phase". Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [16] L. Peña Pupo y E. Y. Fariñas Wong. "Mejoras en la eficiencia energética de las mini-hidroeléctricas aisladas mediante la regulación combinada flujo-carga lastre". scielo. [En línea]. Disponible: <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v41n1/1815-5901-rie-41-01-e1511.pdf>
- [17] UPME, "Hidroenergía", en *Atlas Potencial Hidroenergetico De Colombia 2015*. 2015. [En línea]. Disponible: https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- [18] A. Dietz, A. Groeger y C. Klingler. "Efficiency improvement of small hydroelectric power stations with a permanent-magnet synchronous generator". Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [19] L. Velásquez, A. Rubio-Clemente, A. Posada y E. Chica, "Gravitational water vortex hydraulic turbine implementation in Colombia: Hydropower potential and prospects", *Rev. UIS Ing.*, vol. 22, n.º 3, pp. 39–54, 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18273/revuin.v22n3-2023004>
- [20] ONUDI y CIPCH. "Informe mundial sobre el desarrollo de la pequeña central hidroeléctrica 2022". Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. [En línea]. Disponible: <http://www.unido.org/WSHPDR2022>
- [21] T. Castillo, F. García, L. Mosquera, T. Rivadeneira, K. Segura y M. Yujato. "Panorama energético de América Latina y el Caribe 2023". Organización Latinoamericana de Energía, OLADE. [En línea]. Disponible:

<https://sielac.olade.org/WebForms/Reportes/VisorDocumentos.aspx?or=453&documentold=10000017>

- [22] Enel Green Power. “La energía hidroeléctrica”. Enel Green Power. [En línea]. Disponible: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica>
- [23] M. A. Tamayo Rincón, “Panorama actual de la generación hidráulica en Colombia y Antioquia ante el crecimiento de la demanda de energía”, Monografía Especialización, Univ. Antioquia, Medellín, 2022. [En línea]. Disponible: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/32189>
- [24] Colombia, Congreso de Colombia. (1994, 12 de julio). Ley n.º 143 de 1994, Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.
- [25] Colombia, Congreso de Colombia. (1997, 11 de junio). Ley n.º 373 de 1997, Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
- [26] Colombia. (1978, 26 de julio). Decreto n.º 1541 de 1978, 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.
- [27] Colombia, Congreso de Colombia. (2001, 5 de octubre). Ley n.º 697 de 2001, Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
- [28] Colombia. (2006, 30 de junio). Resolución n.º 1280 de 2006, Por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras y se adoptan otras disposiciones.

- [29] Colombia. (2010, 5 de agosto). Decreto n.º 2820 de 2010, Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.
- [30] Colombia, Congreso de Colombia. (2014, 13 de mayo). Ley n.º 1715 de 2014, Por medio del cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
- [31] Colombia. (2017, 1 de marzo). Decreto 348 del 01 de marzo de 2017. Accedido el 2 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20348%20DEL%2001%20DE%20MARZO%20DE%202017.pdf>
- [32] M. Kral, R. Gono and M. Gono, "Implementation of Small Hydro Power Plants in Water Facilities," 2019 20th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/EPE.2019.8778101. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8778101>
- [33] Ministerio de Minas y Energía. (2024, 3 de mayo). *Resolución n.º 40150, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP*. [En línea]. Disponible: https://www.minenergia.gov.co/documents/11684/Resolución_40150_de_2024_compilada_con_los_cuatro_libros.pdf
- [34] L. Comoglio. "¿Son las trampas de luz LED efectivas para muestrear polillas (Lepidoptera: Heterocera)?" Repositorio institucional Séneca - Universidad de los Andes. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/cfd9129a-3d12-420f-9fc8-5d123415ad5b/content>
- [35] Google Maps. "Parque metropolitano Maria Lucia". Google. [En línea]. Disponible: <https://www.google.com/maps/place/PARQUE+METROPOLITANO+MARIA+LUCIA/@4.0922064,-73.5055541,965m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x8e3e2851af69336d:0x5bfb2a3e1e269c6c!8m2!3d4.0922011!4d->

73.5029738!16s/g/11g68vktk4?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MDkxOC4xIKXMDSOA
SAFQAw==

- [36] *Código eléctrico colombiano - NTC 2050*, NTC 2050, ICONTEC, Bogotá, 2020. [En línea].
Disponible: <https://tienda.icontec.org/gpd-pb-9-codigo-electrico-colombiano-ntc-2050-segunda->
- [37] Ministerio de Minas y Energía. (2024, 2 de abril). *Resolución n.º 40117, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*. [En línea].
Disponible: https://www.minenergia.gov.co/documents/11563/Resolución_40117_de_2024.pdf
actualizacion.html
- [38] *Grados de protección dados por encerramientos de equipo eléctrico (Código IP)*, NTC-IEC 60529, ICONTEC, Bogotá, 2020. [En línea]. Disponible: <https://tienda.icontec.org/gp-grados-de-proteccion-dados-por-encerramientos-de-equipo-electrico-codigo-ip-ntc-iec60529-2020.html>
- [39] A. Wijesinghe and L. L. Lai, "Small hydro power plant analysis and development," 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), Weihai, China, pp. 25-30-, doi: 10.1109/DRPT.2011.5993857,
Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5993857>
- [40] S. P. Adhau, R. M. Moharil and P. G. Adhau, "Reassessment of irrigation potential for micro Hydro Power Generation," IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET), Kandy, Sri Lanka, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICSET.2010.5684939.
- [41] NASA. *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources*. (Versión 2). NASA Earth Science's. [En línea]. Disponible: <https://power.larc.nasa.gov/>
- [42] F. Fang and R. Karki, "Reliability assessment of hydro dominant systems with diurnal energy management," 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Saskatoon,

SK, Canada, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/EPEC.2017.8286162. Disponible:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8286162>

[43] P. F. Díez. "Turbinas hidráulicas". UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. [En línea].
 Disponible: https://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf

[44] R. Gono, M. Novak, M. Gono and M. Kyncl, "Utilization of small hydropower," 2013 13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Wroclaw, Poland, 2013, pp. 348-351, doi: 10.1109/EEEIC-2.2013.6737934. Disponible:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6737934>

[45] S. P. Adhau, R. M. Moharil and P. G. Adhau, "Design of mini hydro power plant on small weir: Need based technology for rural electrification," 2012 IEEE 5th India International Conference on Power Electronics (IICPE), Delhi, India, 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/IICPE.2012.6450492.

[46] _____ Calcmaps. *Calcmaps*. [En línea].
 Disponible: https://www.calcmaps.com/es/#google_vignette

[47] B. E. Vivas Rodriguez, "Diseño de una Micro central Hidroeléctrica para la hacienda La Garza", Trabajo de grado, Univ. Tec. Del Norte, Ecuador, 2020.

[48] H. García Gutiérrez y A. Nava Mastache. "Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas". UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. [En línea].
 Disponible: https://www.ingenieria.unam.mx/deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTODETURBINAS.pdf

[49] Ente vasco de la Energía, División de investigación y recursos, *Minihidráulica en el País Vasco*. Bilbao.

[50] S. Castaño Parga, "Construcción y caracterización de un generador de imanes permanentes de 20w", Trabajo de grado, Univ. Andes, Bogotá, 2016. [En línea].

Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e3ffda30-a3b7-4358-84c0-e3d4016389d/content>

[51] "IEEE Guide for AC Generator Protection," in IEEE Std C37.102-1987 , vol., no., pp.1-76, 31 Dec. 1987, doi: 10.1109/IEEESTD.1987.120313. keywords: {IEEE standards;Protective relaying;Synchronous generators;generator;protection;guide},

[52] Centelsa. "Guía para el diseño de instalaciones eléctricas". Centelsa. S.

[53] C. A. Jiménez Carballo. "Mecánica de fluidos". Repositorio TEC, tecnologico de Costa rica. Accedido el 27 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10195/Dinamica%20de%20fluidos%20ideales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[54] M. Londoño Zapata y A. Pinto Vásquez, "Diseño de una microcentral hidroeléctrica partiendo de un salto hidráulico natural localizado en la vereda jardín de las peñas, jurisdicción del municipio de mesetas del departamento del meta", Trabajo de grado, UNIV. COOPERATIVA COLOMB., Villavicencio, 2017. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12494/4848>

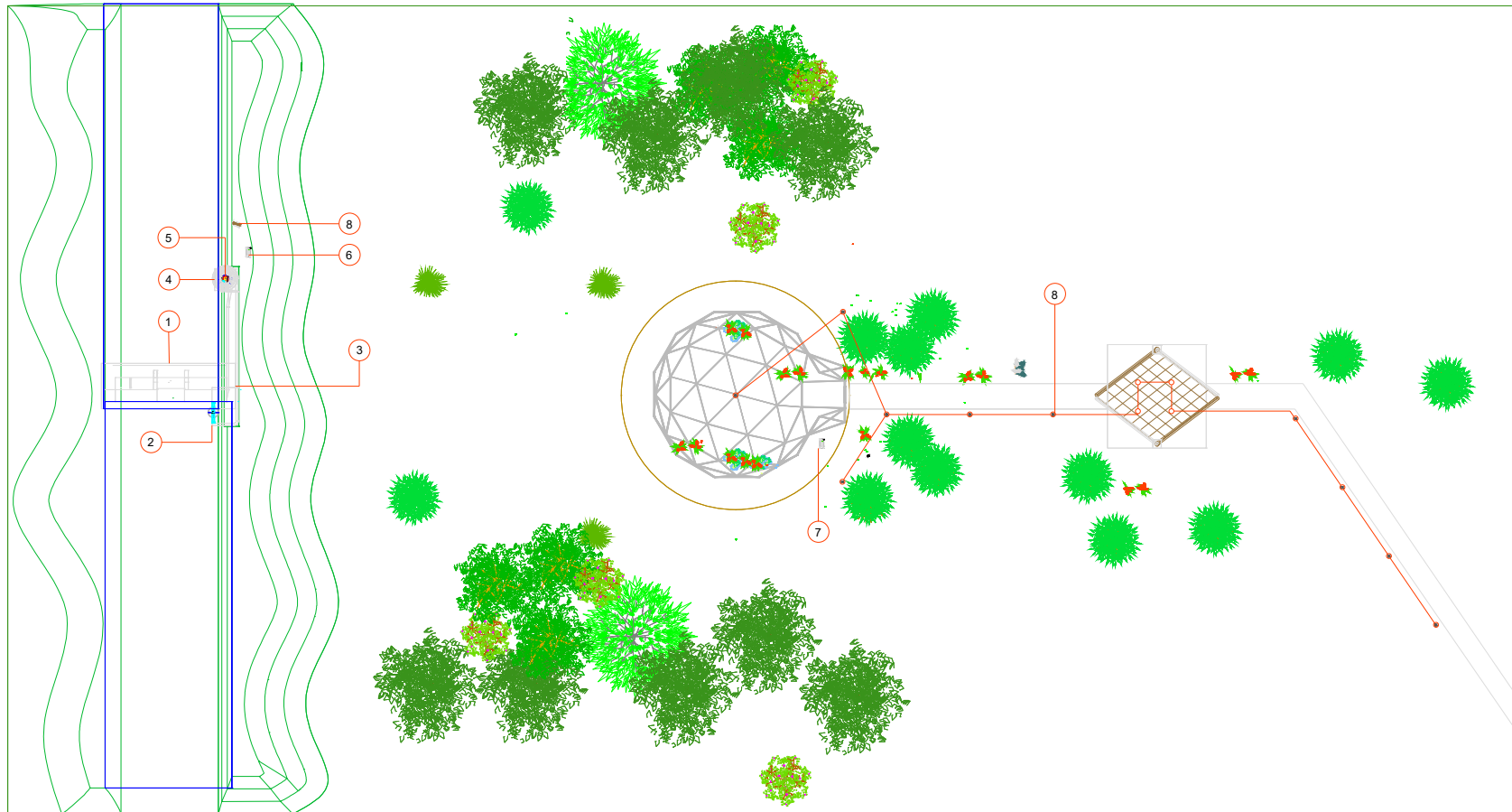
[55] D. H. Cristancho Castillo, "Estudio de la Micro Generación Hidráulica de Energía (MGH), como fuente no convencional de generación distribuida", Tesis de Maestría, PONTIF. UNIV. JAVER., Bogotá, 2022. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10554/62001>.

ANEXOS


Lista de Anexos

Anexo A. Partes del sistema general.....	145
Anexo B. Diagrama General.....	146
Anexo C. Secciones de la Presa.....	147
Anexo D. Proyección 3D.....	148
Anexo E. Cotización Luminarias, (Inter Eléctricas)	149
Anexo F. Cotización materiales instalación eléctrica.....	150
Anexo G. Cotización Materiales SPT (Inter eléctricas)	151
Anexo H. Cotización Turbina, Generador y regular (Foster).....	152
Anexo I. Cotización turbinas (Suneco).....	154
Anexo J. Generador Síncrono.....	155
Anexo K. Regulador de Tensión.....	156
Anexo L. Regulador de Tensión.....	157
Anexo M. Tablero Exterior (<i>Soldexel</i>).....	158
Anexo N. Tablero Exterior (<i>Tecna</i>).....	159
Anexo O. Ficha Técnica de Luminarias	160
Anexo P. Listado de precios cables B.T(Centelsa).....	162
Anexo Q. Ficha técnica del cable (Centelsa).....	163
Anexo R. Registro fotográfico.....	165

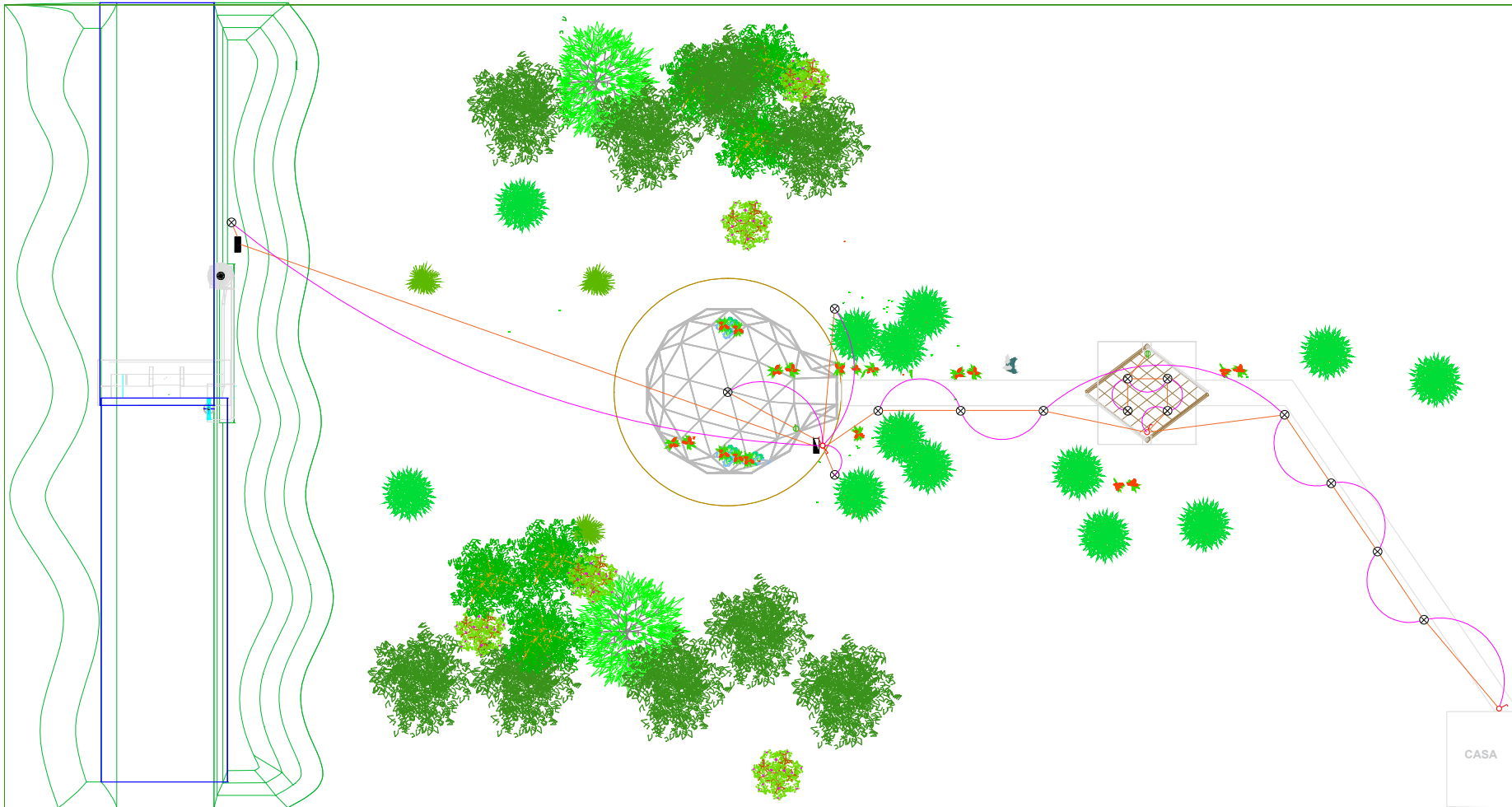
ANEXO A. Partes del Sistema General



CUADRO DE CONVENCIONES	
1	PRESA
2	BOCATOMA
3	CANAL
4	CÁMARA DE CARGA
5	EQUIPO ELECTROMECÁNICO TURBINA - GENERADOR
6	TABLERO GENERAL TP-001
7	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-01
8	SISTEMA DE ILUMINACIÓN

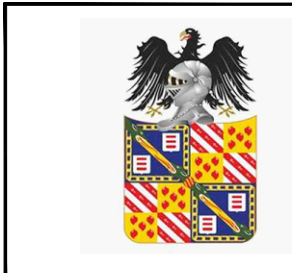
	<p>PROYECTO: Diseño de una Micro central Hidroeléctrica para el suministro eléctrico del sistema de iluminación del Mariposario del PMML de la Corporación Universitaria del Meta</p>	
	<p>TITULO PLANO: Instalaciones</p>	<p>APROBÓ:</p>
	<p>ESCALA: 1:1</p>	
	<p>ELABORÓ: Daniel Silva - Natalia Olaya</p>	<p>PLANO N°: PL004</p>

ANEXO B. Diagrama General



CUADRO DE CONVENCIONES

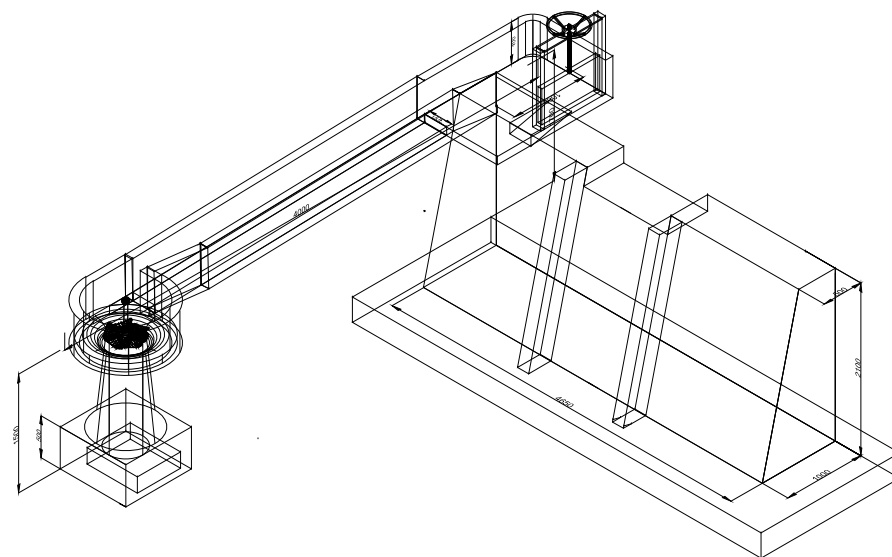
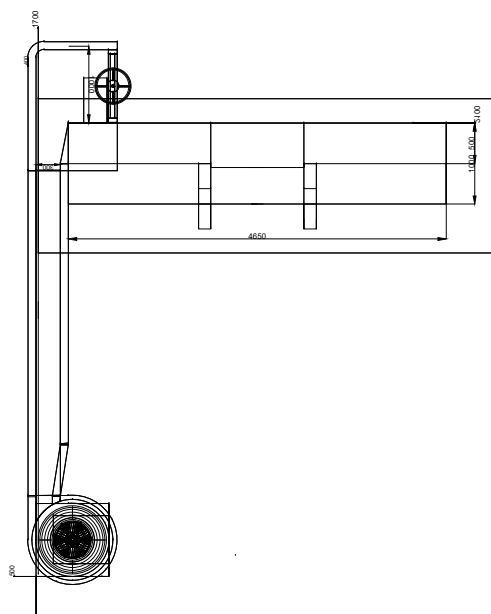
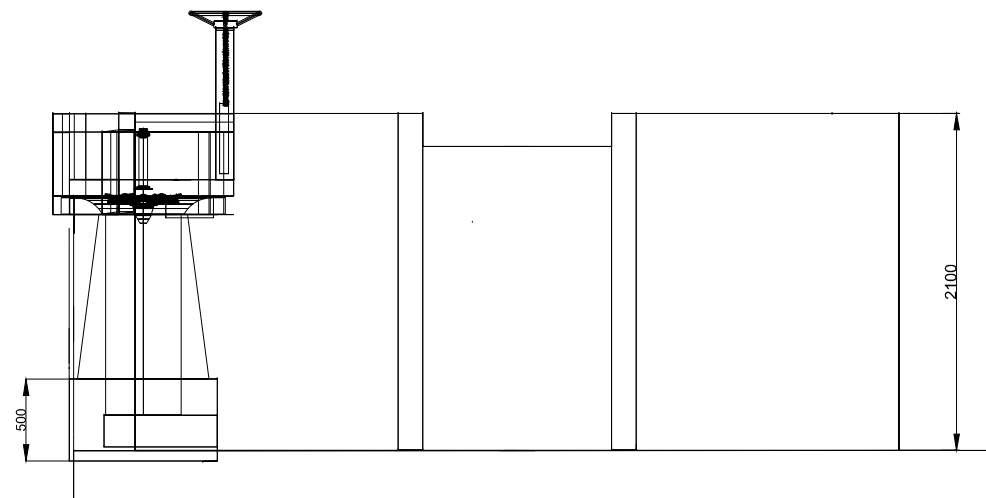
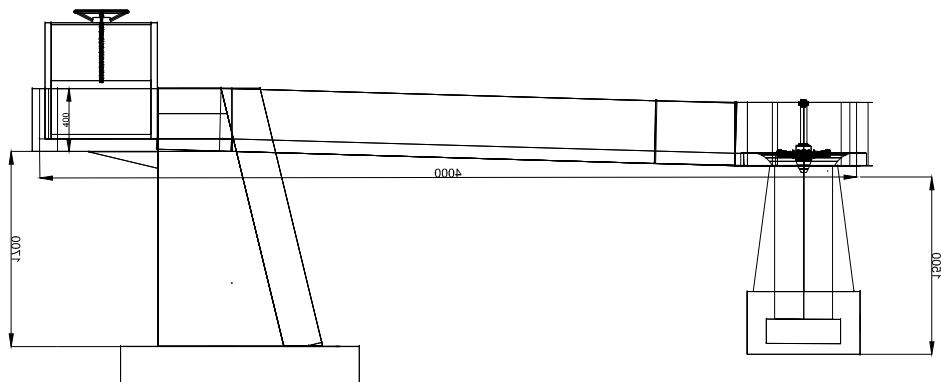
	Turbina Kaplan
	Tablero de Distribución
	Tablero General
	Luminaria
	Interruptor
	Tomacorriente
	Control de Interruptor



PROYECTO: Diseño de una Micro central Hidroeléctrica para el suministro eléctrico del sistema de iluminación del Mariposario del PMML de la Corporación Universitaria del Meta

TITULO PLANO: Diagrama General		APROBÓ:
ESCALA: 1:1	ELABORÓ: Daniel Silva - Natalia Olaya	

NEXO C. Secciones de la Presa



PROYECTO: Diseño de una Micro central Hidroeléctrica para el suministro eléctrico del sistema de iluminación del Mariposario del PMML de la Corporación Universitaria del Meta

TITULO PLANO:

Proyecciones

APROBÓ:

ESCALA:

1:1000

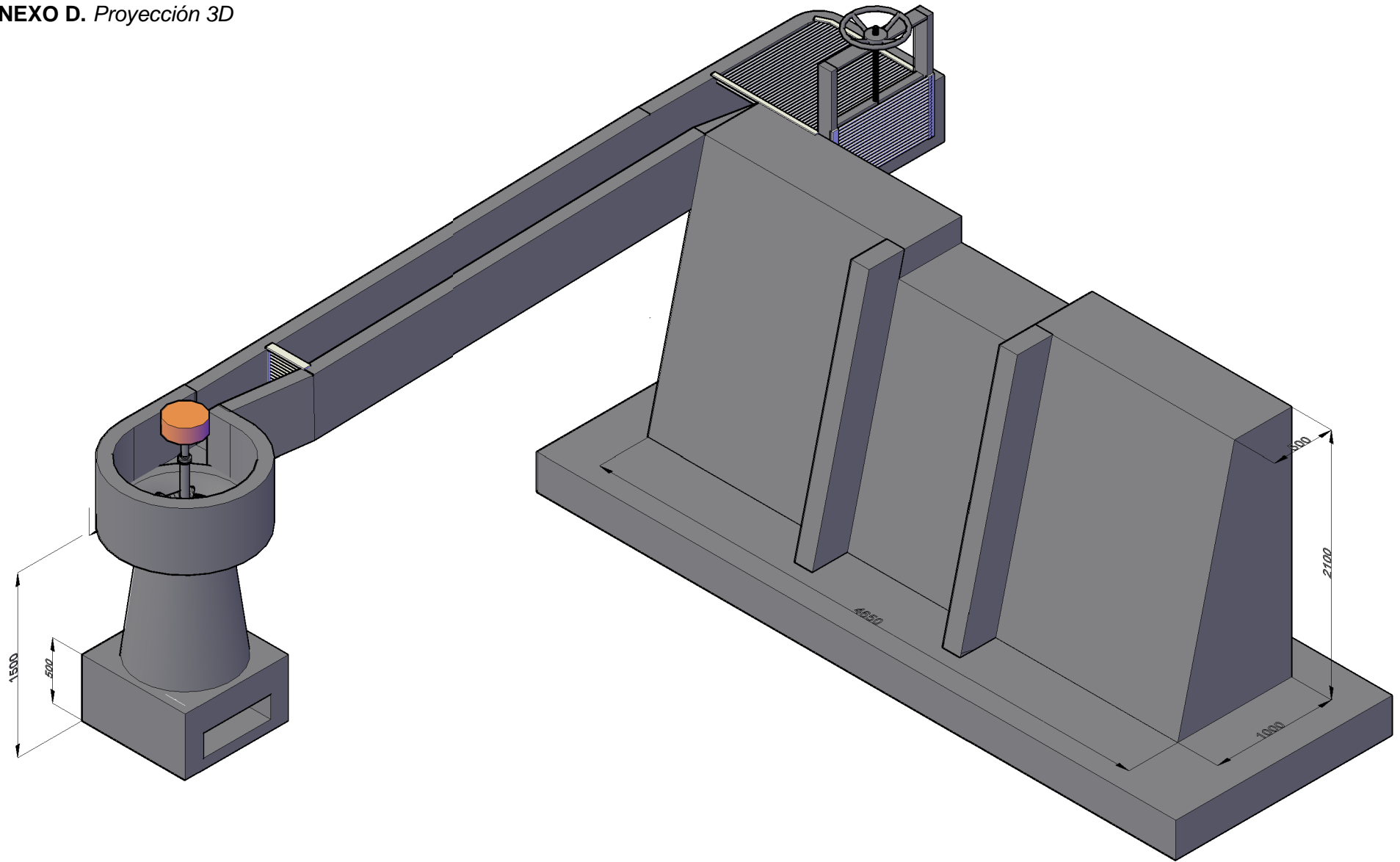
ELABORÓ:


Daniel Silva - Natalia Olaya

PLANO N°:

PL002

ANEXO D. Proyección 3D



	Diseño de una Micro central Hidroeléctrica para el suministro eléctrico del sistema de iluminación del Mariposario del PMML de la Corporación Universitaria del Meta		
	PROYECTO:		APROBÓ:
	TITULO PLANO: Proyección 3D		ELABORÓ: Daniel Silva - Natalia Olaya
	ESCALA: 1:1000	PLANO N°: PL003	

ANEXO E. Cotización Luminarias, (INTER ELECTRICAS)

Dirección

Jose Daniel Silva
 CL 08 A 39 02, 507001
 ACACIAS
 Meta
 Colombia
 3219609673
 1006873582

Información de la cotización

Nombre de cotización WWDBSJX
 Estatus Esperando Revisión
 Fecha 22/09/2024

Producto	Descripción	Precio por unidad	Cantidad	Total (IVA incluido)
	Panel Led 6W Redondo Incrustar 12cm x 12cm 6500K DL Luz Dia Ref: P26544-19 Sylvania	\$ 7.250	5	\$ 36.250
	Led Reflector Jeta 30W UNV 3000lm 6500K Luz Dia P29769-19 I2-240916	\$ 20.900	1	\$ 20.900
	Led Deco Bolardo 6W 0.8M 480lm 3000K Blanco Calido P29993-36 I2-240916	\$ 118.450	9	\$ 1.066.050
Total				\$ 1.123.200
Último precio (IVA incluido)				\$ 0
Costo de envío				\$ 0
Descuento				-\$ 1.123.200

ANEXO F, Cotización Materiales Instalación Eléctrica (INTER ELECTRICAS)

Dirección

Jose Daniel Silva
 CL 08 A 39 02, 507001
 ACACIAS
 Meta
 Colombia
 3219609673
 1006873582

Información de la cotización

Nombre de cotización ILFBCVFV
 Estatus Esperando Revisión
 Fecha 27/09/2024

Producto	Descripción	Precio por unidad	Cantidad	Total (IVA incluido)
	Toma Doble 15 Amp 125 V Polo a Tierra Blanca Sin Tapa Ref: 5320-WCP LEVITON	\$ 3.800	2	\$ 7.600
	Tubo Conduit PVC Sch40 1-2 Pulgadas X 3 mt Gris	\$ 8.000	25	\$ 200.000
	Curva PVC Sch40 1-2 Pulgadas Gris - 2907743	\$ 850	6	\$ 5.100
	Breaker de Riel Monopolar 1 X 20 AMP 10 KA 2CDS251001R0204	\$ 26.200	4	\$ 104.800
	Cable Aislado No 14 AWG Cobre THHN Color Blanco Rollo de 50 Metros 31353061002	\$ 77.500	1	\$ 77.500
	Cable de Cobre Aislado No 14 AWG THHN Color Negro Rollo de 50 Metros	\$ 0	1	\$ 0
	Tubo Metalico IMC Conduit Galvanizado de 1 Pulgadas x 3 mts Con Union	\$ 78.550	2	\$ 157.100
	Cable Aislado No 14 AWG Cobre THHN Color Verde Rollo de 50 Metros 31353061005	\$ 82.500	1	\$ 82.500
	Tapa Para Toma Doble Intemperie	\$ 17.250	2	\$ 34.500
	Breaker de Riel Monopolar 1 X 25 AMP 10 KA 2CDS251001R0254	\$ 25.800	1	\$ 25.800
Total				\$ 694.900
Ultimo precio (IVA incluido)				\$ 0
Costo de envio				\$ 0

INTER ELECTRICAS - Bogota D.C. - Colombia

ANEXO G, Cotización Materiales SPT (INTER ELECTRICAS)

Dirección

Jose Daniel Silva
 CL 08 A 39 02, 507001
 ACACIAS
 Meta
 Colombia
 3219609673
 1006873582

Información de la cotización


Nombre de cotización VKXFSUBH
 Estatus Esperando Revisión
 Fecha 22/09/2024

Producto	Descripción	Precio por unidad	Cantidad	Total (IVA incluido)
	Varilla Cooper Weld de 14 28MM x 1.50 de Cobre Macizo	\$ 140.350	2	\$ 280.700
	Cable Desnudo No 2 AWG Cobre Metro 10012772	\$ 21.000	10	\$ 210.000
	Conector Para Puesta a Tierra 5-8 a 8 - 1-0 Ref: WB58-Q	\$ 6.600	2	\$ 13.200
Total				\$ 503.900
Último precio (IVA incluido)				\$ 0
Costo de envío				\$ 0
Descuento				-\$ 503.900


ANEXO H, Cotización Turbina, Generador y regulador (FOSTER)

Quotation No.FST20240918-26 CHENGDU FORSTER TECHNOLOGY CO.,LTD




Certificates
FORSTER HYDRO equipment production refers to the IEC international standards and strictly implements the Chinese national standards (GB/T19001-2016), and has passed the international ISO9001-2015 quality management system certification.
 And has CE, TUV, SGS and other certificates. In addition, it has been awarded the highest grade (AAA) title of China Electrical Equipment Industry Association many times and has a number of high-tech invention patents. Has always been a pioneer and leader in China's hydropower industry.



We always adhere to the principle of honesty and pragmatism, quality first, integrate open-mindedness and life attitude into our work, and strive to create a win-win situation for customers, enterprises and society. In the fierce market competition, we always adhere to the success or failure of details, focus, and achieve excellence in the enterprise spirit.

	CUSTOMER INFORMATION		
	<p>Customer Name: Mr.Jose Daniel Silva Company Name: Project Name: Company Address:Colombia Email:josedaniel.silvadaza@gmail.com Tel:+57 321 9609673 Fax:</p>		
QUOTATION			
Product name: 1,5 kW Kaplan Turbine Generator			
Technical Parameters			
Net Head	H _r	1,5- 2	m
Design Flow Rate	Q _r	0.068-0.14	m ³ /s
Capacity Power	P	1.5	kw
Model	ZD760-LM-18	Rated voltage of generator V	220V

-Contact: George Huang Email:sales@forster-china.com WhatsApp:+86 134 0863 0944 WeChat:Forster-Hydro - 2 -

Rotating Speed		1000 r/min	Frequency of the generator f		50/60Hz		
Unit support form		Vertical installation	Connection way		Direct connect		
Equipment Size		820*280*280mm	Equipment Weight		42kg		
Product Price:							
No.	Picture	Name	Specifications	Unit price (USD/PC)	Qty. (pcs)	Total price (USD/PC)	Note
01		Turbine Generator	ZD760-LM-18	650	1	650	Power 1.5kw; Voltage 220v; Frequency 50/60Hz
02		Automatic voltage regulator	MD-500	150	1	150	120-250v automatic voltage regulator
03		Shipping Costs	CIF Port of Cartagena, Colombia	240	1	240	Freight + insurance from the factory to the designated port, excluding miscellaneous charges at the destination port. International trade terms: CIF Port of Cartagena, Colombia
Total Amount				920	1	920	CIF Price
This offer included the Turbine +Generator+Automatic Voltage Regulator+Transportation Costs.							
Remarks:							
1.Delivery Time: 30days after confirmation of remittance.							
2.The price is CIF price _(CIF Port of Cartagena, Colombia)							
3.Payment: T/T 100% prepayment to start production,the balance copy of P/L(Packing of list).							
4.Warranty period for main parts 1 year (except for vulnerable parts,switches,indicators etc.,)							
5.This quotation is valid before September.30 th , 2024.							
<p>Contact: George Huang Email: sales@forster-china.com WhatsApp:+86 134 0863 0944 WeChat:Forster-Hydro - 3 -</p>							

ANEXO I, Cotización turbinas (SUNECO)

Suneco Technology Co., Limited www.micro-hydro-power.com sunecohydro@gmail.com 2024
 whatsapp:86-15552796062

	model	head	flow rate	power	rotate speed	pipe diameter	weight	packing size	FOB China price	
		(m)	(m ³ /s)	(KW)	(r/min)	(mm)	(kg)	(cm)	(USD)	
1	XJ14-0.3DCT4-Z	12/14	0.003-0.005	0.3	1500	50	14	35×30×37	708	
2	XJ18-0.5DCT4-Z	12/18	0.005-0.007	0.5	1500	50-75	27	38×34×40	1,082	
3	XJ18-0.75DCT4-Z	14-18	0.005-0.008	0.75	1500	75	37	38×34×42	1,124	
4	XJ25-1.5DCT4-Z	18-25	0.008-0.011	1.5	1500	125	70	75×44×52	2,267	
5	XJ25-1.5DCTH4-Z	15	0.012-0.018	1.5	1500	125-150	108	88×60×55	2,538	
6	XJ25-3.0DCT4-Z	25-35	0.015-0.019	3	1500	125-150	90	79×47×60	3,642	
7	XJ25-3.0DCTF4-Z	18-20	0.018-0.030	3	1500	150	122	88×57×60	3,908	
8	XJ28-6.0DCT4/6-Z	28-35	0.030-0.038	6	1500	150-200	196	88×57×75	7,784	
9	XJ28-6.0DCTF4/6-Z	18-20	0.038-0.050	6	1000	200	255	105×75×77	8,252	
10	XJ30-10DCT4-Z	30-38	0.040-0.050	10	1500	200-250	269	85×65×85	12,100	
11	XJ30-10DCTF4/6-Z	25-30	0.050-0.060	10	1000	200-250	318	105×82×82	12,490	
12	XJ30-12SCTF4-Z	28-35	0.050-0.060	12	1500	200-250	325	110×85×100	14,550	3 phase
13	XJ30-15SCTF4/6-Z	30-40	0.060-0.070	15	1500/1000	200	395	126×93×98	15,988	3 phase
14	XJ30-20SCTF4/6-Z	30-45	0.060-0.100	20	1500/1000	250-300	380	120×90×115	21,300	3 phase
15	XJ38-30SCTF4/6-Z	38-45	0.090-0.120	30	1500/1000	250-300	530	120×88×115	30,430	
16	GD-LZ-12-3.0KW	11	0.045	3	1500	150	140	142×65×60	4,510	
17	GD-LZ-20-3KW	4	0.136	3	1000	250	217	125×68×85	5,968	
18	GD-LZ-20-6KW	7	0.156	6	1500	300	100	70×62×67	8,990	
19	GD-LZ-20-10KW	11	0.165	10	1500	300	312	147×73×87	11,650	
							124	72×60×61		

Remarks:
 1. For ≤ 10kw model, quotation is for single phase, if you want to update to 3 phase, price will be 15% higher.
 2. for > 10kw model, quotation is for three phase 400V
 3. This quotation is for 50HZ. If you want 110V/240V/60HZ, Price will be 10% higher.
 4. Generator system include auto-voltage regulator device.
 5. Generator system make AC output, so you do not need an inverter.
 6. All quotation are for off grid generator system. If you want to connect to grid, we will quote separately.
 7. If you have a water site, please send your water head and flow rate to us, we will quote accordingly.

www.micro-hydro-power.com

ANEXO J, *Generador Síncrono*

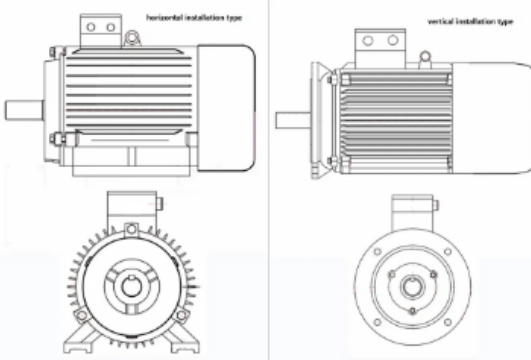
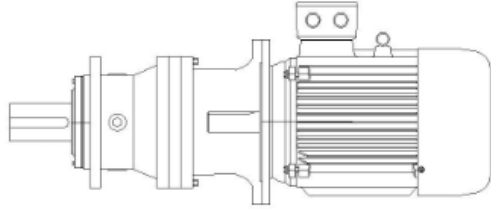
Información Básica.			
No. de Modelo.	UITG	Eje de rotación	horizontal o vertical
Energía	100w y superior	Fase	3 fase ac
Certificación	CE, ISO	material del imán	ndfebab
marca de marcación	skf	material del alambre	100% cobre
diseño de la vida útil	20 años	tensión nominal	12-1140vac personalizado
rpm nominales	20-3600rpm personalizado	grado de protección	ip54, ip68
Paquete de Transporte	envases de contrachapado	Marca Comercial	uit
Origen	China Mainland	Código del HS	85016100
Capacidad de Producción	10000 unidades/año		

La serie UITG sincrónico de alta eficiencia el generador de imanes permanentes

Descripción de la producción

UITG sincrónico de la fase de la serie 3 generador de Imanes permanentes (PMG) es nuestro principal producto de venta.

Son ampliamente utilizados en el nuevo campo de energía, como la energía hidroeléctrica, océano, sistema de generación eólica.

1. Personalizar el poder de 200W a 5MW
2. Adaptado a bajas revoluciones oscilan entre 20RPM a 3600RPM
3. Bajo par de arranque: 0,15% del par nominal.
4. Alta eficiencia de más del 95%
5. Tipo de instalación personalizada

6. La estructura sin escobillas y libre de mantenimiento
7. Caja de cambios personalizados cuando es necesario ajustar el RPM.

8. Sin engranajes, una transmisión directa.

Nuestro PMG son muy estrictos en términos de selección de materiales, producto de la producción y control de calidad, asegurando que todos los productos son 100% cualificados.

1). Todos los generadores rodamiento SKF elige marca, modelo y combinar diferentes según diferentes parámetros (generador de potencia, RPM, el tipo de instalación, etc).

ANEXO K, Regulador de Tensión

ALTA CONFIABILIDAD

La simplicidad de su construcción y la no utilización de partes móviles dan lugar a unidades altamente confiables bajo las condiciones más adversas de trabajo.

PROTECCIÓN TOTAL DE LA CARGA

El diseño de este tipo de reguladores es tal, que por ningún motivo puede entregar tensiones de salida superiores a la nominal. Esto cubre inclusive una falla interna en el regulador.

PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA

Debido a la naturaleza ferromagnética del regulador, la corriente de salida se autolimita protegiendo a la unidad de daños internos y haciendo innecesarias protecciones adicionales tales como fusibles e interruptores termomagnéticos. En caso de corto circuito, la corriente de salida se limita al 125 - 200% de su valor nominal. El regulador puede operar en esta condición por tiempo indefinido sin sufrir daño alguno.

EXCELENTE RECHAZO DE RUIDO ELÉCTRICO Y**PICOS DE SOBRETENSIÓN**

Estas unidades proporcionan un alto rechazo al ruido y picos provenientes de la línea comercial lo que los hace excepcionalmente adecuados en lugares donde la línea está contaminada por ruido eléctrico y picos generados por cargas tales como: motores, hornos eléctricos, controles a base de transistores, etc., así como perturbaciones atmosféricas.

CONSTRUCCIÓN ROBUSTA

Su construcción está basada en un mínimo número de partes que lo hacen tan resistente a la vibración y al impacto como un transformador de uso ordinario.

PROTECCIÓN CONTRA TENSIONES DE LÍNEA**DEMASIADO BAJAS**

Por ejemplo para los reguladores de tensión de línea nominal de 127 V-, la salida se mantiene dentro del -10% con el regulador a plena carga a tensiones de línea de 80 V- y al 50% de carga opera aceptablemente a tensiones de línea tan bajas como 55 V-.

ALTA VELOCIDAD DE RESPUESTA

Debido a la ausencia de partes móviles y de circuitos electrónicos de retroalimentación, la corrección se inicia al mismo tiempo que la perturbación, terminando dicha corrección a la salida en un tiempo máximo de 1/2 ciclos.

CVH**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**

ENTRADA	
Tensión:	127 V- +10% -25%, 220 ó 440 V- +27% -13%
Sistema:	2 hilos y tierra para sistemas monofásicos y bifásicos
Frecuencia:	60 ± 3 Hz
Factor de potencia:	0.90 mínimo a plena carga y a tensión nominal.
Eficiencia:	0.90 a plena carga y a tensión nominal.
SALIDA	
Tensión:	120 V-, 220 V-, 220/110 V-
Regulación:	Para las variaciones de tensión y frecuencia arriba indicadas y de 0 a 100% de carga. a) Tipo computadores: ± 3% b) Tipo industrial: ± 1%
Rechazo al ruido:	Modo Común: Modo Transverso:
a) Tipo computadores:	> 120 dB > 60 dB
b) Tipo industrial:	> 40 dB > 20 dB

NOTA: Se puede fabricar en configuración trifásica con regulación de ± 5% de Fase - Fase y Fase - Neutro. También es posible fabricarlo a voltajes diferentes a los indicados, a solicitud del cliente, consultar a nuestro Departamento de Ventas.

CONTENIDO NETO DE ARMÓNICAS:

La distorsión armónica total es menor al 3%.

TIEMPO DE RESPUESTA:

El tiempo máximo necesario para corregir la tensión de salida es de 25 msag (a 60Hz).

CAPACIDAD :

Esta unidad se encuentra disponible en capacidades de 250 VA a 10 kVA.

CAPACIDAD DE SOBRECARGA:

En caso de sobrecarga el regulador puede entregar hasta el 120% de su capacidad nominal por 30 minutos máximo.

CONTROLES:

Exclusivamente las unidades de hasta 1 kVA están equipadas con un interruptor que permite desenergizar fácilmente el equipo.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA:

Las unidades de hasta 2 kVA inclusive, cuentan con clavija, cable flexible de 1.5 m de longitud y receptáculo adecuado a la capacidad de la unidad. Esto hace sumamente sencilla la instalación eléctrica de estas unidades. En unidades de 2.5 a 10 kVA las conexiones se llevan a cabo considerando sus voltajes y capacidades de operación, para mayor información consultar al departamento de ventas.

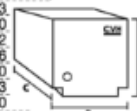
GABINETE

La construcción del gabinete es del tipo portátil por lo que puede montarse prácticamente en cualquier parte.

El gabinete está construido en lámina de acero de gran robustez mecánica y terminado color arena horneado.

Las unidades de 6, 8, y 10 kVA están provistas de ruedas. Así mismo, su construcción permite el fácil acceso a todas las partes internas para su servicio y/o mantenimiento.

CAPACIDAD VA	DIMENSIONES cm			PESO kg	DISIPACIÓN DE CALOR BTU/min
	Ancho	Profundo	Altura		
250	15.5	17.0	33.5	10.1	2.50
500	20.0	23.5	35.5	19.0	4.30
750	23.5	25.0	44.0	26.2	5.45
1000	23.5	25.0	44.0	39.7	7.45
1500	27.3	28.0	42.5	42.0	10.6
2000	27.3	28.0	42.5	50.9	13.7
2500	27.3	31.0	62.5	63.9	15.8
3000	27.3	31.0	62.5	76.3	19.0
4000	27.3	31.0	62.5	95.2	25.2
5000	27.3	31.0	70.0	102.0	30.6
6000	57.0	39.5	65.0	147.0	38.0
8000	57.0	39.5	65.0	180.0	50.3
10000	57.0	45.0	65.0	200.0	62.0

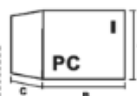
**PC****CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**

ENTRADA	
Tensión:	127 V- +10% -25%
Fases:	1
Frecuencia:	60 Hz ± 3Hz
Sistema:	2 hilos y tierra física
SALIDA	
Tensión:	127 V- ± 5%
Capacidad VA:	150, 300, 500, 1000
Corriente máx (A-I):	1.25, 2.50, 4.17, 8.33
Potencia (W) (a F.P.=1):	150, 300, 500, 1000
Distorsión armónica total:	< 3%
Rechazo al ruido eléctrico:	modo común: >120 dB modo transverso: >80 dB
Tiempo de respuesta:	25 msag máximo
Capacidad de sobrecarga:	20% por 30 minutos máximo

Cuenta con 4 receptáculos polarizados de 15 A, 250V o/L, excepto PC 150 (2 receptáculos) y cable flexible de 1.5 m de longitud con clavija polarizada.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS**PESO Y DIMENSIONES:**

	PC 150	PC 300	PC 500	PC 1000
(B) Ancho cm	12.5	17.5	17.5	23.5
(C) Fondo cm	23.5	24.0	32.0	31.5
(A) Alto cm	11.2	14.5	14.5	16.7
Peso kg	5.1	9.0	12.7	21.2

**CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES**

Temperatura ambiente de operación: -20° a 50° C
Temperatura de almacenamiento: -20° a 70° C
Humedad relativa (sin condensación): 20% a 80%
Altura máxima de operación: 2.500 m s.n.m.


3 Años de GARANTÍA



CAIPI-131009

LAS ESPECIFICACIONES ESTAN SUJETAS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO.

ANEXO L, Regulador de Tensión

 SPECTRONIC Fecha 27 DE SEPTIEMBRE DE 2024 Empresa Atn. Sr. (a) DANIEL SILVA e-mail josemanuel.silvadaza@gmail.com Telefono 3219609673 Ciudad BOGOTA	SPECTRONIC SAS OMAR MEDINA BENAVIDES Cotización No.		GCO-FO-001
	RVA/ VE1	17/03/2010	
		975	

OPCION N° 1

Referencia	Descripción	Cantidad	Valor Unidad
4R020M	REGULADOR MONOFASICO DE 2,0 KVA , CONMUTACION POR TRIACS , COMPLETAMENTE ELECTRO NICO , CON VOLTIMETRO ANALOGO .SALIDA POR MEDIO DE TOMAS FUSIBLE DE PROTECCION CONTRA SOBRECARGAS Y CORTOS CIRCUITOS RANGO DE ENTRADA (89 - 135) CON VOLTIMETRO ANALOGO	1	\$ 687.500
	RANGO DE SALIDA (115 +/- 5 %) 4 PASOS DE REGULACION, CON SUPRESOR DE PICOS DE RED / FP = 0,8 = 1600 W PINTURA ELECTROSTATICA INDICADOR DE POLARIDAD	DCTO 20%	\$ 137.500
		SUBTOTAL	\$ 550.000
		Iva 19%	\$ 104.500
		TOTAL	\$ 654.500

Tiempo de Entrega **1 a 3** Día (s) Hábil (es)

OPCION N° 2

Referencia	Descripción	Cantidad	Valor Unidad
4E030M	REGULADOR MONOFASICO DE 3 KVA , MICROCONTROLADO CONMUTACION POR TRIACS , COMPLETAMENTE ELECTRONICO 3 PASOS DE REGULACION (OPCIONAL) ,FUSIBLE DE PROTECCION DE CONTROL RANGO DE ENTRADA (99- 135) SALIDA POR MEDIO DE BOR O TOMAS (OPCIONAL) , BREAKER DE PROTECCION CONTRA SOBRE CARGAS Y CORTOS CIRCUITOS CON MICRO CONTROLADO	1	\$ 1.161.000
	RANGO DE SALIDA (110V- 115V -120V +/- 5 %) AJUSTABLE CON SUPRESOR DE PICOS , FILTRO DE ARMONICOS DE RED CON TARJETA PROTECTORA DE TRANSIENTES DE TRES PUNTOS REGULADOR CON CRUCE POR CERO EN CORRIENTE 2100 W	DCTO 24%	\$ 278.640
		SUBTOTAL	\$ 882.360
		IVA 19%	\$ 167.648
		TOTAL	\$ 1.050.008

Tiempo de Entrega **1 a 3** DIA (S) HABIL(ES)

FORMA DE PAGO: 50 % ANTICIPO / 50% CONTRADESPACHO (PREVIA CONSIGNACION)

VALIDEZ OFERTA: 30 DIAS

GARANTIA: 12 MESES EN UPS

ENTREGAS EN OFICINA BOGOTA .INSTALACION A CERO METROS .CUANDO EL EQUIPOES PARA OTRA CIUDAD FLETES POR CUENTA DEL COMPRADOR Y ASESORIA TELEFONICA .

SPECTRONIC SAS COLABORA EN EL ESTUDIO DE LA NORMA TECNICA ICONTEC NTC 2540
PARA VER INFORMACION MAS DETALLADA VISITENOS EN NUESTRO SITIO WEB
<https://spectronic.com.co>
Cra. 14 No. 98-31, PBX: 6230055.

ANEXO M, Tablero exterior (Soldexel)

Áreas de Alto Desempeño
(Intemperie - NEMA 3, 4, 4X)



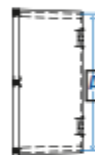
Referencias y Tamaños Disponibles
Cajas de Sobreponer NEMA 4

Referencias y Tamaños Disponibles						
Referencia	Dimensiones Internas (mm)					Peso Aprox.
	A	B	C	D	E	
S4 -CE100404	103	42	48	N.A.	N.A.	2,5
S4 -CE101007	99	99	81	N.A.	N.A.	2,8
S4 -CE201010	197	97	102	138	151	3,5
S4 -CE151510	147	147	100	83	194	2,9
S4 -CE201510	201	149	101	100	196	2,9
S4 -CE202008	199	199	84	105	253	4
S4 -CE202010	199	199	99	105	247	5
S4 -CE202015	199	199	153	116	251	5,3
S4 -CE202020	199	199	200	108	249	4,0
S4 -CE252015	248	199	152	135	255	6,4
S4 -CE252515	248	248	151	130	314	7,4
S4 -CE302515	298	250	152	181	295	7,5
S4 -CE303015	297	297	153	177	363	9,7
S4 -CE303020	300	300	200	158	354	9,5
S4 -CE303030	297	297	300	171	363	12,1
S4 -CE353015	337	298	150	175	344	9,4
S4 -CE403015	398	300	153	280	349	11,4
S4 -CE404020	398	397	202	231	464	15,6
S4 -CE404025	399	399	251	250	452	20,2
S4 -CE404030	392	392	297	259	446	20,2
S4 -CE503020	498	292	200	262	542	14,2
S4 -CE504030	495	392	300	292	445	24,7
S4 -CE504530	492	450	299	301	520	27,4
S4 -CE505015	473	473	180	274	532	18
S4 -CE505020	479	479	185	280	535	18,5
S4 -CE605020	601	500	200	362	563	24,8
S4 -CE605030	600	500	302	354	565	35
S4 -CE717145	717	717	470	400	799	67,8
S4 -CE756020	751	597	199	378	666	34,4
S4 -CE905020	895	499	199	458	545	34,3
S4 -CE907030	897	698	304	543	790	58,6
S4 -CE907050	900	699	504	541	792	97,5
S4 -CE908055	901	800	550	541	895	121,9
S4 -CE1006020	1001	595	199	507	668	65,5
S4 -CE1106530	1111	653	302	700	739	80,5
S4 -CE1306040	1318	607	409	675	689	110,2

Construidas de Acuerdo
a las Normas y Reglamentos

- NEMA 250 Encerramiento para equipos eléctricos (hasta 1000 V).
- UL 50/E Enclosures for electrical equipment.
- ASME B1 20.1: Pipe Threads, General Purpose
- RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
- NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano

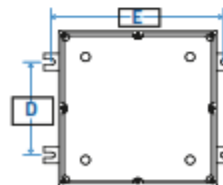
Vista Lateral Caja de Sobreponer




Vista Inferior Caja de Sobreponer



Vista Superior Caja de Sobreponer



ANEXO N, Tablero exterior (Tecna)



CAJAS DE EMPALME Y HALADO DE SOBREPONER NEMA 4X, TIPO SB6E / SB6WJB

NEMA 3, NEMA 4, NEMA 4X


TIPO SB6E TAPA PLANA


REFERENCIA	DIMENSIONES INTERNAS mm		
	LARGO (L)	ANCHO (W)	ALTO (H)
SB6E 333	76	76	75
SB6E 444	102	102	98
SB6E 443	106	106	75
SB6E 422	120	62	57
SB6E 433	122	74	75
SB6E 554	127	126	100
SB6E 633	152	80	80
SB6E 643	154	102	75
SB6E 664	154	154	96
SB6E 733	194	75	75
SB6E 883	201	201	80
SB6E 884	203	203	98
SB6E 886	205	205	148
SB6E 864	207	154	98
SB6E 866	208	150	296
SB6E 997	248	248	193
SB6E AA6	251	251	148
SB6E AAB	251	251	293
SB6E A66	252	153	150
SB6E AB6	253	203	150
SB6E A64	254	153	100
SB6E AAB	256	256	202
SB6E C64	300	152	95
SB6E CA6	301	250	148
SB6E C66	306	153	150
SB6E CCB	306	306	200
SB6E CCC	306	306	303
SB6E CC4	308	308	99
SB6E CC6	309	309	147
SB6E GC5	400	306	139
SB6E GGC	400	400	208
SB6E GCB	404	311	202
SB6E IBB	456	202	200
SB6E IC6	458	305	150
SB6E ICB	458	305	200
SB6E IB6	464	464	150
SB6E IBB	464	464	200
SB6E JJB	483	483	200
SB6E KXC	500	500	500
SB6E NFB	577	380	197
SB6E OGO	607	404	604
SB6E OGC	611	405	303
SB6E OK6	611	509	150
SB6E OKI	611	509	461
SB6E OOA	611	611	254
SB6E OOC	600	600	300
SB6E 55K	701	600	490
SB6E UO6	759	660	151
SB6E VMU	790	570	785
SB6E 36I7	915	462	186
SB6E 43MU	1090	570	785
SB6E 43QE	1093	659	352
SB6E 47CC	1200	300	300
SB6E 52WA	1320	818	255

CAJAS DE PASO DE SOBREPONER TIPO CASITA

REFERENCIA	DIMENSIONES INTERNAS (mm)		
	LARGO (L)	ANCHO (W)	ALTO (H)
SB6WJB644	105	112	99
SB6WJB864	207	138	103
SB6WJB880	215	215	148
SB6WJB664	239	156	103
SB6WJBAB0	265	215	149
SB6WJBCB6	304	207	150
SB6WJBCC0	306	306	152
SB6WJBE80	337	207	150
SB6WJBIB0	463	212	152
SB6WJIC6	469	314	150
SB6WJBOGC	614	411	301
SB6WJB9CC	717	306	301

Nota: Todas las dimensiones son aproximadas.
Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso.





A PRUEBA DE:

- Polvo
- Lluvia
- Chorro de agua
- Intemperie
- Corrosión

37


Derechos Reservados © TECNA Cra. 32 No. 22B - 60 Tel.: (57-1) 368 4311 Fax: (57-1) 368 0898 - 01 900 331 8320 E-mail: serviclientes@tecna.com.co Bogotá D.C. Colombia / Sur América

ANEXO O, Ficha técnica luminarias (SYLVANIA)

SYLVANIA

LED Reflector


LED REFLECTOR JETA 30W DL UNV
P29769



Luminaria LED tipo reflector para interiores o exteriores, diseño delgado y liviano con driver integrado en la luminaria. Instalación sobrepuesto con soporte metálico. Proyección uniforme de la luz, reduce los costos de consumo de energía y mantenimiento.

CARACTERÍSTICAS
Diseño delgado, moderno y robusto, resistente a la humedad
Chasis en aluminio extruido.


APLICACIONES
Iluminación exterior decorativa, fachadas, jardines.
Iluminación de senderos y áreas de circulación en exteriores














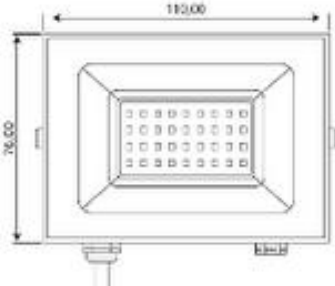
DATOS ÓPTICOS		DATOS FÍSICOS		DATOS ELÉCTRICOS	
Temperatura de color	6500K (DL)	Acabado	Negro	Potencia de entrada	30 W
Flujo luminoso	3000 lm	Grado de protección IP/IK	IP65/IK06	Tensión de operación	100-277 V 50/60 Hz
Ángulo de apertura	110°	Dimensiones (LxWxH)	110x76x29 mm	Corriente de entrada	0.25 A @ 120 V
Tipo de distribución	Directa simétrica	Peso [kg]	0.28 kg	Factor de potencia	0.9
Reproducción de color (IRC)	> 80	Tipo de montaje	Sobreponer	Distorsión armónica (THD)	<30%
Vida útil	30000 h L70	Chasis	Aluminio extruido	Tipo de driver	Independiente CC
Eficacia	100 lm/W	Óptica	Semiespecular	Atenuable	NO
Número de chips LED	36	Temperatura Operación Ta	-20°C ~ +40°C	Protección sobretensiones	2KV

* Se recomienda no usar en ambientes marinos o con alta salinidad .

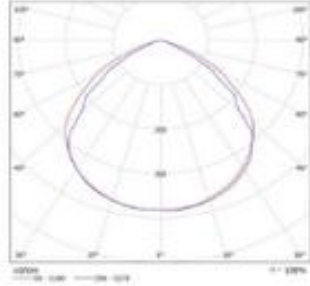
* Se recomienda usar un conector hermetico para garantizar la protección IP65.

* La luminaria incluye una valvula de respiración que permite disipar la humedad.

DIMENSIONES



FOTOMETRÍA



Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 12/23.

Producto Ecológico: Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA

SYLVANIA

LED Decorativas

LED DECO BOLARDO 10W WW MV

P24638



Luminaria decorativa LED tipo bolarde. Su diseño compacto crea ambientes atractivos y agradables, proporciona una salida de luz uniforme y bajo consumo de energía.

CARACTERÍSTICAS

Diseño moderno con fuente LED y difusor opalizado

Fácil y rápida instalación

APLICACIONES

Senderos peatonales

Jardines, terrazas, plazoletas



DATOS ÓPTICOS

Temperatura de color	3000 K (WW)
Flujo luminoso	700 lm
Ángulo de apertura	90°
Tipo de distribución	Directa simétrica
Reproducción de color (IRC)	80
Vida útil	30000 h L70
Eficacia	70 lm/W

DATOS FÍSICOS

Acabado	Negro mate
Grado de protección IP	IP54
Dimensiones (LxWxH)	120x80x800 mm
Tipo de montaje	Sobreponer piso
Chasis	Aluminio
Óptica	Difusor transparente
Temperatura de operación Ta	-10°C ~ +40°C

DATOS ELÉCTRICOS

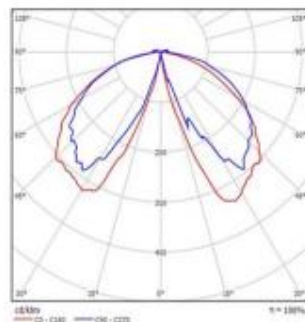
Potencia de entrada	10 W
Tensión de operación	100-240 V 50/60 Hz
Corriente de entrada	0.083 A @ 120 V
Factor de potencia	>0.50
Distorsión armónica (THD)	<20%
Tipo de driver	Independiente CC
Atenuable	NO

DIMENSIONES



Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 04/19

FOTOMETRÍA



Producto Ecológico: Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA

ANEXO P: Listado de Precios Cables B.T (Centelsa)



LISTA DE PRECIOS MTS - IE Interelectricas

CT	NX	Familia	Calibre	Material	PRECIOS ANTES DE IVA
200300	10011483	Alambre de Cobre THHN/THWN	A.14 AWG Cu THWN-2 600V	CU	\$ 1.650
200303	10011477	Alambre de Cobre THHN/THWN	A.12 AWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 2.464
200305	10011471	Alambre de Cobre THHN/THWN	A.10 AWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 3.960
200307	10011808	Alambre de Cobre THHN/THWN	A.8 AWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 6.483
200310	10033935	Cable THHN/THWN - 2 14 AL 8 AWG	3x12 AWG Cu THHN/THWN-2 TPX 600V 90C	CU	\$ 9.188
200351	10011771	Cable THHN/THWN - 2 14 AL 8 AWG	C.14 AWG Cu THWN-2 600V	CU	\$ 2.003
200354	10011763	Cable THHN/THWN - 2 14 AL 8 AWG	C.12 AWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 2.860
200354C3NG		Cable THHN/THWN - 2 14 AL 8 AWG	C.12AWG Cu THWN-2 CT600V NG C500 MOBIWAY	CU	\$ 2.978
200359	10011756	Cable THHN/THWN - 2 14 AL 8 AWG	C.10 AWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 4.494
200363	10024751	Cable THHN/THWN - 2 14 AL 8 AWG	C.8 AWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 7.036
200369	10011405	Cable THHN/THWN - 2 6 AL 4/OAWG	C.6 AWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 10.465
200373	10011394	Cable THHN/THWN - 2 6 AL 4/OAWG	C.4 AWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 16.758
200383	10011383	Cable THHN/THWN - 2 6 AL 4/OAWG	C.2 AWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 25.980
200390	10011381	Cable THHN/THWN - 2 6 AL 4/OAWG	C.1/OAWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 41.852
200394	10011391	Cable THHN/THWN - 2 6 AL 4/OAWG	C.2/OAWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 52.766
200398	10012629	Cable THHN/THWN - 2 6 AL 4/OAWG	C.3/OAWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 66.452
200402	10011403	Cable THHN/THWN - 2 6 AL 4/OAWG	C.4/OAWG Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 81.436
200406	10011445	C 250 - 1000 KCMIL Cu	C.250 kcmil Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 99.292
200410	10011449	C 250 - 1000 KCMIL Cu	C.350 kcmil Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 138.896
200416	10011452	C 250 - 1000 KCMIL Cu	C.500 kcmil Cu THWN-2 CT 600V	CU	\$ 196.047
213581	10047972	Cables 14 - 8 SINTOX	3x12AWG Cu SINTOX TPX600V 75C HF FRLS CT	CU	\$ 9.867
213554	10036058	Cables 14 - 8 SINTOX	C.14AWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 2.205
213555	10034156	Cables 14 - 8 SINTOX	C.12AWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 3.087
213555C3NG		Cables 14 - 8 SINTOX	C.12AWG CU SINTOX 600V 75C NG C300 MOBIWAY	CU	\$ 3.214
213556	10036055	Cables 14 - 8 SINTOX	C.10AWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 4.718
213557	10033629	Cables 14 - 8 SINTOX	C.8AWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 7.346
213558	10034358	Cables 6 - 4/O SINTOX	C.6AWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 11.824
213559	10034359	Cables 6 - 4/O SINTOX	C.4AWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 18.568
213560	10034360	Cables 6 - 4/O SINTOX	C.2AWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 28.644
213561	10033628	Cables 6 - 4/O SINTOX	C.1/OAWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 45.629
213562	10034361	Cables 6 - 4/O SINTOX	C.2/OAWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 56.771
213563	10034393	Cables 6 - 4/O SINTOX	C.4/OAWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 90.140
213617	10034398	Cables 250 - 1000Kcmil SINTOX	C.250AWG Cu SINTOX 600V 75C	CU	\$ 105.245
200878	10048879	C Desnudo Cu	C.8AWG(B) Cu DESNUDO SUAVE	CU	\$ 6.446
200879	10012018	C Desnudo Cu	C.6AWG(B) NOR Cu DESNUDO SUAVE IZQ	CU	\$ 9.926
200881	10012794	C Desnudo Cu	C.4AWG(B) NOR Cu DESNUDO SUAVE IZQ	CU	\$ 15.678
200883	10012772	C Desnudo Cu	C.2AWG(B) NOR Cu DESNUDO SUAVE IZQ	CU	\$ 24.642
200887	10027929	C Desnudo Cu	C.1/OAWG(B) UNC Cu DESNUDO SUAVE IZQ	CU	\$ 40.754
200891	10012793	C Desnudo Cu	C.2/OAWG(B) UNC Cu DESNUDO SUAVE IZQ	CU	\$ 50.537
200895	10012795	C Desnudo Cu	C.4/OAWG(B) UNC Cu DESNUDO SUAVE IZQ	CU	\$ 79.803
204628	10011461	A Desnudo Cu	A.14AWG Cu DESNUDO SUAVE (M)	CU	\$ 1.600
204629	10011460	A Desnudo Cu	A.12AWG Cu DESNUDO SUAVE (M)	CU	\$ 2.379
204632	10011459	A Desnudo Cu	A.10AWG Cu DESNUDO SUAVE (M)	CU	\$ 3.845
201527		FLEX. Duplex	2x20AWG Cu DUPLEX SPT-C 300V60C	CU	\$ 1.367
201528	10011056	FLEX. Duplex	2x18AWG Cu DUPLEX SPT-C 300V60C	CU	\$ 1.641
201529	10011054	FLEX. Duplex	2x16AWG Cu DUPLEX SPT-C 300V60C	CU	\$ 2.506
201530	10011041	FLEX. Duplex	2x14 AWG Cu DUPLEX SPT-C 300V60C	CU	\$ 3.725
201532	10011038	FLEX. Duplex	2x12 AWG Cu DUPLEX SPT-C 300V60C	CU	\$ 5.789
201525	10011036	FLEX. Duplex	2x10 AWG Cu DUPLEX SPT-C 300V60C	CU	\$ 9.098
201635		FLEX. Monopolar	FLEXIPLUS AWM 105°C Cu 20 AWG (J) 600V	CU	\$ 759
201636		FLEX. Monopolar	FLEXIPLUS AWM 105°C Cu 18 AWG 600V	CU	\$ 936

ANEXO Q: Ficha Técnica del Cable (Centela)

CABLE THHN/THWN-2 600V CT RoHS

Contacto
Ventas
ventas.colombia@nexans.com

THHN/THWN-2 600 V CT RoHS CABLE

Cable de cobre suave, aislado en PVC y cubierta en nylon.

DESCRIPCIÓN

Aplicaciones

Distribución de energía eléctrica en baja tensión; para uso en alambrado eléctrico de edificaciones, circuitos alimentadores, ramales y redes de interior secundarias industriales, comerciales y residenciales. Especial para instalaciones en sitios abrasivos o contaminados con aceite, grasas, gasolina y otras sustancias químicas.

Son Aptos para instalación en ductos, tuberías, tableros y en bandejas portacables según RETIE artículo 20.3 literal J, desde el calibre 12 AWG y mayores.

Construcción

Conductor

Cobre temple suave

Aislamiento

Policloruro de vinilo (PVC), retardante a la llama (FR), resistente al calor, abrasión y la humedad, resistente a los rayos solares (SR) en color negro, libre de sustancias peligrosas (RoHS).

Cubierta

Cubierta externa en poliamida (nylon), resistente a la gasolina y aceites (GR II).

Normas Aplicables

- UL 83, NTC 1332

Certificación CIDET

RETIE No. 01864
RETIE No. 00406

Temperatura de Operación

90°C en lugares secos, húmedos y mojados.

Tensión de Operación

600 V

Identificación

NORMAS

Nacional ASTM B 3; ASTM B 8;
NTC 1332; NTC 307; NTC 359;
UL 83





Flexibilidad del conductor
Clase B



Resistencia química
Esoiente



Resistencia a aceites
Si



Temperatura máxima operativa
90 °C



Conforme con RoHS
Si

Todos los dibujos, planos, especificaciones, plantas y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, si podrán ser consultados una representación de la parte de Nexans.

Generado 23/09/24 www.nexans.co Página 1 / 4



CABLE THHN/THWN-2 600V CT RoHS

Contacto
Ventas
ventas.colombia@nexans.com

LISTA DE PRODUCTOS I

Nombre	Sección [mm ²]	Espesor Aislam. [mm]	Diám. Ext Nom [mm]	Peso aprox. [kg/km]	Máx. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Corriente Admisible [A]
☛ C.14AWG	2,08	0,38	2,89	23	8,629	25,0
☛ C.12AWG	3,31	0,38	3,36	35	5,457	30,0
☛ C.10AWG	5,26	0,51	4,21	56,88	3,417	40,0
☛ C.8AWG	8,37	0,76	5,53	92,88	2,142	55,0
☛ C.6AWG	13,3	0,76	6,47	140,64	1,346	75,0
☛ C.4AWG	21,15	1,02	8,23	223,35	0,847	95,0
☛ C.2AWG	33,63	1,02	9,72	344,94	0,532	130,0
☛ C.1/0AWG	53,51	1,27	12,03	540,17	0,335	170,0
☛ C.2/0AWG	67,44	1,27	13,12	669,1	0,266	195,0
☛ C.3/0AWG	85,03	1,27	14,35	836,57	0,211	225,0
☛ C.4/0AWG	107,22	1,27	15,74	1032,96	0,167	260,0
☛ C.250kcmil	126,68	1,52	17,86	1250,2	0,142	290,0
☛ C.350kcmil	177,35	1,52	20,46	1711,76	0,101	350,0
☛ C.500kcmil	253,35	1,52	23,73	2383,82	0,071	430,0

Todos los dibujos, detalles, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son meramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, si podrán ser considerados una representación de la parte de Nexans.
Generado 23/08/24 www.nexans.co Página 3 / 4



ANEXO R: Registro Fotográfico





