



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 27 de septiembre de 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Joan Sebastian Cantor Villarreal, con C.C. No.1075274294 expedida en Neiva,

Jairo David Perdomo Cuellar, con C.C. No. 1075264917 expedida en Neiva.

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado “Estudio y diseño de un sistema de picocentrales hidroeléctricas con fines de abastecimiento energético regulado, para el malecón ecológico en la ribera del río las ceibas en la ciudad de Neiva”. Presentado y aprobado en el año 2017 como requisito para optar al título de Ingeniero electrónico;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Joan Sebastian Cantor Villarreal

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Jairo David Perdomo Cuellar

Firma:



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

Estudio y diseño de un sistema de picocentrales hidroeléctricas con fines de abastecimiento energético regulado, para el malecón ecológico en la ribera del río las ceibas en la ciudad de Neiva.

AUTOR O AUTORES:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Cantor Villarreal | Joan Sebastian |
| Cuellar Perdomo | Jairo David |

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Quintero Polanco | Jesús David |

ASESOR (ES):

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
|----------------------------|--------------------------|

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero electrónico

FACULTAD: Ingeniería.

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería electrónica

CIUDAD: Neiva. **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2017. **NÚMERO DE PÁGINAS:** 91

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una **X**):

Diagramas ___ Fotografías Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general Grabados ___ Láminas ___
Litografías ___ Mapas Música impresa ___ Plano Retratos Sin ilustraciones ___ Tablas o Cuadros

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO: Planos en formato .dwg

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser **LAUREADAS** o *Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

Inglés

- | | |
|------------------------|------------------------------|
| 1. picocentral | pico - hydro |
| 2. alumbrado público | publicStreet lighting system |
| 3. estudio fotométrico | photometric study |
| 4. RETIE | RETIE |
| 5. RETILAP | RETILAP |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente documento es el estudio realizado por sus autores sobre un sistema de generación eléctrica basado en picocentrales hidroeléctricas, para abastecer el sistema de alumbrado público del parque ‘malecón ecológico’, a un costado de la ribera del río las ceibas en la ciudad de Neiva, departamento del Huila, Colombia.

En el proyecto, se detallan el tipo de generador escogido y la que se ajusta a los requerimientos técnicos del parque y a las necesidades de suficiencia energética del sistema de alumbrado público. Este alumbrado público está diseñado por los mismos autores quienes detallan además el cumplimiento de los reglamentos técnicos (RETIE Y RETILAP) que rigen este tipo de proyectos, soportados mediante estudio fotométrico. Además, contiene las mediciones que se hicieron a las variables de velocidad y altura del río para escoger la mejor tecnología de adaptación en picocentrales hidroeléctricas, encontrando una turbina hidrocínética que brinda la carga necesaria para iluminar los senderos peatonales con la velocidad del río promedio.



Se presenta también el diseño de la red de distribución de la misma energía y un estudio de costos de factibilidad sobre los costos y beneficios de la adquisición de la picocentral escogida.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This document is the research made by the authors about a power generation system, based on a Pico hydro power stations to supply the public lighting system of the 'malecon ecologico' park, located on the shore line of Las Ceibas river.

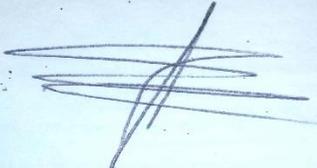
Also, the generator type is described adjusted to the technical requirements of the park and the needs of energetic adequacy of the public street lighting system. This street lighting is designed by the authors, who also detail the requirements of the technical regulations (RETIE and RETILAP) that rules this type of projects, based on photometric studies. In addition, it contains the measures that were made on the values of speed and deepness of the river, to choose the best technology of Pico hydro power station.

The distribution network of the energy and a study of benefits and costs viability for the project is developed.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Jesús David Quintero Polanco

Firma:



JESUS DAVID QUINTERO P.

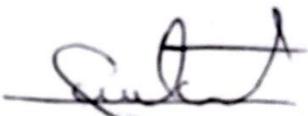


DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

| | | | | | | | |
|--------|--------------|---------|---|----------|------|--------|--------|
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 4 de 4 |
|--------|--------------|---------|---|----------|------|--------|--------|

Nombre Jurado: Faiber I. Robayo Bentancour

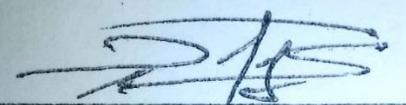
Firma:



FAIBER I. ROBAYO BETANCOUR

Nombre Jurado: Diego Fernando Sendoya Losada

Firma:



FIRMA DEL JURADO

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE PICOCENTRALES
HIDROELÉCTRICAS CON FINES DE ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO
REGULADO, PARA EL MALECON ECOLÓGICO EN LA RIBERA DEL RÍO LAS
CEIBAS EN LA CIUDAD DE NEIVA

JOAN SEBASTIAN CANTOR VILLARREAL
JAIRO DAVID PERDOMO CUELLAR

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
NEIVA (HUILA)
2017

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE PICOCENTRALES
HIDROELÉCTRICAS CON FINES DE ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO
REGULADO, PARA EL MALECON ECOLÓGICO EN LA RIBERA DEL RÍO LAS
CEIBAS EN LA CIUDAD DE NEIVA

JOAN SEBASTIAN CANTOR VILLARREAL
JAIRO DAVID PERDOMO CUELLAR

TRABAJO DE GRADO, COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO ELECTRONICO

JESUS DAVID QUITERO POLANCO, director de tesis
Ingeniero electrónico
Especialista en teleinformática
Master en tecnologías de la información y las telecomunicaciones

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
NEIVA (HUILA)
2017

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, 5 de junio de 2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, mi hermana y Jaime, a mis abuelos y mi familia y a Diana Marcela Capera Motta quien me motiva a seguir adelante con mis proyectos.

JOAN SEBASTIAN CANTOR VILLAREAL

A Dios, por poder nacer, crecer y por todas las oportunidades que me ha brindado día a día.

A mis padres Jairo y Elizabeth, por creer en mí, guiarme por el camino del bien y su apoyo incondicional en el transcurso de mi vida, cumpliendo así una etapa más en mi vida.

También a toda mi familia que de una u otra forma me motivaron a salir adelante y cumplir mis metas.

JAIRO DAVID PERDOMO CUELLAR

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de tesis no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas a quienes queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos.

- Al Ing. Jesús David Quintero Polanco, director del proyecto, por la asesoría brindada durante el desarrollo del proyecto.
- Al Ing. Juan Gabriel Murcia, Ing. Santiago González Castaño, Ing. Yamil Cerquera Rojas, Juan Vicente Medina por sus conocimientos aportados.
- A SMART HYDRO POWER, en cabeza de su c.e.o Karl Kolmsee, Ing Marius Weckel por la ayuda y visita técnicas que ofrecieron para conocer a fondo el proyecto.
- Al Sena cefa 'La angostura' Campoalegre por la instrumentación prestada.
- A Don Miller, por el apoyo en las mediciones de campo.

CONTENIDO

| | pág. |
|---|------|
| INTRODUCCION | 16 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 17 |
| 1.1 TITULO DE LA PROPUESTA | 17 |
| 1.2 LINEA DE INVESTIGACION | 17 |
| 1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACION | 17 |
| 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 17 |
| 1.5 FORMULACION DEL PROBLEMA | 18 |
| 2. OBJETIVOS | 19 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL | 19 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 19 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 3.1 ENERGÍA HIDRÁULICA | 20 |
| 3.1.1 Energía potencial hidráulica gravitatoria | 20 |
| 3.1.2 Energía cinética hidráulica | 21 |
| 3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS | 21 |
| 3.3 TURBINAS HIDROKINÉTICAS | 22 |
| 3.3.1 Clasificación de las turbinas hidrocínética | 23 |
| 3.3.2 Energía y potencias asociadas a una turbina hidrocínética | 25 |
| 4. DESARROLLO DEL PROYECTO | 28 |
| 4.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR | 28 |
| 4.1.1 Ubicación geo – referenciada | 28 |
| 4.1.2 Parámetros de diseño | 28 |
| 4.2 TRABAJO DE CAMPO | 29 |

| | |
|---|----|
| 4.2.1 Verificación del lugar proyectado y levantamiento de planos | 29 |
| 4.2.2 Medición de variables | 29 |
| 4.2.2.1 Medición de velocidad | 30 |
| 4.2.2.2 Medición de nivel | 37 |
| 4.2.3 Medición de tierras | 38 |
| 4.2.4 Reconocimiento de factores incidentes en la generación | 40 |
| 4.2.5 Elección de la picocentral | 40 |
| 4.3 DISEÑO BASADO EN LA SELECCIÓN DE LA PICOCENTRAL HIROELECTRICA | 43 |
| 4.3.1 Análisis del estudio de tierras | 43 |
| 4.3.2 Elección de la luminaria | 44 |
| 4.3.3 Simulación fotométrica | 44 |
| 4.3.3.1 Desarrollo de la simulación | 46 |
| 4.3.3.2 Cumplimiento RETILAP | 56 |
| 4.3.4 Sistema de generación | 56 |
| 4.3.5 Control del horario de trabajo de la red de luminarias | 59 |
| 4.3.6 Distribución de la red eléctrica y sus relacionados | 61 |
| 4.3.6.1 Red subterránea | 63 |
| 4.3.6.2 Material de los ductos: | 64 |
| 4.3.6.3 Profundidad de las canalizaciones | 64 |
| 5. ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO | 66 |
| 5.1 COSTOS | 66 |
| 5.1.1 Costos directos | 66 |
| 5.1.2 Costos indirectos | 67 |
| 5.2 BENEFICIOS | 67 |
| 5.2.1 Determinación del costo de la energía | 68 |
| 5.2.2 Flujo de caja | 70 |
| 5.2.3 Relación costo / beneficio | 71 |

| | |
|---|----|
| 5.2.4 Determinación de la tasa interna de retorno (TIR) | 72 |
| 5.2.4.1 Valor actual neto (VAN) | 73 |
| 5.2.5 Cálculo del costo del Kw-h | 74 |
| 6. CONCLUSIONES | 76 |
| 7. RECOMENDACIONES | 77 |
| BIBLIOGRAFÍA | 78 |

LISTA DE TABLAS

pág.

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Clasificación de centrales hidroeléctricas | 22 |
| Tabla 2. Resultados primera medición bajo técnica de cuerpo flotante | 32 |
| Tabla 3. Resultados segunda medición bajo técnica de cuerpo flotante | 33 |
| Tabla 4. Resultados tercera medición bajo técnica de cuerpo flotante | 34 |
| Tabla 5. Resultados cuarta medición bajo técnica de cuerpo flotante | 35 |
| Tabla 6. Resultados cuarta medición bajo técnica de molinete digital | 36 |
| Tabla 7. Resultados de medición de nivel | 38 |
| Tabla 8. Resultados medición de tierras | 39 |
| Tabla 9. Clasificación RETILAP para alumbrado en zonas de tránsito peatonal ... | 50 |
| Tabla 10. Clasificación RETILAP de zonas vehiculares y peatonales según altura de la luminaria..... | 50 |
| Tabla 11. Valores de factor de mantenimiento sugeridos por la CIE | 53 |
| Tabla 12. Resultados cuantitativos de la simulación..... | 55 |
| Tabla 13. Cálculo de hilos y protecciones..... | 63 |
| Tabla 14. Profundidad de ductos | 65 |
| Tabla 15. Costo de equipos de la picocentral hidroeléctrica..... | 66 |
| Tabla 16. Costo de transporte | 66 |
| Tabla 17. Costo directo del proyecto | 67 |
| Tabla 18. Costo total de la picocentral hidroeléctrica..... | 67 |
| Tabla 19. Flujo de caja anual del proyecto | 70 |
| Tabla 20. Beneficios y costos totales..... | 72 |
| Tabla 21. Valor actual neto para la determinación de la TIR | 73 |

LISTA DE FIGURAS

pág.

| | |
|--|----|
| Figura 1. Aprovechamiento de la energía potencial hidráulica en una presa..... | 20 |
| Figura 2. Turbina hidrocínética en flujo de agua | 21 |
| Figura 3. Proceso de transformación de energía cinética a energía eléctrica | 23 |
| Figura 4. Clasificación de las turbinas hidrocínética | 23 |
| Figura 5. Tipo de turbinas de eje axial u horizontal..... | 24 |
| Figura 6. Tipo de turbinas de eje vertical | 24 |
| Figura 7. Cilindro barrido por el fluido | 26 |
| Figura 8. Ubicación Geo - referenciada del desarrollo del diseño y estudio | 28 |
| Figura 9. Dispositivo LabQuest..... | 30 |
| Figura 10. Técnica del cuerpo flotante..... | 31 |
| Figura 11. Collage de evidencias sobre la medición n°1 de velocidad | 32 |
| Figura 12. Collage de evidencias sobre medición n°2 de velocidad | 33 |
| Figura 13. Collage de evidencias sobre Medición n°3 de velocidad | 34 |
| Figura 14. Collage de evidencias sobre Medición n°4 de velocidad | 35 |
| Figura 15. Resultados con molinete digital | 37 |
| Figura 16. Collage de evidencia de las mediciones de nivel..... | 38 |
| Figura 17. Resultado de medición de resistividad..... | 39 |
| Figura 18. Curva característica de turbina Smart hydro power – monofloat | 42 |
| Figura 19. Turbina monofloat Smart Hydro power | 42 |
| Figura 20. Lámpara led street light 2up zoom..... | 44 |
| Figura 21. Algoritmo de simulación fotométrica | 46 |
| Figura 22. Aspecto inicial ReluxPro®..... | 47 |
| Figura 23. Campos de caracterización del proyecto | 47 |
| Figura 24. Ventana emergente de tipo de proyecto en el asistente de planos de ReluxPro® | 48 |
| Figura 25. Buscador de archivos de Reluxpro® | 48 |
| Figura 26. Plano de simulación generado a partir del plano de planta y cimentación y sus diferentes áreas de evaluación..... | 49 |
| Figura 27. Distribución final de luminarias | 51 |
| Figura 28. Botón de configuración de cálculo | 51 |
| Figura 29. Opciones de cálculo..... | 52 |
| Figura 30. Reinder de distribución lumínica área 1..... | 53 |
| Figura 31. Reinder de distribución lumínica área 2..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 32. Reinder de distribución lumínica área 3..... | 54 |
| Figura 33. Reinder de distribución lumínica área 4..... | 54 |
| Figura 34. Reinder de distribución lumínica área 5..... | 55 |
| Figura 35. Reinder de distribución lumínica área 6..... | 55 |
| Figura 36. Gabinete de control del sistema de gestión de energía | 57 |
| Figura 37. Cable submarino..... | 58 |
| Figura 38. Diagrama del sistema de generación eléctrico | 58 |
| Figura 39. Temporizador marca sassim de 220 voltios..... | 59 |
| Figura 40. Relevador marca legrand modelo mc 32 ^a | 60 |
| Figura 41. Contactor para línea bifásica a 220 voltios | 60 |
| Figura 42. Diagrama eléctrico de conexión del sistema de control de encendido y apagado del sistema de iluminación..... | 60 |
| Figura 43. Diagrama de bloques del proceso de generación y transporte de energía eléctrica | 61 |
| Figura 44. Regiones de línea de circuitos..... | 62 |
| Figura 45. Diagrama unifilar..... | 62 |
| Figura 46. Unión solido tipo x con conductor horizontal..... | 63 |
| Figura 47. Unión T horizontal..... | 64 |
| Figura 48. Unión soldada tipo conductor pasante a varilla | 64 |
| Figura 49. Datos históricos del precio del Kw-h distribuido por Electrohuila..... | 68 |
| Figura 50. Proyección eléctrica del precio del Kw-h a quince años | 69 |
| Figura 51. Tasa interna de retorno..... | 74 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|--|------|
| ANEXO A. Plano planta y detalles | 80 |
| ANEXO B. Turbina hidrocínética..... | 81 |
| ANEXO C. Datos de hidrología del IDEAM..... | 82 |
| ANEXO D. Datasheet iluminaria | 83 |
| ANEXO E. Plano Distribución parte A..... | 84 |
| ANEXO F. Plano distribución parte B | 85 |
| ANEXO G. Algoritmo de la proyección con el programa MATLAB | 86 |

GLOSARIO

NIVEL MINIMO DE EMBALSE: es el nivel mínimo que puede estar en la cota de la toma o lugar de captación.

RETIE: *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*. Regula y dicta las medidas que se deben tomar según estándares técnicos para la ejecución y puesta en marcha de instalaciones eléctricas.

RETILAP: *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Establece los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, garantizando el correcto funcionamiento de los mismos.

SPT: sistema de puesta a tierra. Conjunto de dispositivos conductores de un sistema eléctrico específico, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica.

TELURÓMETRO: Dispositivo electrónico usado para medir la resistividad del suelo en un radio determinado del mismo.

RESUMEN

El presente documento es el estudio realizado por sus autores sobre un sistema de generación eléctrica basado en picocentrales hidroeléctricas, para abastecer el sistema de alumbrado público del parque 'malecón ecológico', a un costado de la ribera del río las ceibas en la ciudad de Neiva, departamento del Huila, Colombia.

En el proyecto, se detallan el tipo de generador escogido y la que se ajusta a los requerimientos técnicos del parque y a las necesidades de suficiencia energética del sistema de alumbrado público. Este alumbrado público está diseñado por los mismos autores quienes detallan además el cumplimiento de los reglamentos técnicos (RETIE Y RETILAP) que rigen este tipo de proyectos, soportados mediante estudio fotométrico. Además, contiene las mediciones que se hicieron a las variables de velocidad y altura del río para escoger la mejor tecnología de adaptación en picocentrales hidroeléctricas, encontrando una turbina hidrocínética que brinda la carga necesaria para iluminar los senderos peatonales con la velocidad del río promedio.

Se presenta también el diseño de la red de distribución de la misma energía y un estudio de costos de factibilidad sobre los costos y beneficios de la adquisición de la picocentral escogida.

PALABRAS CLAVES: PICOCENTRAL, FOTOMETRICO, ALUMBRADO PUBLICO, RETIE, RETILAP.

ABSTRACT

This document is the research made by the authors about a power generation system, based on a Pico hydro power stations to supply the public lighting system of the 'malecon ecologico' park, located on the city of Neiva, Huila, Colombia.

Also, the generator type is described adjusted to the technical requirements of the park and the needs of energetic adequacy of the public street lighting system. This street lighting is designed by the authors, who also detail the requirements of the technical regulations (RETIE and RETILAP) that rules this type of projects, based on photometric studies. In addition, it contains the measures that were made on the values of speed and deepness of the river, to choose the best technology of Pico hydro power station. Finding a river propeller to feed the energy needed to light up the paths, using the river's speed as a source.

The distribution network of the energy and a study of benefits and costs viability for the project is developed.

KEY WORDS: PICO HYDRO, PHOTOMETRIC, PUBLIC STREET LIGHTING SYSTEM, RETIE, RETILAP

INTRODUCCION

El presente trabajo contiene los estudios pertinentes para la instalación de una picocentral hidroeléctrica, para brindar energía eléctrica al sistema de alumbrado público, cuyos diseños y estudios también están presentes en el proyecto, del parque 'malecón ecológico' ubicado sobre la ribera del río las ceibas en el barrio Guillermo Plazas Alcid de la ciudad de Neiva.

La energía eléctrica, en este mundo contemporáneo, es una necesidad de la humanidad, pues permite que los procesos de comunicación, globalización, comercio, ciencia, ingeniería, y demás relacionados, se desarrollen. Las picocentrales hidroeléctricas han dado un paso gigante en la producción de electricidad, y más aún para sistemas off grid (fuera de red), los cuales permiten la obtención de energía eléctrica de forma autónoma y controlada, siendo amigables con el medio ambiente.

En la primera parte de este documento se encuentran algunos aspectos preliminares, como los objetivos el planteamiento del problema y demás relacionados para hacer un enfoque específico del problema a solucionar. Seguido a ello se encuentran aspectos teóricos enmarcados en la generación eléctrica y específicamente en la generación hidrocínética. Después está el desarrollo del proyecto desde la presentación de su ubicación hasta los estudios fotométricos y el sistema de generación y distribución, pasando por los resultados de las mediciones correspondientes a la elección de la picocentral y algunas dirigidas al estudio del suelo donde se ubica el proyecto. Por último, está el estudio de viabilidad económica del proyecto que detalla financieramente el comportamiento del proyecto en un tiempo posterior.

Para subsanar las problemáticas de suplencia de energía, las picocentrales hidroeléctricas son una buena alternativa si el espacio donde se van a ubicar resulta viable para su instalación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 TITULO DE LA PROPUESTA

“Estudio y diseño de un sistema de picocentrales hidroeléctricas con fines de abastecimiento energético regulado, para el malecón ecológico en la ribera del río las ceibas en la ciudad de Neiva.”

1.2 LINEA DE INVESTIGACION

Energías alternativas, control y automatización.

1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACION

El ‘malecón ecológico’ es un proyecto que se lleva a cabo en la ribera del río ‘Las Ceibas’ con fines turísticos. La electricidad del mismo, por su sentido ambiental, debe ser a base de fuentes renovables, la hidroeléctrica es un mecanismo que está acorde a los lineamientos de este proyecto, por medio de pequeñas centrales hidroeléctricas, específicamente picocentrales; esta misma para ser dispuesta en un sistema de riego del mismo o un sistema de iluminación, todo esto, de manera controlada y automatizada.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ‘malecón ecológico’ es un proyecto que pretende brindar a la ciudad de Neiva un espacio donde se fomente la cultura de responsabilidad ambiental con un parque insignia en la ribera del río ‘Las Ceibas’, en su desembocadura con el río grande de ‘La Magdalena’. El parque requiere de un abastecimiento energético para su iluminación, sistema de riegos de plantas, algún kiosco entre otras, que no debería ser suplido por la red pública, ya que no tendría el aspecto de sustentabilidad y sostenibilidad con el que se pretende ser implementado. La ubicación geográfica del malecón da un privilegio para implementar picocentrales hidroeléctricas y así suplir el requerimiento energético además de hacerlo de una forma controlada y regulada.

Debido a las circunstancias presentes en el mundo entero sumergido en problemas de salud, económicos, culturales, entre otros; es notorio que el ser humano se ve en la tarea de buscar soluciones a estas problemáticas que se nos presentan. Uno

de los factores, que genera y aporta gran parte a estas problemáticas es la generación de energía eléctrica, teniendo en cuenta que la vida del hombre posmoderno gira en torno a ella. Las pequeñas centrales hidroeléctricas, clasificadas desde el orden de las milicentrales hasta las picocentrales, son un medio para generar electricidad sin mostrar impactos nocivos al medio ambiente en cuanto a ruido y contaminación o perturbación de los ecosistemas que se encuentran donde se planten las mismas. Muchas de ellas usan un índice de M.C.A (metro columna agua) mínimo en el orden de las unidades, otras más sofisticadas incluso, solo usan la misma 'corriente de agua' para hacer su producción.

Las pequeñas centrales hidroeléctricas (pch's) además de generar impactos positivos en el medio ambiente, también producen un atractivo turístico para la región donde se implementan, ya que es innovación y esta misma genera desarrollo en muchos sentidos en el lugar de implementación.

1.5 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Qué se requiere para implementar un sistema de generación eléctrica a partir de picocentrales hidroeléctricas, para suplir el consumo energético del parque 'malecón ecológico' en la ribera del río las ceibas?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de generación eléctrica a partir de picocentrales hidroeléctricas dirigidas al consumo energético en iluminación del parque 'Malecón Ecológico' en la ciudad de Neiva, para contribuir con la oferta de espacios para la recreación en armonía con el entorno natural.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio del consumo energético junto con los constructores del parque para definir los parámetros de diseño del sistema de generación.
- Evaluar los parámetros necesarios para la instalación de una picocentral hidroeléctrica con el fin de reconocer la tecnología de mejor adaptación a las condiciones del terreno y necesidades de los usuarios.
- Diseñar el sistema de protección y de distribución de la picocentral con el fin de obtener un uso eficiente del sistema de iluminación tipo led.

3. MARCO TEÓRICO

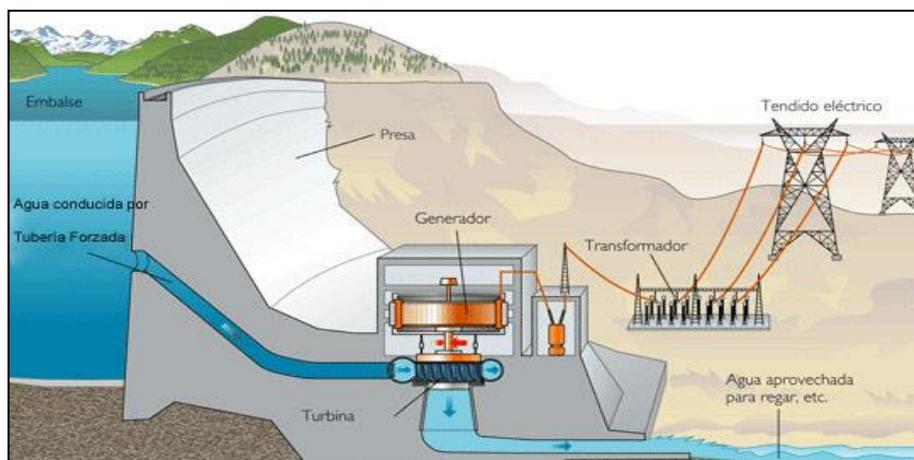
3.1 ENERGÍA HIDRÁULICA

La energía hidráulica (hídrica), es aquella capacidad que se adquiere para realizar un trabajo en base al tratamiento de masas de agua, se caracteriza por ser una “fuente renovable”¹, ya que virtualmente se considera el agua infinita. Este tipo de energía suele ser transformada en energía mecánica y consecuentemente en energía eléctrica, todo ello partiendo siempre del principio de la transformación de la energía; para llegar a esta última, se aprovechan dos cualidades o formas de extracción de energía, la potencial y la cinética.

3.1.1 Energía potencial hidráulica gravitatoria

Es el tipo de energía causado por la diferencia de posición del cuerpo acuático respecto a un determinado nivel que suele ser la superficie terrestre. Esta energía existe gracias a que los entes involucrados poseen masa.

Figura 1. Aprovechamiento de la energía potencial hidráulica en una presa



Fuente: Emaze.com

¹ ESCALANTE PÉREZ, Adoniram. FUENTES DE ENERGÍA Y SUS APLICACIONES. [En línea]. [Citado 18-septiembre-2016]. Disponible en internet: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6647/63316%20ESCALANTE%20PEREZ%2C%20ADONIRAM%20%20MONOG.pdf?sequence=1>

3.1.2 Energía cinética hidráulica

Es un tipo de energía obtenida del aprovechamiento del movimiento (velocidad y condiciones de movimiento) del agua, específicamente de aquellos cuerpos de agua que tienen una aceleración de cualquier tipo, ejemplos de ello son los ríos que tienen una velocidad vectorizada (magnitud, dirección y sentido), los mares con cuyo oleaje forman ondas que transportan energía, entre otras formas.

Figura 2. Turbina hidrocínética en flujo de agua



Fuente: proyecto de riego SMART en Neiva, Colombia

La energía hidráulica, para ser obtenida en forma de electricidad debe ser transformada desde su forma natural en una central hidroeléctrica; una central hidroeléctrica es una instalación capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica.

3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidroeléctricas se “clasifican de acuerdo a su potencia de generación”² en:

² UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSE SIMEON CAÑAS. CENTRALES HIDROELECTRICAS. [En línea]. [Citado 08-noviembre-2016]. Disponible en internet: <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf>

Tabla 1. Clasificación de centrales hidroeléctricas

| Clasificación | Potencia instalada |
|-----------------|---------------------|
| Nanocentral | < 1 KW |
| Picocentral | 1 KW hasta 10 KW |
| Microcentral | 10 KW hasta 50 KW |
| Minicentral | 50 KW hasta 1000 KW |
| Pequeña central | 1 MW hasta 5 MW |
| Mediana central | 5 MW hasta 30 MW |
| Grande central | 30 MW < |

Fuente: Centrales hidroeléctricas- Universidad Centroamericana Jose Simeon Cañas

Esta clasificación es un estándar manejado en Latinoamérica, los nombres de esta misma difieren en la potencia instalada según la región o país.

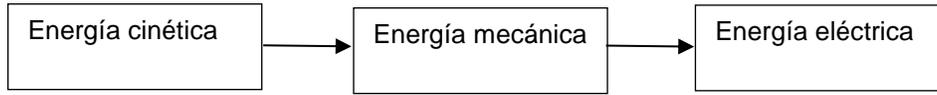
La categoría de las nanocentrales hidroeléctricas están destinadas principalmente para uso de viviendas familiares y aplicaciones mecánicas de baja complejidad; las picocentrales, microcentrales y minicentrales se usan fundamentalmente en la electrificación de redes para comunidades (rurales y urbanas) y equipos mecánicos que no requieran mayor potencia de la que se dispone en cada categoría; la categorías de pequeña, mediana y gran central hidroeléctrica se usan para interconectar varios comunidades en una sola red eléctrica, tal es el caso de Colombia y su característico sistema de interconexión eléctrica nacional, el cual es una *malla* al que tienen acceso los distribuidores de energía.

En la categoría de picocentrales hidroeléctricas existe un tipo de dispositivos capaces de hacer uso de la energía cinética hidráulica para transformarla en energía eléctrica, ellos son llamados Turbinas Hidrocinéticas.

3.3 TURBINAS HIDROKINÉTICAS

Las turbinas hidrocinéticas, llamadas comúnmente de río, son dispositivos electromecánicos cuyo principio de funcionamiento está basado en el aprovechamiento de la energía cinética de los corrientes de flujo hídrico río y/o mares. Esta energía cinética se transforma en energía eléctrica siguiendo el proceso descrito a continuación.

Figura 3. Proceso de transformación de energía cinética a energía eléctrica



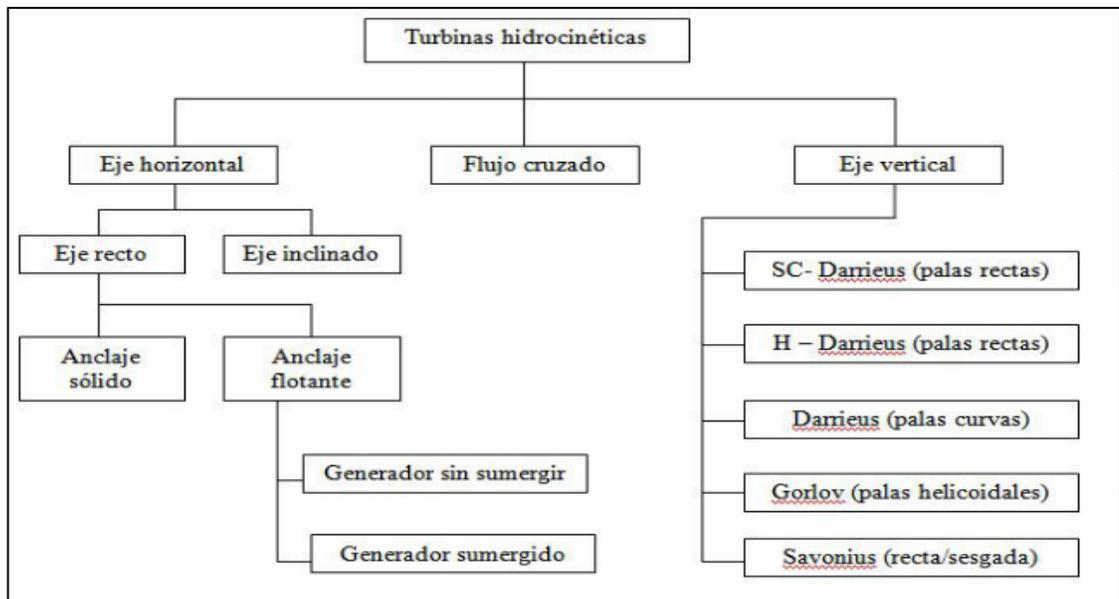
Energía del movimiento del agua. Energía del rotor. Energía del generador.

Fuente: Autores

Estos equipos presentan la principal ventaja de no tener mayor requerimiento en el aspecto de obra civil, poseer una huella de carbono y emisión de dióxido del mismo casi nula y adaptarse a los niveles de profundidad del flujo hídrico. El principal nicho de estos artefactos son los ríos que presenten una característica caudalosa con velocidades por encima de 1 m/s. Cabe resaltar, que estos generadores cumplen la misma filosofía de un generador eólico, la principal diferencia es la fuente de la energía primaria, en uno es el viento y en el otro son líquidos, por lo general agua.

3.3.1 Clasificación de las turbinas hidrocineéticas

Figura 4. Clasificación de las turbinas hidrocineéticas

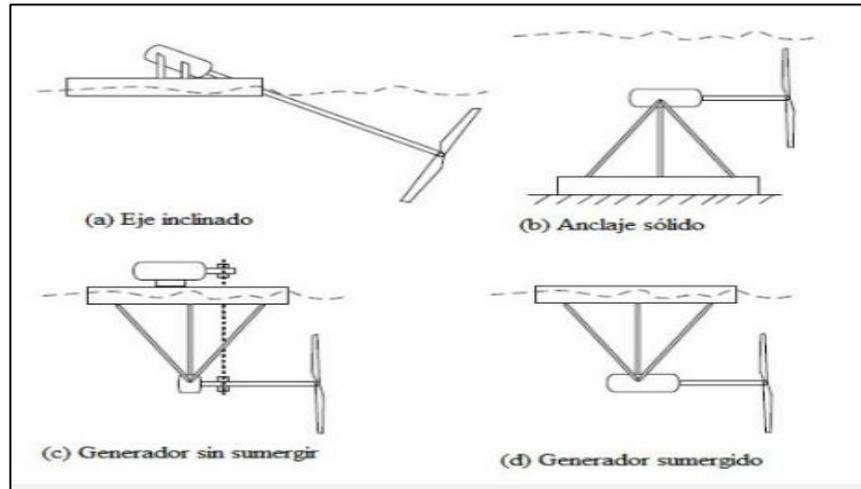


Fuente: <https://prezi.com/0lv6d-syumch/disenoy-calculo-de-turbina-hidrocineetica-para-rios/>

Las turbinas hidrocineéticas se clasifican en tres grandes grupos las de eje horizontal cuyo rotor se encuentra en forma paralela al flujo hídrico, turbinas de flujo cruzado

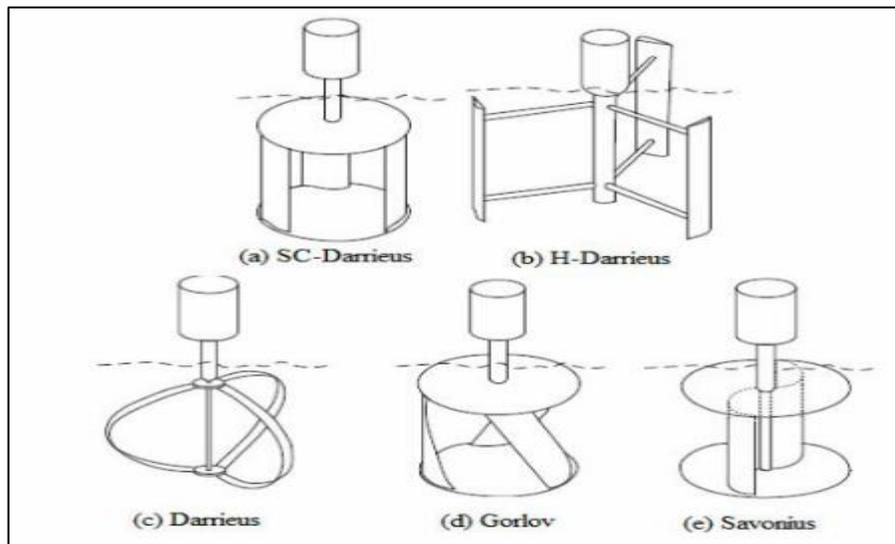
que son especializadas en flujos turbulentos y cuyo rotor puede estar inclinado respecto a la dirección de flujo hídrico y las turbinas de eje vertical cuyo rotor esta de forma perpendicular al mismo flujo.

Figura 5. Tipo de turbinas de eje axial u horizontal



Fuente: tomado de <https://prezi.com/0lv6d-syumch/disen-y-calculo-de-turbina-hidrocinetica-para-rios/>

Figura 6. Tipo de turbinas de eje vertical



Fuente: <https://prezi.com/0lv6d-syumch/disen-y-calculo-de-turbina-hidrocinetica-para-rios/>

3.3.2 Energía y potencias asociadas a una turbina hidrocínética

En un fluido cuya circulación describe la forma de un cilindro, el principio de conservación de la energía mecánica puede concebirse por la ecuación de Bernoulli, siguiendo así:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = H = \text{Constante} \quad (\text{ec. 1})$$

El término $\frac{p}{\rho g}$ representa la carga por presión del fluido; $\frac{v^2}{2g}$ es la carga por velocidad, z es la carga por elevación o altura y H es la carga total del flujo a lo largo de una línea de corriente en el transcurso del flujo estacionario e incompresible, con fricción despreciable, las diversas formas de energía mecánica se transforman entre sí, pero su suma permanece constante. En otras palabras, no se tiene disipación de energía mecánica en el curso de ese tipo de flujos, puesto que no existe fricción que convierta esa energía mecánica en energía térmica sensible.³

La energía cinética E_c de una masa m asociada a un flujo está determinada por:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{ec. 2})$$

Donde v es la velocidad del fluido que atraviesa el cilindro planteado como ejemplo en la ecuación de Bernoulli; la masa de dicho elemento (cilindro) atravesado por el fluido es expresada por:

$$m = \rho V_c \quad (\text{ec. 3})$$

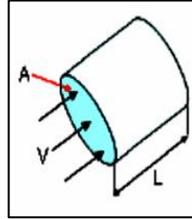
Donde ρ es la densidad del fluido que está circulando por el cilindro en mención, V_c es el volumen del cilindro; este volumen se puede expresar como:

$$V_c = A * L \quad (\text{ec. 4})$$

Donde A es el área del cilindro o sección transversal del fluido y L la longitud del mismo, como sigue la figura:

³ ÇENGEL, Yunus A y CIMBALA, John M. *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. [En línea]. [Citado 15-noviembre-2016]. Disponible en internet: http://www.academia.edu/8536926/Mec%C3%A1nica_de_fluidos._Fundamentos_y_Aplicaciones_Cengel_1ra

Figura 7. Cilindro barrido por el fluido



Fuente: MATA, Andrea (2009)

El fluido contenido en el cilindro se desplaza a una velocidad constante v y tarda un tiempo t en recorrer la longitud L , así:

$$L = v * t \quad (\text{ec. 5})$$

Al sustituir las ecuaciones 3,4 y 5 en la ecuación 2 se obtiene:

$$E_c = \frac{1}{2} A p t v^3 \quad (\text{ec. 6})$$

Por consiguiente, la potencia teórica o potencia generada por un fluido a través de un cilindro de volumen V_c esta dada por:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{E_c}{t} = \frac{1}{2} A \rho v^3 \quad (\text{ec. 7})$$

Esta potencia hallada se le debe multiplicar por un coeficiente C_p denominado 'límite de betz' según Bernad et al. (2008) las turbinas de rio como los aerogeneradores presentan un límite de generación determinado por flujo de corrientes de agua (aire para aerogeneradores) arriba y debajo del eje axial. Por lo tanto:

$$P_{max} = C_p * P \quad (\text{ec. 8})$$

El coeficiente de betz indica que no se puede extraer más del 16/27 (59%) de la energía mecánica a partir de la energía cinética.

Para valorar la eficiencia de una turbina, se emplea la expresión:

$$\eta = \frac{P_t}{P} \quad (\text{ec. 9})$$

Donde P_t es la potencia en el eje de la turbina, que se expresa de la siguiente manera:

$$P_t = T\omega \quad (\text{ec. 10})$$

Donde T es el torque en el eje de la turbina y ω es la velocidad angular del mismo.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR

4.1.1 Ubicación geo – referenciada

El estudio está ubicado geográficamente mediante la herramienta Google earth® con las siguientes coordenadas: 2.935159, -75.303730. La referenciación de este sector es la península formada por los ríos 'Ceibas y Magdalena' que encierran interinamente el casco urbano de la ciudad de Neiva, en el barrio Guillermo Plazas Alcid.

Figura 8. Ubicación Geo - referenciada del desarrollo del diseño y estudio



Fuente: Google Earth, copyright

4.1.2 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño se basan en la definición de la carga eléctrica, que debe ser suministrada por la picocentral hidroeléctrica, que se determine con mejor viabilidad de acuerdo a las condiciones hidrológicas de los ríos Ceibas y/o Magdalena. Estos parámetros parten también del uso que indiquen los diseñadores del parque, Arq. Carlos Eduardo Cabrera y el Ing. Edgar Luna Álvarez quienes son los responsables del proyecto *Ronda Rio las Ceibas* de las Empresas Publicas de Neiva S.A. E.S.P. (desde 2015 'LAS CEIBAS'). El principal parámetro de diseño estipulado por la dirigencia del parque es *la iluminación de los senderos peatonales*, es decir el diseño se debe limitar a las luminarias con toda la reglamentación técnica

que ello requiere (RETILAP Y RETIE) y la generación de electricidad mediante picocentrales hidroeléctrica para suministrar la carga del circuito de lámparas.

El diseño debe contener la definición de los equipos necesarios para la generación eléctrica, distribución eléctrica controlada en un horario establecido de 6:00 p.m. a 5:00 a.m. y la definición de la carga eléctrica o luminaria a usar. Es necesario resaltar que la parte de generación eléctrica debe tener la *menor obra civil*, para disminuir los impactos ambientales sobre los afluentes circundantes al lugar de estudio.

4.2 TRABAJO DE CAMPO

4.2.1 Verificación del lugar proyectado y levantamiento de planos

La planimetría del lugar se obtiene mediante estudio topográfico realizado por la constructora a cargo del parque, el cual contiene la topografía existente a manera de croquis y la proyectada. Las visitas se supervisan por un inspector de obra o en su defecto la interventoría. El plano obtenido este referenciado en el anexo A.

La verificación del lugar se realiza con un objetivo principal y es obtener los sitios donde sea posible la instalación de una picocentral hidroeléctrica, bien sea de caída o cinética. Se evidencia en el río las ceibas una serie de caídas de agua generadas por las traviesas en la canalización hecha al río, dicha canalización forma saltos de agua de 1 a 0,75 Mts, lo cual es un requerimiento para picocentrales hidroeléctrica de caída que oscilan entre 300 watts y 700 watts; pero cuya instalación supone un desafío en obra civil pues genera altos costos en la materia con cajillas de seguridad anti-vandálicas y canalización del afluente para el funcionamiento de la misma y aludiendo los requerimientos de la dirigencia del parque es minimizar este tipo de costos; es por ello que se acude al estudio de las turbinas hidrocínéticas, las cuales no requieren una obra civil mayor al coste de la misma, determinando su lugar de instalación en el río *Magdalena* y se procede a estudiar las variables hidrológicas que se requieren para la instalación de este tipo de picocentrales hidroeléctricas.

4.2.2 Medición de variables

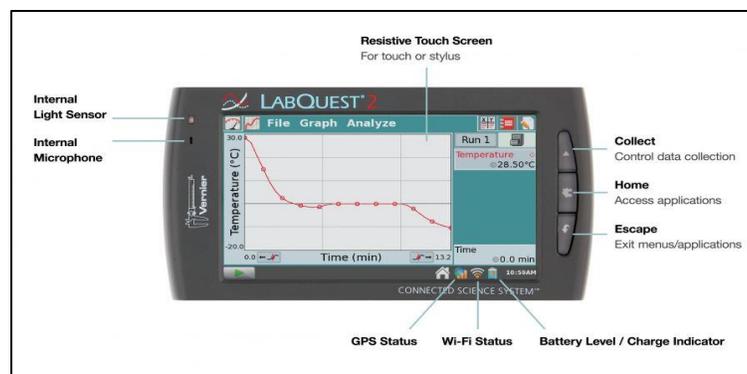
Luego de hacer una inspección del lugar se definió la picocentral hidroeléctrica de uso, ya sea de caída o hidrocínética, siendo esta la última la escogida, cuyas variables fundamentales son velocidad del río y nivel del río.

4.2.2.1 Medición de velocidad

La medición de velocidad consiste en estimar la rapidez del caudal del río. Existen muchas formas y técnicas para la realización de la misma, se usaron dos técnicas muy comunes, la del dispositivo molinete y la del cuerpo flotante.

“Un Molinete o Micro-Molinete es un instrumento usado para medir la velocidad del agua en un canal abierto, que puede variar desde una pequeña escorrentía, hasta una inundación en el río Amazonas”⁴. El principio de funcionamiento se basa en la proporcionalidad entre la velocidad del agua y la velocidad angular resultante del rotor. La velocidad del agua se mide en diferentes puntos de la corriente poniendo el molinete y contando el número de revoluciones del rotor durante un intervalo de tiempo determinado.

Figura 9. Dispositivo LabQuest



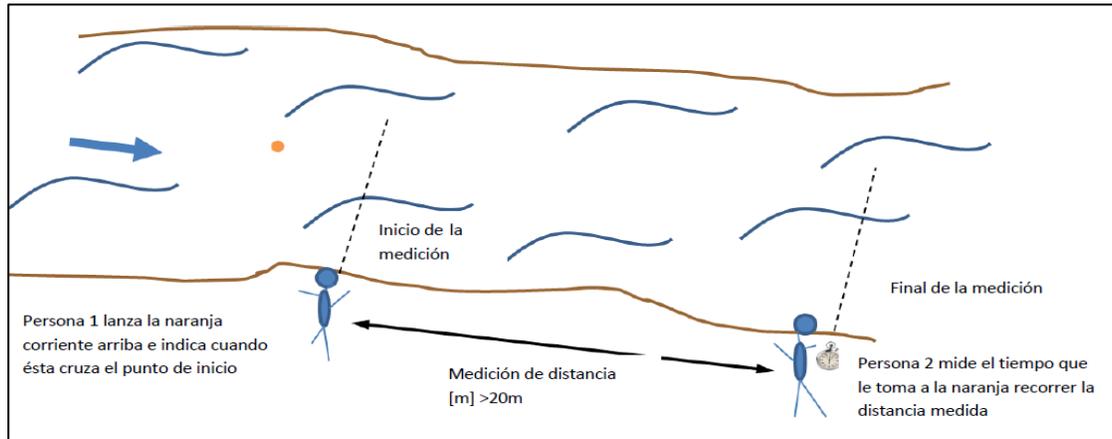
Fuente: Vernier Iberica

El molinete usado para la toma de los datos es propiedad del SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) quienes ofrecen una instrucción detallada del correcto uso del mismo.

La otra técnica usada es la del cuerpo flotante, en la cual se mide un tramo del río y se detallan el inicio y fin de esa longitud caracterizada a borde de río, y río arriba se sueltan cuerpos flotantes a los que se les medirá el tiempo de recorrido del tramo especificado en el río y se obtienen dos variables físicas (tiempo y distancia) para la obtención de la velocidad.

⁴ GRUPO ALCE. Molinetes y micromolinetes. [En línea]. [Citado 22-noviembre-2016]. Disponible en internet: <http://grupoalcesas.com/portafolio/equipos-para-hidrologia/16-molinetes-y-micromolinetes#.WShbCJKGPiV>

Figura 10. Técnica del cuerpo flotante



Fuente: Smart Hydro Power

La medición de cuerpo flotante estuvo asesorada por el Laboratorio de calidad de aguas de la Universidad Surcolombiana, cuyas recomendaciones fueron:

1. La velocidad obtenida en la medición de manera directa, aplicar factor de corrección de 0.8, este factor de corrección es debido a que el cuerpo flotante es influenciado por dos velocidades, la superficial del río y el viento que se encuentra haciéndole fricción al mismo, y según las recomendaciones, si la profundidad del río es mayor a 15 cms se puntualiza un factor de corrección igual al escogido.
2. Hacer las mediciones cuando el estado del tiempo tenga la mínima influencia sobre el objeto flotante (no lluvias, no corrientes de aire mayores a 20 m/s).
3. Hacer mediciones sin presencia de escombros.
4. Usar cuerpos semisumergidos como madera húmeda.

Se realizaron cuatro mediciones, dos de ellas cuando el caudal del río se avistara con gran volumen, y dos de ellas de forma contraria, los resultados fueron:

Primera medición:

Fecha: 17/03/2016. *Variables a medir:* velocidad (m/s) *Hora:* 3:30 p.m. – 5:30 p.m.
Lugar: ribera rio Magdalena – barrio Guillermo Plazas Alcid.

Tabla 2. Resultados primera medición bajo técnica de cuerpo flotante

| Prueba | Distancia (m) | Tiempo (s) | Velocidad (m/s) | Velocidad corregida (x0,8) |
|--------|---------------|------------|-----------------|----------------------------|
| 1 | 20 | 8,28 | 2,41 | 1,93 |
| 2 | 20 | 8,92 | 2,24 | 1,79 |
| 3 | 20 | 7,59 | 2,64 | 2,11 |
| 4 | 20 | 7,53 | 2,66 | 2,13 |
| 5 | 20 | 7,18 | 2,79 | 2,23 |
| 6 | 20 | 7,75 | 2,58 | 2,06 |
| 7 | 20 | 7,78 | 2,57 | 2,06 |
| 8 | 20 | 7,09 | 2,82 | 2,26 |
| 9 | 20 | 7,06 | 2,83 | 2,26 |
| 10 | 20 | 7,12 | 2,81 | 2,25 |

Fuente: Autores

Figura 11. Collage de evidencias sobre la medición n°1 de velocidad



Fuente: Autores

Segunda medición:

Fecha: 06/04/2016. Variables a medir: velocidad (m/s) Hora: 3:30 p.m. – 5:30 p.m.
Lugar: ribera rio Magdalena – barrio Guillermo Plazas Alcid.

Tabla 3. Resultados segunda medición bajo técnica de cuerpo flotante

| Prueba | Distancia (m) | Tiempo (s) | Velocidad (m/s) | Velocidad corregida (x0,8) |
|--------|---------------|------------|-----------------|----------------------------|
| 1 | 20 | 8,89 | 2,25 | 1,80 |
| 2 | 20 | 8,74 | 2,29 | 1,83 |
| 3 | 20 | 8,65 | 2,31 | 1,85 |
| 4 | 20 | 8,70 | 2,30 | 1,84 |
| 5 | 20 | 8,60 | 2,33 | 1,86 |
| 6 | 20 | 8,99 | 2,23 | 1,78 |
| 7 | 20 | 9,09 | 2,20 | 1,76 |
| 8 | 20 | 9,14 | 2,19 | 1,75 |
| 9 | 20 | 8,99 | 2,23 | 1,78 |
| 10 | 20 | 8,94 | 2,24 | 1,79 |

Fuente: Autores

Figura 12. Collage de evidencias sobre medición n°2 de velocidad



Fuente: Autores

Tercera medición:

Fecha: 10/04/2016. Variables a medir: velocidad (m/s) y profundidad (m). Hora: 3:30 p.m. – 5:30 p.m. Lugar: ribera rio Magdalena – barrio Guillermo Plazas Alcid.

Tabla 4. Resultados tercera medición bajo técnica de cuerpo flotante

| Prueba | Distancia (m) | Tiempo (s) | Velocidad (m/s) | Velocidad corregida (x0,8) |
|--------|---------------|------------|-----------------|----------------------------|
| 1 | 20 | 8,3 | 2,41 | 1,93 |
| 2 | 20 | 7,9 | 2,53 | 2,03 |
| 3 | 20 | 7,75 | 2,58 | 2,06 |
| 4 | 20 | 7,16 | 2,79 | 2,23 |
| 5 | 20 | 7,78 | 2,57 | 2,06 |
| 6 | 20 | 7,13 | 2,81 | 2,24 |
| 7 | 20 | 7,07 | 2,83 | 2,26 |
| 8 | 20 | 7,04 | 2,84 | 2,27 |
| 9 | 20 | 7,03 | 2,84 | 2,28 |
| 10 | 20 | 7,82 | 2,56 | 2,05 |

Fuente: Autores

Figura 13. Collage de evidencias sobre Medición n°3 de velocidad



Fuente: Autores

Cuarta medición:

Fecha: 11/04/2016. Variables a medir: velocidad (m/s) y profundidad (m). Hora: 2:30 p.m. – 5:30 p.m. Lugar: ribera rio Magdalena – barrio Guillermo Plazas Alcid.

Tabla 5. Resultados cuarta medición bajo técnica de cuerpo flotante

| Prueba | Distancia (m) | Tiempo (s) | Velocidad (m/s) | Velocidad corregida (x0,8) |
|--------|---------------|------------|-----------------|----------------------------|
| 1 | 20 | 9,62 | 2,08 | 1,66 |
| 2 | 20 | 9,46 | 2,11 | 1,69 |
| 3 | 20 | 8,84 | 2,26 | 1,81 |
| 4 | 20 | 9,16 | 2,18 | 1,75 |
| 5 | 20 | 9,87 | 2,03 | 1,62 |
| 6 | 20 | 9,25 | 2,16 | 1,73 |
| 7 | 20 | 9,72 | 2,06 | 1,65 |
| 8 | 20 | 9,47 | 2,11 | 1,69 |
| 9 | 20 | 9,81 | 2,04 | 1,63 |
| 10 | 20 | 9,18 | 2,18 | 1,74 |

Fuente: Autores

Figura 14. Collage de evidencias sobre Medición n°4 de velocidad



Fuente: Autores

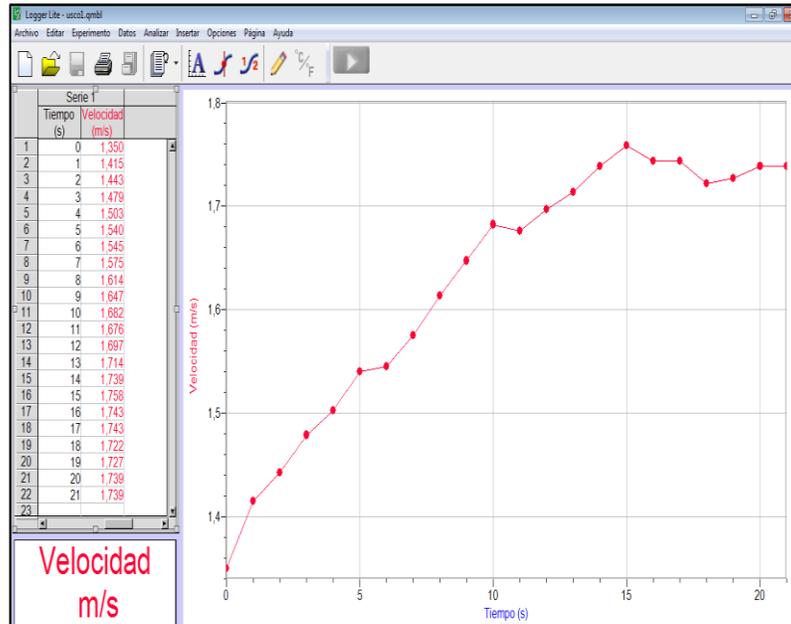
En esta última medición se realizó con molinete digital, labquest® 2, propiedad del tecnoparque 'La Angostura' ubicado en el municipio de Campoalegre. La medición con el dispositivo se realizó con fines comparativos entre una técnica y otra (cuerpo flotante – dispositivo digital) y comprobar el factor de corrección instruido por el laboratorio de calidad de aguas de la universidad Surcolombiana. Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 6. Resultados cuarta medición bajo técnica de molinete digital

| Tiempo (s) | Velocidad (m/s) |
|------------|-----------------|
| 0 | 1,35032653809 |
| 1 | 1,41525268555 |
| 2 | 1,44271850586 |
| 3 | 1,47888183594 |
| 4 | 1,50260925293 |
| 5 | 1,54006958008 |
| 6 | 1,54502868652 |
| 7 | 1,57501220703 |
| 8 | 1,6136932373 |
| 9 | 1,64741516113 |
| 10 | 1,68235778809 |
| 11 | 1,67610168457 |
| 12 | 1,69731140137 |
| 13 | 1,71356201172 |
| 14 | 1,73851013184 |
| 15 | 1,75849914551 |
| 16 | 1,74346923828 |
| 17 | 1,74346923828 |
| 18 | 1,72225952148 |
| 19 | 1,72729492188 |
| 20 | 1,73851013184 |
| 21 | 1,73851013184 |

Fuente: Autores

Figura 15. Resultados con molinete digital



Fuente: Autores

Estos son los valores representativos del muestreo realizado. La velocidad media para estos datos fue de: 1,70432681 m/s y la que se ha tomado con técnica de cuerpo flotante es: 1,69715616 m/s; presentando una diferencia de 0,007 m/s lo cual es despreciable al momento del establecimiento de la velocidad media del rio por cualquier técnica que se use.

4.2.2.2 Medición de nivel

La medición de nivel consiste en el establecimiento de la profundidad del fondo del rio respecto al espejo u superficie acuática.

Se usó la técnica tipo cinta, teniendo como instrumento una vara solida de guadua en la cual se indica el nivel o profundidad y se procede a medir dicho segmento.

Figura 16. Collage de evidencia de las mediciones de nivel



Fuente: Autores

Los resultados de profundidad obtenidos en tres distintos puntos fueron:

Tabla 7. Resultados de medición de nivel

| Medición | Altura punto 1 (mts) | Altura punto 2 (mts) | Altura punto 3 (mts) |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 2.90 | 2.92 | 2.96 |
| 2 | 1 | 0.9 | 0.96 |
| 3 | 2.96 | 3.12 | 3.05 |
| 4 | 1.2 | 0.93 | 0.97 |

Fuente: Autores

4.2.3 Medición de tierras

El estudio de medición de tierras se realiza con el fin de establecer los criterios básicos para el análisis y modelamiento de la resistividad del terreno para el diseño de puestas a tierra que se proyectan en el sistema de distribución de energía eléctrica en el parque.

Este estudio es obligatorio para toda instalación eléctrica, exigido en el RETIE, para anular toda electricidad estática del sistema evitando riesgos como la generación de chispas que generen incendios, descargas sobre personas y/o protección de las

mismas, descarga sobre equipos o maquinaria por condiciones atmosféricas etc. El método usado en el estudio de tierras es el de 'wenner' avalado por la norma IEEE 80-2000, un método muy preciso que consiste en ubicar cuatro puntos (electrodos) del terreno equidistantes uno al otro en línea recta, dos de los cuales inyectan una corriente y los otros dos miden el potencial generado, aplicando la ley de ohm, conocer la resistencia y calcular así la resistividad.

Los telurómetros se basan en esta técnica y simplifican el trabajo arrojando de forma directa el valor de la resistividad (Ωm). El equipo telurómetro usado en la medición es el *metrel mi-2088* de fabricación eslava. El resultado obtenido en esta medición es de 117.7 Ωm evidenciado en la figura 18.

Figura 17. Resultado de medición de resistividad



Fuente: Autores

Otros resultados obtenidos están consignados en la siguiente tabla con una distancia entre electrodo de 1 m:

Tabla 8. Resultados medición de tierras

| Medición | Resistividad obtenida (Ωm) |
|----------|--------------------------------------|
| 1 | 170.3 |
| 2 | 100.8 |
| 3 | 223.0 |
| 4 | 300.2 |
| 5 | 117.7 |

Fuente: Autores

Los datos fueron tomados en una vecindad no superior a 10 metros de radio, donde se planea ubicar el tablero de distribución.

4.2.4 Reconocimiento de factores incidentes en la generación

Esta etapa del trabajo de campo consiste en visualizar y/o observar el comportamiento del río y ciertos factores que son necesarios para la elección de una picocentral de tecnología hidrocínética, por los parámetros de diseño dados por los constructores del parque en el bajo uso de obras civiles. Estas observaciones hacen parte de un requerimiento importante de las casas fabricantes de turbinas hidrocínéticas.

Las observaciones se enfocaron en detectar *presencia de escombros, palizadas*, transporte fluvial presente en la zona y la frecuencia de este y la posible fauna acuática que se pueda ver interferida por estos generadores.

El resultado es que la presencia de palizadas y escombrera es mínima, consistiendo ésta en material vegetal proveniente aguas arribas por el paso del río sobre laderas con vegetación, el transporte fluvial no está autorizado ni reglamentado en la zona de influencia de los generadores por el *plan maestro fluvial 2015*, sin embargo, hay presencia de pescadores y embarcaciones monomotor de pasajeros frecuentes. La fauna acuática de la zona está basada en peces endémicos en los cuales no influyen los generadores pues estos normalmente vienen equipados con una protección contra palizadas y peces.

4.2.5 Elección de la picocentral

La picocentral a escoger debe cumplir con requisitos en generación, operación, maniobrabilidad, y costo. En generación es claro que el requisito es la mejor curva entre 'velocidad vs generación' el cual debe establecerse comparando los datos obtenidos en las mediciones y la curva de potencia de la turbina según el fabricante, supliendo la necesidad que es brindar la energía eléctrica para el circuito de lámparas. En operación el menor coste de mantenimiento, maniobrabilidad la fácil instalación y desinstalación de la misma y el menor costo en la adquisición.

El punto de trabajo de la turbina se hace necesario establecer, para saber la generación promedio de la turbina independientemente del nivel del río. Se aclara en este aspecto que en esta parte del río Magdalena, cuya locación se denomina 'alto Magdalena', el nivel, caudal, profundidad etc., es directamente proporcional al

comportamiento del *embalse de Betania*, debido a que sirve como regulador de paso del volumen hídrico, sin importar las precipitaciones existentes entre Yaguará y el casco urbano de Neiva. El embalse de Betania por lo tanto da dos niveles al río Magdalena en el sector de instalación de la picocentral hidroeléctrica, nivel alto o nivel bajo.

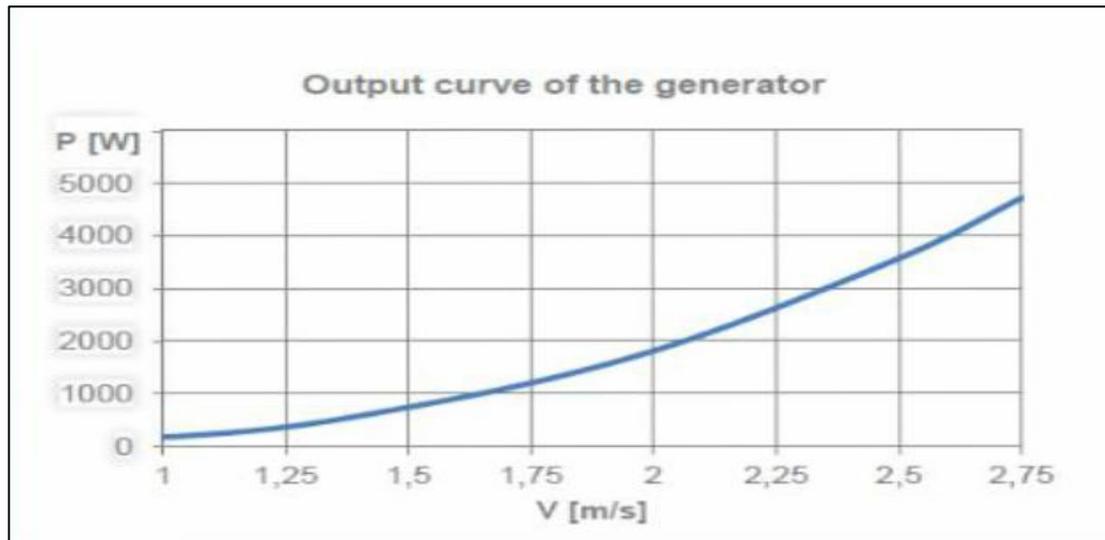
El nivel bajo se presenta cuando el caudal de salida del embalse lo dan, únicamente, el paso de agua por las turbinas del mismo, el nivel alto lo entrega cuando se abren las compuertas del mismo ya sea por superar el nivel mínimo de embalse o porque se requiere oxigenar aguas río abajo o por políticas de *EMGESA S.A.*, quien administra el embalse de Betania.

Basado en lo anterior se toman los datos registrados en velocidad consignados en la sección 4.3.21 del presente documento y se establece una velocidad promedio o punto de trabajo de la turbina, se aclara que en la tecnología hidrocínética se prioriza la velocidad de la corriente de agua y la profundidad del río.

Después las aclaraciones que fundamentan el establecimiento de un punto de trabajo 'Q' de la turbina, se detecta que las mediciones que se realizaron se tomaron dos en nivel alto (medición 1 y 3) y dos en nivel bajo (medición 2 y 4) y cuyos promedios respectivamente son: 2,1245 m/s para el nivel alto y 1,7505 m/s para el nivel bajo, con estos datos se deber realizar el establecimiento de dicho punto de trabajo.

El laboratorio de calidad de aguas de la universidad Surcolombiana en una de sus asesorías, prevé escoger el punto de trabajo del nivel bajo, pues es el peor de los casos; pero en un análisis más en detalle tomando en cuenta los datos dados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM en su estación de monitoreo ubicada en el puente Santander a casi 1 km de distancia del lugar de la toma de datos, los cuales están en el anexo C, se ha extrapolado toda esta información y se determina que el río permanece desde el año 2014 hacia atrás, más en los niveles bajos que en los altos, y conjugando la tesis del laboratorio de aguas con la perspectiva de acuerdo a los datos del IDEAM, se trabaja con un punto de 'Q' igual a 1,7505 m/s.

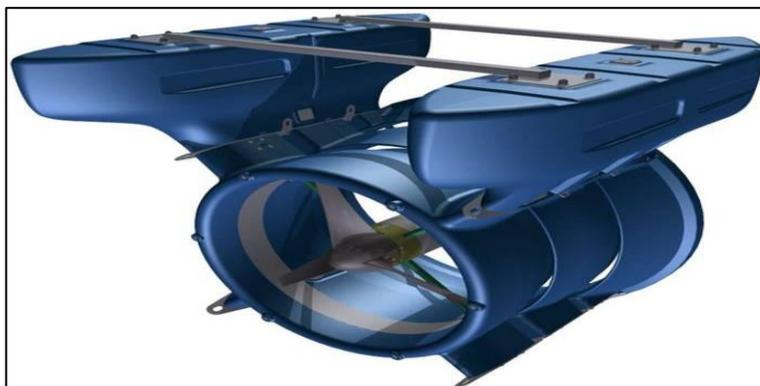
Figura 18. Curva característica de turbina Smart hydro power – monofloat



Fuente: Beam Power Energy

Smart Hydro Power ofrece un equipo que se adapta a las condiciones del río que se ha observado y analizado, por lo tanto, la turbina monofloat de la casa fabricante mencionado, según la curva de transferencia en la figura 19, puede brindar 1,3 kw de potencia con 1,75 m/s de velocidad en río. La turbina se tomará que en promedio generara este valor sin importar la condición del río.

Figura 19. Turbina monofloat Smart Hydro power



Fuente: Beam Power Energy

Las principales características de esta turbina son:

- La salida de potencia se encuentra en el rango entre 250 y 5000 watts.
- Las dimensiones son 1850mm x 1740 mm x 1970 mm (largo ancho alto).
- Velocidad rotacional está en el rango de 90 a 230 revoluciones por minuto.
- El peso del dispositivo es de 360 kg.
- Cantidad de álabes en el rotor: 3.
- Dimensión del rotor: 1000 mm.

Para mayor información referirse al anexo B.

4.3 DISEÑO BASADO EN LA SELECCIÓN DE LA PICOCENTRAL HIROELECTRICA

A este punto se tienen aspectos muy importantes como los estudios pertinentes para el diseño de la distribución eléctrica, la picocentral hidroeléctrica escogida, el comportamiento del río, el estudio de tierras y demás estudios para hacer el diseño estructural eléctrico de generación y distribución eléctrica del parque. El tema a tratar en las siguientes páginas es el diseño completo que será entregado a los constructores del parque para que ellos lo evalúen y/o modifiquen para su posterior implementación, tomando en cuenta la viabilidad, estudiada en la sección 5 del presente documento, de la turbina hidrocínética en función de su generación y el costo del kilovatio/hora.

4.3.1 Análisis del estudio de tierras

La sección 4.2.3 del presente documento, se mostraron los resultados obtenidos en la medición de tierras con el telurómetro mencionado.

El primer detalle que se observa en el mismo estudio es la no 'homogeneidad' del terreno, esto a su vez, es un problema que obliga a construir una apropiada tierra, bajo la reglamentación RETIE, en su artículo n° 15 donde se especifica los SPT (Sistema de puesta a tierra); es necesario instalar una red de tierra por todo el sistema de distribución, para que todo el sistema quede equipotenciado sin dar lugar a la existencia de diferencial de potenciales que perturben el funcionamiento de la malla de distribución eléctrica.

La no 'homogeneidad' del suelo se debe que es un lugar que fue adecuado con relleno no caracterizado o clasificado y por ende presenta diferentes resistividades

en cualquier dirección que se realicen mediciones dentro de la vecindad mencionada en la sección 4.2.3.

4.3.2 Elección de la luminaria

La elección de la luminaria se realiza bajo los aspectos técnicos, arquitectónicos y reglamentarios. Para el aspecto técnico se ha tenido en cuenta la facilidad de instalación, consumo energético, temperatura del color y hoja fotométrica. El aspecto arquitectónico ha sido asesorado por los constructores del parque y el aspecto reglamentario es en el cual la lámpara tenga certificado RETILAP.

Luego de hacer la revisión de catálogos de luminarias y fabricantes de la misma se ha llegado a una elección, que en un principio fue propuesta por los mismos constructores del parque, la lámpara escogida es la *ES ZOOM Street light modelo 2up* de fabricante salvi de 44 watts con temperatura de color 3000°. Para mayor información de esta luminaria refiérase al anexo D.

Figura 20. Lámpara led street light 2up zoom



Fuente: https://www.salvi.es/wp-content/files_mf/zoom_es524037.pdf

4.3.3 Simulación fotométrica

La simulación fotométrica es el proceso mediante el cual se establecen las condiciones de rendimiento de un sistema de iluminación para observar su desempeño en un entorno simulado; la simulación fotométrica es un requisito del RETILAP en la implementación de una distribución de luminarias en un escenario real, ayudando así, a tener una mejor percepción de la carga y al mismo tiempo definiendo puntos en la distribución eléctrica.

Hasta el momento, del diseño fotométrico y/o simulación fotométrica se conoce la luminaria a usar o escogida. La distribución fotométrica es totalmente independiente de la distribución eléctrica y por el contrario esta última debe definirse luego de obtener la posición exacta de cada luminaria y la cantidad de las mismas.

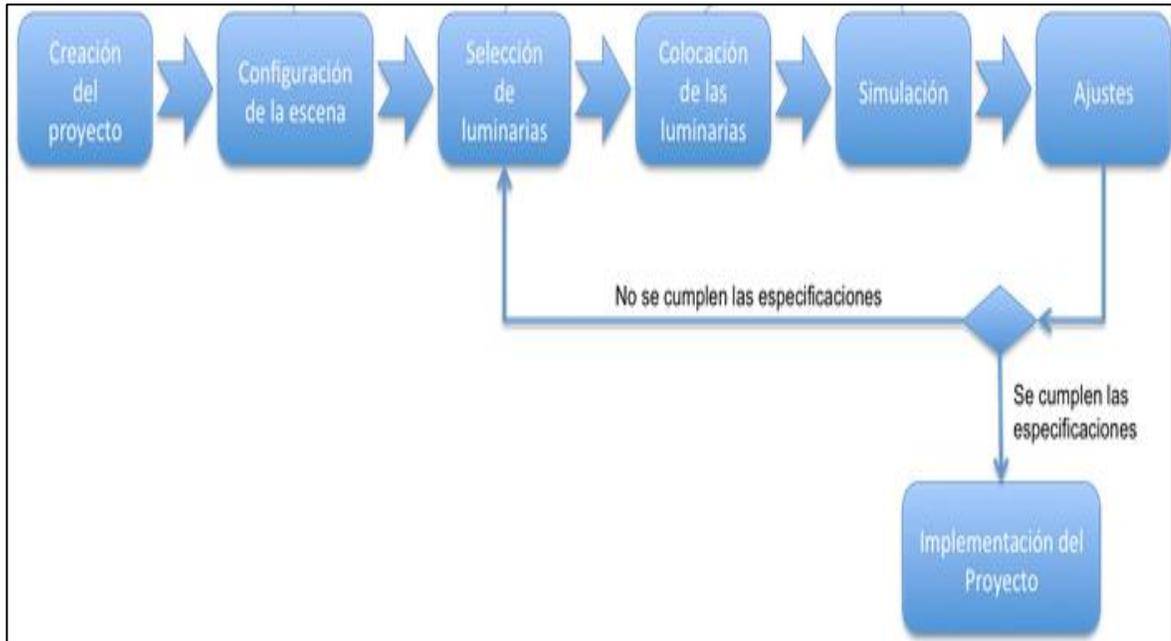
Antes de continuar se debe aclarar que el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP), al momento de regular los diseños de iluminación pública como el que se detalla en este proyecto, todos los parámetros y requisitos de diseño fotométrico están consignados en la sección 500 de dicho reglamento.

El programa usado en la simulación fotométrica es el *relux-suite*® distribuido bajo licencia pública general (gpl), enfocado más en el diseño en espacios exteriores, con un entorno amigable al usuario, manejando formatos cad (*Archivos .dwg y sus diferentes extensiones*), que lo convierten en una versátil herramienta para un diseñador de iluminación pública. El programa puede ser descargado desde su portal web <http://www.relux.biz> sin ningún costo.

Por último, antes de detallar el proceso de simulación, se especifican los pasos u algoritmo usado en toda simulación fotométrica:

- Creación del proyecto.
- Selección de la escena (local, escena exterior, vía).
- Elección de las medidas y características de la escena.
- Configuración de las características de cada uno de los elementos (paredes, suelo, etc): Grado de reflexión, transparencia, rugosidad.
- Configuración de la altura del plano útil.
- Selección de la(s) luminaria(s).
- Colocación de las luminarias.
- Simulación de los valores de luminancia, iluminación, etc.
- Ajuste de las luminarias (posición, potencia, etc) para cumplir con la normativa.

Figura 21. Algoritmo de simulación fotométrica



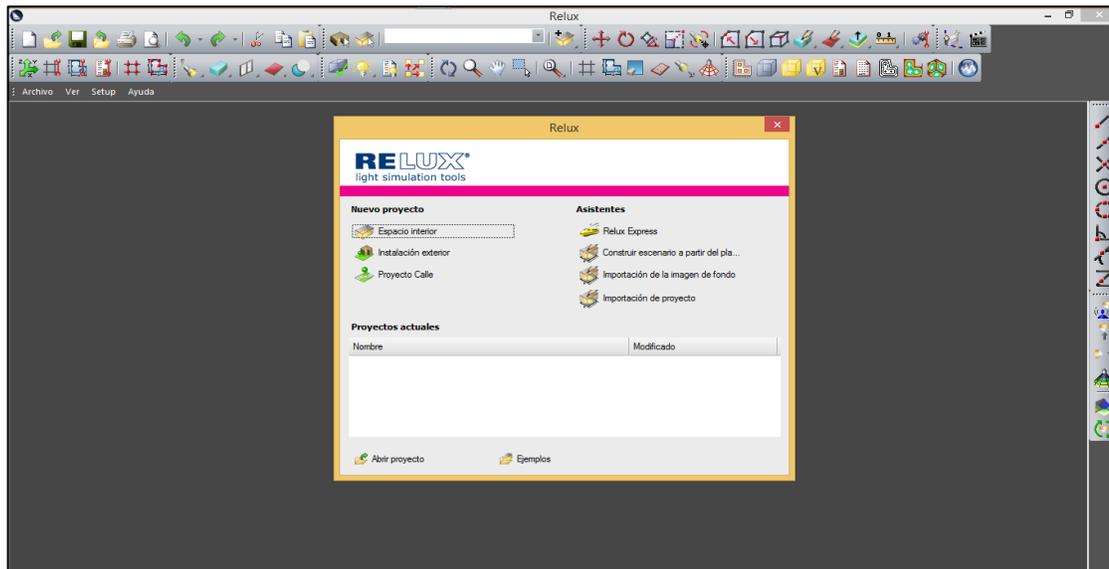
Fuente: Autores

4.3.3.1 Desarrollo de la simulación

La simulación inicia con la obtención del plano del lugar a iluminar con detalles especiales sobre lo que se quiere iluminar; dicho plano está consignado en el anexo A.

Este plano, cuyo formato es .dwg, fue exportado al programa *reluxpro*®; en el momento de iniciar el programa emerge una ventana cuyo aspecto es el mostrado en la figura 23. Allí aparece el espacio de trabajo de *reluxpro*® y se procede a escoger el tipo de proyecto que se va a realizar, en el presente caso se ha escogido el proyecto tipo espacio exterior, usando el asistente de 'desarrollo a partir de planos'.

Figura 22. Aspecto inicial ReluxPro®



Fuente: Autores

Se llenaron los campos de caracterización del proyecto de la siguiente manera:

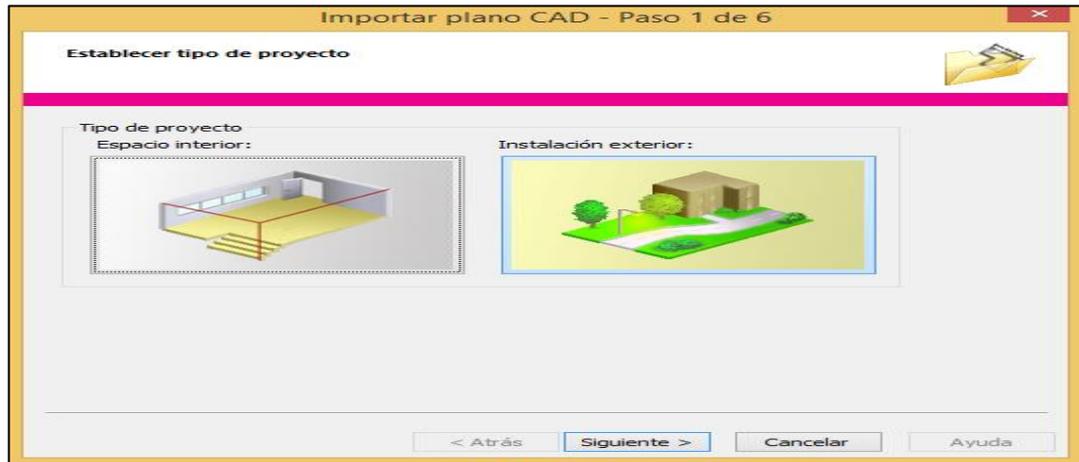
Figura 23. Campos de caracterización del proyecto

The image shows a dialog box titled 'Introduzca los datos del proyecto'. It contains several input fields: 'Nº del proyecto:' with the value 'Ronda Rio Las Ceibas'; 'Objeto:' with the value 'iluminacion del parque'; 'Instalación:' (empty); 'Cliente:' (empty); 'Encargado:' (empty); 'Fecha:' with the value '09.02.2017' and a 'Fecha actual' button; and a large text area for 'Descripción del proyecto' (empty). At the bottom, there are three buttons: 'Aceptar', 'Cancelar', and 'Ayuda'.

Fuente: Autores

Luego se escogió en la ventana emergente, instalación exterior.

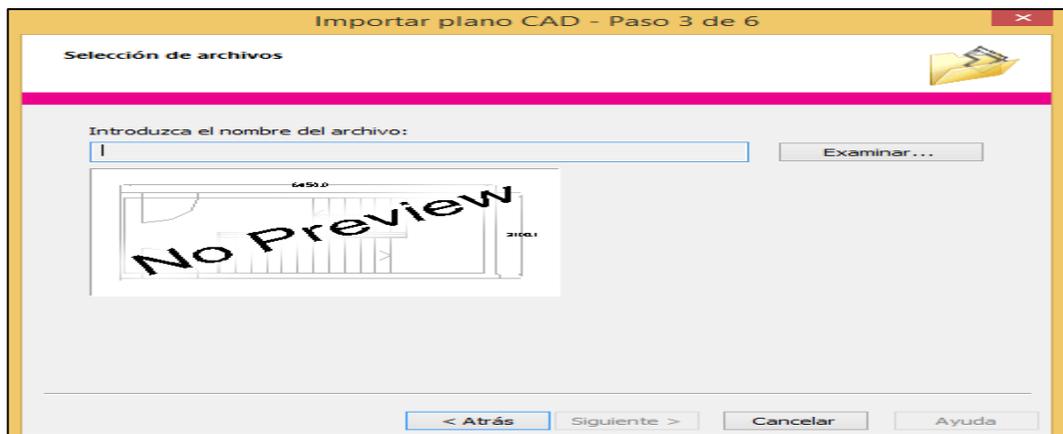
Figura 24. Ventana emergente de tipo de proyecto en el asistente de planos de ReluxPro®



Fuente: Autores

Se carga el archivo en formato .dwg seleccionando mediante el buscador que ofrece el programa y se establece el metro como la unidad básica de longitud que se usa en el desarrollo del proyecto, cabe anotar que el metro se usó porque el plano de planta y cimentación original estaba en esas unidades y se usaron las mismas magnitudes de longitud para no generar inconvenientes en el momento de la simulación.

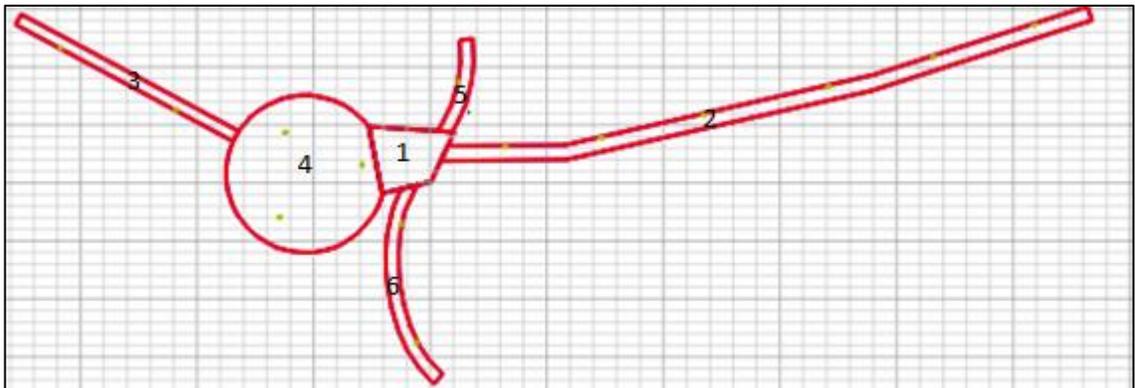
Figura 25. Buscador de archivos de Reluxpro®



Fuente: Autores

A las siguientes ventanas se omiten pues son condiciones que son innecesarias porque no se trabaja bajo un plano inclinado. Acto seguido se demarcan las zonas de trabajo que se desean iluminar resultando el siguiente plano de simulación en Reluxpro®.

Figura 26. Plano de simulación generado a partir del plano de planta y cimentación y sus diferentes áreas de evaluación



Fuente: Autores

Luego de obtener el plano con las diferentes secciones o áreas de trabajo de simulación se procedió a localizar mediante el asistente de reluxnet®, la librería que contenga la información fotométrica de la luminaria escogida con anterioridad, recordando que es la zoom Street light de salvi – promulia; y ubicándolas en el plano de simulación, dicha ubicación está reglamentada por RETILAP en su capítulo 5 ‘consideraciones técnicas del diseño del alumbrado público’.

Para saber la correcta distribución de las luminarias, el reglamento es claro que fundamentalmente se debe caracterizar la zona, el mismo propone la existencia de dos tipos principales de alumbrado público (zonas con tránsito motorizado y/o vehiculares y zonas con tránsito peatonal). En la tabla 9 se establece la clasificación en RETILAP para zonas peatonales y su requerimiento en luxes y uniformidad como criterios de diseño, tomando la clasificación C3 para andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques, pues la zona a iluminar realmente cuenta entre esas distinciones.

Tabla 9. Clasificación RETILAP para alumbrado en zonas de tránsito peatonal

| Clasificación | Clase de Iluminación | Iluminancia promedio (luxes) | Uniformidad general $U_g \geq \%$ |
|---|----------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Canchas múltiples recreativas | C0 | 50 | 40 |
| Piazas y plazoletas | C1 | 30 | 33 |
| Paseos peatonales subterráneos | C1 | 30 | 33 |
| Puentes peatonales | C2 | 20 | 33 |
| Zonas peatonales bajas y alrededores a puentes peatonales y vehiculares | C2 | 20 | 33 |
| Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques | C3 | 15 | 33 |
| Ciclo-rutas en parques | C2 | 20 | 40 |

Fuente: Sección 5 del RETILAP

Para la distribución de las luminarias, también se tomó como fundamento la sección 5.10.5.1 'configuraciones básicas de localización de puntos de iluminación' y se procedió a clasificar la zona de acuerdo a la altura de la luminaria según la tabla 10, la luminaria por petición de la constructora del parque se propuso que tuviese la altura estándar de 6 metros, lo cual da libertad al diseñador en la distribución de las luminarias, sin dejar de lado que debe cumplir con lo consignado en la tabla 9 (uniformidad 0.33 e iluminancia 15 lx).

Tabla 10. Clasificación RETILAP de zonas vehiculares y peatonales según altura de la luminaria

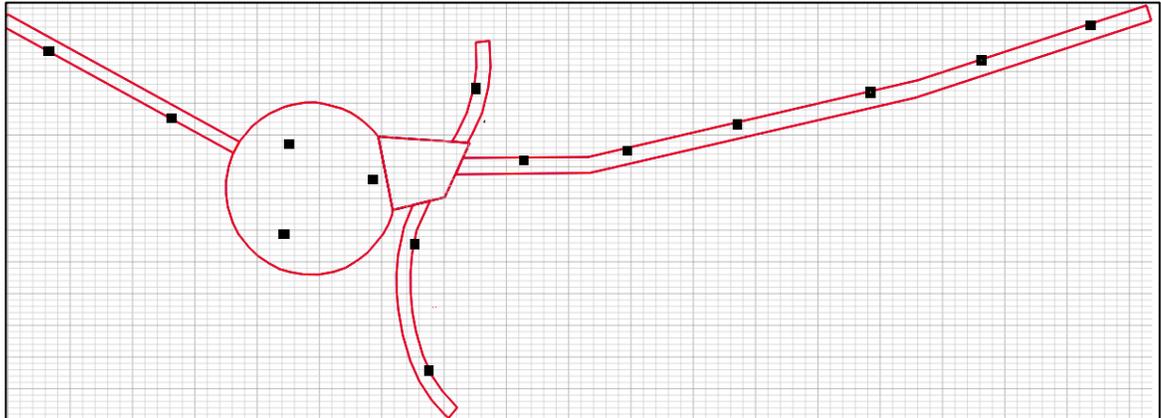
| Clase de Iluminación | Altura (m) | Relación S/H | Disposición de las luminarias | |
|----------------------|------------|--------------|-------------------------------|-------------|
| | | | Criterio | Disposición |
| M1 | 12 - 14 | 3,5 - 4 | Dos carriles de circulación | Unilateral |
| M2 | 10 - 12 | 3,5 - 4 | Dos carriles de circulación | Unilateral |
| M3 | 8,5 - 10 | 3,5 - 4 | Ancho de la calzada menor | Unilateral |
| M4 | 7 - 9 | 3,5 - 4 | Unilateral | |
| M5 | 6 | 3,5 - 4 | A criterio del diseñador | |

Fuente: Sección 5 del RETILAP

Retomando el proceso, la librería usada fue la que aparece bajo el nombre de '*LED Streetlight Zoom F2M1*' de 44 watts', se distribuyeron las lámparas cumpliendo los criterios ya mencionados, aquí es donde se hace evidente la destreza del diseñador o ingeniero, pues es él quien debe hacer cumplir el reglamento usando la menor

cantidad de recursos posible. Todo lo anterior da como resultado un sistema de 14 luminarias ilustrado en la figura 28, para un área no uniforme total de 1196,87 Mts cuadrados y una potencia del sistema lumínico de 616 watts.

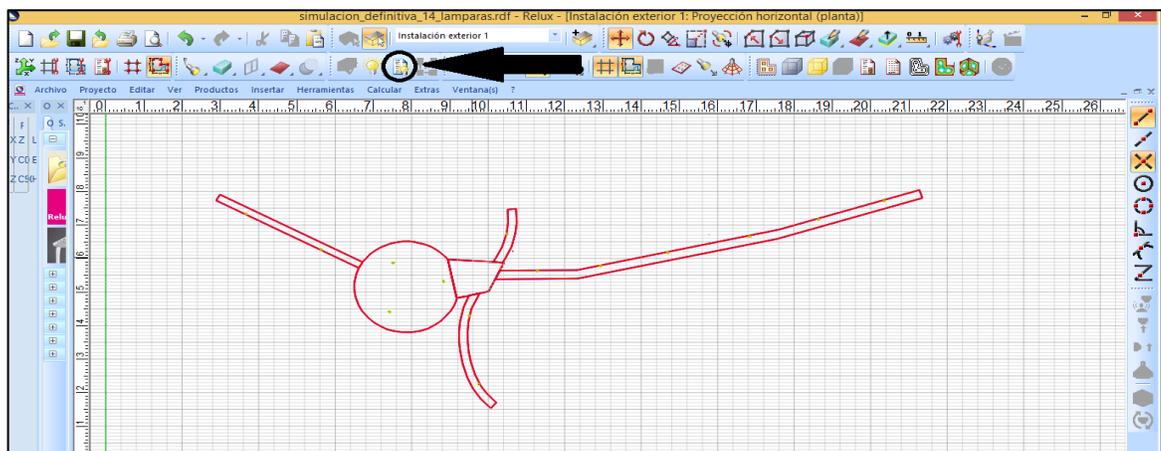
Figura 27. Distribución final de luminarias



Fuente: Autores

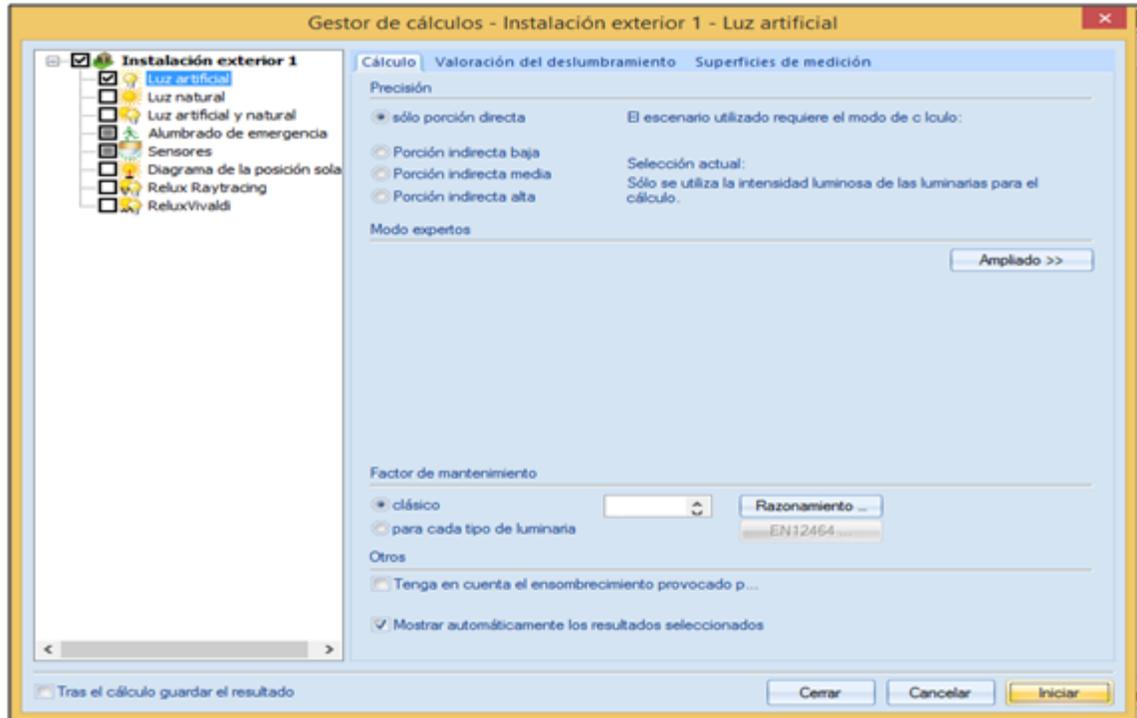
Luego de distribuir las luminarias, se procedió a realizar los respectivos ajustes de la simulación en el botón de 'configuración de cálculo' mostrado en la figura 29. A continuación se despliega una ventana como la mostrada en la figura 30 y se seleccionó el tipo de luz como '*artificial*', en la ficha de cálculo se ajusta la precisión a '*solo proporción directa*' pues la luminaria usada tiene ese tipo de dispersión lumínica y se ajusta el factor de mantenimiento.

Figura 28. Botón de configuración de cálculo



Fuente: Autores

Figura 29. Opciones de cálculo



Fuente: Autores

El factor de mantenimiento (fm) es la relación de la iluminancia promedio en el plano de trabajo después de un periodo determinado de uso de una instalación, y la iluminancia promedio obtenida al empezar a funcionar la misma como nueva. Todo diseño de un sistema de iluminación debe considerar el factor de mantenimiento con el fin de asegurar los niveles de iluminancia promedio establecidos por el RETILAP; se escogió basándose en la tabla 11 del presente documento, sugerida por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación), la cual da unos valores para la debida elección de un factor de mantenimiento sin necesidad de conocer los valores de eficiencia de la luminaria, solo se debe tener en cuenta el ambiente al que va a estar expuesta la luminaria y la frecuencia de limpieza o revisión de la misma en años. Para este caso particular se toma un ambiente normal y la cantidad de revisión de las luminarias por año es de 1.

Tabla 11. Valores de factor de mantenimiento sugeridos por la CIE

| Frecuencia de limpieza.(años) | 1 | | | | 2 | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | P | C | N | D | P | C | N | D |
| Condiciones ambientales. | | | | | | | | |
| Luminarias abiertas. | 0,96 | 0,93 | 0,89 | 0,83 | 0,93 | 0,89 | 0,84 | 0,78 |
| Reflector parte superior abierta. | 0,96 | 0,90 | 0,86 | 0,83 | 0,89 | 0,84 | 0,80 | 0,75 |
| Reflector parte superior cerrada. | 0,94 | 0,89 | 0,81 | 0,72 | 0,88 | 0,80 | 0,69 | 0,59 |
| Reflectors cerrados. | 0,94 | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,89 | 0,83 | 0,77 | 0,71 |
| Luminarias a prueba de polvo. | 0,98 | 0,94 | 0,90 | 0,86 | 0,95 | 0,91 | 0,86 | 0,81 |
| Luminarias con emision indirecta. | 0,91 | 0,86 | 0,81 | 0,74 | 0,86 | 0,77 | 0,66 | 0,57 |

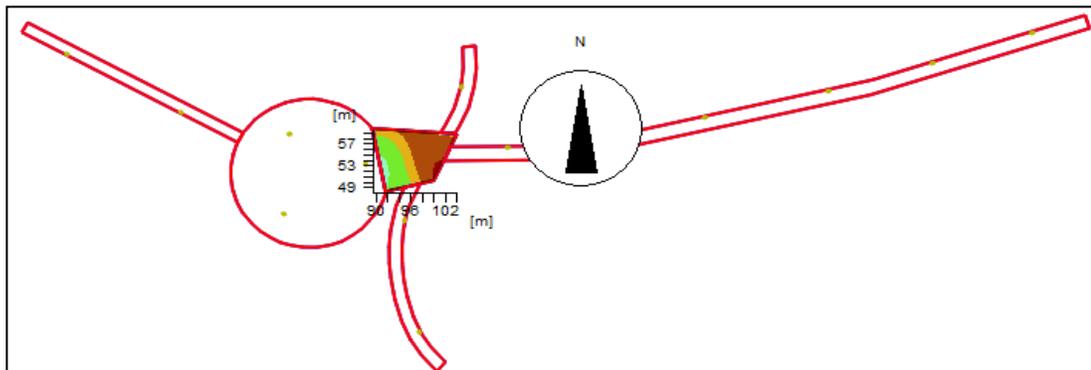
En donde:

P: Pure - Puro o muy limpio
 C: Clean - Limpio
 N: Normal
 D: Dirty - Sucio.

Fuente: Guía para el diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando DIALUX

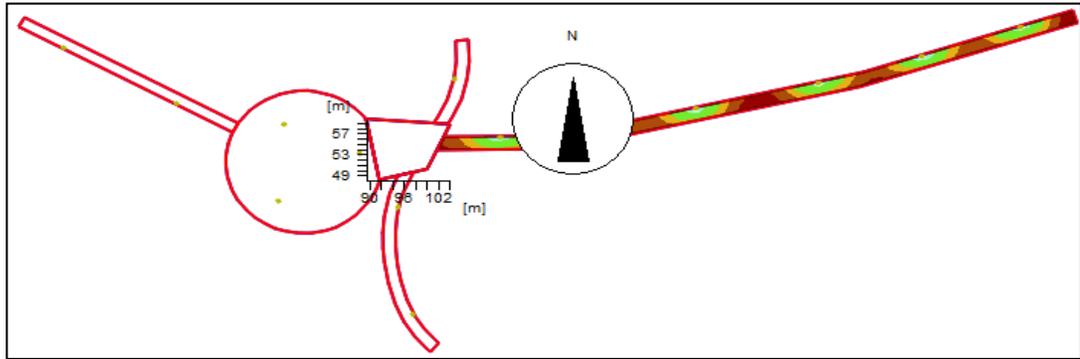
Luego de haber realizado los ajustes de cálculo se procede a iniciar la reindexación para que el software permita observar el comportamiento de los focos de luz y obtener los valores de iluminancia media y uniformidad general para cumplir con el RETILAP, estos fueron los resultados:

Figura 30. Reindex de distribución lumínica área 1



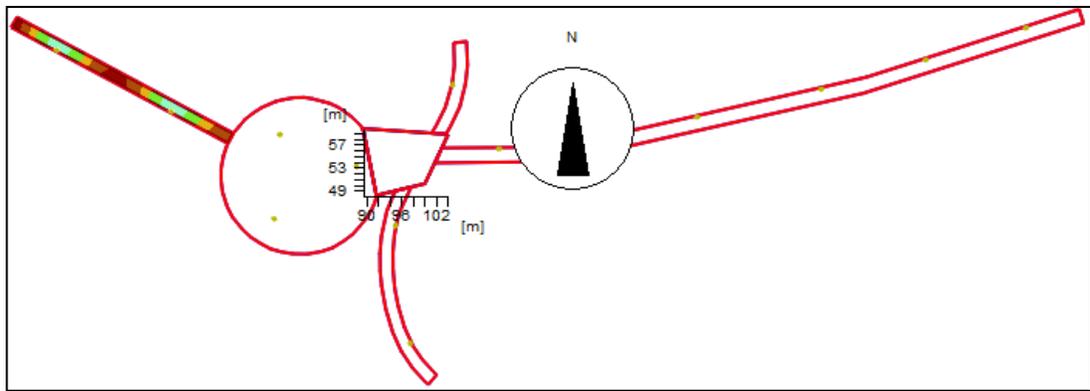
Fuente: Autores

Figura 31. Reinder de distribución lumínica área 2



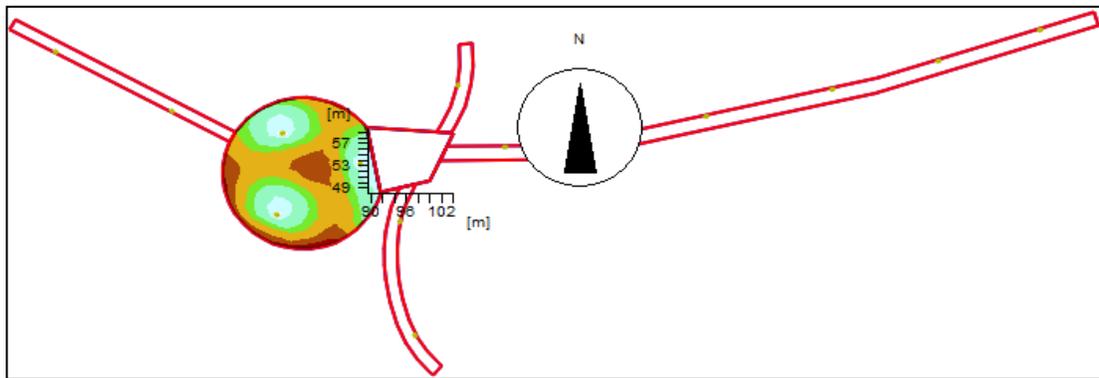
Fuente: Autores

Figura 32. Reinder de distribución lumínica área 3



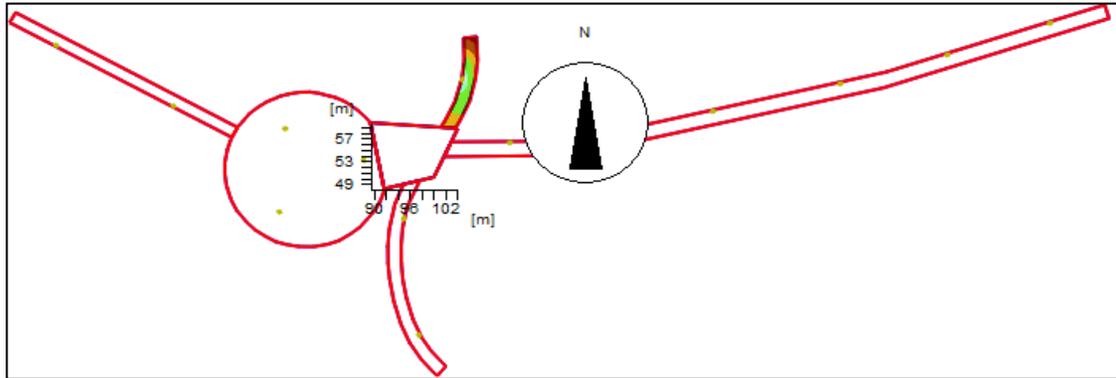
Fuente: Autores

Figura 33. Reinder de distribución lumínica área 4



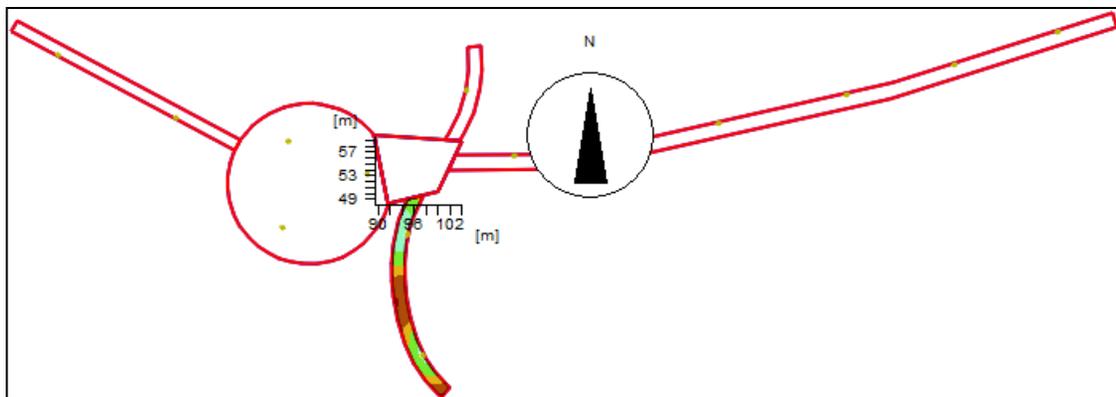
Fuente: Autores

Figura 34. Reinder de distribución lumínica área 5



Fuente: Autores

Figura 35. Reinder de distribución lumínica área 6



Fuente: Autores

Los resultados de iluminancia media y uniformidad se encuentran registrados en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados cuantitativos de la simulación

| Área | Área 1 | Área 2 | Área 3 | Área 4 | Área 5 | Área 6 |
|--------------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Uniformidad | 18 lx | 18 lx | 20.1 lx | 17 lx | 21 lx | 22.3 |
| Ilum. Media | 0.52 | 0.34 | 0.35 | 0.34 | 0.38 | 0.44 |

Fuente: Autores

4.3.3.2 Cumplimiento RETILAP

Luego de realizar la respectiva simulación fundamentada en el mismo reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP), se evidenció el claro cumplimiento de los mínimos requisitos exigidos por dicho organismo para proyectos de tal envergadura, se acató el mínimo exigido en iluminancia y uniformidad los cuales estuvieron por encima de lo mencionado por el reglamento.

4.3.4 Sistema de generación

El sistema de generación comprende los equipos e instrumentos para generar la potencia eléctrica necesaria y adecuarla a los niveles de voltaje que requieran el sistema de iluminación descrito con anterioridad.

La base del sistema de generación es la picocentral hidroeléctrica escogida en la sección 4.2.5, turbina hidrocíntrica monofloat; además el sistema será conectado a una red aislada (sistema de iluminación) con respaldo de la red pública, lo cual es posible a los nuevos sistemas '*off grid*' que hacen referencia a redes eléctricas autónomas que brindan la posibilidad de conectarse a la red, como forma de respaldo en caso de una eventualidad o para brindar energía eléctrica a la red pública.

En este caso, se proyectará una conexión a la red pública solo para soporte eventual, para brindar energía a la red pública se debe cumplir con una instrumentación que no está habilitado por los constructores del parque pues aumentaría los costos iniciales que no está contemplado en el presupuesto inicial. La red se manejará a 220 voltios debido a que las lámparas operan bajo ese voltaje nominal, la distribución de la red se detalla en este mismo documento con posterioridad en dos fases (bifásica - trifilar).

- turbina hidrocíntrica

La descripción de este equipo esta detallada en la sección número 4. 2.5.

- Sistema de gestión de energía: este sistema está en capacidad, independientemente de la generación, de establecer una salida bifásica, trifásica, monofásica, con frecuencias de 50 y 60 Hz, a 120, 220 y 360 voltios AC.

Figura 36. Gabinete de control del sistema de gestión de energía

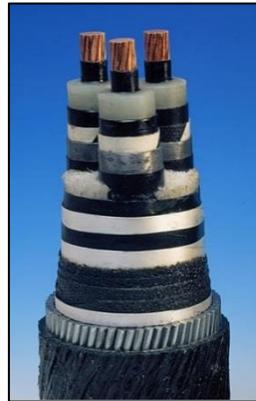


Fuente: Smart Hydro Power

1. Inversor no conectado a la red: crea una red estable de 220 voltios AC que el inversor conectado a la red sincroniza, si el sistema de generación no brinda energía necesaria, esta puede ser respaldada por una red eléctrica existente como la red pública, la conmutación en estos dispositivos es automática.
2. Inversor de conexión a red: Recibe las señales eléctricas en corriente continua provenientes de paneles, del rectificador de la turbina y las que sean necesarias ingresar como forma de respaldo al generador, esto se lleva a 220 voltios AC y este se sincroniza con el inversor no conectado a la red.
3. Opcionales: aquí se ubica el control de retroceso de los alabes de la turbina, se encuentra el control de almacenamiento en baterías, sistemas de monitoreo y tarifarios.
4. Rectificador: Rectifica la corriente alterna proveniente de la turbina hidrocínética a voltaje continuo. Aplica una carga excesiva en caso de pasar la tensión de 500 voltios en corriente continua.

- Cable submarino: es el elemento que establece el puente necesario entre la turbina hidrocinética y el sistema de gestión de energía para brindar a la red de luminarias la potencia necesaria en el voltaje indicado.

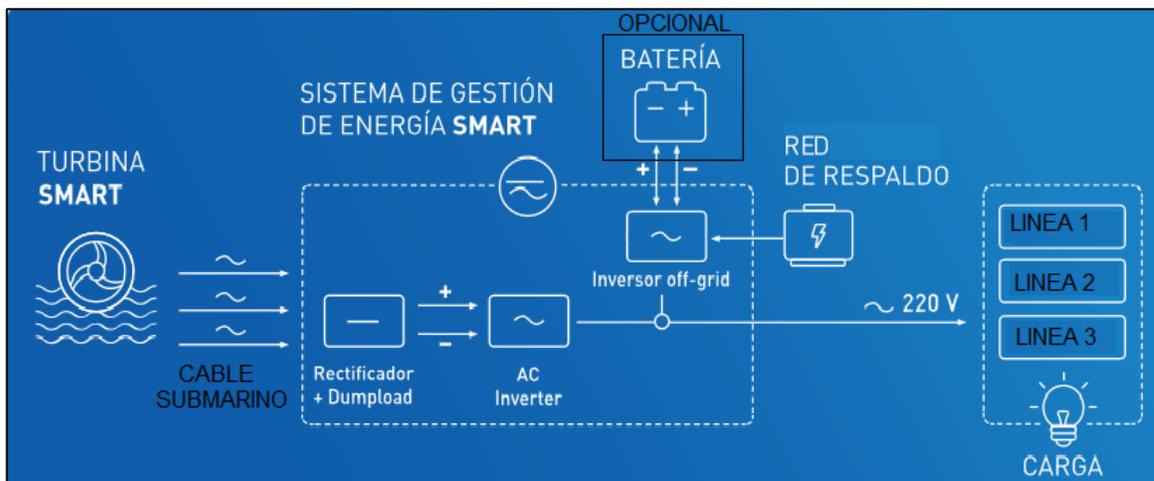
Figura 37. Cable submarino



Fuente: <http://mexico-distr.all.biz/cables-xlpe-hasta-245-kv-ca-cables-submarino-sin-g5985#.WTRB0Nymm00>

4.3.4.1 Diagrama de distribución del sistema de generación:

Figura 38. Diagrama del sistema de generación eléctrico



Fuente: Autores

En la figura 39 es posible apreciar el tratamiento que recibe la señal eléctrica proveniente de la turbina hidrocínética, la cual es conducida por un cable submarino en tres fases de forma alterna siendo adecuada a corriente continua mediante el rectificador, en caso de que esta señal sobrepase los 500 voltios se le aplica automáticamente una carga resistiva (*dumpload*), la señal del rectificador pasa a un inversor que brinda a la red de luminarias el voltaje y la potencia necesaria en dos fases.

Se tiene la opción de conexión a la red por medio del inversor '*off grid*' el cual estará en la misma capacidad de generar los 220 voltios y ponerlos en una red bifásica.

4.3.5 Control del horario de trabajo de la red de luminarias

En el inciso n° 4.1.2 se define el horario de trabajo de la red de luminarias desde las 6:00 pm hasta las 5:00 am.

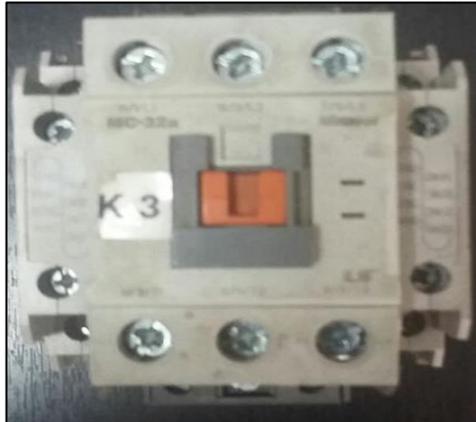
En el mercado existen muchas formas de realizar el respectivo control, desde sensores fotoeléctricos hasta sofisticados plc's. Para este caso se proyecta implementar un temporizador, un relevador y un contactor.

Figura 39. Temporizador marca sassim de 220 voltios



Fuente: Autores

Figura 40. Relevador marca legrand modelo mc 32^a



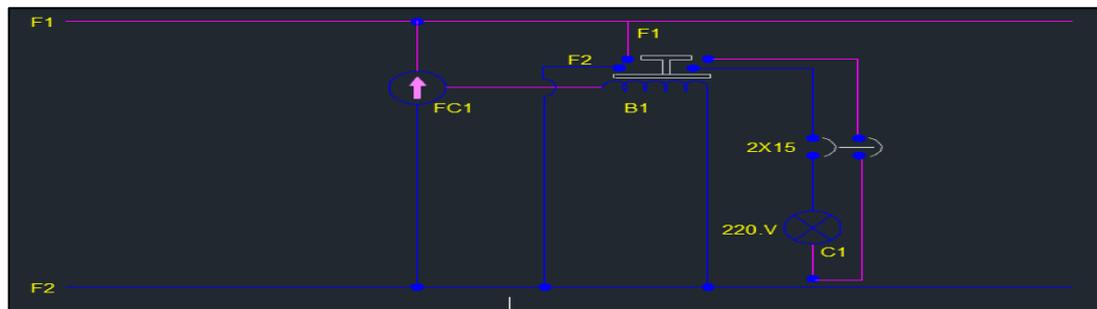
Fuente: Autores

Figura 41. Contactor para línea bifásica a 220 voltios



Fuente: Autores

Figura 42. Diagrama eléctrico de conexión del sistema de control de encendido y apagado del sistema de iluminación



Fuente: Autores

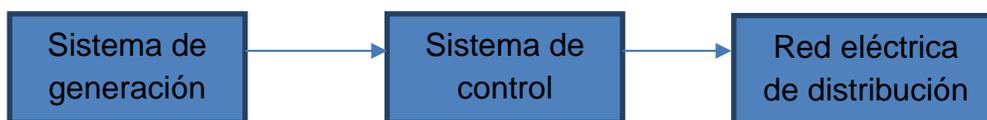
El temporizador está conectado a la línea de 220 voltios, es decir, el sistema de gestión del bloque de generación brinda la energía y llega al sistema de control; el temporizador se programa con su respectivo horario y da los flancos de control al relevador el cual actúa como un interruptor para permitir el paso de las líneas hacia los contactores quienes servirán como protección e interruptores de emergencia a su vez. Cabe anotar que es necesario que los tres elementos que realizan el control de trabajo del sistema lumínico puedan funcionar a voltajes de 220 V.

4.3.6 Distribución de la red eléctrica y sus relacionados

La distribución espacial de la red eléctrica y sus elementos relacionados se realizó bajo los criterios establecidos en el RETIE y sus normas relacionadas, entre ellas la *NTC 2050*. Hasta este punto se tiene la información relacionada de los sistemas de generación y control.

El plano que contiene los diseños finales y todo lo relacionado con la distribución eléctrica, se encuentra en el anexo E y F, donde se puede detallar toda la distribución de cada uno de los ramales, el diseño de las cajas de inspección, el sistema de control, el sistema de puesta a tierra y la ubicación del sistema de generación.

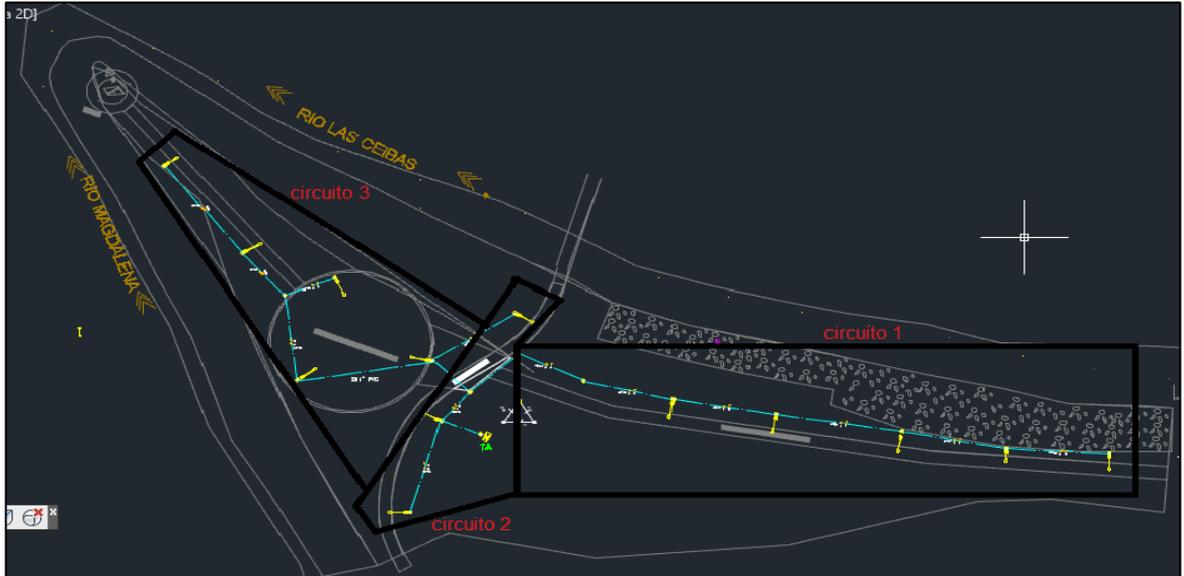
Figura 43. Diagrama de bloques del proceso de generación y transporte de energía eléctrica



Fuente: Autores

En el sistema de distribución principalmente se compone de tres ramales o circuitos que agrupan un determinado número de lámparas. Lo anterior se puede apreciar en la figura 45. A cada línea se le debe implementar un circuito de control aparte, el reglamento no lo exige, pero por seguridad y criterio de diseño propio se realizan los controles de encendido y apagado de cada ramal por aparte.

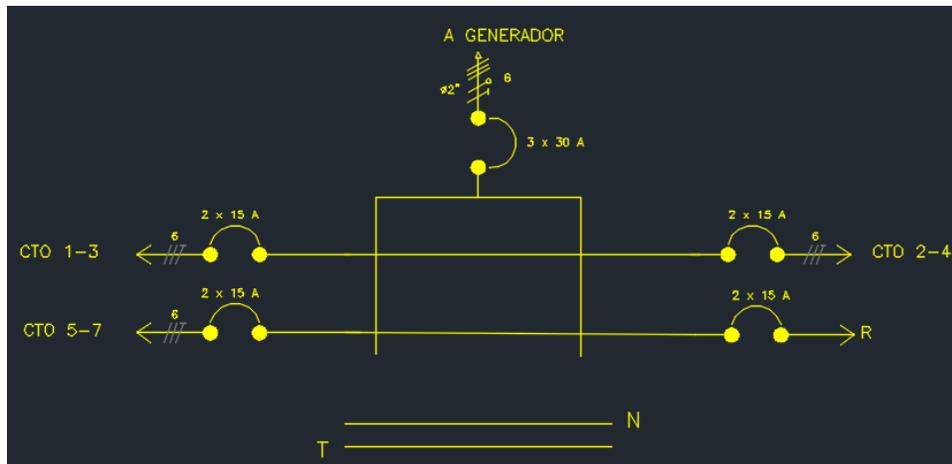
Figura 44. Regiones de línea de circuitos



Fuente: Autores

Por consiguiente, el diagrama unifilar, exigido por RETIE en su artículo 10.1, de todo el conjunto tiene la siguiente forma:

Figura 45. Diagrama unifilar



Fuente: Autores

El cálculo de las protecciones presentadas en el diagrama unifilar de la figura 46 se soporta en la tabla 13.

Tabla 13. Cálculo de hilos y protecciones

| TABLERO | | | | | | | | | |
|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|---------------|------------|-----------------|------------------------|----------------------------|--------------------|
| CIRCUITO | luminaria 44W//220V. | TOMAS 110 VOLTIOS | TOMA 220V | POTENCIA W | TOTAL W | CTE AMPERIOS | PROTECCION AMPERIOS | CONDUCTOR | DUCTOS PULGADAS |
| CIRCUITO 1-3 | 5 | | | 44 | 220 | 1,00 | 2x15 | No 6(Aluminio) | 1" |
| CIRCUITO 2-4 | 5 | | | 44 | 220 | 1,00 | 2x15 | No 6(Aluminio) | 1" |
| CIRCUITO 5-7 | 4 | | | 44 | 176 | 0,80 | 2x15 | No 6(Aluminio) | 1" |
| CIRCUITO R. | - | | | - | - | - | - | - | 1" |
| GENERAL | 14 | | | | 616 | 2,80 | 3X30 | 3No 6 +1No6 +1 No6T | 1 1/2" |

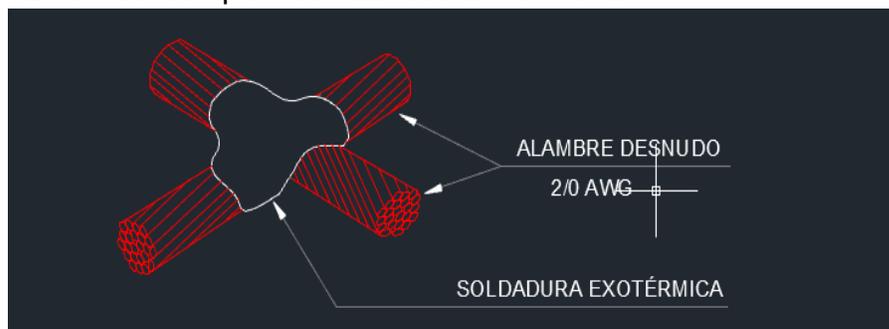
Fuente: Autores

4.3.6.1 Red subterránea

Todas las redes se interconectarán mediante cámaras ubicadas en cada poste de alumbrado público, cámaras de conexión y cámaras de inspección. Estas conexiones se harán con conector tipo tornillo aislado de cinta autofundente y aislante para impedir el paso de la humedad.

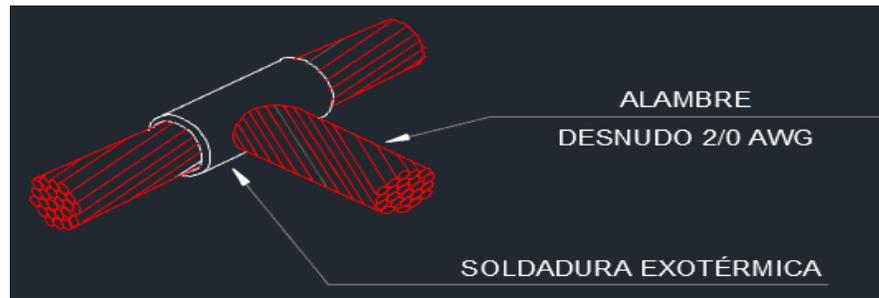
Las conexiones también se podrán realizar mediante los amarres de soldadura permitidos por la norma 'codensa' en su inciso 7.1 sobre acometidas y medidores, dichas conexiones son las siguientes:

Figura 46. Unión solido tipo x con conductor horizontal



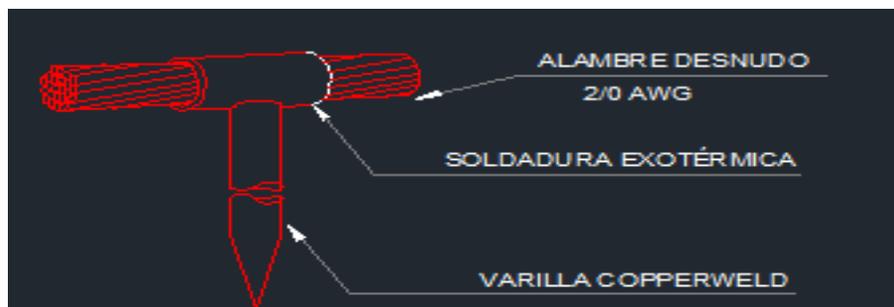
Fuente: Autores

Figura 47. Unión T horizontal



Fuente: Autores

Figura 48. Unión soldada tipo conductor pasante a varilla



Fuente: Autores

4.3.6.2 Material de los ductos:

Según la norma *NTC 1630* se admite para uso eléctrico la tubería tipo *PVC DB*, también se puede hacer uso de la tubería *TDP* si se sigue la norma *NTC 3363*. Para emplear estas normas se deben seguir ciertas recomendaciones de los fabricantes de dicha tubería, además se debe reconocer el perfecto estado de los mismos, detallando en ellos la no presencia de fisuras, desperfectos, descamaciones, deformación y signos de maltrato.

4.3.6.3 Profundidad de las canalizaciones

Las profundidades mínimas de los ductos están dadas por la resolución 90708 de RETIE los cuales están consignados en la siguiente tabla:

Tabla 14. Profundidad de ductos

| Tensión fase – fase (V) | Profundidad Ducto (m.) | Profundidad conductor enterramiento directo (m.) |
|-------------------------|------------------------|--|
| Alumbrado público | 0.50 | 0.50 |
| 0 a 600 | 0.60 | 0.60 |
| 601 a 34500 | 0.75 | 0.95 |
| 34501 a 57500 | 1.00 | 1.20 |

Fuente: Información general para el diseño y construcción de obras civiles de redes eléctricas subterráneas

5. ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO

El análisis económico del proyecto de generación de energía es muy importante para orientar a la toma de decisiones para su posterior ejecución.

5.1 Costos

5.1.1 Costos directos

Los costos directos del proyecto son:

- Adquisición de equipos
- Transporte
- Mano de obra

En la tabla 15 se detallan los costos directos para la instalación de la picocentral hidroeléctrica:

Tabla 15. Costo de equipos de la picocentral hidroeléctrica

| Descripción | Subtotal COP |
|--|--------------|
| Turbina SMART Monofloat (Generador, cubierta, protector de escombros, cuerpo flotante, set de anclaje lateral, sistema de boyas de anclaje y 50 metros de cable electrico) | \$27.000.000 |
| Gabinete electrico SMART conectado a la red (incluye inversor, controlador, dumpload y caja de fusibles) | \$ 7.500.000 |
| TOTAL | \$34.500.000 |

Fuente: Autores

Tabla 16. Costo de transporte

| Descripción | Subtotal COP |
|--|--------------|
| Importación CIF contenedor de 20' (Cabem hasta 4 sistemas) | \$3.000.000 |
| Impuestos | \$1.500.000 |
| TOTAL | \$4.500.000 |

Fuente: Autores

El costo directo se detalla en la tabla 17:

Tabla 17. Costo directo del proyecto

| Descripción | Subtotal COP |
|---|--------------|
| Costo de equipos de la picocentral hidroeléctrica | \$34.500.000 |
| Costo de transporte | \$ 4.500.000 |
| Costo de instalación | \$ 6.000.000 |
| TOTAL | \$45.000.000 |

Fuente: Autores

5.1.2 Costos indirectos

Los costos indirectos del proyecto son imprevistos, para proyectos civiles y eléctricos se toma una proporción de 2% en imprevistos tomados del AIU (Administración, Imprevistos y utilidad).

En la tabla 18 se indica el costo total de la instalación del sistema hidroeléctrico.

Tabla 18. Costo total de la picocentral hidroeléctrica

| Descripción | Subtotal COP |
|-----------------|--------------|
| Costo directo | \$45.000.000 |
| Costo indirecto | \$ 900.000 |
| TOTAL | \$45.900.000 |

Fuente: Autores

5.2 Beneficios

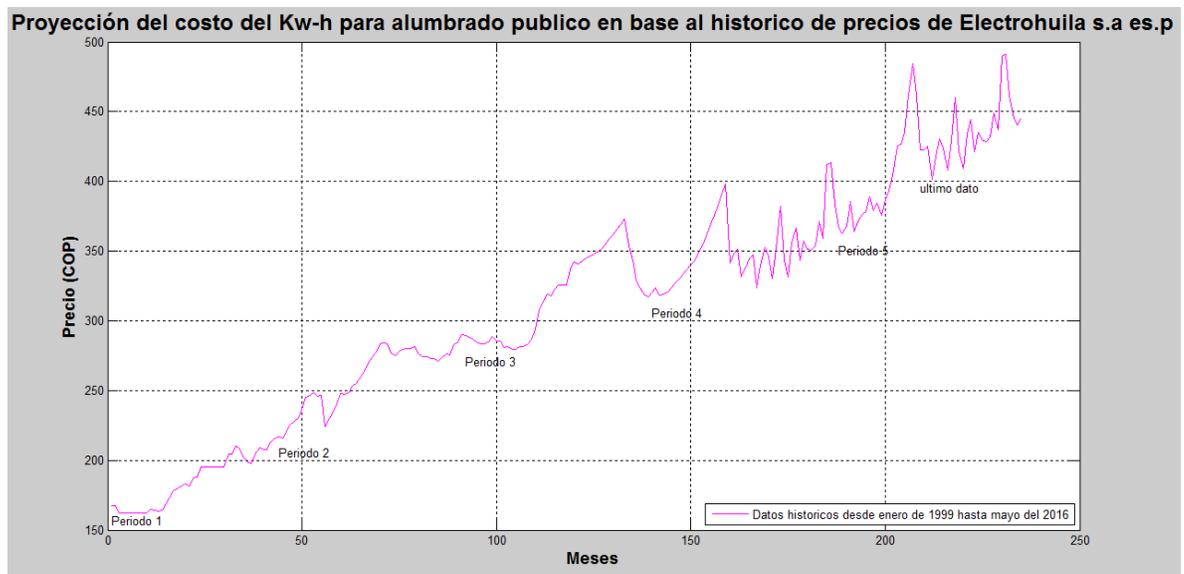
Los beneficios que trae la puesta en marcha de la picocentral hidroeléctrica se ven reflejados en el ahorro en relación al sistema interconectado.

5.2.1 Determinación del costo de la energía

Para determinar el costo de la energía generada se determinó en primera medida la generación diaria, para luego calcular el consumo mensual y multiplicarlo por el valor del precio del Kw-h, determinado con base en la proyección realizada por los autores, estimada en el horizonte de quince años futuros, encontrado así el valor mensual de la energía.

La proyección estadística del costo del Kw-h a futuro se realizó mediante el uso del programa MATLAB con la técnica de *spline*. En la figura 49 se puede apreciar el comportamiento del precio del Kw-h para alumbrado público desde enero de 1999 hasta mayo del 2016.

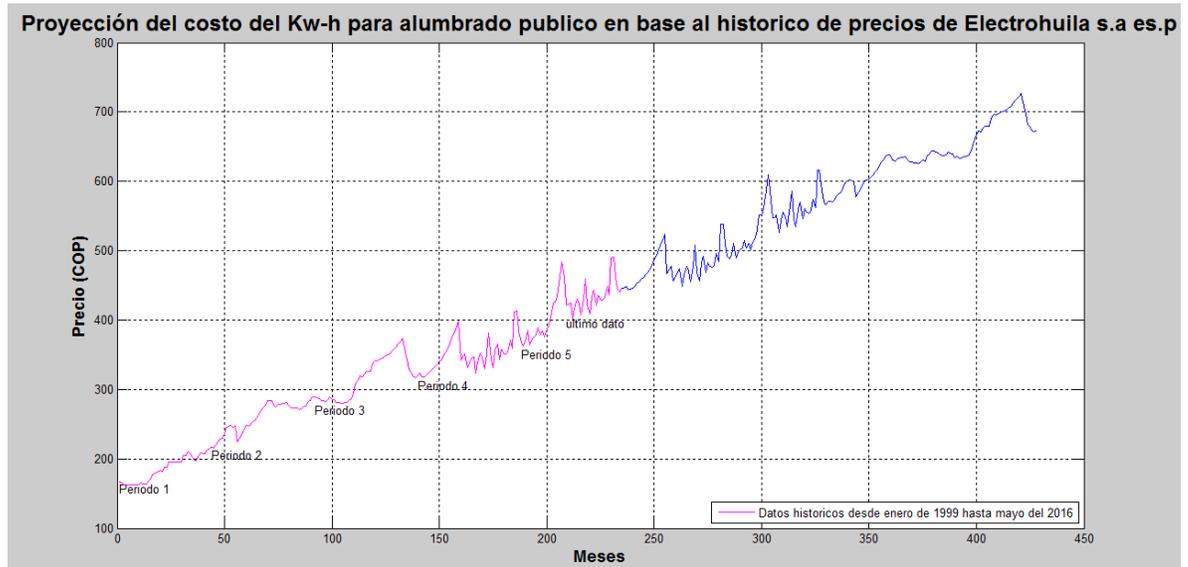
Figura 49. Datos históricos del precio del Kw-h distribuido por Electrohuila



Fuente: Autores

La proyección del precio del Kw-h para alumbrado público en los quince años, en los cuales la picocentral hidrocínética garantizara una generación de 1.3 Kw-h en promedio, se muestra en la figura 50.

Figura 50. Proyección eléctrica del precio del Kw-h a quince años



Fuente: Autores

El algoritmo para dicha proyección en el programa de MATLAB se muestra en el anexo G.

De acuerdo a las especificaciones de la picocentral hidroeléctrica, a 2,8 m/s y una profundidad mínima de 2.0 m, se genera una potencia nominal de 5 kW. Partiendo de los resultados experimentales que se desarrollaron en el río Magdalena, la mínima potencia de la picocentral hidroeléctrica es de 1.3 Kw, entendiendo que la velocidad para dicha generación es de 1.75 m/s. Si se presenta las condiciones anteriormente nombradas de velocidad y profundidad, el impacto generado en relación a la potencia y costo de la energía eléctrica serían:

$$\text{Potencia eléctrica (picocentral)} * 24 \text{ horas} = \text{Energía aportada/Día}$$

$$1300\text{W} * 24 = 31.2 \text{ kWh/ Día}$$

El consumo mensual es entonces de:

$$\text{Consumo kWh/mes} = 31.2 \text{ kWh/Día} * 30 = 936 \text{ kWh/mes}$$

5.2.2 Flujo de caja

El flujo de caja se determina utilizando el valor de la energía anualmente, obteniendo los beneficios junto con los costos de la pico central hidroeléctrica están distribuidos en la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento anualmente, obteniendo el flujo de la caja por medio de la diferencia entre los rubros de beneficios y costos.

Tabla 19. Flujo de caja anual del proyecto

| DETERMINACION DEL FLUJO DE CAJA | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|----------------|----------------------|----------------|------------------------|------------------|--------------------|
| Año | BENEFICIOS | | | COSTOS | | | Flujo de caja (\$) |
| | Valor de energía (\$) | Valor residual | Beneficio total (\$) | Inversión (\$) | Operac. y manten. (\$) | Costo total (\$) | |
| 1 | | 0 | | 45.900.000 | 0 | 45.900.000 | - 45.900.000 |
| 2 | 5.092.991 | 0 | 5.092.991 | | 750.000 | 750.000 | 4.342.991 |
| 3 | 5.482.760 | 0 | 5.482.760 | | 750.000 | 750.000 | 4.732.760 |
| 4 | 5.276.578 | 0 | 5.276.578 | | 750.000 | 750.000 | 4.526.578 |
| 5 | 5.545.098 | 0 | 5.545.098 | | 750.000 | 750.000 | 4.795.098 |
| 6 | 5.622.702 | 0 | 5.622.702 | | 750.000 | 750.000 | 4.872.702 |
| 7 | 6.229.024 | 0 | 6.229.024 | | 750.000 | 750.000 | 5.479.024 |
| 8 | 6.183.909 | 0 | 6.183.909 | | 750.000 | 750.000 | 5.433.909 |
| 9 | 6.449.115 | 0 | 6.449.115 | | 750.000 | 750.000 | 5.699.115 |
| 10 | 6.603.489 | 0 | 6.603.489 | | 750.000 | 750.000 | 5.853.489 |
| 11 | 6.760.045 | 0 | 6.760.045 | | 750.000 | 750.000 | 6.010.045 |
| 12 | 7.115.874 | 0 | 7.115.874 | | 750.000 | 750.000 | 6.365.874 |
| 13 | 7.087.233 | 0 | 7.087.233 | | 750.000 | 750.000 | 6.337.233 |
| 14 | 7.179.728 | 0 | 7.179.728 | | 750.000 | 750.000 | 6.429.728 |
| 15 | 7.313.998 | 0 | 7.313.998 | | 750.000 | 750.000 | 6.563.998 |

Fuente: Autores

El valor residual del proyecto se determina utilizando la depreciación lineal, en donde considera que el bien pierde su valor anualmente de manera uniforme, desde el valor inicial en el año de instalación hasta cero en el último año de la vida útil del proyecto. Para este proyecto el valor residual se toma igual a cero.

5.2.3 Relación costo / beneficio

La relación costo / beneficio es una herramienta analítica, que permite cuantificar en términos monetarios la generación de energía eléctrica usando la tecnología hidrocínética y está representada por Ingresos y Egresos, que deben ser calculados de un modo que tenga un criterio de rentabilidad utilizando este tipo de tecnologías.

El análisis de la relación costo / beneficio (C/B) toma valores mayores, menores o iguales a uno, lo que implica que:

C/B > 1 implica que los ingresos son mayores de los egresos, entonces el proyecto es aconsejable.

C/B = 1 implica que los ingresos son iguales que los egresos, en este caso el proyecto es indiferente.

C/B < 1 implica que los ingresos son menores que los egresos, entonces el proyecto no es aconsejable.

Para determinar la relación beneficio / costo se utiliza la ecuación 11.

$$R_{C-B} = \frac{\text{valor actual total beneficios}}{\text{valor actual total costos}} \quad (\text{ec. 11})$$

En la tabla 20 se determinan los costos y beneficios estimados durante la vida útil de la picocentral hidroeléctrica, para una tasa de descuento por el IPC (Índice de Precio al Consumo) de $i = 6.9\%$.

Tabla 20. Beneficios y costos totales

| Año | BENEFICIOS | | | COSTOS | | |
|-----------------------|----------------|---------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| | Beneficio (\$) | Factor valor actual | Beneficio actualizado (\$) | Costo (\$) | Factor valor actual | Costo actualizado (\$) |
| 1 | 0 | 0,9355 | 0 | 45.900.000 | 0,9355 | 42.937.325 |
| 2 | 5.092.991 | 0,8751 | 4.456.742 | 750.000 | 0,8751 | 656.305 |
| 3 | 5.482.760 | 0,8186 | 4.488.137 | 750.000 | 0,8186 | 613.943 |
| 4 | 5.276.578 | 0,7658 | 4.040.560 | 750.000 | 0,7658 | 574.315 |
| 5 | 5.545.098 | 0,7163 | 3.972.105 | 750.000 | 0,7163 | 537.245 |
| 6 | 5.622.702 | 0,6701 | 3.767.722 | 750.000 | 0,6701 | 502.568 |
| 7 | 6.229.024 | 0,6268 | 3.904.596 | 750.000 | 0,6268 | 470.129 |
| 8 | 6.183.909 | 0,5864 | 3.626.114 | 750.000 | 0,5864 | 439.784 |
| 9 | 6.449.115 | 0,5485 | 3.537.535 | 750.000 | 0,5485 | 411.398 |
| 10 | 6.603.489 | 0,5131 | 3.388.414 | 750.000 | 0,5131 | 384.844 |
| 11 | 6.760.045 | 0,4800 | 3.244.851 | 750.000 | 0,4800 | 360.003 |
| 12 | 7.115.874 | 0,4490 | 3.195.184 | 750.000 | 0,4490 | 336.766 |
| 13 | 7.087.233 | 0,4200 | 2.976.916 | 750.000 | 0,4200 | 315.029 |
| 14 | 7.179.728 | 0,3929 | 2.821.111 | 750.000 | 0,3929 | 294.695 |
| 15 | 7.313.998 | 0,3676 | 2.688.371 | 750.000 | 0,3676 | 275.674 |
| Total beneficios (\$) | | | 50.108.357 | Total costos (\$) | | 49.110.025 |

Fuente: Autores

Reemplazando los valores de beneficio, costo en la ecuación 11 se tiene:

$$R_{C-B} = \frac{50.108.357}{49.110.025} = 1.02$$

Como la relación beneficios/costos es mayor que 1, es un indicador que el proyecto es rentable.

5.2.4 Determinación de la tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto (VAN) es igual a cero.

5.2.4.1 Valor actual neto (VAN)

El VAN actualiza a una determinada tasa de descuento i los flujos de caja, en la tabla 21 se determina el valor actual neto a diferentes tasas de descuento.

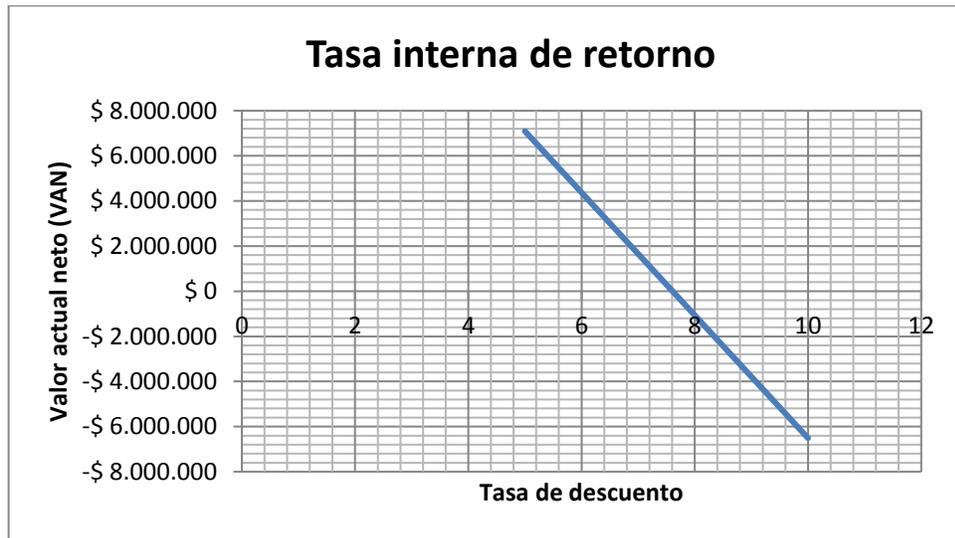
Tabla 21. Valor actual neto para la determinación de la TIR

| VALOR ACTUAL NETO (VAN) PARA DETERMINAR EL TIR | | | | | |
|--|--------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| Año | Flujo de caja (\$) | TASA 10% | | TASA 5% | |
| | | Factor del valor actual | VAN 10% (\$) | Factor del valor actual | VAN 5% (\$) |
| 1 | -45.900.000 | 0,9091 | - 41.727.273 | 0,9524 | - 43.714.286 |
| 2 | 4.342.991 | 0,8264 | 3.589.249 | 0,9070 | 3.939.221 |
| 3 | 4.732.760 | 0,7513 | 3.555.793 | 0,8638 | 4.088.336 |
| 4 | 4.526.578 | 0,6830 | 3.091.714 | 0,8227 | 3.724.027 |
| 5 | 4.795.098 | 0,6209 | 2.977.379 | 0,7835 | 3.757.085 |
| 6 | 4.872.702 | 0,5645 | 2.750.513 | 0,7462 | 3.636.085 |
| 7 | 5.479.024 | 0,5132 | 2.811.606 | 0,7107 | 3.893.840 |
| 8 | 5.433.909 | 0,4665 | 2.534.958 | 0,6768 | 3.677.883 |
| 9 | 5.699.115 | 0,4241 | 2.416.981 | 0,6446 | 3.673.700 |
| 10 | 5.853.489 | 0,3855 | 2.256.774 | 0,6139 | 3.593.535 |
| 11 | 6.010.045 | 0,3505 | 2.106.484 | 0,5847 | 3.513.949 |
| 12 | 6.365.874 | 0,3186 | 2.028.364 | 0,5568 | 3.544.757 |
| 13 | 6.337.233 | 0,2897 | 1.835.671 | 0,5303 | 3.360.770 |
| 14 | 6.429.728 | 0,2633 | 1.693.148 | 0,5051 | 3.247.450 |
| 15 | 6.563.998 | 0,2394 | 1.571.369 | 0,4810 | 3.157.395 |
| | VAN | | - 6.507.271 | VAN | 7.093.747 |

Fuente: Autores

Por medio de la figura 51, se determina el valor del TIR:

Figura 51. Tasa interna de retorno



Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la figura 51, el valor del TIR calculado es igual a 7.6%, por lo que este valor es mayor que la tasa de interés anual, por lo tanto, el proyecto es rentable.

5.2.5 Cálculo del costo del Kw-h

Para determinar el valor del kilovatio-hora generado en el proyecto se divide el costo de la obra para el número de kilovatios-hora generados en el tiempo de vida útil.

El proyecto está diseñado para generar 1,3 Kw, para lo cual se calcula el costo del Kw-h, en el caso de consumir toda la potencia generada.

El costo total de la picocentral hidroeléctrica durante su vida útil se determina por medio de la ecuación 12:

$$\text{Costo total} = \text{costo equipo (1er año)} + \text{costo de mantenimiento (14 años)}$$

$$\text{Costo total Picocentral hidroeléctrica} = 45.900.000 + 10.500.000 = 56.400.000$$

$$\text{Energía generada mensualmente} = 936 \text{ Kw-hora}$$

$$\text{Energía generada anualmente} = 936 \text{ Kw-hora} \times 12 = 11232 \text{ Kw-hora anuales}$$

Energía generada en 14 años = 11232 Kw-hora x 14 = 157248 Kw-hora

El costo real del kW-h es de:

$$\text{Costo kW} - h = \frac{\text{Costo total}}{\text{kW-hora generados vida proyecto}} \quad (\text{ec. 12})$$

$$\text{Costo kW} - h = \frac{56.400.000}{157248 \text{ Kw-hora}} = 358,67$$

6. CONCLUSIONES

- La tecnología hidrocínética es la que mayor adaptación presenta a los requerimientos dados por la constructora del parque y específicamente la escogida es la que mejor se ajusta a las condiciones del río Magdalena.
- El parámetro de velocidad fue muestreado bajo dos técnicas diferentes, cuerpo flotante y molinete, se determinó que entre ambas solo existe un error de 0,3064 % lo cual comprueba la exactitud de la técnica de cuerpo flotante que fue la más usada.
- El consumo energético del parque según la constructora está dirigido a una función específica, sin embargo, la potencia generada alcanza a cubrir una demanda energética que pueda abastecer eléctricamente un sistema de riego, cafetín, kioscos que puedan brindar carga a equipos electrónicos (Dispositivos móviles, computadores portátiles).
- El costo del Kw-hora generado es de \$ 358,67 COP, el cual representa un ahorro considerable a lo largo de la vida útil de la picocentral hidroeléctrica para el Malecon ecológico con respecto al valor comercial de Kw-h proyectado que tendría la empresa comercializadora de energía de la ciudad.
- La capacidad de generación de la picocentral hidroeléctrica puede ampliar su infraestructura de iluminación, en 14 iluminarias más para senderos con el mismo horario de trabajo.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un dragado en el sitio donde está proyectado instalar la picocentral hidroeléctrica, para mantener constante el nivel del agua adecuado en condiciones de nivel crítico de caudal, con el fin de evitar el mal funcionamiento de la turbina hidrocínética.
- Se recomienda a la dirigencia del parque al momento de puesta en marcha de la picocentral hidroeléctrica ocupar toda la energía generada, con la optimización del Malecón ecológico, es decir trabajar siempre a plena carga, esto con el fin de evitar daños futuros en la dumpload que podría acarrear un mantenimiento costoso del equipo o hasta cambio total del mismo.
- Al realizar un estudio para el uso de turbinas hidrocínética en el departamento del Huila, el Sena 'la angostura' de Campoalegre cuenta con un molinete adecuado para medir la velocidad con el fin de facilitar las mediciones en cuanto al procedimiento y tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

BERNAD, Sandor, et al. Flow investigations in Achard turbine. Proceedings of the Romanian Academy, 2008, vol. 9, no 2, p. 000. [En línea]

DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, Reglamento Técnico. Ministerio De Minas y Energía. 2005. [En línea]

DE MINAS, Ministro, et al. Alumbrado público exterior. 2007. [En línea]

GUARÍN RESTREPO, Javier Andrés, et al. Diseño de un sistema de generación a partir de una picocentral hidroeléctrica. 2013. Tesis de Licenciatura. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. [En línea]

RODRÍGUEZ RAMÍREZ, Julián Andrés, et al. Guía para el diseño de instalaciones de iluminación Interior utilizando dialux. 2012. Tesis de Licenciatura. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. [En línea]

SÁNCHEZ BOLAÑOS, David, et al. Manual del código eléctrico colombiano (NTC 2050) alambrado y protección de las instalaciones eléctricas secciones (250-280). 2008. Tesis de Licenciatura. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. [En línea]

SCHICA, Ricardo Alonso Rojas. Propuesta de un manual para inspectores para sistemas de iluminación-RETILAP. 2011. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. [En línea]

SISA AMAGUAYA, Edison Fabián y VILLARROEL HERRERA, Wilmer Mauricio. Diseño e Instalación de una Pico Central Hidroeléctrica en la Hacienda La Isabel. 2010. Tesis de Licenciatura. [En línea]

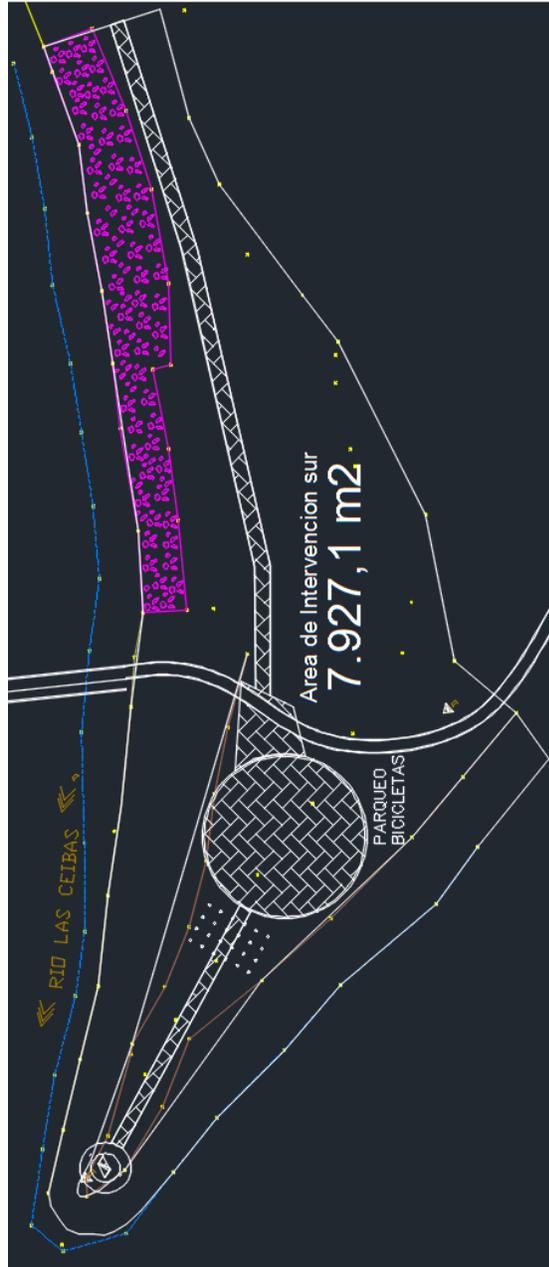
TENORIO ZURITA, Néstor Germán. Diseño e implementación de un prototipo de una picocentral hidráulica para uso rural. 2005. [En línea]

VALENCIA MARÍN, Ricardo Andrés, et al. Inspección Eléctrica en el edificio de Educación según el RETIE. 2009. Tesis de Licenciatura. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. [En línea]

VILLA CASTAÑO, Mauricio, et al. Manual del código eléctrico colombiano (NTC 2050) métodos y materiales de las instalaciones secciones (300-324). 2008. Tesis de Licenciatura. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. [En línea]

ANEXOS

ANEXO A. Plano planta y detalles

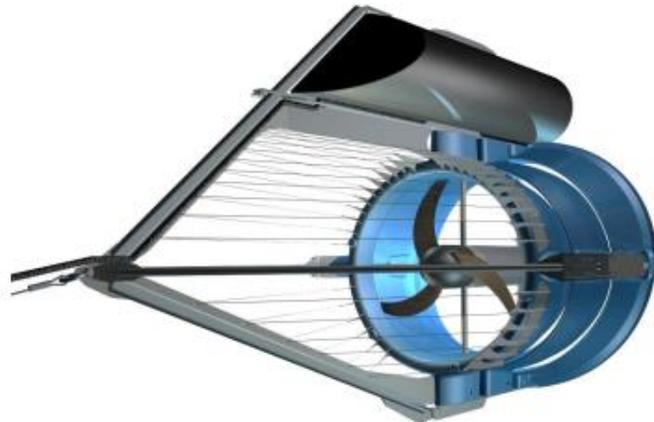


ANEXO B. Turbina hidrocínética

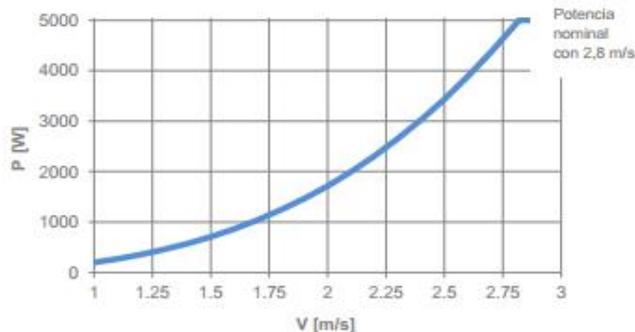
SMART Monofloat Micro Hidroeléctrica Cínética



| | |
|---------------------|--|
| Potencia | 250 – 5000 W |
| Medida | Longitud: 3130 mm Ancho: 1600 mm Altura: 2010 mm |
| Velocidad del rotor | 90 – 230 rpm |
| Peso | 380 kg |
| Número de aspas | 3 |
| Rotor-Ø | 1000 mm |



SMART Turbine Power Curve



Especificación:

- El generador acuático con imán permanente genera corriente alterna
- La turbina bucea cuando sube el nivel de agua
- Ideal, para aguas con una contaminación alta de residuos flotantes
- Ampliación del sistema con más turbinas
- Disponible como sistema aislada, para suministro a la red de distribución y como sistema híbrido
- Volumen de entrega y especificaciones pueden ser adaptadas a proyectos especiales
- Potencia nominal con 2,8 m/s

Características del río:

- Profundidad mínima del río: 2,0 m
- Ancho mínimo del río: 2,0 m
- Recomendado, profundidad máxima del río: 10 m
- Velocidad de la corriente del agua mínima: 1,0 m/s
- Velocidad de la corriente del agua máxima: 3,5 m/s



ANEXO C. Datos de hidrología del IDEAM

| I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|--|--------------|---|--------------|---|-----------|---|-------|--------------------------------------|----------|----------|
| VALORES MEDIOS MENSUALES DE NIVELES (Cms) | | | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL | | | | | | | | | | | | | |
| ESTACION : 21097070 PTE SANTANDER AUTO | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA-INSTALACION 1960-SEP | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA-SUSPENSION | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA DE PROCESO : | 2016/04/12 | TIPO EST | LG | DEPTO | HUILA | MUNICIPIO | PALERMO | CORRIENTE | MAGDALENA | OCTUB | NOVIE | DICIE | VR ANUAL |
| LATITUD | 0256 N | ENTIDAD | 01 <th>IDEAM</th> <td></td> <th>HUILA-CAQUET</th> <td></td> <th>JULIO</th> <td></td> <th>AGOST</th> <td></td> <th>SEPTI</th> <td></td> | IDEAM | | HUILA-CAQUET | | JULIO | | AGOST | | SEPTI | |
| LONGITUD | 7518 W | REGIONAL | 04 | HUILA-CAQUET | | MAYO | | JUNIO | | MARZO | | ABRIL | |
| ELEVACION | 431 m.s.n.m | REGIONAL | 04 | HUILA-CAQUET | | MAYO | | JUNIO | | MARZO | | ABRIL | |
| ***** | | | | | | | | | | | | | |
| AÑO EST ENT ENERO | * FEBRE <th>MARZO</th> <td>* ABRIL <th>MAYO</th> <td>* JUNIO <th>JULIO</th> <td>* AGOST <th>SEPTI</th> <td>* OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td></td></td></td></td> | MARZO | * ABRIL <th>MAYO</th> <td>* JUNIO <th>JULIO</th> <td>* AGOST <th>SEPTI</th> <td>* OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td></td></td></td> | MAYO | * JUNIO <th>JULIO</th> <td>* AGOST <th>SEPTI</th> <td>* OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td></td></td> | JULIO | * AGOST <th>SEPTI</th> <td>* OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td></td> | SEPTI | * OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td> | NOVIE | * DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> | VR ANUAL | * |
| ***** | | | | | | | | | | | | | |
| 2010 1 01 | 164 | 172 1 | 203 1 | 250 1 | 294 1 | 303 1 | 305 1 | 250 1 | 216 1 | 208 1 | 333 1 | 285 | 249 |
| 2011 1 01 | 252 1 | 229 1 | 308 1 | 363 1 | 380 1 | 333 | 362 | 273 | 237 | 276 | 329 7 | 405 | 312 |
| 2012 1 01 | 334 1 | 289 1 | 308 1 | 363 | 263 | 293 | 272 1 | 280 1 | 261 1 | 252 1 | 245 | 254 | 286 |
| 2013 1 01 | * | * | 266 3 | 256 3 | 286 3 | 281 1 | 337 1 | 294 1 | 274 1 | 251 | 241 1 | 294 3 | 278 3 |
| 2014 1 01 | 231 1 | * | 320 3 | 274 3 | * | 375 3 | 384 3 | 329 | 271 | 258 | 283 1 | 263 | 299 3 |
| ***** | | | | | | | | | | | | | |
| MEDIOS | 245 | 230 | 285 | 301 | 306 | 317 | 332 | 285 | 252 | 249 | 286 | 300 | 282 |
| MAXIMOS | 334 | 289 | 330 | 363 | 380 | 375 | 384 | 329 | 274 | 276 | 333 | 405 | 405 |
| MINIMOS | 164 | 172 | 203 | 250 | 263 | 281 | 272 | 250 | 216 | 208 | 241 | 254 | 164‡ |
| I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES | | | | | | | | | | | | | |
| VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/seg) | | | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL | | | | | | | | | | | | | |
| ESTACION : 21097070 PTE SANTANDER AUTO | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA-INSTALACION 1960-SEP | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA-SUSPENSION | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA DE PROCESO : | 2016/04/12 | TIPO EST | LG | DEPTO | HUILA | MUNICIPIO | PALERMO | CORRIENTE | MAGDALENA | OCTUB | NOVIE | DICIE | VR ANUAL |
| LATITUD | 0256 N | ENTIDAD | 01 <th>IDEAM</th> <td></td> <th>HUILA-CAQUET</th> <td></td> <th>JULIO</th> <td></td> <th>AGOST</th> <td></td> <th>SEPTI</th> <td></td> | IDEAM | | HUILA-CAQUET | | JULIO | | AGOST | | SEPTI | |
| LONGITUD | 7518 W | REGIONAL | 04 | HUILA-CAQUET | | MAYO | | JUNIO | | MARZO | | ABRIL | |
| ELEVACION | 431 m.s.n.m | REGIONAL | 04 | HUILA-CAQUET | | MAYO | | JUNIO | | MARZO | | ABRIL | |
| ***** | | | | | | | | | | | | | |
| AÑO EST ENT ENERO | * FEBRE <th>MARZO</th> <td>* ABRIL <th>MAYO</th> <td>* JUNIO <th>JULIO</th> <td>* AGOST <th>SEPTI</th> <td>* OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td></td></td></td></td> | MARZO | * ABRIL <th>MAYO</th> <td>* JUNIO <th>JULIO</th> <td>* AGOST <th>SEPTI</th> <td>* OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td></td></td></td> | MAYO | * JUNIO <th>JULIO</th> <td>* AGOST <th>SEPTI</th> <td>* OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td></td></td> | JULIO | * AGOST <th>SEPTI</th> <td>* OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td></td> | SEPTI | * OCTUB <th>NOVIE</th> <td>* DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> </td> | NOVIE | * DICIE <th>VR ANUAL</th> <td>*</td> | VR ANUAL | * |
| ***** | | | | | | | | | | | | | |

EST = ESTADO DE LA INFORMACION
 1 : Preliminares Ideam
 2 : Definitivos Ideam
 3 : Preliminares Otra Entidad
 4 : Definitivos Otra Entidad

***** AUSENCIAS DE DATO ** ORIGENES DE DATO **
 1 : Ausencia del observ
 2 : Desperfecto instru.
 3 : Ausencia instrument
 4 : Dato rechazado

***** C O N V E N I O N E S *****
 1 : Registrados
 3 : Incompletos
 4 : Dudosos
 6 : Est. Regresion

ANEXO D. Datasheet iluminaria

Datos de luminarias

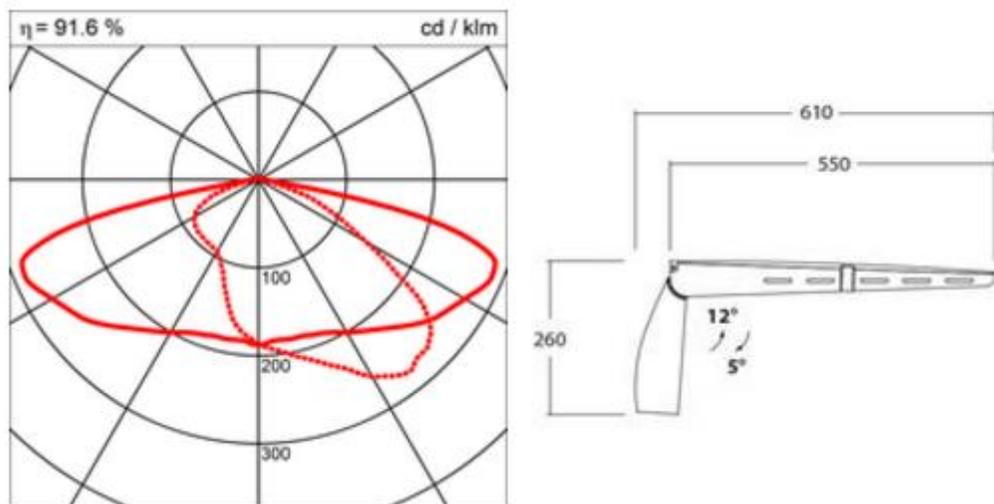
| | |
|--------------------------------------|----------------|
| Eficiencia | 91,6 % |
| Rendimiento lumínico de las lámparas | 125,95 lm/W |
| Clase LITG | A30 |
| Códigos de flujo CIE | 32 68 95 99 92 |
| Rendimiento del sistema | 44 ,0 W |

Dimensions

| | |
|-------------------------|---------------------|
| Longitud/Anchura/Altura | 300 mm/550 mm/60 mm |
| Profundidad de montaje | 5 |

Medio luminoso

| | |
|-----------------------|-------------|
| Tipo de lámpara | 1 x LED |
| ZVEI / ILCOS | LED / LED |
| Flujo luminoso | 8250 lm |
| Temperatura del color | 3800K-4500K |



ANEXO G. Algoritmo de la proyección con el programa MATLAB

```
close all
clear all
per=[1 44 92 140 188 235];
t=1:235;to=t;
p=[167.16 167.16 162.12 162.12 162.12 162.12 162.12 162.12 162.12
162.12 162.12 164.64 164.27 ... %12
    163.76 164.24 168.94 173.17 178.28 180.07 181.54 183.14
180.99 187.52 187.80 195.37 ... %24
    195.37 195.37 195.37 195.37 195.37 195.37 204.18 204.18
210.52 208.57 202.03 198.49 ... %36
    197.55 204.39 208.77 207.97 207.97 212.86 215.71 217.17
215.31 220.43 225.19 228.09 ... %48
    230.01 236.58 245.53 246.86 248.69 245.80 246.75 224.15
230.05 234.57 240.43 247.69 ... %60
    247.16 248.62 253.23 254.92 259.44 263.74 269.67 273.29
277.73 283.49 284.38 283.74 ... %72
    276.77 274.94 278.41 279.24 280.12 280.45 281.27 275.98
274.00 274.00 273.00 273.17 ... %84
    270.86 273.36 276.21 275.77 282.87 284.25 289.76 289.60
288.41 286.79 283.99 283.41 ... %96
    283.18 284.92 288.60 285.44 285.21 281.11 281.39 279.57
279.82 281.79 281.22 283.31 ... %108
    286.76 294.26 307.45 312.57 319.14 317.57 322.04 325.85
325.48 325.48 336.57 342.39 ... %120
    341.07 342.78 344.49 346.22 347.95 349.69 351.43 354.95
358.50 362.08 365.70 369.36 ... %132
    373.05 354.09 343.46 328.17 323.79 318.09 317.01 320.18
323.38 318.32 318.80 320.61 ... %144
    323.52 326.75 330.02 333.32 336.65 340.02 343.42 348.57
353.80 360.87 368.09 375.45 ... %156
    382.96 390.62 398.43 341.47 348.30 351.55 331.30 337.93
344.69 347.60 323.46 339.84 ... %168
    352.48 346.05 330.38 352.03 382.04 343.17 331.46 356.07
366.23 343.33 357.44 351.62 ... %180
    350.52 354.13 370.82 359.20 412.18 413.00 383.47 366.89
362.74 367.87 385.43 363.89 ... %192
    371.43 376.20 378.24 389.03 379.11 384.56 375.53 386.73
393.25 404.29 425.46 426.31 ... %204
    434.76 461.28 484.48 461.67 422.52 422.52 425.43 401.29
417.67 430.31 423.88 408.21 ... %216
    429.86 459.87 421.00 409.29 433.90 444.06 421.16 435.27
429.45 428.35 431.96 448.65 ... %228
    437.03 490.01 490.83 461.30 444.72 440.57 445.70];
```

```

po=p;
plot(t,p,'m');hold on
title('Proyección del costo del Kw-h para alumbrado publico
en base al historico de precios de Electrohuila s.a
es.p','fontsize',18,'fontweight','bold','fontname','arial')
xlabel('Meses','fontsize',14,'fontweight','bold','fontname','
arial')
ylabel('Precio
(COP)','fontsize',14,'fontweight','bold','fontname','arial')
legend('Datos historicos desde enero de 1999 hasta mayo del
2016',4)
text(1,156,'Periodo 1')
text(44,205,'Periodo 2')
text(92,270,'Periodo 3')
text(140,305,'Periodo 4')
text(188,350,'Periodo 5')
text(209,395,'ultimo dato')
grid on
nd=length(p); % Numero de datos para proyectar
proy='s';npo=length(per);
while proy=='s'
    np=length(per);
    plot(to,po,'m');hold on
    ip=input('A partir de que periodo desea proyectar
');pp=np;
    while pp>(npo-ip)
        fprintf('Digite cuantos periodos desea proyectar que sea
<= a %2.0f: ',np-ip);
        pp=input('');
    end
    j=1;while j<=pp
        per(np+j)=per(np)+48*j;j=j+1;
    end
    tpp=t(per(ip):per(ip+pp)); %Tiempo a proyectar
    ppp=p(per(ip):per(ip+pp)); %Precios a proyectar
    aum_pre=p(per(np))-p(per(ip));
    yps=spline(tpp,ppp,tpp)+aum_pre;
    p=[p yps];
    nd=length(p); % Numero de datops nuevos (Originales con
los proyectados)
    t=1:nd;
    aum_tie=t(per(np))-t(per(ip))+1;
    plot(t(235:nd),p(235:nd),'b');
    proy=input('Continua proyectando [s/n]','s');
end

```

```
fprintf(1,'Ingrese el nombre del archivo de la forma -  
drive:\\nombre.ext\n');  
fprintf(1,'Por ejemplo:   A:\\OUTPUT.DTA\n');  
NAME = input(' ','s');  
OUP = fopen(NAME,'wt');  
fprintf(OUP, 'Datos proyectados \n');  
escribir=nd-235;  
i=1;while i<=escribir  
    fprintf(OUP,'%3d %10.2f\n',i,p(i+235));%209  
    i=i+1;  
end  
fclose(OUP);
```