



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE ELECTRICIDAD

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO CON TECNOLOGÍA
LED EN LA CALLE IGNACIO JARAMILLO DEL CANTÓN GUALACEO
PROVINCIA DEL AZUAY**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: BENITO XAVIER GALARZA LOJA
DARWIN JAVIER SANANGO JEREZ
TUTOR: ING. CARLOS ULICER PERALTA LÓPEZ, MSc

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Benito Xavier Galarza Loja con documento de identificación N° 0105002307 y Darwin Javier Sanango Jerez con documento de identificación N° 0350172938; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 21 de febrero del 2025

Atentamente,



Benito Xavier Galarza Loja

0105002307



Darwin Javier Sanango Jerez

0350172938

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Benito Xavier Galarza Loja con documento de identificación N° 0105002307 y Darwin Javier Sanango Jerez con documento de identificación N° 0350172938, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Diseño del sistema de alumbrado público con tecnología LED en la calle Ignacio Jaramillo del cantón Gualaceo provincia del Azuay”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 21 de febrero del 2025

Atentamente,



Benito Xavier Galarza Loja

0105002307



Darwin Javier Sanango Jerez

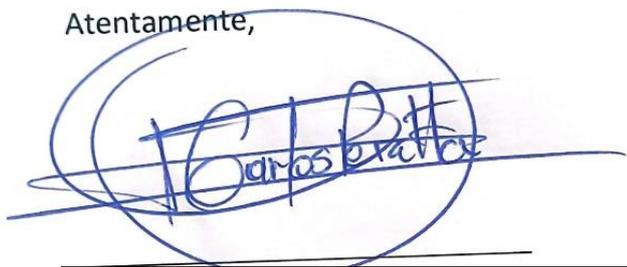
0350172938

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Ulicer Peralta López con documento de identificación N° 0103112561, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO CON TECNOLOGÍA LED EN LA CALLE IGNACIO JARAMILLO DEL CANTÓN GUALACEO PROVINCIA DEL AZUAY, realizado por Benito Xavier Galarza Loja con documento de identificación N° 0105002307 y por Darwin Javier Sanango Jerez con documento de identificación N° 0350172938, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 21 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. Carlos Ulicer Peralta López, MsC.

0103112561

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para completar esta etapa de mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo y sus sacrificios. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Sin ustedes, este logro no habría sido posible. también a mis hermanas, por su compañía, su aliento y su confianza en mí. Su apoyo ha sido un pilar fundamental a lo largo de este camino. Al tutor Ing. Carlos Peralta , por su dedicación, guía y consejos a lo largo de la elaboración de esta tesis. Su orientación ha sido clave en este proceso y me ha permitido mejorar tanto académica como profesionalmente, y no puede faltar a los docentes que han sido parte de mi formación, por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas, que han enriquecido mi camino y han contribuido significativamente a mi crecimiento.

Benito Xavier Galarza Loja

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para superar cada desafío en este camino. Su guía ha sido fundamental para alcanzar esta meta tan anhelada. A mis padres, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido mi mayor fuente de inspiración. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la dedicación y la perseverancia, pilares que me han permitido llegar hasta aquí. Sin ustedes, este logro no habría sido posible. A mi tutor, el Ingeniero Carlos Peralta, por su invaluable guía y paciencia durante la realización de este proyecto de titulación. Su orientación ha sido clave para concretar este trabajo.

Darwin Javier Sanango Jerez

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, por ser mi ejemplo de esfuerzo y perseverancia, por su amor incondicional y por apoyarme en cada paso de este camino. Gracias por enseñarme que los sueños se construyen con trabajo y dedicación, a mis hermanas, por su cariño, por estar siempre a mi lado y por brindarme su apoyo inquebrantable. Su compañía ha sido un pilar fundamental en este proceso, a mis amigos, por los momentos de alegría, por las risas compartidas y por recordarme que el camino se disfruta más cuando se recorre acompañado y a todos ustedes, gracias por ser parte de este logro.

Benito Xavier Galarza Loja

Dedico este proyecto de titulación a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental en mi trayectoria universitaria. En especial, a mis padres, cuyo esfuerzo, sacrificio y amor han sido el pilar de mi formación. Gracias por enseñarme, con su ejemplo, que la perseverancia y el compromiso son la clave para alcanzar cualquier meta. Este logro también es suyo. A mis hermanos, fuente constante de motivación y alegría, cuya confianza en mí ha sido un impulso invaluable para seguir adelante. A mis amigos, con quienes compartí desafíos y aprendizajes, y cuyo apoyo y amistad hicieron de este camino una experiencia inolvidable. Finalmente, a todas las personas que han sido parte de este proceso y han contribuido, de una u otra manera, a que este sueño se haga realidad. A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

Darwin Javier Sanango Jerez

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal el diseño de un sistema de alumbrado público con tecnología LED para un tramo aproximadamente de 1.8 kilómetros de la calle Ignacio Jaramillo, ubicada en el cantón Gualaceo, provincia del Azuay. Este diseño busca mejorar los parámetros de iluminación en comparación con las luminarias actualmente instaladas, garantizando una mayor eficiencia energética, uniformidad lumínica y calidad visual, en cumplimiento con las normativas técnicas vigentes.

El proyecto define criterios técnicos y económicos que aseguran la sostenibilidad del diseño, abordando aspectos como la disposición estratégica de luminarias, niveles óptimos de iluminancia, y una reducción en el consumo energético. Además, se evalúa la viabilidad económica del sistema propuesto mediante un análisis costo-beneficio, destacando los ahorros energéticos y operativos en contraste con los sistemas de iluminación convencionales.

La implementación de tecnología LED en el sistema lumínico mejora el rendimiento energético y reduce los costos a largo plazo, promoviendo un entorno más seguro y sostenible para los habitantes de la zona, alineándose con los estándares modernos de eficiencia y sostenibilidad en ingeniería eléctrica.

Palabras Clave: Alumbrado Público, LED, Vapor de Sodio, Lumino-
tecnia, Eficiencia Energética, Luminaria, Iluminación.

ABSTRACT

The main objective of this work is to design a public lighting system with LED technology for a stretch of approximately 1.5 kilometers of Ignacio Jaramillo Street, located in the canton of Gualaceo, province of Azuay. This design seeks to improve the lighting parameters compared to the currently installed luminaires, guaranteeing greater energy efficiency, lighting uniformity and visual quality, in compliance with current technical regulations.

The project defines technical and economic criteria that ensure the sustainability of the design, addressing aspects such as the strategic arrangement of luminaires, optimum illuminance levels, and a reduction in energy consumption. In addition, the economic viability of the proposed system is evaluated through a cost-benefit analysis, highlighting the energy and operational savings in contrast to conventional lighting systems.

The implementation of LED technology in the lighting system improves energy performance and reduces long-term costs, promoting a safer and more sustainable environment for the inhabitants of the area, aligning with modern standards of efficiency and sustainability in electrical engineering.

Key words: Street Lighting, LED, Sodium Vapor, Lighting Technology, Energy Efficiency, Luminaire, Lighting.

GLOSARIO

- **LED:** Diodo Emisor de Luz
- **ARCERNNR :** Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos no renovables
- **RETILAP:** Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público
- **ER:** Estructura de Retención
- **EP:** Estructura de Paso
- **AP:** Alumbrado Público
- **Ex MEER:** Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables

Índice

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	3
1.3. Grupo Objetivo	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
2. Marco Teórico	6
2.1. Principios Básicos de Iluminación	7
2.1.1. Luz	7
2.1.2. Luminotecnia	7
2.1.3. Espectro Electromagnético	8
2.1.4. Color	8
2.1.5. Comportamiento de la luz	11
2.2. Parámetros luminosos y sus unidades	13
2.2.1. Flujo y rendimiento luminoso	13
2.2.2. Iluminancia	15
2.2.3. Intensidad luminosa	17
2.2.4. Luminancia	18
2.2.5. Deslumbramiento	18
2.2.6. Unidades de medida	19

2.3.	Luminarias	20
2.4.	LED	23
2.4.1.	LED emisores de luz blanca	24
2.4.2.	Tecnologías LED para iluminación	25
2.5.	Alumbrado público AP	26
2.6.	ARCERNNR 007/23	29
2.6.1.	Vías para tráfico motorizado T_m	29
2.6.2.	Vías para tráfico peatonal T_p	32
2.7.	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP	34
2.7.1.	Aspectos técnicos L_v y E_v del diseño AP.	35
2.7.2.	Localización de puntos de iluminación	39
2.8.	Comisión Internacional de la Iluminación CIE	41
2.8.1.	Puntos de cálculo en un carril de circulación.	41
2.8.2.	Aceras y ciclovías.	43
2.9.	Diagramas fotométricos	44
2.9.1.	Isolux	44
2.9.2.	Isocandela	45
2.9.3.	Ciclo de vida útil	47
2.10.	Cálculo E_v promedio de una vía	48
2.10.1.	Método de los 9 puntos	48
2.10.2.	Método mediante software	49
2.10.3.	Coeficiente de utilización K_t	50

3. Estado actual del Sistema de Alumbrado Público de la Calle	
Ignacio Jaramillo del Cantón Gualaceo Provincia del Azuay.	51
3.1. Luminarias de vapor de sodio	52
3.2. Características de los postes	53
3.3. Disposición del alumbrado público	54
3.3.1. Distribución Unilateral	55
3.3.2. Distribución Combinada o Mixta	56
3.4. Características Actuales de la Calle Ignacio Jaramillo	58
3.4.1. Evaluación de la Clase de Alumbrado para la Vía con	
Tráfico Motorizado	59
3.4.2. Parámetros Fotométricos para la Vía con Tráfico Mo-	
torizado	61
3.4.3. Evaluación de la Clase de Alumbrado para la Vía con	
Tráfico Peatonal	62
3.5. Uniformidad lumínica de la Calle Ignacio Jaramillo	64
3.5.1. Método de la Cuadrícula para la Iluminación de la Vía	
para Tráfico Motorizado	65
3.5.2. Método de la Cuadrícula para la Iluminación de la Vía	
para Tráfico Peatonal	67
3.6. Resumen del estado actual del alumbrado público en la Calle	
Ignacio Jaramillo.	69
4. Especificaciones para el Diseño del Sistema de Iluminación	

Pública con Tecnología LED en la Calle Ignacio Jaramillo	71
4.1. Análisis Técnico para la Implementación del Sistema de Iluminación Pública con Tecnología LED en la Calle Ignacio Jaramillo	71
4.1.1. Criterios de Selección y Distribución de Luminarias . . .	72
4.1.2. Lámpara de doble brazo	72
4.2. Elementos Técnicos del Sistema	73
4.2.1. Poste de Hormigón	73
4.2.2. Carga de Rotura	74
4.2.3. Placa de identificación	75
4.2.4. Orificios Pasantes	76
4.2.5. Luminarias	76
4.2.6. Estación de transformación	80
4.2.7. Caídas de tensión	82
4.3. Diseño implementado en los distintos Software	82
4.3.1. Diseño de iluminación de la calle Ignacio Jaramillo en el Software AUTOCAD	82
4.3.2. Diseño de iluminación de la calle Ignacio Jaramillo en el Software DIALux evo	86
4.4. Simulación	90
4.4.1. Resultados de la simulación de la vía Ignacio Jaramillo	92
4.4.2. Análisis General del Alumbrado Público para la Vía con Tráfico Motorizado y Peatonal	97
4.4.3. Analisis Comparativo de las Caídas de Tensión	98

4.5.	Desarrollo del proyecto	99
4.5.1.	Desmantelamiento de las redes existentes	99
4.5.2.	Proceso de excavación	99
4.5.3.	Izado de postes.	100
4.5.4.	Tendido del conductor.	101
4.5.5.	Montaje del transformador.	101
4.5.6.	Montaje de Luminarias.	104
4.6.	Análisis Económico.	105
4.6.1.	Presupuesto de Materiales para la Ejecución del Alumbrado Público	105
4.6.2.	Presupuesto de Mano de obra para la Ejecución del Alumbrado Público	106
4.6.3.	Resumen del Presupuesto Total del Proyecto	107
4.6.4.	Análisis de la Relación Costo-Beneficio y Ahorros Energéticos	108
5.	Conclusiones y Recomendaciones	110
5.1.	Conclusiones	110
6.	Recomendaciones	111

Índice de figuras

1.	Espectro Electromagnético	8
2.	Valoración Ra de las fuentes luminosas	9
3.	Mapa cromático CIE	10
4.	Temperatura de color	10
5.	Reflexión de la luz	12
6.	Absorción de la luz	12
7.	Transmisión de la luz	13
8.	Flujo luminoso	14
9.	Estereorradián	15
10.	Luxómetro	17
11.	Intensidad luminosa	18
12.	Esquema para el deslumbramiento	19
13.	Lámparas incandescentes estándar	21
14.	Lámparas incandescentes halógenas	21
15.	Lámparas de vapor de sodio	22
16.	Lámparas de halogenuros metálicos	23
17.	Lámpara LED	23
18.	LED emisores de luz blanca	25
19.	Topologías LED	26
20.	Componentes de una luminaria para alumbrado público	27
21.	Alumbrado público vial	28

22.	Alumbrado público ornamental	29
23.	Clases de iluminación para vehículos.	35
24.	Variación de la clase M por el tipo de vía.	36
25.	Fotometría para vías vehiculares - clase M.	36
26.	Iluminancia promedio en vías vehiculares.	37
27.	Clases de iluminación para peatones y ciclistas.	37
28.	Especificaciones E_v para tráfico peatonal.	38
29.	Especificaciones E_v y U_o para áreas críticas.	39
30.	Configuración en la disposición de luminarias.	39
31.	Luminarias de disposición unilateral.	40
32.	Luminarias con disposición central doble.	40
33.	Luminarias de disposición alternada.	41
34.	Puntos de cálculo en una vía de circulación y lámparas conse- cutivas.	42
35.	Puntos de cálculo en una vía de circulación y lámparas esca- lonadas.	43
36.	Ubicación de los puntos de cálculo en una vía.	44
37.	Diagrama isolux.	45
38.	Sistema de coordenadas de la CIE.	45
39.	Diagrama isocandela.	46
40.	Plano vertical.	46
41.	Ángulo vertical.	47
42.	Vida útil de las luminarias.	47

43.	Método europeo de los 9 puntos.	48
44.	Método de 9 puntos según la disposición de luminarias.	49
45.	Ejemplo de K_1 en base a la ubicación unilateral de luminaria.	50
46.	Iluminación deficiente en la Calle Ignacio Jaramillo.	52
47.	Característica de los postes	53
48.	Distribución unilateral de luminarias.	56
49.	Distribución mixta de luminarias.	57
50.	Vía tipo M2 según la regulación ARCERNNR 007/23.	58
51.	Ejemplo de una lámpara de doble brazo	73
52.	Postes de hormigón tipo "H"Y "HC".	74
53.	Modelo de la placa de identificación.	76
54.	Diagrama polar de la lámpara seleccionada para la vía principal	78
55.	Diagrama polar de la lámpara seleccionada para la vía peatonal	79
56.	Transformador Monofásico tipo Poste.	81
57.	Diseño de iluminación implementado en AUTOCAD.	83
58.	Plano arquitectónico de la vía Ignacio Jaramillo.	84
59.	Simbología utilizada en el diseño lumínico.	85
60.	Ficha técnica de la luminaria seleccionada para la simulación.	87
61.	Ficha técnica de la luminaria seleccionada.	89
62.	Vista 3D en el software DIALux evo de la calle Ignacio Jaramillo	90
63.	Fotometría de colores falsos en la calle Ignacio Jaramillo.	91

64.	Ubicación de las luminarias en el plano.	92
65.	Sumario de resultados de la vía principal.	93
66.	Sumario de resultados de la vía peatonal.	95
67.	rubros y unidades de propiedad	99
68.	Excavación para la colocación del poste de 12 metros.	100
69.	Izado de postes de 12 metros.	101
70.	Montaje del transformador.	103
71.	Estructura 1EP.	103
72.	Estructura 1ER.	104

Índice de tablas

1.	Actividades acordes a la temperatura de color.	11
2.	Parámetros luminosos	20
3.	Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (M)	30
4.	Parámetros fotométricos en vías con clase de alumbrado tipo (M)	31
5.	Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (P).	33
6.	Fotometrías en vías con T_p	34
7.	Cantidad de luminarias de vapor de sodio en la calle Ignacio Jaramillo.	52
8.	Características de los postes existentes en la calle.	54
9.	Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (M)	60
10.	Parámetro fotométrico que se debe cumplir para una vía ca- tegoría M2 con tráfico motorizado	62
11.	Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (P).	63
12.	Parámetros fotométricos para tráfico peatonal	64
13.	Mediciones obtenidas en campo	66
14.	Mediciones obtenidas en campo	67
15.	Resumen de las Características de la Calle.	69
16.	Parámetros técnicos del poste seleccionado.	75
17.	<i>Medidas del transformador Autoprotegido de 10KVA</i>	81

18.	Criterio de control para la iluminación en los diferentes tipos de vías.	88
19.	clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales.	89
20.	Cuadro comparativo entre la normativa y los resultados obtenidos en la simulación.	94
21.	Resultados obtenidos mediante la simulación en Dialux Evo para la vía motorizada.	95
22.	Cuadro comparativo entre la normativa y los resultados obtenidos en la simulación.	96
23.	Resultados obtenidos mediante la simulación en Dialux Evo para la vía peatonal.	97
24.	Resultados obtenidos mediante la simulación en Dialux Evo.	98
25.	Descripción de materiales del sistema de alumbrado público	106
26.	Descripción de mano de obra del sistema de alumbrado público	107
27.	Resumen del presupuesto total	108
28.	Comparación de la Potencia Instalada entre el Sistema de Alumbrado Público Actual y el Propuesto	109

CAPÍTULO 1

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Desde sus inicios el ser humano ha buscado formas de iluminar su entorno comenzando con el fuego hace unos 20,000 años [1]. La Revolución Industrial dio avances significativos debido a la necesidad de extender las jornadas laborales, lo cual impulsó el diseño de las lámparas de aceite [2].

En 1879 Thomas Edison creó la primera bombilla incandescente que duraba alrededor de 40 horas [3], un avance notable en comparación con el breve destello inicial. Sin embargo, esto seguía siendo modesto frente a los focos actuales que pueden durar hasta 1,000 horas gracias a la tecnología del filamento de tungsteno [4].

La evolución hacia una iluminación más eficiente se consolidó con la creación de la lámpara fluorescente que utiliza la descarga de gas para generar luz [5]. Inicialmente, esta tecnología solo producía luz ultravioleta lo que limitaba su funcionalidad. Sin embargo, el descubrimiento de los fósforos permitió transformar la radiación UV emitida por las lámparas de mercurio en luz visible [6].

La tecnología LED inició en 1962 con el primer LED visible, creado por Nick Holonyak Jr, que emitía luz roja débil [7]. Con el tiempo los avances en materiales mejoraron la eficiencia y la gama de colores, incluida la luz blanca. Posteriormente Philips hizo que los LED superaran la eficiencia lumínica de las lámparas fluorescentes, consolidando su uso en iluminación pública y posicionándolos como una solución eficiente y sostenible [8]. La tecnología LED ha revolucionado la iluminación a nivel global gracias a su alta eficiencia energética y bajo consumo superando a las lámparas incandescentes y fluorescentes [9]. Estas ventajas son fundamentales por que ofrecen mayor durabilidad y reducción de costos de mantenimiento.

Uno de los principales beneficios ambientales que traerá la implementación del sistema de alumbrado público con tecnología LED es la significativa reducción en el consumo de energía eléctrica, lo que a su vez disminuirá las emisiones de CO₂, contribuyendo de manera favorable al medio ambiente tanto a nivel local como global. Diversas investigaciones realizadas en distintas ciudades han validado estos beneficios [10].

En las urbanizaciones residenciales, las luminarias LED son esenciales para mejorar la visibilidad en vías y aceras lo que reduce considerablemente el riesgo de accidentes entre peatones y conductores. En [11] se presenta un estudio desarrollado en la Universidad Politécnica Salesiana que evalúa la eficiencia energética de las luminarias LED destacando su impacto en la disminución de costos de mantenimiento a largo plazo y su capacidad para elevar los niveles de iluminación en áreas urbanas. Estos factores son cruciales

para mejorar la seguridad vial y en consecuencia contribuir al bienestar de la comunidad.

El análisis de estos antecedentes resalta la necesidad de llevar a cabo un estudio técnico y de criterios económicos que garantizarán el diseño del sistema de alumbrado público en la Calle Ignacio Jaramillo del Cantón Gualaceo, con el propósito de evaluar la viabilidad de sustituir las luminarias de vapor de sodio por tecnología LED. Este proyecto mejorará de manera significativa la seguridad vial y peatonal , también aumentará la percepción de seguridad entre los habitantes de la zona promoviendo así un mayor uso del espacio público.

1.2. Justificación

El diseño de un sistema de iluminación para la calle Ignacio Jaramillo del Cantón Gualaceo es fundamental debido a las ineficiencias de las luminarias de vapor de sodio actualmente en uso. Estas luminarias presentan un alto consumo energético y ofrecen una calidad de luz limitada lo que incrementa los costos operativos y compromete la seguridad vial y peatonal elevando el riesgo de accidentes en áreas mal iluminadas.

La incorporación de tecnología LED en este diseño mejorará significativamente la visibilidad nocturna. Esta tecnología disminuye el consumo de energía y también reduce los costos de mantenimiento a largo plazo gracias a su durabilidad y eficiencia.

Un diseño bien planificado generará un entorno más seguro y atractivo

para los usuarios, fomentando el uso del espacio público. Este cambio beneficiará la seguridad de los transeúntes y también impulsará el desarrollo económico y social de la comunidad, especialmente en zonas con alta actividad comercial y recreativa. Un sistema de iluminación eficiente contribuye a elevar la calidad de vida de los residentes y visitantes de la calle Ignacio Jaramillo.

1.3. Grupo Objetivo

El beneficio social de este proyecto se evidencia en la mejora del sistema de alumbrado público en la calle Ignacio Jaramillo, una vía esencial que conecta el Mercado 25 de junio y el Registro Civil de Gualaceo. Esta mejora tendrá un impacto positivo en la comunidad, debido que la calle también es un punto de alta actividad comercial y recreativa, atrayendo a numerosos residentes y visitantes que acuden a bares, discotecas, canchas de fútbol y otros lugares de entretenimiento. La implementación del alumbrado con tecnología LED incrementará significativamente la visibilidad nocturna, lo que reducirá los riesgos de accidentes y mejorará la seguridad tanto para peatones como para conductores.

Una iluminación más eficiente y uniforme generará mayor seguridad y confort, promoviendo el flujo hacia áreas comerciales y de recreación, dinamizando la economía local. Los comerciantes se beneficiarán de un entorno seguro, atrayendo clientes y fortaleciendo la competitividad del sector, además de abrir nuevas oportunidades de inversión.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de alumbrado público con tecnología LED para la calle Ignacio Jaramillo del cantón Gualaceo provincia del Azuay, considerando aspectos técnicos y económicos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir los parámetros técnicos y criterios económicos que garantizarán un diseño eficiente y sostenible del sistema de alumbrado LED.
- Realizar el diseño del sistema lumínico de la calle garantizando el cumplimiento de normativas y criterios de eficiencia energética.
- Evaluar la viabilidad económica del sistema de iluminación con tecnología LED, analizando la relación costo-beneficio y los ahorros energéticos en comparación con el sistema actual.

CAPÍTULO 2

2. Marco Teórico

La calle Ignacio Jaramillo, ubicada en el cantón Gualaceo de la provincia del Azuay, conecta puntos estratégicos como el Mercado 25 de Junio y el Registro Civil, siendo una vía clave para la movilidad urbana y el desarrollo económico de la zona. El sistema de iluminación pública actual, compuesto por luminarias de vapor de sodio, enfrenta serias limitaciones debido a su antigüedad y baja eficiencia lumínica. Estas luminarias garantizan niveles óptimos de iluminación, generando áreas oscuras que afectan la visibilidad nocturna y comprometen la seguridad de peatones y conductores. Esto aumenta el riesgo de accidentes y fomenta una percepción de inseguridad entre los usuarios.

Adicionalmente, la calle Ignacio Jaramillo es un eje de intensa actividad comercial, recreativa y social, albergando bares, discotecas y canchas de fútbol que atraen a residentes y visitantes, lo que incrementa la demanda de una infraestructura de iluminación adecuada. El sistema de vapor de sodio presenta deficiencias en términos de calidad lumínica y supone un alto consumo energético y costos operativos elevados, lo que subraya la necesidad de una intervención técnica y económica que modernice el alumbrado público.

Por esta razón, se plantea el diseño de un sistema de alumbrado público con tecnología LED, una solución que permitirá mejorar significativamente

los niveles de iluminación, mejorar el consumo energético y garantizar la sostenibilidad del sistema. Este diseño busca satisfacer los estándares técnicos y normativas vigentes, también potenciar la seguridad y la calidad de vida de los usuarios. La implementación de tecnología LED transformará la calle Ignacio Jaramillo en un espacio más seguro, eficiente y accesible, promoviendo un entorno urbano acorde a las demandas de una ciudad moderna.

2.1. Principios Básicos de Iluminación

2.1.1. Luz

La luz es una forma de radiación electromagnética que se desplaza en ondas transversales, con características específicas como longitud de onda y frecuencia. Al interactuar con la retina humana, desencadena reacciones fotoquímicas que permiten la percepción visual. Estas ondas se producen por la aceleración de cargas eléctricas y se definen por propiedades como intensidad, velocidad y frecuencia, que determina el número de ciclos en un segundo [12].

2.1.2. Luminotecnia

La luminotecnia trata sobre el estudio técnico de ciertos criterios de iluminación interna y externa con luz artificial. Además, ofrece a las personas una grata visibilidad en términos de calidad, cantidad, eficiencia y estética, al considerar sus aspectos funcionales a través de normativas [13].

2.1.3. Espectro Electromagnético

La energía se manifiesta de diversas formas, ya sean de tipo eléctrico, mecánico, químico, térmico y radiante; siendo esta última una luz generada por formas de onda ultravioleta, de radio, televisión, rayos gamma y otros visualizados en la Figura 1. Existe un grupo de radiaciones, las cuales son observadas por el ojo humano, denominado como espectro visible. Este se compone de una franja entre 380 a 780 nm y presenta distintos colores que van desde el violeta y termina en el rojo [14].

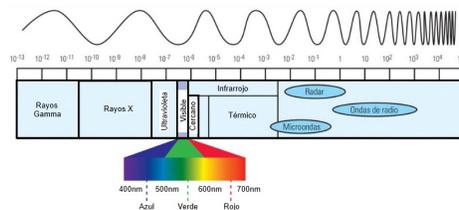


Figura 1: Espectro Electromagnético

Fuente: [14].

No obstante, cada color puede ser utilizado en aplicaciones especiales. Por ejemplo, la luz ultravioleta se aplica para realizar esterilización de objetos, curado de resinas, etc. Mientras que la luz infrarroja produce energía y se emplea como una fuente calefactora [14].

2.1.4. Color

La sensación que el ser humano recibe ante el espectro de la luz se conoce como color. Visto desde el espectro electromagnético, son ondas luminosas que poseen un haz de luz, también se lo puede conocer como longitud de

onda λ . La luz es monocromática cuando todos los fotones poseen la misma λ , caso contrario presenta un color característico [15]. Cuando una superficie está iluminada con luz artificial, esta luminaria dependerá de dos parámetros:

- Índice de reproducción cromática Ra.

El Ra es un valor numérico en una escala de 0 a 100, porque representa los colores de algún objeto, el cual indica la capacidad de esa luminaria, tal como se observa en la Figura 2. La escala representa las siguientes valoraciones de pobre ($Ra \leq 60$), bueno ($60 < Ra \leq 80$), muy bueno ($80 < Ra \leq 90$) y excelente ($90 < Ra \leq 100$) [16].



Figura 2: Valoración Ra de las fuentes luminosas

Fuente: [16].

En la Figura 3 se observa un mapa cromático establecido por la Comisión Internacional de la Iluminación CIE, el cual conlleva las coordenadas cromáticas en función de los colores. En la parte superior presenta una curva, la cual figura como el lugar geométrico de las radiaciones; mientras en la parte más baja es una zona púrpura. Finalmente, en la parte central del mapa yacen los colores de las fuentes blancas. Eso quiere decir, el color estará más saturado a medida que se aleje de la zona central [17].

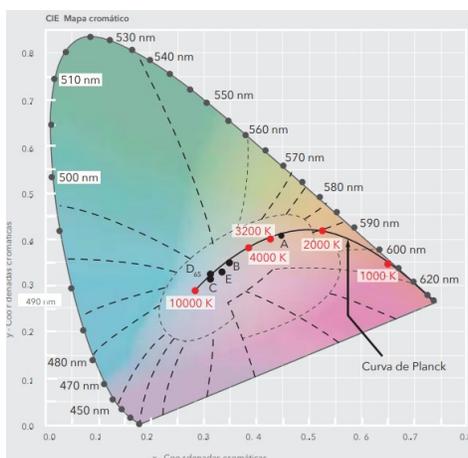


Figura 3: Mapa cromático CIE
Fuente: [17].

- Temperatura de color K:

Cuando se observa una fuente de luz, el ojo humano recibe una impresión de color. A medida que la temperatura de color disminuya, será más cálida la luz; caso contrario, será más azulada o fría, tal como se ilustra en la Figura 4 [16].



Figura 4: Temperatura de color
Fuente: [16].

Aunque estás percepciones del color cambian acorde al clima, se indica

una muestra sobre las actividades recomendadas en un espacio (ver Tabla 1).

Tabla 1: **Actividades acordes a la temperatura de color.**

Tono de luz	K	Actividades
Cálidos	< 3300	Espacios decorados bajo esta tonalidad
		Zonas de descanso, para adultos mayores o esparcimiento
		Salas de espera
		Bajos niveles de iluminación
Neutros	3300 - 5300	Áreas con aportación de luz natural
		Actividades visuales de requisitos medios
Fríos	> 5300	Espacios decorados bajo esta tonalidad
		Niveles de iluminación altos
		Actividades visuales de alta concentración

2.1.5. Comportamiento de la luz

Cuando se ilumina la materia con luz, esta tiene la capacidad de transmitirse, reflejarse, ser absorbida o descomponerse, es decir, cambia la energía, frecuencia, dirección y velocidad. Estos fenómenos dependen de tres factores, la naturaleza de la materia, condiciones y propiedades físicas de la luz incidente [18]. Este último, se describe a continuación:

- **La reflexión** ocurre cuando la luz incide sobre un área y está se divide en dos medios, cambiando su dirección sin atravesar el objeto, tal como se visualiza en la Figura 5. La dirección se establece en base al ángulo de incidencia θ_1 y de la naturaleza del objeto. No obstante, cabe mencionar que durante la reflexión no cambian la longitud de onda, frecuencia y

velocidad. Además, los ángulos θ_1 y θ_2 son iguales cuando la superficie es lisa; caso contrario, se dice que es difusa, por lo que la luz se refleja en todas las direcciones [18], [19].

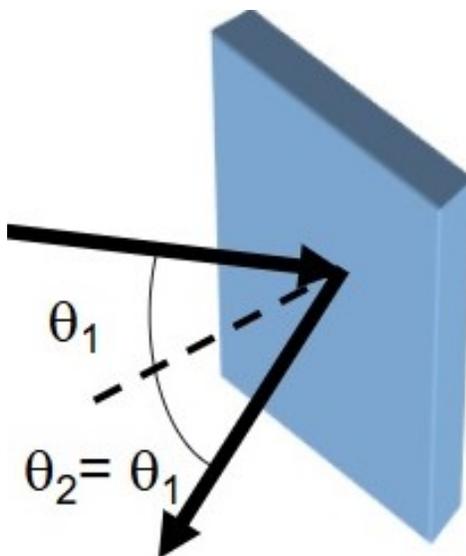


Figura 5: Reflexión de la luz
Fuente: [19].

- Cuando la luz llega al objeto o superficie, éste puede absorber una muestra o la totalidad de esa luz se conoce como absorción, tal como se muestra en la Figura 6 [17].

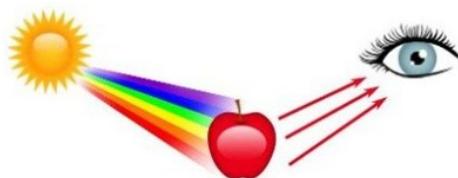


Figura 6: Absorción de la luz
Fuente: [20].

- Al hacer pasar una luz en un objeto, se produce tres tipos de transmisiones. Una de origen directo que es cuando no existen cambios en la calidad o dirección de la luz, tal como se indica en la Figura 7. La transmisión difusa se produce cuando la luz atraviesa un objeto transparente, por lo que la luz se desvía a múltiples direcciones. Finalmente, la de tipo selectiva se presenta cuando atraviesa un objeto de color, una parte se absorbe y la otra se transmite [17].

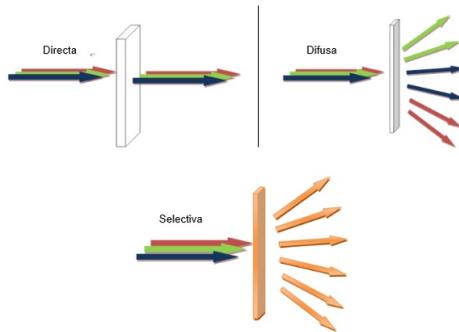


Figura 7: Transmisión de la luz
Fuente: [21].

2.2. Parámetros luminosos y sus unidades

2.2.1. Flujo y rendimiento luminoso

El flujo luminoso (Φ) se define como el total de luz emitido por segundo de una luminaria en todas las direcciones [13]. También se lo puede describir como la energía visible que se observa a través del ojo. Normalmente, la energía está dada en julios; sin embargo, ese flujo de energía se mide en lúmenes (lm) y se expresa como la intensidad luminosa I_v por el ángulo

solido ω del cono de la fuente de luz, tal como se ilustra en la Figura 8 y Ecuación (1) [15].

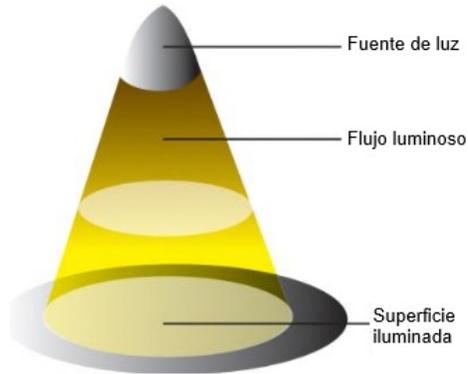


Figura 8: Flujo luminoso
Fuente: [14].

$$\Phi = I_v \times \omega \quad (1)$$

El ángulo ω también conocido como estereorradián se forma por el casquete esférico de la Figura 9, el cual posee un área igual al cuadrado del radio de esa esfera [22].

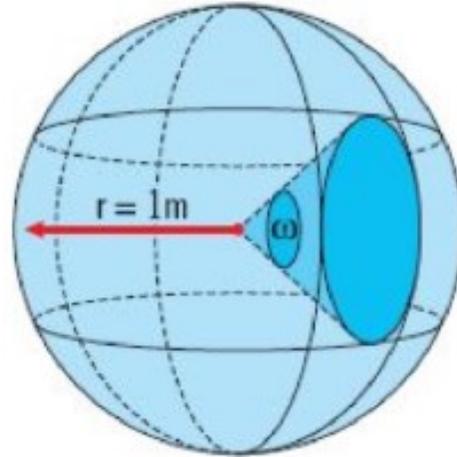


Figura 9: Estereorradián
Fuente: [22].

Por cada longitud de onda del espectro visible, se determina la potencia (P) y con su ponderación se calcula el flujo [17]. Cuando se utiliza alguna luminaria en algún espacio, se necesitan conocer dos parámetros, uno de ellos es el flujo y otro son los lúmenes emitidos por cada vatio consumido, dicho de otra forma, es la eficacia o rendimiento luminoso (η), expresado en lm/W y visto en la Ecuación (2) [13].

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad (2)$$

2.2.2. Iluminancia

La iluminancia (E_v) es la cantidad de flujo por metro cuadrado de superficie (A), por tanto la unidad de medida es el lux (lx), mencionado en la Ecuación (3) [16].

$$E_v = \frac{\Phi}{A} \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lx} \right] \quad (3)$$

El nivel de iluminancia depende de varios aspectos como las condiciones ambientales, la duración y tipo de actividad a ejecutarse. Dependiendo de la tarea, las iluminancias podrán ser horizontales, verticales y cilíndricas medias. Además, existe otro término que suele emplearse en la iluminancia, que es el valor medio (E_m), resultado del sumatorio de puntos en la rejilla de operación [16].

La iluminancia puede ser medida a través de un luxómetro (ver Figura 10). Este contiene una célula fotoeléctrica y al incidir un haz de luz en una superficie, se genera una corriente eléctrica que aumentará en función de la luz. Luego, mediante circuitos internos del dispositivo, se convierte a luxes [22].



Figura 10: Luxómetro
Fuente: [22].

2.2.3. Intensidad luminosa

La forma en como la luz se distribuye en el espacio, se denomina intensidad luminosa. Si ambas imágenes de la Figura 11 poseen un mismo flujo, se destaca una mayor cantidad de candelas (cd), cuando el ángulo de luz es más pequeño. Además, se puede calcular despejando I_v de la Ecuación 1. Finalmente, se establece que la unidad de medida en el sistema internacional es la cd [14].

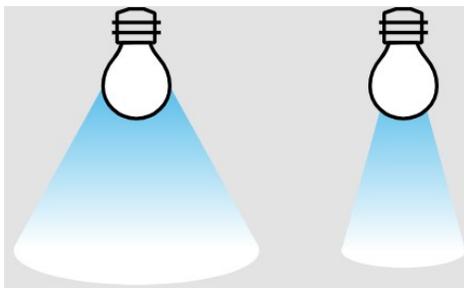


Figura 11: Intensidad luminosa
Fuente: [23].

2.2.4. Luminancia

Se determina como la intensidad luminosa por metro cuadrado de área; por ende, las unidades de medida son (cd/m^2) [15]. Existen otros términos empleados dentro de los parámetros luminosos, tales como [24].

- La uniformidad general (U_0) que se calcula como la razón entre las luminancias, mínima (L_{\min}) y promedio (L_{prom}) de la calzada.
- La uniformidad longitudinal (U_l) se determina como la relación entre L_{\min} y la luminancia máxima ($L_{\text{máx}}$) a lo largo del eje central longitudinal de cada carril de circulación.

2.2.5. Deslumbramiento

El deslumbramiento (TI) es una condición de la vista donde ocurre alguna incomodidad para distinguir objetos a causa del contraste de luz. Además, se define de manera porcentual bajo la expresión de la Ecuación (4), donde [24].

$$TI = \frac{k(E_e)}{(L_{\text{prom}})^{0,8} \theta^2} [\%] \quad (4)$$

- Existe un factor k que varía según la edad del observador.
- La variable E_e refleja la iluminancia total e inicial producida por las lámparas y bajo ciertos criterios, como en su estado nuevo sobre el plano normal con respecto a la línea de visión y altura del ojo humano.
- Por último, se tiene un ángulo θ que se forma entre el centro de cada lámpara y la línea de visión, tal como se observa en la Figura 12.

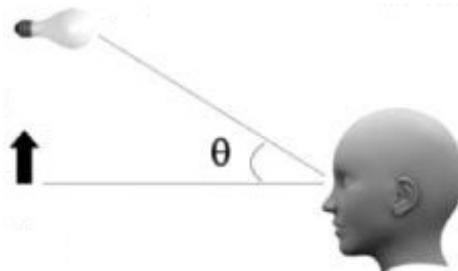


Figura 12: Esquema para el deslumbramiento
Fuente: [23].

2.2.6. Unidades de medida

Por medio de la Tabla 2 se describen algunos parámetros relacionados a la iluminación, junto a sus unidades de medida.

Tabla 2: Parámetros luminosos

Magnitud	Acrónimo	Unidad de medida
Flujo luminoso	Φ	$lm = cd \times sr$
Intensidad luminosa	I_v	$cd = \frac{lm}{sr}$
Luminancia	L_v	$\frac{cd}{m^2}$
Iluminancia	E_v	$lux = \frac{lm}{m^2}$
Rendimiento luminoso	η	$\frac{lm}{W}$

2.3. Luminarias

Las luminarias tienen la capacidad de convertir la energía eléctrica en lumínica, conducida en menor o mayor proporción de energía calórica. Las aplicaciones que se tienen pueden ir desde iluminar una habitación hasta alumbrar las calles de una avenida [14]. Por lo que se presentan diversos tipos, descritos a continuación:

- En el año 1880, Thomas Edison patentó la lámpara incandescente, cuyo filamento inicialmente estaba hecho de carbono. Años más tarde, este material fue reemplazado por tungsteno, marcando un importante avance en la tecnología de iluminación [25]. La funcionalidad consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por el filamento, este se calienta hasta la incandescencia. Generalmente, posee aproximadamente un rendimiento de 14 lm/W. A través de la Figura 13 se observa cómo las luminarias incandescentes se clasifican, en su forma estándar (usada en interiores), tipo reflector (par), reflectoras y tubulares [16].



Figura 13: Lámparas incandescentes estándar

Fuente: [16].

- Normalmente, la luminaria estándar contiene una ampolla de cristal con un gas inerte. Este al contener una proporción de halógenos, pueden existir otras clases como elipsoidal, dicroica, bipin, QR111, lineal y de tipo par, visto en la Figura 14 [16].



Figura 14: Lámparas incandescentes halógenas

Fuente: [16].

- Existen luminarias con descargas en gas, como las de vapor de sodio, tal como se ilustra en la Figura 15. Existen tres tipos, de baja presión cuya longitud de onda oscila a los 589 nm (color amarillo anaranjado), otra usada en alumbrado público como la de alta presión, que presenta longitudes entre los 550 y 650 nm pero con un Ra pobre igual a 25. Por

último, se tiene una luminaria de vapor de sodio confort, similar a la alta presión, salvo que su Ra es de 60 [16].



Figura 15: Lámparas de vapor de sodio
Fuente: [16].

- Otra luminaria empleada en alumbrado público es el vapor de mercurio de alta presión, el cual posee un tubo de descarga y un gas inerte (argón). Similar al caso anterior, presenta un Ra pobre; sin embargo, con recubrimientos especiales puede alcanzar un valor Ra de 52 y una temperatura de color igual a 3300 K [16].
- Existen luminarias de luz blanca con mejor Ra que las de sodio y son las denominadas halogenuros metálicos, visto en la Figura 16. Este utiliza distintos polvos fluorescentes que van dentro de la ampolla de vidrio, junto a la descarga de otros metales, con el propósito de mejorar la reproducción de color. Este tipo de lámparas suelen utilizarse en plazas o estadios [16].



Figura 16: Lámparas de halogenuros metálicos

Fuente: [16].

- Existen más luminarias como las fluorescentes (circulares, tubulares, compactas si/no integradas, de inducción y otras que contienen dispositivos en estado sólido emisores de luz (LED).

2.4. LED

El diodo LED se forma mediante un elemento electrónico semiconductor, por el cual se hace pasar una corriente eléctrica y bajo ciertas condiciones, emite luz, visto en la Figura 17. La energía luminosa puede tomar forma de fotones, estar en el espectro visible o cerca del ultravioleta [16].



Figura 17: Lámpara LED

Fuente: [16].

Las luminarias tipo LED ofrece grandes ventajas comparados con otro tipo de fuentes de luz en el alumbrado a interiores y exteriores. Las características se describen a continuación [26].

- Alto rendimiento luminoso; este va acorde a la intensidad de corriente con la que fue alimentada.
- Posee un tiempo de encendido igual a 0,25 segundos, aproximadamente.
- Emisión de luz monocromática.
- Pequeño tamaño, por lo que ofrece flexibilidad y de fácil diseño.
- Presenta hasta 50 mil horas de ciclo útil promedio.
- No posee radiación infrarroja ni ultravioleta.
- Es direccionable la luz y se lo realiza a través de lentes o reflectores.
- Mayor resistencia a vibraciones y golpes.
- Regulable y de encendido instantáneo.
- En caso de ser empleado para iluminación vial, los LED de color fríos o temperaturas de color altas son los más recomendados.

2.4.1. LED emisores de luz blanca

Desde el punto de vista lumínico, el LED opera cuando se alimenta con polarización directa y con un controlador (*driver*) para su conexión con la red

eléctrica. Generalmente, las luminarias para alumbrado público son de alta potencia. Además, son emisores de luz blanca y contienen un alto índice de reproducción cromática (Ra). Estos se pueden obtener a través de la mezcla de colores rojo, verde y azul (RGB), el segundo método comprende varios LED de color azul y colocarlos en una cámara de mezcla con fósforos; y, por último, se puede usar un LED azul con un fósforo RGB, como se muestra en la Figura 18 [16].



Figura 18: LED emisores de luz blanca
Fuente: [16].

2.4.2. Tecnologías LED para iluminación

Cuando opera un único LED, la luz emitida es baja y, por ende, se utiliza principalmente en aplicaciones como señalización en equipos electrónicos; estos suelen corresponder a los LED de nivel 0 y 1, como se muestra en la Figura 19. Para alcanzar la intensidad luminosa necesaria, comparable a las

otras lámparas mencionadas en el Apartado 2.2.7, es necesario emplear varios LED. Por ejemplo, el nivel 2 comprende una matriz de LED acoplados sobre un circuito impreso. Otro caso se observa en el nivel 3, utilizado para reemplazar luminarias incandescentes, halógenas o fluorescentes; estas se denominan Retrofit. Finalmente, se encuentran las lámparas LED formadas por varios módulos [13].



Figura 19: Topologías LED
Fuente: [13].

2.5. Alumbrado público AP

El Alumbrado Público se encarga de brindar iluminación hacia áreas públicas y calles con el objeto de mejorar la seguridad de los transeúntes y conductores; además, ofrece buena visibilidad durante la noche [27]. Dependiendo del tipo de luminaria usada en alumbrado público, puede contener diversos componentes, tal como se ilustra en la Figura 20. Este contempla una luminaria, carcasa, fusible, arrancador, soporte de fijación, entre otros [26].

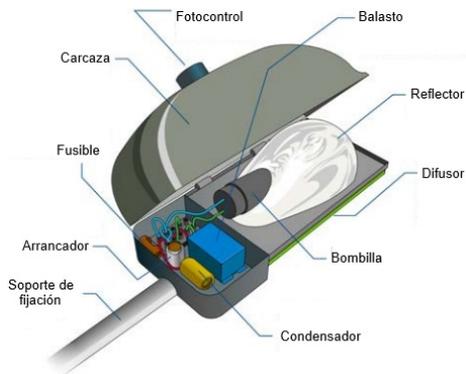


Figura 20: Componentes de una luminaria para alumbrado público
Fuente: [13].

Generalmente, para encender las luminarias de sodio, se necesita de un arrancador y un balasto; a fin de regular el flujo eléctrico. En cambio, si se emplea una luminaria tipo LED, esta utiliza un controlador específico [13], [26].

Según la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) bajo la regulación 007/23, presenta 3 tipos de alumbrado público, descritos a continuación [24].

- Alumbrado Público General:** se utiliza en vías públicas destinado al tránsito vehicular y peatonal, visto en la Figura 21. Además, incluyen iluminaciones referentes a los escenarios deportivos ya sean cubiertos o no, ubicados tanto en zonas urbanas como rurales. Por tanto, se excluye las áreas declaradas como propiedad horizontal, e iluminaciones intervenidas y ornamentales.



Figura 21: Alumbrado público vial

Fuente: [28].

- **Alumbrado Público Intervenido:** se denomina así a la iluminación vial que, bajo requerimientos establecidos por los gobiernos autónomos descentralizados (GAD), difiere de los valores de iluminación definidos por algún agente regulador.
- **Alumbrado Público Ornamental:** se utilizan en iglesias, monumentos, parques (ver Figura 22), plazas y otros de carácter similar. Al igual que el caso anterior, presentan niveles de iluminación distintos al Alumbrado Público General.



Figura 22: Alumbrado público ornamental
Fuente: [29].

2.6. ARCERNNR 007/23

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables ARCERNNR establece un marco normativo para la prestación del servicio de alumbrado público general. Acogiendo los parámetros fotométricos para el alumbrado público, se tiene una clasificación de las vías según el tráfico vehicular, peatonal y en zonas de conflicto. Cada faceta presenta varios niveles que van acorde a ciertos aspectos de la vía [24].

2.6.1. Vías para tráfico motorizado T_m

Esta clase presenta 6 niveles que van de M1 a M6 y se establece bajo la expresión de la Ecuación (5). $\sum V_{p,M}$ es una ponderación que acoge los factores definidos en la Tabla 3.

$$M = 6 - \sum V_{pM} \quad (5)$$

Tabla 3: Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (M)

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (V_{pM})	V_{pM} seleccionado
Velocidad	Muy alta, $v \geq 100$ [km/h]	1	
	Alta, $70 < v < 100$ [km/h]	0.5	
	Moderada, $40 < v \leq 70$ [km/h]	0	
Volumen del tráfico	Muy alto	1	
	Alto	0.5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0.5	
	Muy bajo	-1	
Composición de tráfico	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	
	Mezclado	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	
	Sí	0	
Densidad de la intersección	Alta	1	
	Moderada	0	
Vehículos parqueados	Se permite	0.5	
	No se permite	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías visuales	Pobre	0.5	
	Moderado o bueno	0	
		$\sum V_{pM}$	

Por medio de la Tabla 4 se describe los parámetros fotométricos de luminancia promedio, factor de uniformidad mínimo, deslumbramiento máximo inicial, factor de uniformidad longitudinal de luminancia mínimo y relación de alrededores SR mínimo.

Tabla 4: Parámetros fotométricos en vías con clase de alumbrado tipo (M)

Clase M	L_v (cd/m ²)	U_0	TI (%)	U_L	SR
	Promedio	Mínimo	Máximo	Mínimo	Mínimo
M1	[2.0, 2.4]	0.4	10	0.7	0.5
M2	[1.5, 1.8]	0.4	15	0.6	0.5
M3	[1.0, 2.1]	0.2	15	0.6	0.5
M4	[0.75, 1.0]	0.6	15	0.6	0.5
M5	[0.0, 0.75]	0.5	20	0.6	0.5
M6	[0.3, 0.5]	0.3	25	0.6	0.5

Donde:

- L_v (cd/m²): Luminancia promedio de la vía, expresada en candelas por metro cuadrado. Representa el rango permitido de valores para cada clase de alumbrado.
- U_0 : Uniformidad general mínima, calculada como la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio en la vía. Indica qué tan homogénea es la iluminación en la superficie de la carretera.
- **TI (%)**: Índice de deslumbramiento máximo permitido, expresado en porcentaje. Este parámetro evalúa el nivel de deslumbramiento que pueden experimentar los conductores debido a la iluminación.
- U_L : Uniformidad longitudinal mínima, definida como la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima a lo largo de un mismo

carril. Un valor más alto implica una distribución más uniforme de la luz en la dirección de la vía.

- **SR**: Relación de luminancia mínima de la superficie de la carretera, utilizada para evaluar la visibilidad de los objetos en la calzada.

2.6.2. Vías para tráfico peatonal T_p

Estas clases son tipo P y está destinado a ofrecer una buena iluminación hacia los transeúntes y ciclistas. Estas se ponderan $V_{p,P}$ acorde a ciertos factores expresados en la Ecuación (6) y Tabla 5.

$$P = 6 - \sum V_{pP} \quad (6)$$

Tabla 5: Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (P).

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (V_p)	V_p seleccionado
Velocidad de desplazamiento	Baja, $6 < v < 40$ [km/h]	1	
	Muy Baja, velocidad de caminar $v \leq 6$ [km/h]	0	
Volumen del Tráfico	Muy alto, tránsito superior a 480 peatones y/o ciclistas por hora	1	
	Alto, tránsito entre 300 y 480 peatones y/o ciclistas por hora	0.5	
	Moderado, tránsito entre 121 y 299 peatones y/o ciclistas por hora	0	
	Bajo, tránsito entre 60 y 120 peatones y/o ciclistas por hora	-0.5	
	Muy bajo, tránsito menor a 60 peatones y/o ciclistas por hora	-1	
Composición de Tráfico	Mezcla entre peatones, ciclistas y tránsito motorizado	2	
	Mezclado entre peatones y tránsito motorizado	1	
	Mezcla entre peatones y ciclistas	0	
	Solamente peatones	0	
	Solamente ciclistas	0	
Vehículos Estacionados	Se permite	0.5	
	No se permite	0	
Iluminación Ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	

A través de la Tabla 6 se establece los parámetros fotométricos de luminancia promedio horizontal y requisitos adicionales como los valores, vertical y semicilíndrica. Este último se emplea cuando se requiera un reconocimiento facial.

Tabla 6: Fotometrías en vías con T_p

P	E_v horizontal		Valores adicionales	
	Promedio	Mínimo	Vertical	Semicilíndrica
1	[15, 18]	3	5	3
2	[10, 12]	2	3	2
3	[7.5, 9]	1.5	2.5	1.5
4	[5, 7.5]	1	1.5	1
5	[3, 5]	0.6	1	0.6
6	[2, 3]	0.4	0.6	0.4

2.7. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP

El Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, normativa colombiana, tiene como propósito establecer criterios de los sistemas de iluminación y AP, a fin de garantizar la calidad, seguridad y definir parámetros fotométricos adecuados hacia el consumidor y medio ambiente. Existen algunos requisitos que se deben tener en cuenta para el AP, tales como [30].

- Uso del producto para una operación de funcionamiento normal, conservación e instalación. En cuestiones del desempeño del producto y la seguridad es necesario conocer los valores promedios de la presión, temperatura y/o humedad. En cambio, para ambientes especiales se

requiere ciertos aspectos como la presencia de elementos volátiles, salinidad, entre otros. Por último, dependiendo del tipo de instalación se suele requerir la resistencia a la intemperie, uso exclusivo interior, etc.

- La información técnica que incluye las características del producto.

Generalmente, para llevar a cabo una selección del tipo de luminaria, se deben tener en cuenta los parámetros fotométricos de iluminación, especificaciones técnicas del producto y otros factores como las consideraciones ambientales, económicas y arquitectónicas. Para cumplir los criterios impuestos por el fabricante se deben tener en cuenta la fotometría, vida útil, tipo, formas, instalación y dimensiones de la luminaria [30].

2.7.1. Aspectos técnicos L_v y E_v del diseño AP.

RETILAP establece unas consideraciones que deben realizarse para un buen diseño AP. Por medio de la Figura 23 se observa las clases de la iluminación según las vías vehiculares [30].

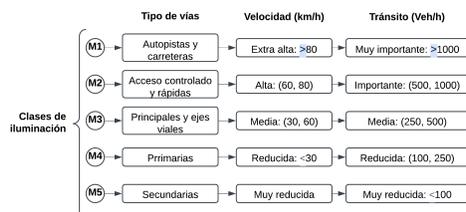


Figura 23: Clases de iluminación para vehículos.

Fuente: [30].

Según el control del tráfico y la complejidad de la vía, las clases de ilu-

minación pueden ser diferentes, tal como se visualiza en la Figura 24 [30].

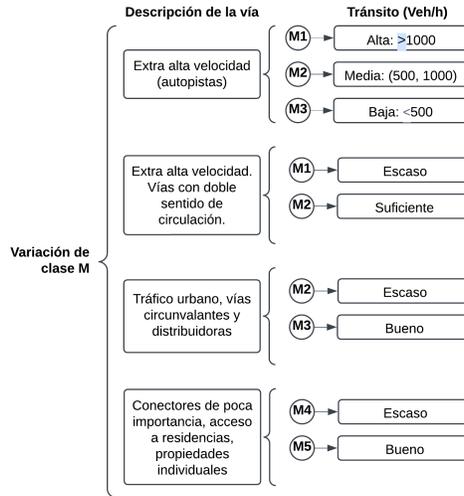


Figura 24: Variación de la clase M por el tipo de vía.

Fuente: [30].

Se establecen ciertos requerimientos de la fotometría como la L_v promedio mínimo mantenido en (cd/m^2), el factor U_o mínimo, el TI máximo inicial en porcentaje (%), el factor U_l mínimo y la relación de alrededores SR mínimo, vistos en la Figura 25 [30].

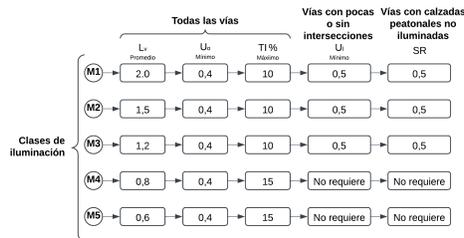


Figura 25: Fotometría para vías vehiculares - clase M.

Fuente: [30].

También se pueden realizar diseños enfocados a ciertos criterios de ilumi-

nancia y uniformidad, mencionados en la Figura 26 [30].

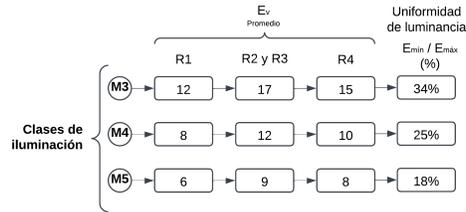


Figura 26: Iluminancia promedio en vías vehiculares.

Fuente: [30].

Los ciclistas y peatones deben ser capaces de distinguir la calzada, es decir, tener una buena visión con respecto a la textura, el pavimento, bordillos, marcas, y señales gracias a una buena iluminación. Para ello, se definen ciertos criterios indicados en la Figura 27 [30].



Figura 27: Clases de iluminación para peatones y ciclistas.

Fuente: [30].

Una vez determinada la clase P en peatones/ciclistas, es necesario conocer cuáles son los parámetros mínimos y promedio de la E_v horizontal, visto en la Figura 28 [30].

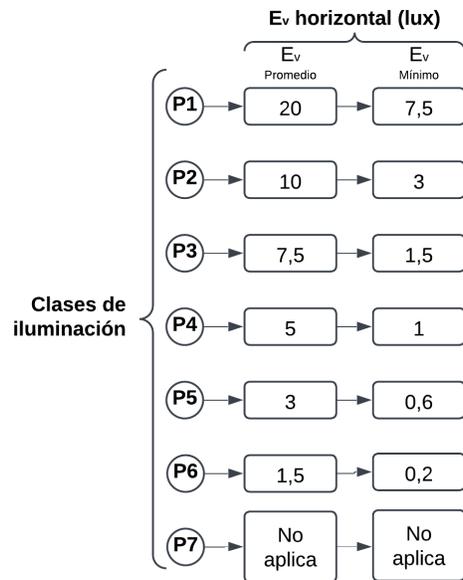


Figura 28: Especificaciones E_v para tráfico peatonal.

Fuente: [30].

Las áreas críticas son consideradas en los pasos subterráneos, cruces, rampas, áreas de difícil acceso, cruces ferroviarios, aeropuertos y túneles. Ante ello, se establecen los parámetros E_v sobre toda la superficie y U_o general porcentual, detallado a través de la Figura 29 [30].

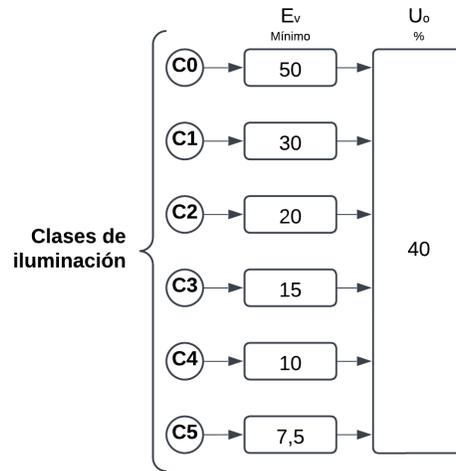


Figura 29: Especificaciones E_v y U_o para áreas críticas.
Fuente: [30].

2.7.2. Localización de puntos de iluminación

Teniendo en cuenta las clases M y P , junto a sus parámetros fotométricos, el diseñador debe ser capaz de aplicar una configuración para resolver las especificaciones de iluminación. Para ello, se toma como base los criterios establecidos de la Figura 30; donde S representa la separación entre luminarias y H es la altura de la lámpara con respecto al suelo [30].

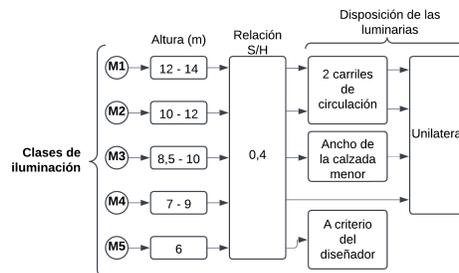


Figura 30: Configuración en la disposición de luminarias.
Fuente: [30].

La disposición de las luminarias puede ser unilateral, es decir, están situadas a un lado de la vía, tal como se visualiza en la Figura 31; donde W representa el ancho de la calle. Esta configuración cumple si y solo si la calzada no supera los 20° de inclinación, ya que al no seguir dicha recomendación, se desvía la iluminación y genera contaminación lumínica [30].

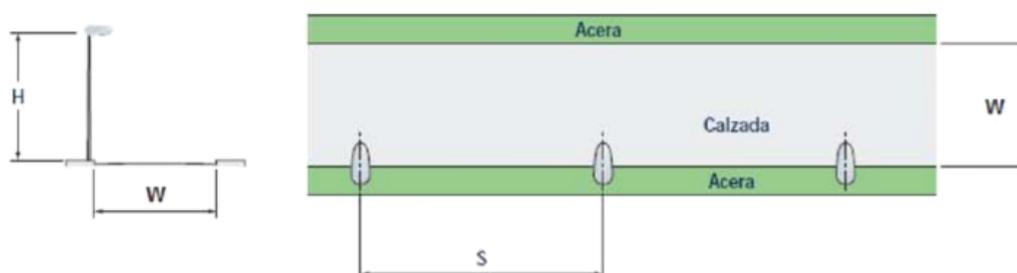


Figura 31: Luminarias de disposición unilateral.

Fuente: [30].

En la Figura 32 se observa otra configuración de luminarias, los cuales poseen 2 carriles de circulación junto a un separador que no excede el ancho b de 1,5 m [30].

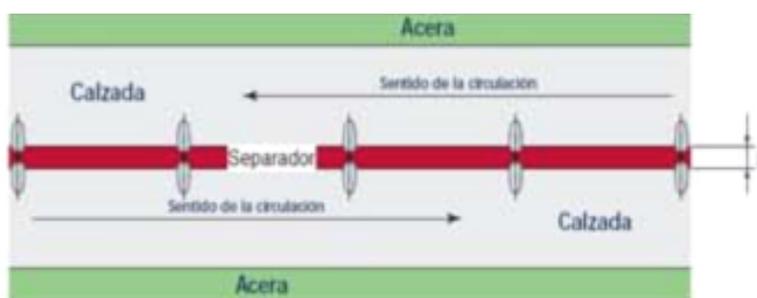


Figura 32: Luminarias con disposición central doble.

Fuente: [30].

En la Figura 33 se observa cómo las luminarias se encuentran en forma

alternada, siendo $1 < W/H < 1,50$ m. Normalmente, esta disposición suele estar en áreas comerciales, zonas turísticas o de mayor afluencia de transeúntes en las noches [30].



Figura 33: Luminarias de disposición alternada.

Fuente: [30].

2.8. Comisión Internacional de la Iluminación CIE

La CIE , normativa internacional, establece ciertos criterios similares a la norma RETILAP, salvo que en esta sección se basa en la localización de los puntos de cálculo.

2.8.1. Puntos de cálculo en un carril de circulación.

En la Figura 34 se observa el espacio uniforme de estos. Con ello, se asegura la evaluación de los niveles de iluminación, tomando como referencia las direcciones longitudinales y transversales, establecidos en las Ecuaciones 7 y 8; respectivamente [31].

Si las luminarias se encuentran escalonadas (ver Figura 35), el campo de cálculo es similar a las Ecuaciones antes mencionadas.

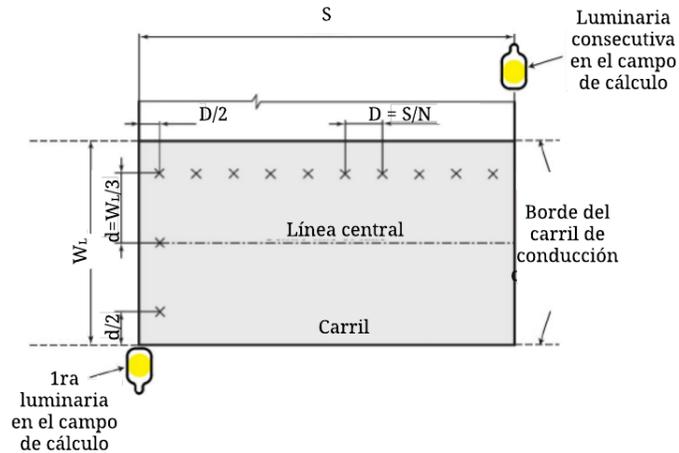


Figura 35: Puntos de cálculo en una vía de circulación y lámparas escalonadas.

Fuente:[31].

2.8.2. Aceras y ciclovías.

La representación de los puntos de cálculo son similares a lo mencionado en el Apartado 2.6.1, salvo que su aplicación se orienta a ciclistas o peatones. La calzada está delimitada por sus bordes y las líneas transversales que pasan por 2 lámparas consecutivas. Además, deben colocarse de manera uniforme, tal como se observa en la Figura 36. Por lo que a través de la Ecuación (9) se calcula el espaciamiento d_F , donde los puntos n se definen de la siguiente manera: en caso de que $W_F \leq 1 \text{ m} \rightarrow n = 1$, eso implica que los puntos se ubican en la línea central. Caso contrario, $d_F = 1 \text{ m}$ [31].

$$d_F = \frac{W_F}{n} \quad (9)$$

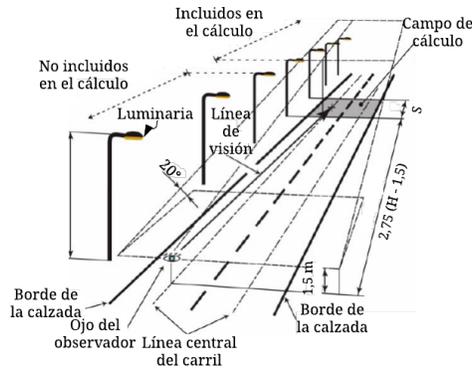


Figura 36: Ubicación de los puntos de cálculo en una vía.

Fuente:[31].

2.9. Diagramas fotométricos

2.9.1. Isolux

Este diagrama muestra una representación lumínica en un plano horizontal en función de la altura de montaje, tal como se indica en la Figura 37. Este permite realizar cálculos punto a punto en instalaciones de alumbrado público (AP), industriales o en escenarios deportivos. Además, cubre una distancia de $[-2, 5, 5]$ y $[0, 7]$ veces la altura de montaje en los sentidos transversal y longitudinal; respectivamente, siempre y cuando la luminaria esté en la posición $(0, 0)$. Para ello, se deben especificar los factores de corrección en base a la altura de montaje y al flujo luminoso de la luminaria seleccionada [32].

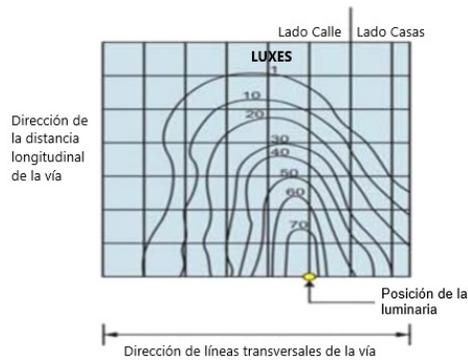


Figura 37: Diagrama isolumen.
Fuente:[32].

2.9.2. Isocandela

Otro diagrama a considerar es de tipo polar para la intensidad luminosa. Para ello, se utiliza el sistema de coordenadas que proporciona la Comisión Internacional de Iluminación CIE, visualizado en la Figura 38; con el cual se puede generar mapas 3D a fin de establecer los valores de uniformidad y eficacia [33].

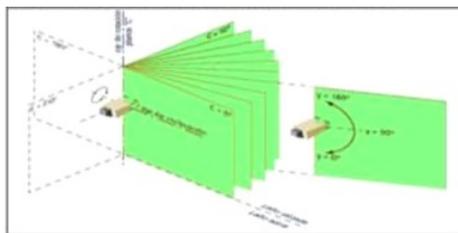


Figura 38: Sistema de coordenadas de la CIE.
Fuente:[33].

Además, se puede decir que la luminaria está ubicada en el centro de una esfera y sobre esa área se conectan los puntos de igual magnitud en la

intensidad, tal como se visualiza en la Figura 39 [34].

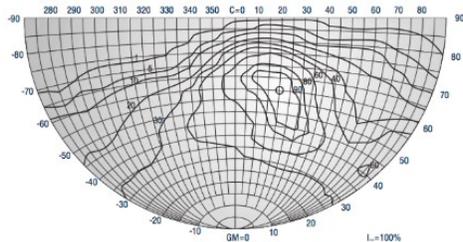


Figura 39: Diagrama isocandela.

Fuente:[34].

Este plano se divide en dos grupos, el primero denominado como vertical C sirve para definir la clase de luminaria en función de los efectos deslumbrantes sobre los peatones. En la Figura 40 se observan las secciones de una lámpara, medido en grados. A 0° y 90° se indican distribuciones frontales y laterales; respectivamente. Por tanto, este plano indica cómo se realiza una distribución de la luz [33].

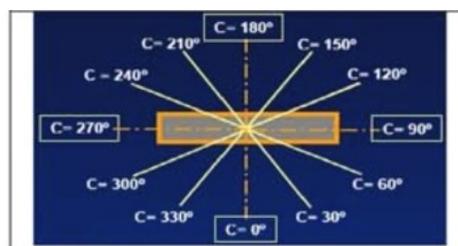


Figura 40: Plano vertical.

Fuente:[33].

El segundo comprende cierto ángulo vertical γ que muestra una representación del plano vertical de modo inclinado, tal como se ilustra en la Figura 41. Gracias a los diversos ángulos de elevación se puede conocer la intensidad

de la luz [33].

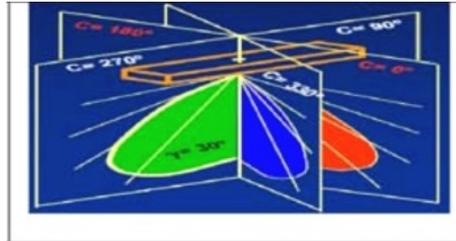


Figura 41: Ángulo vertical.

Fuente:[33].

2.9.3. Ciclo de vida útil

La vida útil de una luminaria es de gran importancia, porque en ella se puede conocer el desgaste de los elementos en función del tiempo, tal como se ilustra en la Figura 42. Generalmente, los fabricantes proporcionan esta información mediante un catálogo sobre las curvas de depreciación bajo condiciones de funcionamiento normales, estas a su vez cambian dependiendo del número de ciclos encendido/apagado y de la sensibilidad. Además, el catálogo indicará la vida útil promedio de la luminaria [35].

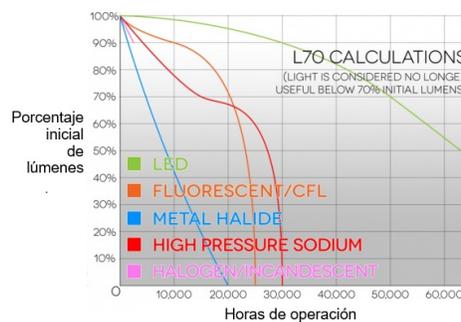


Figura 42: Vida útil de las luminarias.

Fuente:[35].

2.10. Cálculo E_v promedio de una vía

El cálculo de iluminancia puede ser aplicado bajo ciertos métodos como el europeo de 9 puntos, coeficiente de utilización K_t y por medio de un software computacional.

2.10.1. Método de los 9 puntos

El primer método consiste en ubicarlos de forma simétrica, similar a un rectángulo de dimensiones, lado $S/2$ y ancho W ; tal como se observa en la Figura 43. De modo que, el rectángulo presenta 4 partes, 2 por cada eje, longitudinal y transversal cuyas dimensiones son $(W/2, S/2)$ [36].

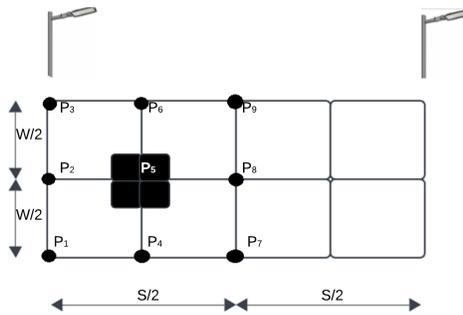


Figura 43: Método europeo de los 9 puntos.

Fuente:[36].

La E_v total toma en cuenta el promedio de los 9 puntos, teniendo en cuenta que los puntos extremos, intermedios y centrales presentan una contribución de 0,25, 0,5 y 1. Por ejemplo, la E_5 del punto P_5 cumple con todo el área establecida (sombreada), por lo que la iluminación recae sobre ella. En cambio, los puntos P_1 , P_3 , P_7 y P_9 se ponderan al 25%. P_2 , P_4 , P_6 y

P_8 representan iluminaciones con áreas del 50 % sobre la calle. Finalmente, a través de la Ecuación (10) se visualiza la iluminancia promedio E_{prom} del método de los 9 puntos.

$$E_{\text{prom}} = \frac{E_1 + E_3 + E_7 + E_9 + 2(E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4E_5}{16} \quad (10)$$

Aplicando la misma metodología, en la Figura 44 se observa para diferentes localizaciones de postes y vías [30].

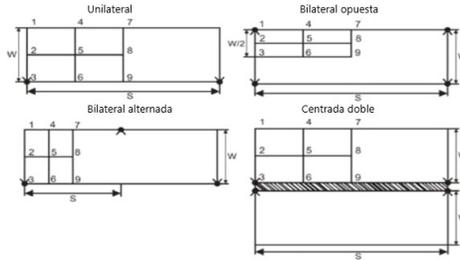


Figura 44: Método de 9 puntos según la disposición de luminarias.

Fuente:[30].

2.10.2. Método mediante software

A pesar de que esta técnica (9 puntos) es una aproximación, suelen emplear softwares como Dialux, Relux, entre otros; para el cálculo de iluminación y así evitar la obtención de los valores en su forma manual. De esa manera se puede incrementar el número de puntos de cálculo [37], [38].

2.10.3. Coeficiente de utilización K_t

Un segundo método para el cálculo de E_{prom} , es a través del K_t , tomando como requerimientos datos conocidos del flujo mantenido Φ de la luminaria, factor de mantenimiento F_M , las distancias S y W , visto en la Ecuación (11) [39].

$$E_{\text{prom}}(\text{lux}) = \frac{\Phi \times K_t \times F_M}{S \times W} \quad (11)$$

K_t se expresa como el porcentaje de Φ que cae sobre el suelo de la calle, en función del W , tal como se observa en la Figura 45. Se denotan 2 curvas K , una denominada como K_1 que representa el Φ hacia la calle y otra K_2 que se refleja hacia atrás. K_1 y K_2 se calculan como la razón entre K_1/H y K_2/H ; respectivamente [39].

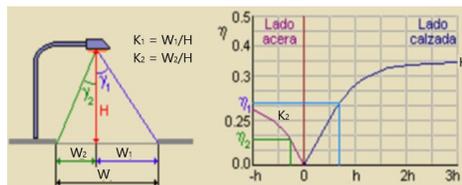


Figura 45: Ejemplo de K_1 en base a la ubicación unilateral de luminaria.

Fuente:[39].

CAPÍTULO 3

3. Estado actual del Sistema de Alumbrado Público de la Calle Ignacio Jaramillo del Cantón Gualaceo Provincia del Azuay.

El estado actual del sistema de alumbrado público en la calle Ignacio Jaramillo consta de 66 luminarias de vapor de sodio, que presentan problemas de eficiencia energética y calidad de iluminación. Su antigüedad y tecnología obsoleta resultan en niveles inadecuados de iluminación, creando áreas oscuras que afectan la seguridad y visibilidad para peatones y conductores. Esto resalta la necesidad de reemplazar estas luminarias por tecnología más moderna, como las luminarias LED, que ofrecen un mejor rendimiento, mayor sostenibilidad y una reducción significativa en el consumo energético. La implementación de estas mejoras reducirá los costos operativos, creando un entorno más seguro y funcional para todos los usuarios.

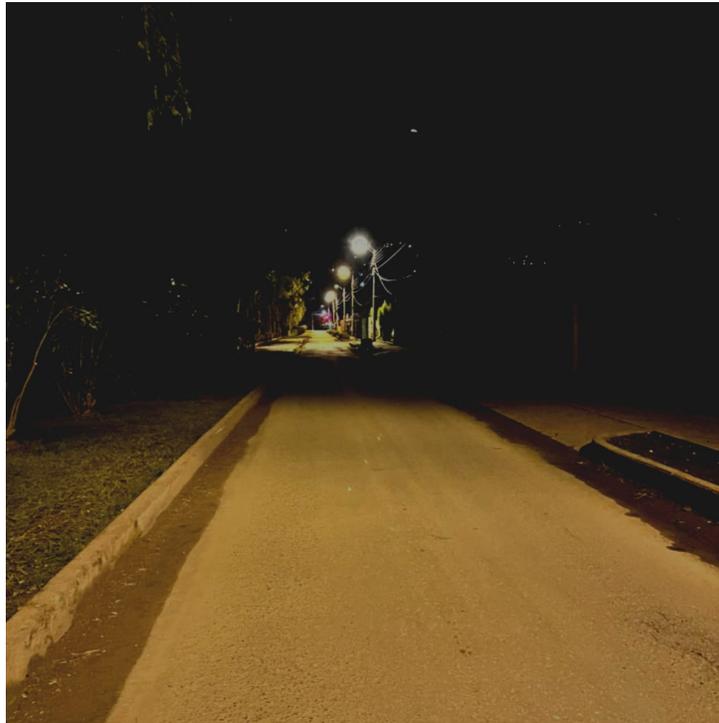


Figura 46: Iluminación deficiente en la Calle Ignacio Jaramillo.
Fuente: [Autores].

3.1. Luminarias de vapor de sodio

Existen un total de 66 luminarias de vapor de sodio en la calle Ignacio Jaramillo, las cuales se detallan en la tabla 7 con su respectiva potencia instalada.

Tabla 7: Cantidad de luminarias de vapor de sodio en la calle Ignacio Jaramillo.

Potencia [W]	Total de Luminarias	Porcentaje [%]
150	20	48.4 %
250	46	51.6 %
Total	66	100 %

3.2. Características de los postes



Figura 47: Característica de los postes
Fuente: [Autores].

Los postes que conforman el sistema de alumbrado público de la calle Ignacio Jaramillo poseen características específicas diseñadas para satisfacer las necesidades de iluminación de esta vía. Estas características pueden variar en función de su diseño y propósito, pero en general, se destacan las siguientes:

Tabla 8: Características de los postes existentes en la calle.

Tipo de Poste	Altura (m)	Material	Cantidad	Porcentaje de distribución de postes (%)
PHC11_350	11	Hormigón	10	15
PHC12_400	12	Hormigón	39	85
TOTAL			49	100,00

En la Tabla 8 se presentan las características específicas de los postes del sistema de alumbrado público en la calle Ignacio Jaramillo, que son de hormigón armado, lo que les otorga gran resistencia y durabilidad. Cuentan con una altura de 11 y 12 metros. La estructura tiene una capacidad de carga entre 350 y 400 kilogramos, asegurando su estabilidad en diversas condiciones climáticas. La elección del hormigón como material principal garantiza la longevidad de la infraestructura y mejora la estética del entorno.

Además, la distribución de los postes se refleja en el porcentaje de distribución de postes (%), donde el 15% corresponde a postes de 11 metros y el 85% a postes de 12 metros, lo que permite una adecuada uniformidad en la iluminación de la vía. Esta uniformidad en el diseño refuerza la identidad visual de la calle Ignacio Jaramillo y potencia el sistema de iluminación.

3.3. Disposición del alumbrado público

El sistema de alumbrado público en la calle Ignacio Jaramillo se caracteriza por la implementación de diferentes tipos de distribuciones. Principalmente, se utilizan la distribución unilateral, que coloca las luminarias en un solo

lado de la calle, y la distribución combinada o mixta, que sitúa luminarias en ambos lados para iluminar tanto la vía como las áreas peatonales.

3.3.1. Distribución Unilateral

Esta distribución actualmente en la avenida no cuenta con una uniformidad lumínica eficiente, ya que las luminarias están instaladas en un solo lado de la vía. Este diseño, común en ciertos entornos urbanos, presenta desafíos importantes en términos de cobertura adecuada, especialmente en una vía de alta transitabilidad como esta.

Actualmente, las luminarias de vapor de sodio utilizadas en este tramo muestran signos de desgaste debido a su limitada vida útil. Esto ha generado una disminución en la calidad de la iluminación, dejando varias áreas con niveles insuficientes de luz. Estas condiciones afectan la seguridad tanto del tráfico vehicular como del peatonal, incrementando los riesgos de accidentes y contribuyendo a una percepción de inseguridad en la zona.

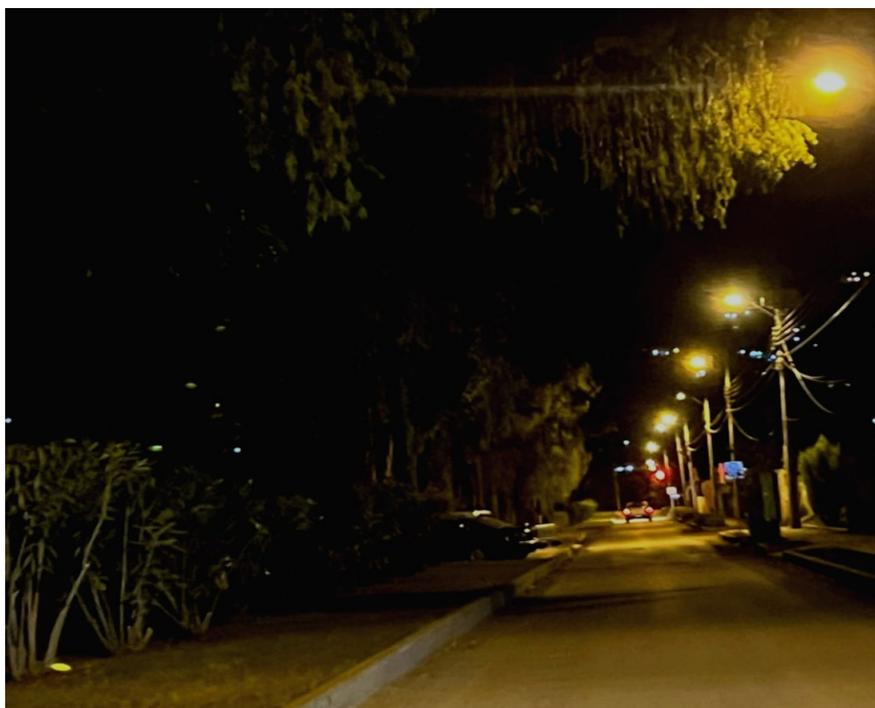


Figura 48: Distribución unilateral de luminarias.

Fuente: [Autores].

3.3.2. Distribución Combinada o Mixta

La distribución combinada o mixta del alumbrado público abarca solo una pequeña parte de la vía. Actualmente, se han instalado 20 luminarias en esta configuración, distribuidas de manera alternada en ambos lados de la calle. Esta disposición tiene como objetivo mejorar la cobertura lumínica en áreas específicas, especialmente en zonas con mayor circulación peatonal o donde se requieren niveles de iluminación más altos para garantizar la seguridad.

Aunque esta configuración representa solo una fracción de la calle, su implementación ha permitido evaluar sus beneficios en términos de uniformidad

lumínica. Sin embargo, el sistema actual aún depende de tecnologías de iluminación menos eficientes, como las lámparas de vapor de sodio, lo que ha generado deficiencias en la calidad de la luz y en la eficiencia energética.



Figura 49: Distribución mixta de luminarias.
Fuente: [Autores].

3.4. Características Actuales de la Calle Ignacio Jaramillo .

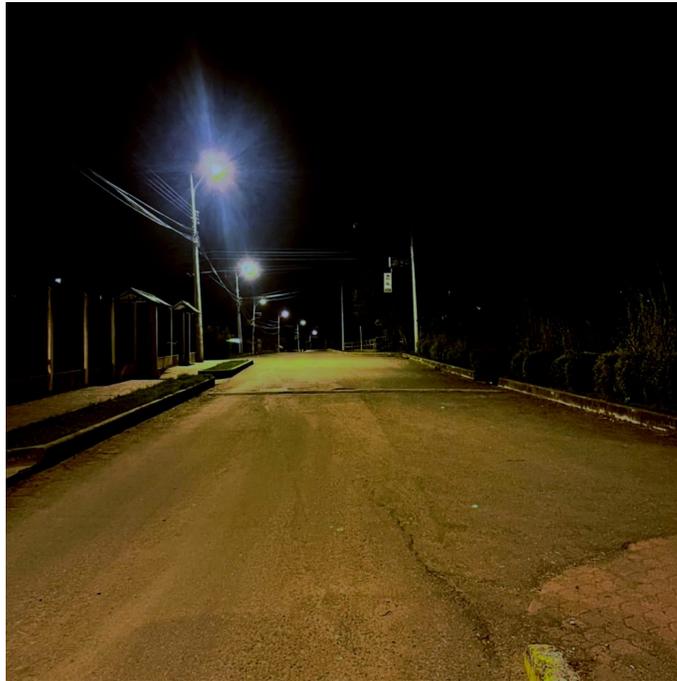


Figura 50: Vía tipo M2 según la regulación ARCERNNR 007/23.

Fuente: [Autores].

La Calle Ignacio Jaramillo, ubicada en el Cantón Gualaceo, Provincia del Azuay, presenta características específicas que determinan las condiciones actuales de su sistema de alumbrado público. Esta vía combina tramos destinados al tráfico vehicular y al tránsito peatonal, lo que requiere un análisis diferenciado para cada segmento. Estas características fueron evaluadas para establecer la clase de alumbrado necesaria según la regulación ARCERNNR-007/23 [24].

A continuación, se presenta el cálculo de clases de alumbrado y parámetros fotométricos por vías.

3.4.1. Evaluación de la Clase de Alumbrado para la Vía con Tráfico Motorizado

La tabla 9 presentada corresponde a los criterios establecidos en la normativa para la selección de la clase de alumbrado en vías destinadas al tráfico motorizado. En ella se especifican los parámetros clave que influyen en la determinación del nivel de iluminación requerido, considerando factores relacionados con las características y el uso de la vía.

Cada parámetro tiene opciones específicas, a las cuales se asignan valores de ponderación (VpM). Estos valores representan la influencia de cada característica en la clasificación del alumbrado.

Tabla 9: Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (M)

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (V_{pM})	V_{pM} seleccionado
Velocidad	Muy alta, $v \geq 100$ [km/h]	1	
	Alta, $70 < v < 100$ [km/h]	0.5	
	Moderada, $40 < v \leq 70$ [km/h]	0	0
Volumen del tráfico	Muy alto	1	
	Alto	0.5	
	Moderado	0	0
	Bajo	-0.5	
	Muy bajo	-1	
Composición de tráfico	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	2
	Mezclado	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	1
	Sí	0	
Densidad de la intersección	Alta	1	
	Moderada	0	0
Vehículo parqueados	Se permite	0.5	0.5
	No se permite	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	0
	Baja	-1	
Guías visuales	Pobre	0.5	0.5
	Moderado o bueno	0	
$\sum V_{pM}$			4

Con base en los valores ponderados de la tabla anterior, se calculó la clase de alumbrado necesaria utilizando la fórmula:

$$M = 6 - \sum V_{pM}$$

La sumatoria de los valores es:

$$\sum V_{pM} = 0 + 0 + 2 + 1 + 0 + 0,5 + 0 + 0,5 = 4$$

Por lo tanto, la clase de alumbrado para la vía es:

$$M = 6 - 4$$

$$M = 2$$

3.4.2. Parámetros Fotométricos para la Vía con Tráfico Motorizado

Se determinó que la Calle Ignacio Jaramillo, según la regulación AR-CERNNR 007/23, es una vía tipo M2, lo que se debe a varios factores evaluados en función de los parámetros establecidos por la normativa. Estos factores incluyen el flujo vehicular, la velocidad permitida de 70 km/h, el tráfico moderado y la composición mixta de vehículos motorizados y no motorizados, además de la falta de separación de las vías y la densidad moderada de intersecciones [24].

Tabla 10: Parámetro fotométrico que se debe cumplir para una vía categoría M2 con tráfico motorizado

Clase de iluminación	Campo de aplicación				
	Todas las vías			Vías si o con pocas intersecciones	Vías con aceras no iluminadas para clases P1 a P4
	Luminancia promedio $L_{av}(cd/m^2)$ mantenido Mínimo	Factor de uniformidad (U_o) mínimo	$TI\%$ Máxima inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U_L mínimo	Relación de alrededores (SR) mínima
M1	2	0,4	10	0,7	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,7	0,5
M3	1	0,4	15	0,6	0,5
M4	0,75	0,4	15	0,6	0,5
M5	0,5	0,35	15	0,4	0,5
M6	0,3	0,35	20	0,4	0,5

3.4.3. Evaluación de la Clase de Alumbrado para la Vía con Tráfico Peatonal

La Tabla 11 , establece los criterios normativos necesarios para determinar la clase de alumbrado en vías destinadas al tráfico peatonal. Estos criterios evalúan factores esenciales del entorno y del uso de la vía, como la velocidad de desplazamiento, el volumen , la composición del tráfico y las condiciones de iluminación ambiental.

Cada parámetro incluido en la tabla se acompaña de diversas opciones, a las cuales se asignan valores de ponderación (V_p). Estos valores reflejan

la importancia relativa de cada característica en la clasificación del nivel de iluminación requerido.

Tabla 11: Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (P).

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (V_p)	V_p seleccionado
Velocidad de desplazamiento	Baja, $6 < v < 40$ [km/h]	1	1
	Muy Baja, velocidad de caminar $v \leq 6$ [km/h]	0	
Volumen del Tráfico	Muy alto, tránsito superior a 480 peatones y/o ciclistas por hora	1	
	Alto, tránsito entre 300 y 480 peatones y/o ciclistas por hora	0.5	
	Moderado, tránsito entre 121 y 299 peatones y/o ciclistas por hora	0	0
	Bajo, tránsito entre 60 y 120 peatones y/o ciclistas por hora	-0.5	
	Muy bajo, tránsito menor a 60 peatones y/o ciclistas por hora	-1	
Composición de Tráfico	Mezcla entre peatones, ciclistas y tránsito motorizado	2	
	Mezclado entre peatones y tránsito motorizado	1	
	Mezcla entre peatones y ciclistas	1	1
	Solamente peatones	0	
	Solamente ciclistas	0	
Vehículos Estacionados	Se permite	0.5	0.5
	No se permite	0	
Iluminación Ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	0
	Baja	-1	

Con base en los valores ponderados de la tabla anterior, se calculó la clase de alumbrado necesaria utilizando la fórmula:

$$P = 6 - \sum V_{pP}$$

La sumatoria de los valores es:

$$\sum V_{pM} = 1 + 0 + 1 + 0,5 + 0 = 2,5$$

Por lo tanto, la clase de alumbrado para la vía es:

$$P = 6 - 2,5$$

$$P = 3,5$$

En este caso el resultado es 3.5 , no es un numero entero, entonces el valor será igual al menor valor de la suma según la normativa, como el resultado es 3 la clase de iluminación para el tráfico peatonal es P3 por lo que se tiene que cumplir los parámetros de la tabla 12.

Tabla 12: Parámetros fotométricos para tráfico peatonal

Clase de iluminación	Valor promedio horizontal máximo (lx)	Valor promedio horizontal mínimo (lx)	Valor horizontal mínimo (lx)	Valor vertical	Valor semicilíndrica
P1	18	15	3	5.0	3.0
P2	12	10	2	3.0	2.0
P3	9.0	7.5	1.5	2.5	1.5
P4	7.5	5.0	1.0	1.5	1.0
P5	5.0	3.0	0.6	1.0	0.6
P6	3.0	2.0	0.4	0.6	0.4

3.5. Uniformidad lumínica de la Calle Ignacio Jaramillo

Para evaluar si la iluminación de la calle cumple con los estándares de uniformidad lumínica establecidos por las normativas, se aplicó el método de la cuadrícula. Esta técnica, ampliamente utilizada en el diseño e implementa-

ción de sistemas de iluminación urbana, consiste en dividir el área a iluminar en una rejilla imaginaria. Luego, se determina la cantidad de luz necesaria para cada sección de la rejilla, asegurando así una distribución uniforme y adecuada de la iluminación en toda la superficie.

Este enfoque se aplicará de manera separada para las vías de tráfico motorizado y peatonal, dado que las necesidades de iluminación para ambos tipos de tráfico son diferentes.

3.5.1. Método de la Cuadrícula para la Iluminación de la Vía para Tráfico Motorizado

Se realizaron mediciones de iluminancia (lux) en puntos distribuidos a lo largo de la vía, siguiendo los parámetros definidos por las normativas vigentes. Se tomaron cinco lecturas por luminaria y se calculó el promedio para obtener valores más precisos del estado lumínico actual. Además, se determinaron los valores de luminancia promedio, luminancia mínima (E_{min}), y el Factor de uniformidad U_o mínimo. Al aplicar este método, se obtuvieron los resultados siguientes:

Tabla 13: Mediciones obtenidas en campo

Mediciones obtenidas en campo	
E_{media}	37,68 lx
E_{min}	12 lx
Uniformidad U_o	0,318
E_{min} ≥ E_{media}/2	No cumple
Iluminación NO Uniforme	

Los resultados obtenidos para la iluminación de la vía destinada al tráfico motorizado de la Calle Ignacio Jaramillo muestran que, aunque la luminancia promedio (E_{media}) cumple con el nivel mínimo exigido por la normativa para la clase de iluminación M2, el sistema presenta deficiencia crítica en la uniformidad lumínica U_o ya que está por debajo del valor mínimo requerido de 0,4. Estas falencias evidencian que la distribución de la luz a lo largo de la vía no es uniforme, lo que puede generar zonas con baja visibilidad y comprometer la seguridad de los usuarios.

Asimismo, se concluye que la iluminación de la vía destinada al tráfico motorizado de la Calle no cumple con la relación establecida por el método de la cuadrícula, ni con los parámetros exigidos por la normativa ARCERNNR 007/23. Estas deficiencias reflejan la necesidad de implementar un rediseño del sistema de alumbrado público para garantizar que cumpla con los estándares técnicos y mejore las condiciones de iluminación, asegurando una mayor seguridad y comodidad para el tránsito motorizado.

3.5.2. Método de la Cuadrícula para la Iluminación de la Vía para Tráfico Peatonal

Se realizaron mediciones de iluminancia (lux) en puntos estratégicos a lo largo de las áreas destinadas al tráfico peatonal, siguiendo los criterios establecidos en las normativas vigentes. Para garantizar una evaluación precisa del estado lumínico actual, se tomaron cinco lecturas por luminaria y se calculó el promedio correspondiente. Asimismo, se determinaron los valores de iluminancia promedio, iluminancia mínima (E_{min}) y el Factor de uniformidad U_o mínimo. Al aplicar este método, se obtuvieron los resultados siguientes:

Tabla 14: Mediciones obtenidas en campo

Mediciones obtenidas en campo	
E_{media}	9.98 lx
E_{min}	1 lx
Uniformidad U_o	0.1
$E_{min} \geq E_{media}/2$	No cumple
Iluminación NO Uniforme	

Los resultados obtenidos para la iluminación de la vía destinada al tráfico peatonal indican que la luminancia promedio (E_{media}) cumple con el nivel mínimo requerido por la normativa para la clase de iluminación P3. Sin embargo, el sistema presenta deficiencias significativas en la luminancia mínima (E_{min}), ya que no alcanza el valor mínimo estipulado de 1.5 lx. Además, la uniformidad lumínica tampoco cumple con el requisito normativo de 0.25.

Estas falencias evidencian una distribución desigual de la luz a lo largo de la vía, lo que puede generar áreas con baja visibilidad y comprometer la seguridad de los peatones.

Además, se concluye que la iluminación de la vía destinada al tráfico peatonal de la calle no cumple con la relación establecida por el método de la cuadrícula, ni con los parámetros exigidos por la normativa ARCERNNR 007/23. Estas deficiencias resaltan la necesidad de rediseñar el sistema de alumbrado público para garantizar el cumplimiento de los estándares técnicos, mejorar las condiciones de iluminación y proporcionar mayor seguridad y confort para los peatones.

3.6. Resumen del estado actual del alumbrado público en la Calle Ignacio Jaramillo.

Tabla 15: Resumen de las Características de la Calle.

Resumen de las características de la Calle Ignacio Jaramillo	
Luminarias	
Cantidad de luminarias de vapor de sodio	66
Características de los postes	
Total de postes	49
Alturas	9 - 12m
Materiales	Hormigón
Capacidad de ruptura	350 - 400kg
Distribución de alumbrado público	
Distribución Unilateral	46
Distribución Mixta	20
Calle Ignacio Jaramillo según la normativa	
Tipo de Vía con Tráfico Motorizado	M2
Tipo de Vía con Tráfico Peatonal	P3
Luminosidad de la Calle Ignacio Jaramillo	
Iluminación promedio con Tráfico Motorizado	37.686 lx
Uniformidad Lumínica con Tráfico Motorizado	NO UNIFORME
Iluminación promedio con Tráfico Peatonal	9.98 lx
Uniformidad Lumínica con Tráfico Peatonal	NO UNIFORME

La Calle Ignacio Jaramillo, ubicada en el Cantón Gualaceo, en la provincia de Azuay, cuenta con 66 luminarias de alumbrado público, todas equipadas con lámparas de vapor de sodio. Esto significa que el 100 % de las luminarias instaladas utilizan esta tecnología, la cual se planea reemplazar en el marco de este proyecto.

A lo largo de la vía, se encuentran 49 postes cuya altura varía entre 11 y 12 metros. Estos postes están fabricados de hormigón y tienen una capacidad

de carga de ruptura de entre 350 y 400 kg. Aunque la altura de los postes es adecuada para soportar las luminarias, algunos presentan signos de deterioro y necesitan ser sustituidos.

En cuanto a la iluminación, se ha registrado un promedio de 37.686 luxes para el tráfico motorizado y 9.98 luxes para el tráfico peatonal. Sin embargo, ambos valores no cumplen con los parámetros de uniformidad mínima establecidos por la normativa ARCERNNR 007/23. Esto indica que la distribución del alumbrado público no es adecuada, lo que contribuye a una uniformidad lumínica deficiente en la calle. Por estas razones, es fundamental desarrollar un nuevo diseño que garantice las características lumínicas exigidas por las normativas ecuatorianas, con el objetivo de mejorar la seguridad y la funcionalidad de la Calle.

CAPÍTULO 4

4. Especificaciones para el Diseño del Sistema de Iluminación Pública con Tecnología LED en la Calle Ignacio Jaramillo

4.1. Análisis Técnico para la Implementación del Sistema de Iluminación Pública con Tecnología LED en la Calle Ignacio Jaramillo

El presente análisis técnico tiene como objetivo evaluar las condiciones necesarias para la implementación de un sistema de alumbrado público con tecnología LED en la Calle Ignacio Jaramillo, en reemplazo de las luminarias de vapor de sodio actualmente instaladas. Se busca mejorar la visibilidad y la seguridad de la vía, reduciendo el consumo energético y los costos operativos. Se considerará la selección de luminarias adecuadas, la ubicación óptima de los postes y los criterios de distribución lumínica que aseguren el cumplimiento de las normativas de eficiencia energética, garantizando así una iluminación uniforme y segura.

4.1.1. Criterios de Selección y Distribución de Luminarias

Para la elaboración de este diseño, se estandarizará la altura de los postes de hormigón de 12 metros, para garantizar la distribución uniforme de las luminarias LED se planificará estratégicamente para optimizar la visibilidad, seguridad y eficiencia energética para las calles, avenidas, parques y demás espacios urbanos. Con esto se busca maximizar el aprovechamiento de la infraestructura existente, reducir el consumo energético y proporcionar la mejor calidad de la iluminación en la vía pública.

4.1.2. Lámpara de doble brazo

Estas estructuras ofrecen ventajas significativas en comparación con las de brazo simple, ya que proporcionan una mayor cobertura lumínica al proyectar la luz en ambas direcciones. Esto permite iluminar áreas más amplias con una distribución óptima, mejorando la eficiencia energética. Además, su implementación reduce los costos de infraestructura al requerir menos postes, optimiza la distribución de la luz al minimizar sombras y garantiza una iluminación uniforme. También favorece una planificación urbana más eficiente al reducir la cantidad de elementos estructurales en el espacio público.



Figura 51: Ejemplo de una lámpara de doble brazo
Fuente: Catalogo S.A Schreder [40].

4.2. Elementos Técnicos del Sistema

4.2.1. Poste de Hormigón

Es una estructura vertical fabricada con concreto armado, es utilizada en su gran mayoría en infraestructuras eléctricas, alumbrado público. Su diseño le proporciona una vida útil larga, mayor solidez estructural, resistencia a la corrosión y seguridad eléctrica. Todos los postes deben cumplir con las especificaciones técnicas que son, los de 9 metros de 400 Kg para redes de baja tensión y 12 metros 500 kg para redes de media tensión [41].

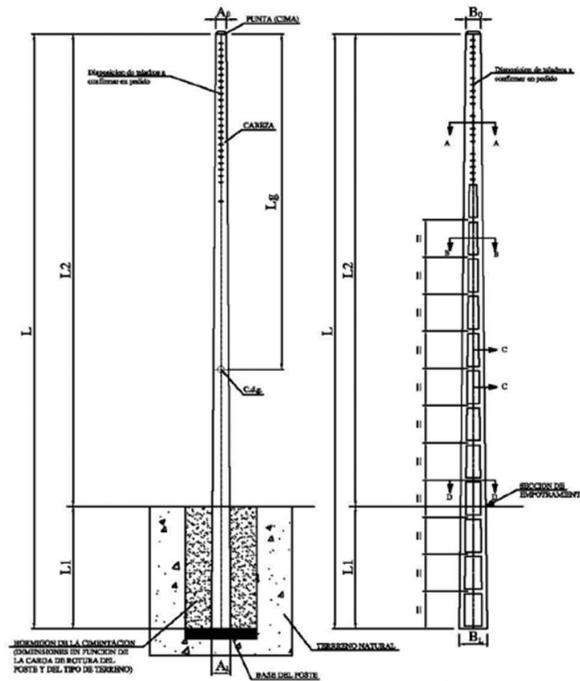


Figura 52: Postes de hormigón tipo "H"Y "HC".
Fuente: [Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP [42]].

4.2.2. Carga de Rotura

La carga nominal de los postes, tanto en términos de resistencia a la rotura como de diseño, van a variar en función de su altura, se aplicará una carga progresiva al poste llevando un registro de las flechas correspondientes a los incrementos del 10% de la carga de rotura hasta llegar al 60% de esta [43]. La carga nominal de rotura para un poste de 10 metros es de 400 kilogramos, para un poste de 12 metros la carga nominal de rotura es de 500 kilogramos.

Tabla 16: Parámetros técnicos del poste seleccionado.

ESPECIFICACIONES PARTICULARES	
Item	Especificaciones
Descripción Técnica	Poste Circular de Hormigón Armado 12 m X 500 kgf.
Altura del poste (m)	12
Carga Nominal de rotura horizontal (kgf)	500
Diámetro de la punta (cm)	13 a 16
Diámetro de la base (cm)	30 a 38
Ventana superior rectangular de 25 x 80 mm ó circular de 25 mm de diámetro para la puesta a tierra (metros desde la base)	8,00
Ventana inferior rectangular de 25 x 80 mm para la puesta a tierra (metros desde la base)	1,50
Ubicación marca de empotramiento desde la base (m)	1,70
Color de identificación en la punta y en la base	Azul

4.2.3. Placa de identificación

En el poste debe ir una placa metálica remachada, en alto o bajo relieve con la siguiente información:

- Marca o nombre del fabricante
- Peso del poste en kilogramos
- Altura en metros
- Resistencia mecánica de ruptura (kgf)
- Número de serie del poste



Figura 53: Modelo de la placa de identificación.
Fuente: [Autores].

4.2.4. Orificios Pasantes

La posibilidad de incluir perforaciones o aberturas pasantes en la parte superior del poste, para el anclaje de estructuras quedara a criterio del contratista. En la estructura de los postes se incluirá dos orificios denominados ventanas, que estarán destinados para la introducción del cable de conexión a tierra, conforme a las normas establecidas en la tabla de las especificaciones técnicas.

4.2.5. Luminarias

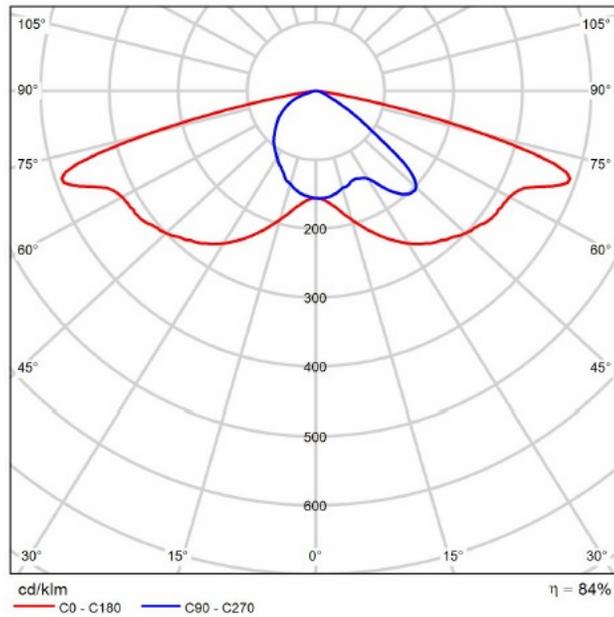
Los proyectos de alumbrado público requieren un análisis detallado de varios factores que influyen en su desarrollo y que deben ser evaluados con máxima precisión, más allá de cumplir con las normativas vigentes, es fun-

damental asegurar el bienestar de los diferentes usuarios del área [41]. La selección de la luminaria se basó en el tipo de vía, el flujo peatonal, el tránsito vehicular y el control del tráfico, además de la potencia requerida, conforme a los lineamientos de la norma vigente ARCERNNR 07/23 [24].

El diseño de alumbrado público fue realizado en el programa DIALUX EVO teniendo en cuenta lo estipulado en la regulación, es importante recalcar que las luminarias presentadas en el diseño, son de carácter referenciales ya que el Gad Municipal tendrá la autonomía de contratar cualquier luminaria de tipo, marca o modelo que lleguen a cumplir con los niveles de iluminación presentados en el diseño.

Para el diseño del alumbrado público en la vía principal, se eligió la luminaria Ampera Maxi/5305/100 LED 800mA WW 727 252W/ /550402 del catálogo SCHREDER para la vía principal.

A continuación, se presenta su diagrama polar junto con la tabla de especificaciones técnicas [40].



Polar LDC

Figura 54: Diagrama polar de la lámpara seleccionada para la vía principal
Fuente: [Autores].

Tabla 17: Especificaciones eléctricas de la luminaria seleccionada para la vía principal

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE LA LUMINARIA		
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Flujo luminoso Lámpara	33884	LUMEN
Potencia	252	W
Voltaje Nominal	220	V
Rendimiento lumínico	112.7	Lm/W
Eficiencia	83.84	%

Fuente: [Catálogo S.A Schreder [40]].

Para la vía peatonal, se optó por luminarias LEDs de la marca SCHRÉ-

DER con una potencia de 55.0W, garantizando una iluminación adecuada que cumpla con los estándares de seguridad visual para los peatones. La selección de ambas luminarias permite la distribución uniforme de luz para el área del proyecto.

A continuación, se proporciona el diagrama polar junto con la tabla de parámetros técnicos [40].

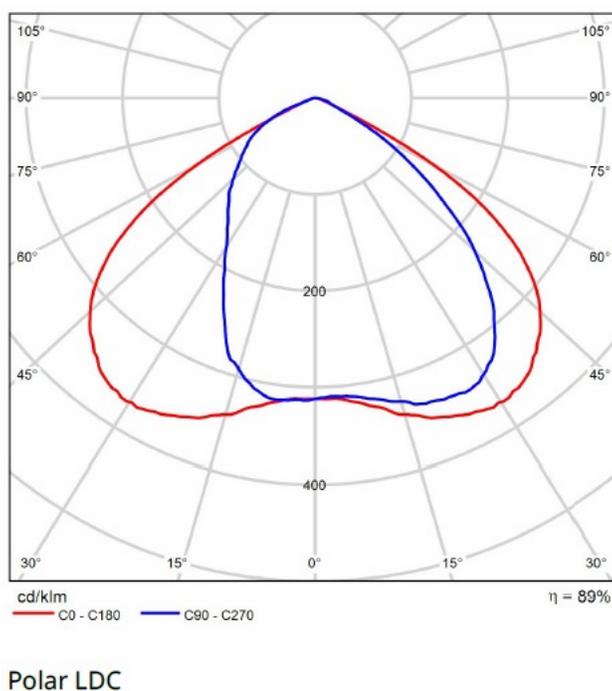


Figura 55: Diagrama polar de la lámpara seleccionada para la vía peatonal
Fuente: [Autores].

Tabla 18: Especificaciones eléctricas de la luminaria seleccionada para la vía peatonal

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE LA LUMINARIA		
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Flujo luminoso Lámpara	8020	LUMEN
Potencia	55	W
Voltaje Nominal	220	V
Rendimiento lumínico	130.2	Lm/W
Eficiencia	89.30	%

Fuente: [Catálogo S.A Schreder [40]].

4.2.6. Estación de transformación

Una vez seleccionado la luminaria y el poste para utilizar, determinaremos el transformador que servirá para suplir la demanda de energía, se utilizara un transformador monofásico de 10 KVA, será de tipo convencional tipo CSP, auto enfriado, sumergido en aceite, según especificaciones técnicas del MERNNR y de la EERCS C.A, el mismo que será instalado en el poste proyectado según los planos de diseño lo que brindara seguridad del sistema y estética adecuada al entorno. Los transformadores monofásicos y trifásicos de distribución ya sea de tipo poste deben cumplir con los niveles de eficiencia, para este caso de estudio tendremos una alimentación monofásica, la potencia nominal del transformador es de 10 KVA la eficiencia mínima permitida es de 98.48 %, asegurando así el desempeño optimo y reduciendo perdidas de energía. Además, para cumplir con la demanda de energía requerida de manera eficiente, se contempla la implementación de 4 circuitos, lo que re-

querirá un total de 4 transformadores de 10 KVA. De esta manera, se asegura la capacidad necesaria para soportar la carga total del sistema de alumbrado público, optimizando su funcionamiento y asegurando la estabilidad del servicio.



Figura 56: Transformador Monofásico tipo Poste.

Fuente: [Catalogo Ecuatran [44]].

A continuación se presenta las dimensiones del transformador seleccionado para este proyecto.

Tabla 17: *Medidas del transformador Autoprotegido de 10KVA*

Potencia	DIMENSIONES			PESO
	A	L	H	W
KVA	mm	mm	mm	kg
10	512	470	920	132

Fuente: [Catálogo Ecuatran].

4.2.7. Caídas de tensión

Para realizar el cálculo de las caídas de tensión en los ramales, es necesario tener en cuenta los estratos al cual pertenece la zona donde se ejecutará el proyecto. Las caídas de tensión se analizan teniendo en cuenta la demanda máxima proyectada, basada en la distribución de los consumidores en cada nodo, también se considera la carga correspondiente al alumbrado público y cargas especiales. El valor máximo admisible para la caída de voltaje, en Bajo voltaje, en el nodo más alejado del ramal se considerará con los siguientes ítems:

- Área Urbana: 6 %
- Área Rural: 4.5 %

Las áreas urbana y rural serán establecidas según su ubicación geográfica, en el caso de Medio Voltaje el porcentaje de caída de tensión máximo deberá ser decretado por la empresa Eléctrica Centro SUR C.A.

4.3. Diseño implementado en los distintos Software

4.3.1. Diseño de iluminación de la calle Ignacio Jaramillo en el Software AUTOCAD

Para llevar a cabo el diseño de alumbrado público, es fundamental primero elaborar el plano arquitectónico, de la calle Ignacio Jaramillo, en el cual se debe detallar la ubicación de los todos elementos esenciales tales como

transformadores, postes, luminarias, tensores, entre otros componentes que requiere nuestro sistema. Este garantiza la implementación, optimización y funcionalidad del diseño.

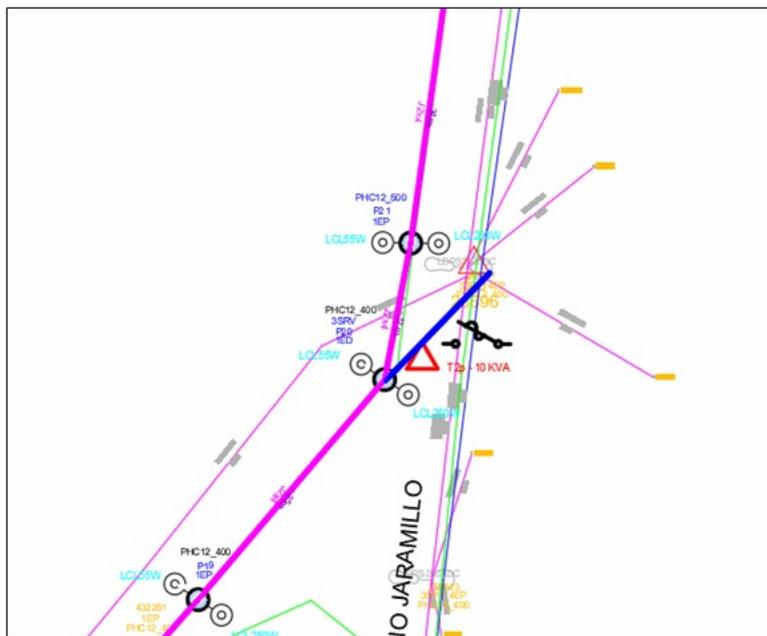


Figura 57: Diseño de iluminación implementado en AUTOCAD.

Fuente: [Autores].

En este diseño, los postes y luminarias seleccionadas se han distribuido uniformemente en intervalos de 35 metros para asegurar una cobertura lumínica eficiente y una distribución óptima de la luz a lo largo de nuestro diseño.

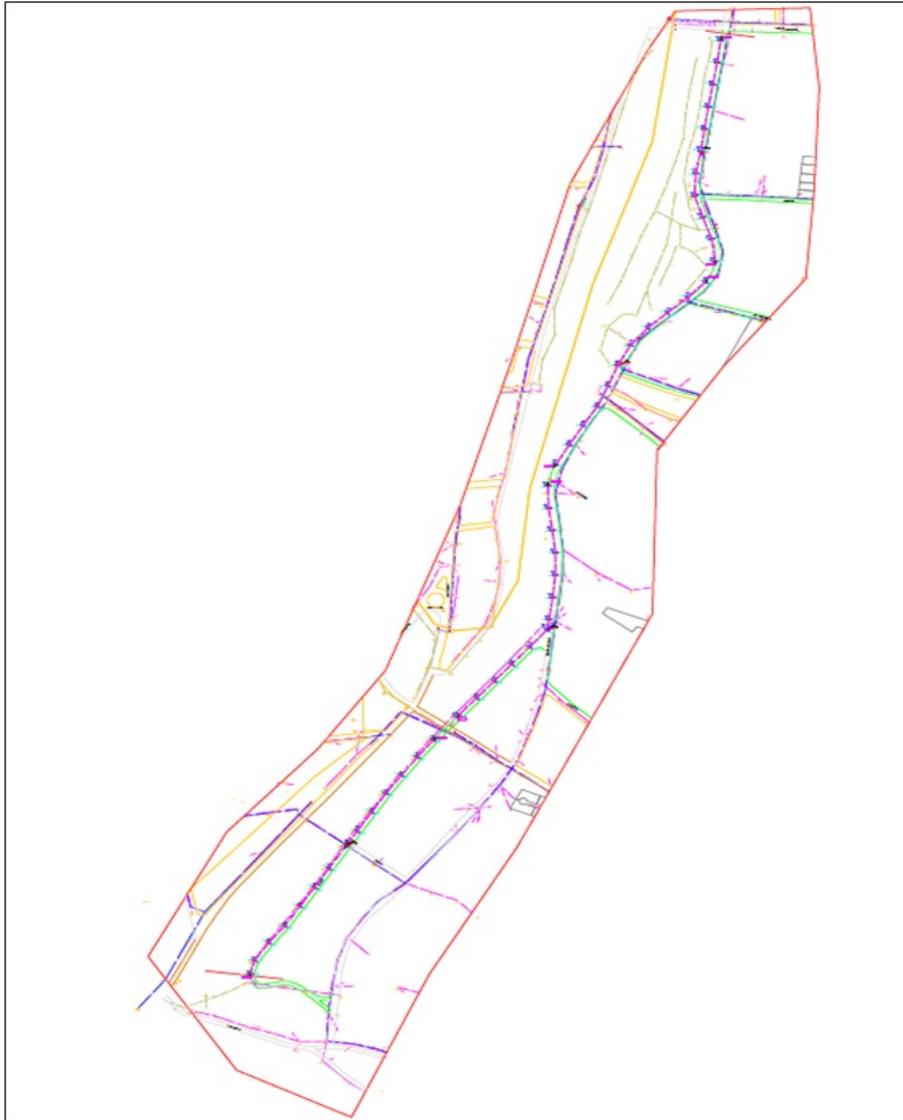


Figura 58: Plano arquitectónico de la vía Ignacio Jaramillo.

Fuente: [Autores].

En la siguiente imagen se presenta la simbología correspondiente tomando en cuenta los parámetros técnicos del diseño del plano eléctrico utilizados para la calle Ignacio Jaramillo:

ELEMENTOS

	POSTE DE HORMIGÓN ARMADO
	TENSOR A TIERRA SIMPLE EN M.V.
	TENSOR A TIERRA SIMPLE EN B.V.
	TENSOR A TIERRA DOBLE
	TENSOR POSTE A POSTE SIMPLE EN M.V.
	TENSOR POSTE A POSTE SIMPLE EN B.V.
	TENSOR POSTE A POSTE DOBLE EN M.V.
	TRANSFORMADOR MONOFASICO EN POSTE
	TRAF0 PADMOUNTED 1F EN EXTERIOR
	SECCIONADOR FUSIBLE UNIPOLAR ABIERTO
	PARARRAYO
	LUMINARIA LED

Figura 59: Simbología utilizada en el diseño lumínico.

Fuente: [Autores].

4.3.2. Diseño de iluminación de la calle Ignacio Jaramillo en el Software DIALux evo

El software DIALux evo nos permite diseñar ambientes con una iluminación deseada mejorando la productividad y optimizando la eficiencia energética, el estudio tiene como objetivo principal utilizar varias técnicas, accesorios y sistema de control buscando obtener un espacio con la iluminación adecuada logrando un flujo luminoso óptimo y garantizando una experiencia visual agradable.

La utilización de este software permite simular y calcular de manera precisa la distribución de la luz, en espacios de interior y exterior, incorpora catálogos de luminarias reconocidas en el medio permitiendo así la utilización de productos reales.

La realización del diseño se compondrá de dos partes la vía principal y la vía peatonal, lo que detallaremos a continuación:

- **Vía con Tráfico Motorizado**

En el diseño del sistema de alumbrado público para la vía principal, se instalarán un total de 49 luminarias de marca Schreder AMPERA MAXI / 5305 / 100 LEDs 800mA WW 727 252W / / 550402, distribuidas de manera uniforme en intervalos de distancia de 35 metros cada una.

Schröder - AMPERA MAXI / 5305 / 100 LEDs 800mA WW 727 252W / / 550402

	
P	252.0 W
Φ_{Lamp}	33884 lm
$\Phi_{Luminaire}$	28408 lm
η	83.84 %
Luminous efficacy	112.7 lm/W
CCT	2700 K
CRI	70

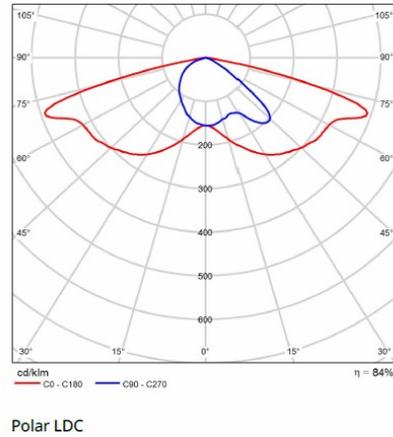


Figura 60: Ficha técnica de la luminaria seleccionada para la simulación.

Fuente: [Software DIALux evo].

La implementación de los diseños de alumbrado público requiere considerar la clasificación de las vías, según lo establece la regulación ARCERNR 007/23, al tratarse de una vía principal la velocidad de circulación es alta, son consideradas vías rápidas, la clase de iluminación para esta vía será denominado por M2.

Tabla 18: Criterio de control para la iluminación en los diferentes tipos de vías.

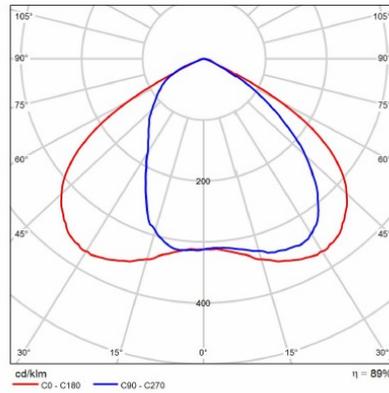
Clase de iluminación	Campo de aplicación				
	Todas las vías			Vías si o con pocas intersecciones	Vías con aceras no iluminadas para clases P1 a P4
	Luminancia promedio $L_{av}(cd/m^2)$ mantenido Mínimo	Factor de uniformidad (U_o) mínimo	$TI\%$ Máxima inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U_L mínimo	Relación de alrededores (SR) mínima
M1	2	0,4	10	0,7	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,7	0,5
M3	1	0,4	15	0,6	0,5
M4	0,75	0,4	15	0,6	0,5
M5	0,5	0,35	15	0,4	0,5
M6	0,3	0,35	20	0,4	0,5

- Vía con Tráfico Peatonal

Para el diseño de la vía peatonal se utilizarán en un total de 49 luminarias led de marca Schröder de 55.0W, distribuidas de manera uniforme a 35 metros de distancia cada una, por ser considerado un proyecto de iluminación pública los niveles que se requieren alcanzar son aquellos valores que constan en la regulación ARCERNNR 007/23 [24].

Schröder - AVENTO 1 / 5388 / 60 LEDs 300mA WW 722 55W / / 517262

 	
P	55,0 W
Φ_{Lamp}	8020 lm
$\Phi_{Luminaire}$	7162 lm
η	89,30 %
Luminous efficacy	130.2 lm/W
CCT	2200 K
CRI	70



Polar LDC

Figura 61: Ficha técnica de la luminaria seleccionada.

Fuente: [Software DIALux evo].

Los parámetros considerados para la iluminación de la vía peatonal se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 19: clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales.

Clase de iluminación	Valor promedio horizontal máximo (lx)	Valor promedio horizontal mínimo (lx)	Valor horizontal mínimo (lx)	Valor vertical	Valor semicilíndrica
P1	18	15	3	5.0	3.0
P2	12	10	2	3.0	2.0
P3	9.0	7.5	1.5	2.5	1.5
P4	7.5	5.0	1.0	1.5	1.0
P5	5.0	3.0	0.6	1.0	0.6
P6	3.0	2.0	0.4	0.6	0.4

Fuente: [Regulación ARCERNNR [24]].

4.4. Simulación

La finalidad del alumbrado público es garantizar las condiciones visuales optimas que les permita a los usuarios desplazarse de manera segura y confiable, esta iluminación brinda beneficio a todos los usuarios, incluyendo peatones, ciclistas y conductores. Después de contemplar la disposición de los postes y el perfil de la calle se procede a importar al software DIALux evo, se selecciona la luminaria deseada y se ajusta la disposición del alumbrado público, además se realiza el cálculo de los parámetros de iluminación para corroborar si se está cumpliendo con lo expuesto en la normativa vigente en el país.



Figura 62: Vista 3D en el software DIALux evo de la calle Ignacio Jaramillo

Fuente: [Software DIALux evo].

En la fotometría obtenida en la simulación se observa que los niveles de

iluminancia y distribución lumínica están dentro de los rangos de conformidad, lo que indica la eficiencia del diseño lumínico implementado.

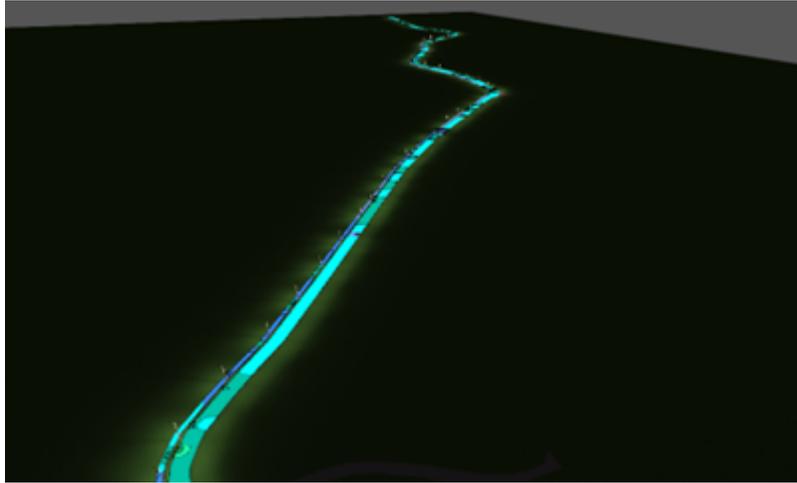


Figura 63: Fotometría de colores falsos en la calle Ignacio Jaramillo.

Fuente: [Software DIALux evo].

A continuación, se presenta la distribución de las luminarias dentro de la vía peatonal para la identificación de los niveles de iluminación.

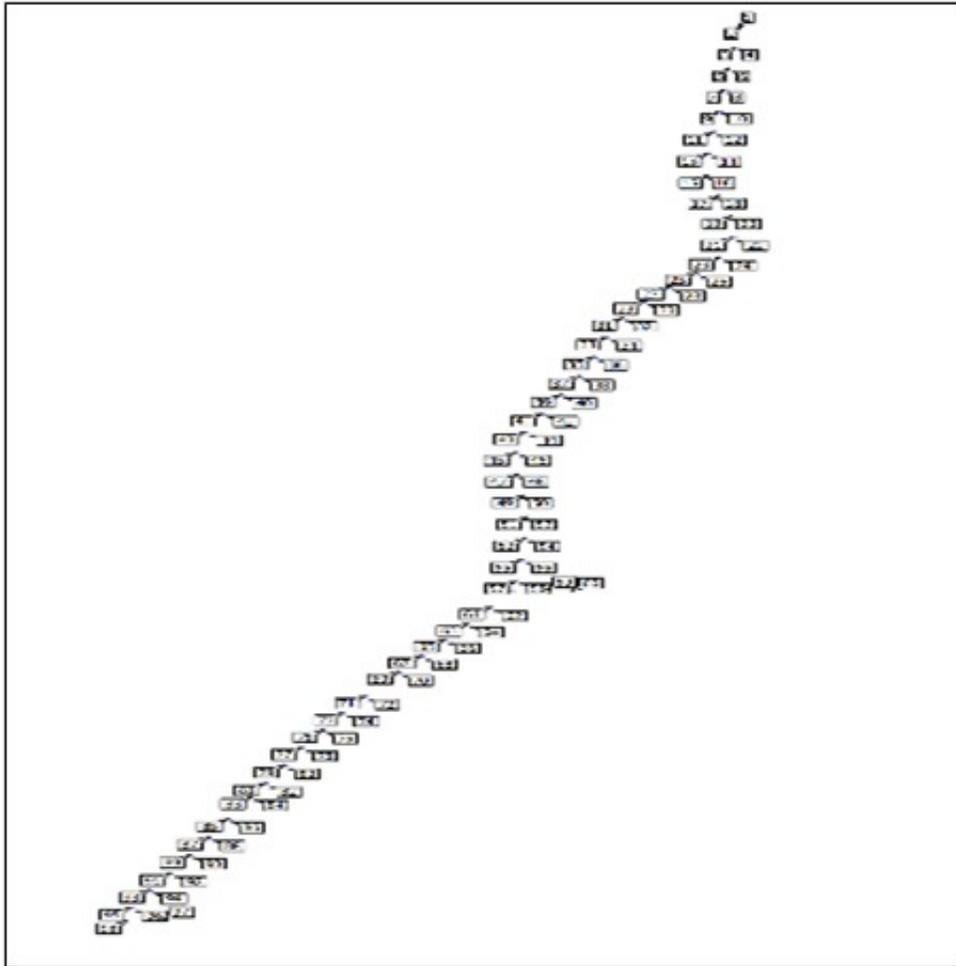


Figura 64: Ubicación de las luminarias en el plano.

Fuente: [Software DIALux evo].

4.4.1. Resultados de la simulación de la vía Ignacio Jaramillo

- Vía con Tráfico Motorizado

En los resultados obtenidos podemos verificar que se cumplen todos los requerimientos fotométricos establecidos en la regulación ARCERNR 007/23.

Recuadro de evaluación (M2)		Calzada 1 (M2)			
L_m	[cd/m ²]	✓	≥	1.50	4.10 ✓
U_o		✓	≥	0.40	0.60 ✓
U_l		✓	≥	0.70	0.86 ✓
TI	[%]	✓	≤	10	-
R_{Et}		✓	≥	0.35	0.91 ✓

Figura 65: Sumario de resultados de la vía principal.

Fuente: [Software DIALux evo].

En la tabla 20, se comparan los parámetros fotométricos establecidos por la normativa para vías de tipo M2 con los valores obtenidos en la simulación del sistema de alumbrado de la calzada. Se incluyen métricas clave como la luminancia promedio de la calzada (L_m), la uniformidad general de luminancia (U_o), la uniformidad longitudinal (U_l), el índice de deslumbramiento (TI) y el rendimiento energético relativo (REL).

Los resultados muestran que todos los valores obtenidos en la simulación cumplen con los requisitos normativos, lo que indica que el diseño propuesto garantiza una iluminación adecuada y homogénea sobre la calzada. Además, la luminancia promedio supera el mínimo exigido, y la uniformidad tanto general como longitudinal se mantiene dentro de los límites recomendados. Esto sugiere que el sistema de alumbrado diseñado es eficiente y adecuado para su implementación en la vía en estudio.

Tabla 20: Cuadro comparativo entre la normativa y los resultados obtenidos en la simulación.

Parámetros Fotométricos de la Normativa (M2)		Parámetro obtenidos en la Simulación		Cumple Normativa
L_m [cd/m ²]	1.50	L_m [cd/m ²]	4.10	Cumple
U_o	0.4	U_o	0.60	Cumple
U_L	0.7	U_L	0.86	Cumple
T_I	10	T_I	-	Cumple
R_{EI}	0.35	R_{EI}	0.91	Cumple

Fuente: [Autores.].

Donde :

L_m : Luminancia media de la calzada.

U_o : Uniformidad general de luminancia.

U_L : Uniformidad longitudinal de luminancia.

T_I : Índice de deslumbramiento.

R_{EL} : Rendimiento energético relativo.

En la tabla 21 se presentan tres indicadores claves del análisis de iluminación para la Vía con Tráfico Motorizado. La potencia de las luminarias LED utilizadas en el diseño para el tráfico motorizado es de 12 348 W, asegurando una distribución eficiente de la energía. La iluminancia alcanzada es de 1 391 619.6 lm, lo que garantiza un nivel de iluminación adecuado para la seguridad y visibilidad en la vía.

Además, el rendimiento lumínico obtenido es de 112.69 lm/W, lo que indica una buena eficiencia en la conversión de energía eléctrica en luz visible.

Tabla 21: Resultados obtenidos mediante la simulación en Dialux Evo para la vía motorizada.

Resultados obtenidos mediante la simulación en Dialux Evo para la vía motorizada.	
Potencia luminarias	12 348 W
Iluminación Φ	1 391 619,6 lm
Rendimiento luminoso	112,69 lm/W

- Vía con Tráfico Peatonal

Para esta vía en la simulación se obtienen valores que alcanzan una iluminación eficiente y segura, no causa un impacto visual pero son necesarios para resaltar el trazado de la vía peatonal.

Recuadro de evaluación (P3)	Camino peatonal 1 (P3)				
E_m	[bx] ✓	\geq	7.50	\leq	11.25 10.51 ✓
E_{min}	[bx] ✓	\geq	1.50		2.56 ✓

Figura 66: Sumario de resultados de la vía peatonal.

Fuente: [Software DIALux evo].

En la tabla 22, se comparan los parámetros fotométricos exigidos por la normativa para vías peatonales de tipo P3 con los resultados obtenidos en la simulación del sistema de alumbrado. Los parámetros analizados incluyen la iluminancia media (E_m) y la iluminancia mínima (E_{min}), ambos fundamentales para garantizar una adecuada visibilidad y seguridad en el área peatonal.

Los valores obtenidos en la simulación muestran que tanto la iluminancia media como la iluminancia mínima superan los requisitos normativos, lo que

indica que el sistema de alumbrado propuesto proporciona una iluminación uniforme y suficiente para los peatones. Esto confirma que la propuesta cumple con los estándares establecidos, asegurando confort visual y seguridad en la vía peatonal.

Tabla 22: Cuadro comparativo entre la normativa y los resultados obtenidos en la simulación.

Parámetros Fotométricos de la Normativa (P3)		Parámetro obtenidos en la Simulación		Cumple Normativa
E_m	7.50	E_m	10.51	Cumple
E_{min}	1.50	E_{min}	2.56	Cumple

Donde :

E_m : Iluminancia media en la superficie peatonal

E_{min} :Iluminancia mínima en la superficie peatonal.

En la tabla 23 se presentan tres indicadores esenciales para el análisis del alumbrado en la vía con tráfico peatonal. La potencia de las luminarias instaladas para el tráfico peatonal es de 2.695 W, lo que permite un consumo eficiente de energía sin afectar la calidad de la iluminación. La iluminancia generada alcanza 350.889 lm, asegurando un entorno bien iluminado que mejora la seguridad y comodidad de los peatones durante la noche.

Por otro lado, la eficiencia lumínica obtenida es de 130.2 lm/W, lo que evidencia un alto aprovechamiento de la energía eléctrica en la producción de luz.

Tabla 23: Resultados obtenidos mediante la simulación en Dialux Evo para la vía peatonal.

Resultados obtenidos mediante la simulación en Dialux Evo para la vía peatonal.	
Potencia luminarias	2695 W
Iluminación Φ	350889 lm
Rendimiento luminoso	130.2 lm/W

4.4.2. Análisis General del Alumbrado Público para la Vía con Tráfico Motorizado y Peatonal

El análisis integral del sistema de alumbrado público abarca tanto la vía destinada al tráfico motorizado como la zona de tránsito peatonal, garantizando una iluminación uniforme y eficiente en toda la extensión de la infraestructura vial. Se ha determinado que la potencia total de las luminarias instaladas es de 15.045 W, lo que ha llevado a la consideración de cuatro transformadores de 10 kVA para asegurar una distribución estable de la energía eléctrica, evitando caídas de tensión fuera de los parámetros normativos y permitiendo una reserva de carga para futuras expansiones.

La iluminancia total alcanzada es de 1,742,508.6 lm, lo que proporciona niveles adecuados de visibilidad y seguridad tanto para conductores como para peatones. Asimismo, el sistema diseñado presenta una eficiencia lumínica de 115.83 lm/W, lo que indica un aprovechamiento óptimo de la energía eléctrica en la generación de luz. Este factor es determinante para garantizar un consumo energético eficiente sin comprometer la calidad de la iluminación, favoreciendo así la sostenibilidad del sistema de alumbrado público.

En la Tabla 24 se presentan detalladamente estos resultados, permitiendo una mejor visualización y análisis de las métricas obtenidas en la simulación del sistema de alumbrado.

Tabla 24: Resultados obtenidos mediante la simulación en Dialux Evo.

Resultados obtenidos mediante la simulación en Dialux Evo.	
Potencia total luminarias	15043 W
Iluminación total Φ	1742508.6 lm
Rendimiento luminoso	115.83 lm/W

4.4.3. Análisis Comparativo de las Caídas de Tensión

Luego de calcular las caídas de tensión en los cuatro transformadores de 10 KVA para los cuatro circuitos implementados en este proyecto de iluminación, se ha verificado que los valores obtenidos están significativamente por debajo del límite máximo del 8 % establecido por la normativa ARCERNNR 002/20 [45]. Este resultado confirma que la instalación cumple plenamente con los estándares regulatorios, asegurando la eficiencia, confiabilidad y correcta operatividad del sistema eléctrico, lo que contribuye a la viabilidad y éxito del proyecto.

Caídas de Voltaje		TRANSFORMADORES							
		T1		T2		T3		T4	
		Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Caída de tensión calculada (%)	Circuito 1	1,92	1,71						
	Circuito 2			1	1,59				
	Circuito 3					0,99	0,99		
	Circuito 4							0,99	0,99
Cada de tensión permitida (%)		6		6		6		6	
Cumple o No Cumple		Cumple		Cumple		Cumple		Cumple	

Figura 67: rubros y unidades de propiedad

Fuente: [Autores].

4.5. Desarrollo del proyecto

4.5.1. Desmantelamiento de las redes existentes

En esta fase se procede a retirar las redes antiguas y los equipos que se encuentren en mal estado, una vez retirado los equipos se verificara el estado físico en el que se encuentran, el galvanizado y sus grados de corrosión, quedara a criterio del contratista si pueden volver a ser usados en instalaciones posteriores o ya deben ser desechados con su previa autorización.

4.5.2. Proceso de excavación

Para llevar a cabo la excavación es importante tener en cuenta las especificaciones técnicas y cumplirlas, ya que estos postes van a soportar grandes cargas y deben resistir a condiciones climáticas adversas, para este proceso se debe primero inspeccionar el terreno, marcar la ubicación y la excavación.



Figura 68: Excavación para la colocación del poste de 12 metros.

Fuente: [Autores].

4.5.3. Izado de postes.

En la calle Ignacio Jaramillo existen postes de hormigón armado de 11 metros y 12 metros por lo tanto se va a realizar el cambio de postes de 11 metros para que todos queden de la misma medida, para el proceso de izado de postes necesario el uso de grúas las mismas que deben ser equipos pesados deben estar equipados de un sistema hidráulica, dirección y aparato de elevación tipo pluma. El encargado de proveer dicho equipo así también como la mano de obra es el contratista, el personal seleccionado para realizar esta actividad debe estar debidamente capacitada para prevenir daños personales y daños en inmuebles en el sitio de trabajo.



Figura 69: Izado de postes de 12 metros.

Fuente: [Autores].

4.5.4. Tendido del conductor.

El tendido del conductor eléctrico es la parte fundamental en toda instalación de redes de baja, media y alta tensión, este procedimiento se realiza considerando muchos factores como son la distancia, carga eléctrica, condiciones climáticas y la topografía. Los conductores irán suspendidos en postes de hormigón 12 metros de longitud por 500kg de capacidad, asegurando estabilidad estructural y una distribución óptima de la red eléctrica.

4.5.5. Montaje del transformador.

Para este proyecto se instalarán cuatro transformadores de 10KVA cada uno que serán de uso exclusivo de alumbrado público, los transformadores se-

rán aptos para el trabajo continuo completamente nuevos, y deberán cumplir con las normas tanto nacionales como las internacionales, para ser energizados el contratista debe entregar a la EERCS C.A el listado con placas, marcas y protocolos de prueba correspondientes. En la implementación del proyecto se va a trabajar con dos tipos de estructuras como son:

- **1EP (una vía-vertical-pasante)**: Este tipo de estructura mantiene el tendido eléctrico en un tramo recto, conservando la alineación y tensión de los conductores.
- **1ER (una vía-vertical-retención)**: Se utiliza cuando es necesario cambiar la dirección de las líneas o realizar derivaciones, generalmente en los extremos finales de los tramos o en puntos estratégicos.

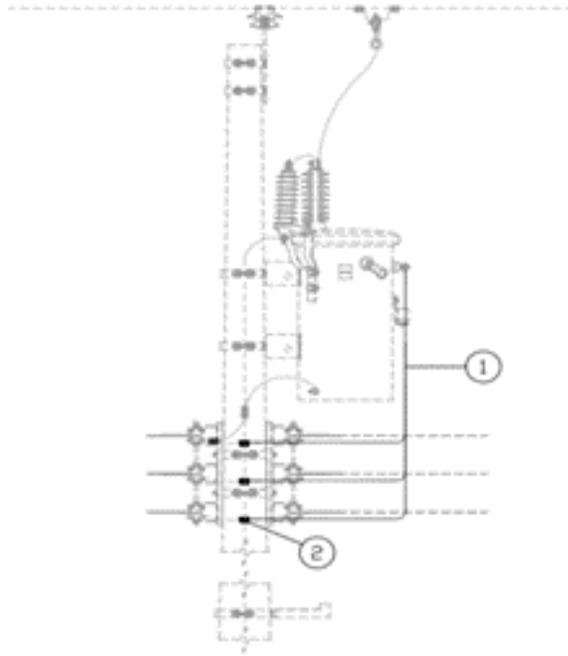


Figura 70: Montaje del transformador.

Fuente: [Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP [43]].

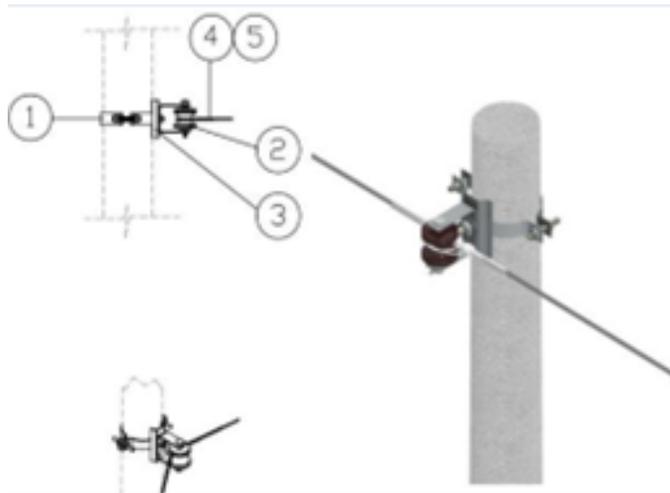


Figura 71: Estructura 1EP.

Fuente: [Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP [43]].

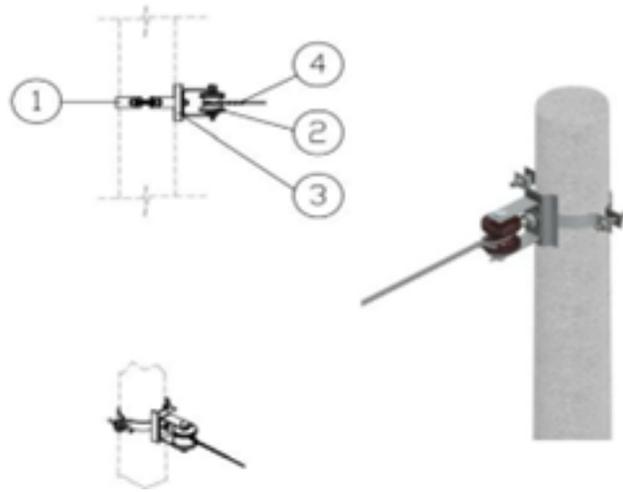


Figura 72: Estructura 1ER.

Fuente: [Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP [43]].

4.5.6. Montaje de Luminarias.

El montaje de las luminarias led se realizará según la disposición para el área, se utiliza luminarias para la vía peatonal y para la vía principal, con la implementación de coronillas de dos brazos y de esta manera asegurar la uniformidad en la iluminación. En este proyecto se tendrá una instalación de 98 luminarias en total tanto de la calle principal como la peatonal. Respetando la inter distancia de posteria considerando 35 m adecuados para obtener nivel de iluminación ideal con uniformidad lo que se rige en los niveles mínimos de iluminación considerados en la norma.

4.6. Análisis Económico.

El análisis económico de los costos es aproximado, los costos son únicos para cada obra en particular ya que depende de su complejidad, ubicación, materiales, es necesario estar pendiente de las actualizaciones de los costos ya que varía cada vez por la mejora de sus productos, materiales, técnicas de planeación.

A continuación, se presenta los rubros contemplados para la ejecución de la obra:

4.6.1. Presupuesto de Materiales para la Ejecución del Alumbrado Público

El diseño del sistema de alumbrado público con Tecnología LED en la Calle Ignacio Jaramillo contempla una planificación técnica y económica bien estructurada.

Los materiales necesarios, detallados en la Tabla 25, incluyen 1527 metros de conductor dúplex 2x4, 49 luminarias LED de 250W para el alumbrado motorizado, 49 luminarias LED de 55W para alumbrado peatonal, 29 postes de hormigón armado de 12 metros y 4 transformadores monofásicos de 25 kVA. Estos componentes garantizan eficiencia y durabilidad, con un costo total de \$53,664.14.

Tabla 25: Descripción de materiales del sistema de alumbrado público

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
CONDUCTOR AISLADO CABLE DUPLEX 2x4	M	1527	\$1.33	\$2,033.77
LUMINARIA LED 250W >135L/W, INCLUYE FOTOCÉLULA Y BRAZO	U	49	\$331.64	\$16,250.35
LUMINARIA LED 55W >135L/W, INCLUYE FOTOCÉLULA Y BRAZO	U	49	\$294.63	\$14,436.87
POSTE DE H.A. LONG. 12M, RED. ROT: 500Kg	U	29	\$247.54	\$7,178.59
TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 10 KVA, 22000 CSP PARA RED ELÉCTRICA	U	4	\$2,767.59	\$11,070.36
MATERIALES PARA SISTEMA DE MEDICIÓN Y ESTRUCTURAS VARIAS	GLOBAL	1	\$2,694.20	\$2,694.20
SUBTOTAL				\$53,664.14
IVA 15 %				\$8,049.62
TOTAL				\$61,713.76

4.6.2. Presupuesto de Mano de obra para la Ejecución del Alumbrado Público

La mano de obra, descrita en la Tabla 26, abarca actividades clave como la instalación de postes, luminarias, cableado y transformadores, además de trabajos específicos como excavaciones y montaje de estructuras de soporte. Estas labores suman un costo de \$10,366.93.

Tabla 26: Descripción de mano de obra del sistema de alumbrado público

MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
IZADO, ACOPIO Y RETACADO DE POSTE H.A. 12M	U	29	\$77.14	\$2,236.38
PINTURA DE CÓDIGO EN POSTE	U	29	\$2.84	\$82.22
SUMINISTRO Y ACOPIO DE PIEDRA PARA POSTE H.A. 12M	U	29	\$22.54	\$653.70
MONTAJE DE TENSOR TIPO TB	U	10	\$23.93	\$239.27
EXCAVACIÓN PARA POSTE H.A. 12M TERRENO NORMAL	U	29	\$30.54	\$885.73
MONTAJE DE ESTRUCTURA 3SR	U	2	\$37.84	\$75.68
MONTAJE DE ESTRUCTURA 1EP	U	37	\$9.84	\$364.10
MONTAJE DE ESTRUCTURA 1ED	U	4	\$9.84	\$39.36
MONTAJE DE ESTRUCTURA 1ER	U	8	\$9.84	\$78.72
MONTAJE E INSTALACIÓN DE LUMINARIAS LED DE 250W 135L/W Y 55W > 135L/W, INCLUYE FOTOCÉLULA Y BRAZO	U	98	\$36.54	\$3,580.92
TENDIDO DE CONDUPLIX 2x4	M	1527	\$0.59	\$903.89
MONTAJE E INSTALACIÓN DE SECCIONAMIENTO 1 FASE, INCLUYE PARARRAYO	U	4	\$38.04	\$152.16
MONTAJE E INSTALACIÓN TRANSFORMADOR MONOF. 10 KVA 22000 CSP	U	4	\$268.34	\$1,073.37
SUBTOTAL				\$10,366.93
IVA 15 %				\$1,554.91
TOTAL				\$11,921.01

4.6.3. Resumen del Presupuesto Total del Proyecto

En la Tabla 27, se resume el presupuesto total del proyecto, combinando los costos de materiales, mano de obra, utilidades e impuesto a la renta lo que da un total de \$99,711.23. Este presupuesto asegura la viabilidad del proyecto dentro de los estándares técnicos y normativos, cumpliendo los objetivos de eficiencia y sostenibilidad.

Tabla 27: Resumen del presupuesto total

RESUMEN PRESUPUESTO TOTAL	
1.- MATERIALES:	\$61,713.14
2.- MANO DE OBRA:	\$11,921.01
3.- UTILIDADES:	\$11,045.21
4.- SUBTOTAL:	\$84,679.84
5.- IVA 15 %:	\$12,701.97
6.- IMPUESTO A LA RENTA 22 %: (UTILIDAD)	\$2,429.9
7.- COSTO TOTAL DEL PROYECTO:	\$99,711.23

4.6.4. Análisis de la Relación Costo-Beneficio y Ahorros Energéticos .

En la Tabla 28, se presenta la comparación entre el sistema de alumbrado público actual y el sistema propuesto. En el sistema existente, la potencia total instalada es de 14,500 W, mientras que en el nuevo diseño se obtiene una potencia total de 15,043 W, lo que representa un incremento de 543 W.

Este aumento en la potencia total se debe a la incorporación de un sistema de iluminación más completo para el tráfico peatonal. Actualmente, la vía cuenta con 46 luminarias de 250 W para el tráfico motorizado, mientras que en el diseño propuesto se incrementa a 49 luminarias de 252 W, con el propósito de mejorar la uniformidad lumínica.

Adicionalmente, en la configuración existente, la iluminación peatonal es limitada, con solo 20 luminarias de 150 W. En el nuevo diseño, se plantea la

instalación de 49 luminarias de 55 W, garantizando una mejor cobertura en las áreas destinadas a los peatones.

Tabla 28: Comparación de la Potencia Instalada entre el Sistema de Alumbrado Público Actual y el Propuesto

Tipo de Lámpara	Sistema Actual			Sistema Propuesto		
	Cantidad	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Cantidad	Potencia (W)	Potencia Total (W)
Tráfico Vehicular	46	250	11,500	49	252	12,348
Tráfico Peatonal	20	150	3,000	49	55	2,695
Total	66		14,500	98		15,043

Si bien el consumo energético total no se reduce significativamente debido al aumento en la cantidad de luminarias (de 66 a 98), el sistema LED propuesto ofrece importantes ventajas. Las luminarias LED tienen una vida útil estimada de 50,000 horas o más, en comparación con las lámparas de vapor de sodio, cuya vida útil promedio es de 24,000 horas. Además, el nuevo sistema permite una mejor distribución de la luz, mejorando la seguridad y la visibilidad en toda la vía, especialmente en las áreas peatonales.

Desde el punto de vista social y de seguridad, el nuevo diseño proporciona una iluminación más eficiente y homogénea, lo que contribuye a una mayor seguridad para peatones y conductores.

CAPÍTULO 5

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El proyecto de diseño del sistema de alumbrado público con tecnología LED en la calle Ignacio Jaramillo del cantón Gualaceo representa una solución eficiente y sostenible para modernizar la infraestructura lumínica y mejorar la distribución de la iluminación. Aunque el consumo energético total no se reduce significativamente debido al aumento en la cantidad de luminarias, la tecnología LED garantiza mayor eficiencia, menor mantenimiento y una vida útil más prolongada, optimizando el uso de los recursos disponibles.

El análisis del sistema de alumbrado existente evidenció deficiencias en la uniformidad lumínica tanto en la zona destinada al tráfico motorizado como en las áreas peatonales, demostrando que las instalaciones actuales no cumplen con los criterios establecidos por la normativa ecuatoriana. Esta situación evidenció la necesidad de modernización para mejorar la calidad de la iluminación, alcanzar los estándares exigidos y proporcionar condiciones adecuadas de seguridad y confort visual para los usuarios de la vía.

El diseño propuesto asegura que los niveles de iluminación cumplan con los estándares establecidos en la normativa ARCERNNR 007/23, proporcionando una distribución lumínica uniforme y condiciones adecuadas de visibi-

lidad. De igual manera, se ha considerado la normativa ARCERNNR 002/20 para verificar que la caída de voltaje se mantenga dentro de los límites permitidos, garantizando un desempeño eléctrico confiable y eficiente.

Las luminarias LED implementadas ofrecen una distribución de luz más homogénea y una mejor reproducción cromática en comparación con las luminarias de sodio, lo que reduce la fatiga visual, mejora la percepción de los espacios públicos y refuerza la seguridad vial y peatonal.

El diseño del sistema de alumbrado público con tecnología LED ha cumplido con los objetivos de mejorar la calidad de la iluminación, garantizar una distribución uniforme de la luz y fortalecer la seguridad de los usuarios.

6. Recomendaciones

Para garantizar el correcto funcionamiento y la sostenibilidad del sistema de alumbrado público con tecnología LED en la calle Ignacio Jaramillo, se recomienda la implementación de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que permita detectar y corregir fallos a tiempo. Este plan debe incluir inspecciones periódicas, limpieza de luminarias, revisión de conexiones eléctricas y sustitución de componentes cuando sea necesario, asegurando así el máximo desempeño y prolongando la vida útil del sistema.

Asimismo, se sugiere la implementación de un sistema de monitoreo continuo que facilite la evaluación del rendimiento lumínico y la detección inmediata de fallos. La integración de sensores o tecnología de control remoto

permitiría mejorar la operación del alumbrado, garantizando niveles adecuados de iluminación y reforzando la seguridad tanto para peatones como para conductores.

Es fundamental difundir los beneficios de la tecnología LED en la población, destacando su impacto en la eficiencia del alumbrado público, la reducción de costos de mantenimiento y la mejora de la seguridad vial. Asimismo, es importante fomentar la colaboración entre el sector público y privado para identificar áreas con deficiencias lumínicas, agilizar la ejecución de proyectos de mejora y garantizar la sostenibilidad del sistema.

Estas acciones contribuirán a mantener la calidad del alumbrado público, mejorar el uso de recursos y consolidar un entorno urbano más seguro, eficiente y moderno para la comunidad.

Referencias

- [1] J. Goudsblom, *Fuego y Civilización*. Buenos Aires, México D.F., Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello, 1995, ISBN : 956-13-1305-7. Original title: Fire and Civilization, 1992.
- [2] V. E. Rodríguez Orrego and A. Simó Hernández, “El alumbrado público de gas como práctica tecnológica en la sociedad cienfueguera (1857-1890),” *Universidad y Sociedad*, vol. 11, no. 3, pp. 96–103, abril-junio 2019.
- [3] A. A. G. Martín and E. Secundaria, “Historia de la iluminación,” *Tecnología en Educación Secundaria*, vol. 6047, octubre 1988, publicado en Granada, España. ISSN: 1988-6047.
- [4] G. S. Dutt, M. Brugnoli, and C. G. Tanides, “El uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación,” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, no. 2, pp. 495–501, 1994.
- [5] M. R. Gámez and H. A. M. Cedeño, “Falta de alumbrado público y su repercusión en la seguridad de los habitantes del sector san felipe del cantón portoviejo,” *Revista RIEMAT*, vol. 3, no. 1, pp. 30–34, 2018.
- [6] M. L. A. S. Mego, “Propuesta de implementación de lámparas led con suministro fotovoltaico para reducir el consumo de energía eléctrica de origen convencional en el solec business hotel chiclayo-chiclayo-

- lambayeque,” B.S. thesis , Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo , 2018.
- [7] J. Fraile Vilarrasa and A. Gago Calderon, *Iluminación con tecnología LED*, E. Nobel, Ed. Ediciones Paraninfo, SA, 2012, ISBN 13: 978-84-283-3368-9.
- [8] F. J. F. Fajardo and D. A. M. Cusme, “Utilización de iluminación led para el ahorro de energía eléctrica en alumbrado público y residencial de la comunidad soco soco,” B.S. thesis, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, 2018.
- [9] L. E. Acosta Martínez *et al.*, “El color como factor de calidad en la iluminación y su influencia sobre el estado de ánimo humano en un entorno laboral,” Master’s thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco , 2018.
- [10] J. Niño Chacón, J. D. Marulanda Aristizabal, J. C. Barbosa Torres, J. F. Rodríguez Amaya *et al.*, “Estudio para determinar la viabilidad de la sustitución de luminarias sodio y otras tecnologías por luminarias tecnología led para el sistema de alumbrado público del municipio de anserma caldas,” B.S. thesis, Universidad EAN, 2021.
- [11] J. P. Narváez Muñoz, “Análisis técnico, económico para determinar la viabilidad de remplazar todas las luminarias de sodio utilizadas en el sistema de alumbrado público general en el área urbana de la ciudad

- de cuenca por luminarias de tecnología led (light emitting diode),” B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [12] P. P. Salemrón, “Propuesta de mejora de la eficiencia energética en instalaciones existentes de alumbrado público,” Master’s thesis, Universidad Politécnica de Cartagena, 2017.
- [13] M. Caballero, *Instalaciones eléctricas interiores 2022*. Editex, 2022, ISBN 978-84-13-21936-3.
- [14] A. Gac, *Técnico electricista 12-Luminotecnia: Curso visual y gráfico*. RedUsers, 2016, vol. 12, ISBN 978-987-1949-76-2.
- [15] F. Bernal, *Control de la iluminación*. Ediciones Paraninfo, S.A., May 2019, ISBN 978-84-283-4046-5.
- [16] I. para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) and C. E. de la Iluminación (CEI), “Guía Técnica Eficiencia Energética en Iluminación: Oficinas,” Madrid, Tech. Rep., 2019.
- [17] Sylvania, “Guía técnica de iluminación,” Sylvania, Tech. Rep., 2021.
- [18] A. López, *La contaminación lumínica*. Los Libros De La Catarata, Aug. 2022, ISBN 978-84-13-52508-2.
- [19] W. Gómez Fierro, “Demostración experimental de la reflexión de la luz: Experimental demonstration of the reflection of light,” *Revista Entornos*,

vol. 32, no. 1, pp. 41–48, 2019, publisher: Universidad Surcolombiana
Section: Revista Entornos.

- [20] Iluminet, “¿qué es la absorción de la luz?” México, enero 2019, consultado el 23 de noviembre de 2024.
- [21] Fotomaniakos, “¿qué es la luz en fotografía?” España, febrero 2013, consultado el 23 de noviembre de 2024.
- [22] V. García M., J. González J., and J. González P., *Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior. ENAC0108*. IC Editorial, Feb. 2016, ISBN 978-84-16271-45-0.
- [23] Auersignal, “Intensidad luminosa y flujo luminoso,” Austria, 2024, consultado el 24 de noviembre de 2024.
- [24] ARCERNNR-007/23, “Marco normativo para la prestación del servicio de alumbrado público general,” Quito, 2023.
- [25] D. Covarrubias, *Manual práctico de iluminación*. Alpha Editorial, Sep. 2019, ISBN 978-958-778-565-4.
- [26] M. International, “Manual para la evaluación de proyectos de Eficiencia Energética para el Sector de Alumbrado Público. Dirigido a: Clientes de Instituciones Financieras,” Manual, 2018, accepted: 2018-10-16T00:01:25Z Publisher: CAF.

- [27] Z. Örs, T. U. Taşkın, I. Arhan, L. Doğan, C. Gezer, A. F. Karakebelioğlu, and M. Kesler, “Smart street lighting system,” *Orclever Proceedings of Research and Development*, vol. 1, no. 1, pp. 188–197, Dec. 2022, number: 1.
- [28] Datalights, “Alumbrado público,” Ecuador, 2022, consultado el 24 de noviembre de 2024.
- [29] Kit Smart Corporation, “Luminaria ornamental,” Ecuador, 2024, consultado el 24 de noviembre de 2024.
- [30] Ministerio de Minas y Energía de Colombia, “Resolución 40150 de 2024: Modificación del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP),” mayo 2024, Publicada en el Diario Oficial de Colombia.
- [31] CIE, “Technical report. Road Lighting Calculations,” Commission Internationale de l’Éclairage, Normativa, 2019.
- [32] Portaelectricos, “Selección de luminarias,” diciembre 2024, Último acceso: 1 de diciembre de 2024.
- [33] P. I. 069, “Proyecto de Reglamento Técnico Ecuatoriano PRTE INEN 069 “Alumbrado Público”,” 2012.
- [34] C. Morente, “Elaboración del material docente actualizado para curso on-line de iluminación,” 2024.

- [35] K. Philips, “Evaluación del comportamiento luminarias LED,” Tech. Rep., 2015.
- [36] Danahe, “Alumbrado apropiado en vías de comunicación,” consultado el 1 de diciembre de 2024.
- [37] D. GmbH, “DIALux es el software para su diseño de iluminación profesional,” 2024.
- [38] R. I. AG, “RELUX Software – the standard in lighting planning,” 2024.
- [39] O. G. Calle and A. P. Ulloa, “Metodología para la evaluación de los niveles de iluminación pública en áreas urbanas aplicando información geográfica,” bachelorThesis, Universidad Politécnica Salesiana, Feb. 2022, accepted: 2022-02-04T17:03:06Z.
- [40] Schröder, “Catálogo de luminarias schröder 2021,” Madrid, 2021.
- [41] B. A. J. Travez and E. O. G. Pilatasig, “Implementación de un patio didáctico de redes de distribución eléctrica para la carrera de electromecánica de la universidad técnica de cotopaxi,” 2022, B.S. thesis, Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, 2022. Tutor: Ing. William Armando Hidalgo Osorio, M.Sc.
- [42] S. E. Electrificaciones del Ecuador, “Catálogo de postes de hormigón armado y vibrado elector 2016,” Ecuador, 2016.

- [43] CNEL EP - Unidad de Negocio Guayaquil, *Especificaciones Técnicas: Cambio de conductor de línea de subtransmisión*, Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP), Guayaquil, Ecuador, 2025, dirección de Distribución - Estudios Eléctricos. Documento técnico para proyectos de líneas de subtransmisión a 69 kV.
- [44] M. A. Saffar, “Optimizing luminous environments in bahraini handicraft centres: an exploratory case study using dialux software,” Bahreín, pp. 35–48, 2025.
- [45] *Regulación Nro. ARCERNNR 002/20*, Control de Recursos y Energía Std., 2020.