



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ESTUDIO Y DISEÑO TÉCNICO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA
AV. JOFFRE LIMA DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA PARA REEMPLAZO DE
LUMINARIAS DE VAPOR DE SODIO POR TECNOLOGÍA LED

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

AUTORES: FRANZ LENER HONORES ORDÓÑEZ
WALTER PAUL LOJA CAJAMARCA
TUTOR: ING. CARLOS ULICER PERALTA LÓPEZ, MsC.

Cuenca - Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Franz Lener Honores Ordóñez con documento de identificación N°0704530765 y Walter Paul Loja Cajamarca con documento de identificación N° 0106320054; 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, 11 de junio del 2024

Atentamente,



Franz Lener Honores Ordóñez

0704530765



Walter Paul Loja Cajamarca

0106320054

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

Nosotros, Franz Lener Honores Ordóñez con documento de identificación N° 0704530765 y Walter Paul Loja Cajamarca con documento de identificación N° 0106320054, 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: “Estudio y diseño técnico del sistema de alumbrado público en la Av. Joffre Lima de la ciudad de Santa Rosa para reemplazo de luminarias de vapor de sodio por tecnología LED”, 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.

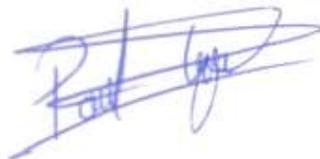
Cuenca, 11 de junio del 2024

Atentamente,



Franz Lener Honores Ordóñez

0704530765



Walter Paul Loja Cajamarca

0106320054

CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACION

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: ESTUDIO Y DISEÑO TÉCNICO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA AV. JOFFRE LIMA DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA PARA REEMPLAZO DE LUMINARIAS DE VAPOR DE SODIO POR TECNOLOGÍA LED, realizado por Franz Lener Honores Ordóñez con documento de identificación N° 0704530765 y por Walter Paul Loja Cajamarca con documento de identificación N° 0106320054, 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, 11 de junio del 2024

Atentamente,



Ing. Carlos Ulicer Peralta López, MsC.

0103112561

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de esta tesis. En primer lugar, agradezco a mi familia, por todo su amor incondicional y apoyo emocional, a mis amigos, quienes me brindaron aliento, comprensión y ayuda en todo momento. Quisiera también presentar mi sincero agradecimiento al Ingeniero Carlos Peralta, por su orientación en mi proyecto de titulación. Su compromiso y esmero han sido fundamentales en mi avance y éxito, proporcionándome la orientación necesaria para llevar a cabo el proyecto a su término y lograr los objetivos establecidos.

Franz Lener Honores Ordóñez

Quiero agradecer primeramente a Dios y a las personas que estuvieron conmigo en este proceso, siempre a pesar de las adversidades, en especial a mis padres Walter y Carmita por saber mostrar siempre su apoyo incondicional, en los buenos y malos momentos de este largo camino que fue mi carrera universitaria, gracias a ese ejemplo me he formado como una persona humilde y perseverante.

A mi tutor el Ingeniero Carlos Peralta, por ayudarme incansablemente con sus conocimientos y sabiduría al realizar mi proyecto de titulación, el cual siempre fue el objetivo principal.

Finalmente expreso mi profundo agradecimiento a cada uno de mis amigos, familiares y colegas que me han ofrecido un respaldo incondicional durante los momentos más desafiantes de mi trayectoria académica, personal y en la elaboración de este proyecto de titulación.

Walter Paul Loja Cajamarca

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, hermanas, fuente inagotable de amor y sacrificio. Su apoyo incondicional y sabios consejos, han sido mi guía a lo largo de toda esta travesía académica. A mis amigos y seres queridos, por su paciencia, comprensión y ayuda durante esta etapa de dedicación intensa. Sus risas y palabras de aliento hicieron de este camino más llevadero. Este logro es también de ustedes. Gracias por ser mi inspiración y sostén a lo largo de mi viaje. Los amo.

Franz Lener Honores Ordóñez

Dedico este proyecto de titulación a mis padres, quienes han sido los que nunca se han cansado apoyarme por ver conseguir mis metas, los cuales han sido mi inspiración y aliente a lo largo de mi trayectoria académica.

A mis amigos y familiares, cuyo apoyo constante y afecto han enriquecido mi experiencia y han sido un pilar esencial en mi proceso de formación académica. Este logro no solo es mio, sino también de aquellos que han compartido su animo y confianza en mi a lo largo del proceso.

Walter Paul Loja Cajamarca

RESUMEN

El presente estudio describe y analiza la implementación del diseño lumínico con tecnología LED, en dentro del alumbrado público de un tramo aproximadamente de 900 metros de la Avenida Joffre Lima, en el cantón de Santa Rosa provincia del Oro, con el principal objetivo de mejorar de los parámetros de luminosidad en comparación a las luminarias de vapor de sodio actualmente instaladas.

Este proyecto busca optimizar la eficiencia luminosa, la uniformidad de la iluminación y la calidad visual, a través de la implementación de tecnologías avanzadas y disposiciones estratégicas de luminarias que permitan superar las limitaciones inherentes al sistema de vapor de sodio. La finalidad es lograr un entorno más iluminado y seguro, en consonancia con los estándares técnicos y normativas vigentes.

Se formula también una propuesta para la sustitución de luminarias, abordando exhaustivamente los aspectos técnicos y económicos inherentes. Esta propuesta se fundamenta en un análisis de costos respaldado por proyectos previos dentro del ámbito de la iluminación en alumbrado público.

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

ABSTRACT

This study describes and analyzes the implementation of lighting design with LED technology in the public lighting of a stretch of approximately 900 meters of Avenida Joffre Lima, in the canton of Santa Rosa, province of El Oro, with the main objective of improving the parameters of luminosity compared to the sodium vapor luminaires currently installed.

This project seeks to optimize luminous efficiency, lighting uniformity and visual quality through the implementation of advanced technologies and strategic luminaire devices that overcome the inherent limitations of the sodium vapor system. The aim is to achieve a more illuminated and safer environment, in line with current technical standards and regulations.

A proposal for the replacement of luminaires is also formulated, comprehensively addressing the inherent technical and economic aspects. This proposal is based on a cost analysis supported by previous projects in the field of public lighting.

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

GLOSARIO

- **HID:** Alta Intensidad de Descarga
- **LED:** Light Emitting Diode
- **ARCERNNR :** Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos no renovables
- **CENACE:** Centro Nacional de Control de Energía
- **RETILAP:**Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público
- **CNEL:** Corporación Nación de Electricidad
- **ED:**Estructura de Doble Retención
- **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. Fundamentos de Iluminación	7
2.1.1. La Luz	7
2.1.2. Luminotecnia	8
2.1.3. El Lumen (lm)	8
2.1.4. El Lux (lx)	9
2.1.5. Efecto de la lux sobre la materia	9
2.2. Parámetros Luminosos Fundamentales: Magnitudes y Unidades	13
2.2.1. Flujo Luminoso (Φ)	13
2.2.2. Intensidad Luminosa (I)	13
2.2.3. Iluminancia (E)	14
2.2.4. Luminancia (L)	14
2.2.5. Rendimiento Luminoso	15
2.2.6. Energía Luminosa	16

2.2.7.	Eficiencia Luminosa	16
2.2.8.	Distribución Luminosa	16
2.2.9.	Eficiencia Energética de una Instalación	18
2.2.10.	Deslumbramiento	20
2.3.	Alumbrado Público	22
2.3.1.	Alumbrado Público General	23
2.3.2.	Alumbrado Público Intervenido	24
2.3.3.	Alumbrado Público Ornamental	26
2.3.4.	Alumbrado Urbano	27
2.4.	Normativas y Regulaciones para el Sistema de Alumbrado Público	29
2.4.1.	Regulación ARCERNR 006-20.	30
2.4.2.	Regulación ARCENNR 002-20.	31
2.4.3.	Reglamento técnico de de iluminación y alumbrado público (RETILAP)	32
2.4.4.	Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013	33
2.5.	Aspectos Técnicos del Sistema de Alumbrado Público	33
2.5.1.	Parámetros Fotométricos según la Norma ARCENNR 006/20	33
2.5.2.	Tipos de alumbrado y parámetros fotométricos por vías	36
2.6.	Método de la cuadrícula	42
2.7.	Luminaria	45
2.7.1.	Luminarias HID	47

2.7.2. Luminarias LED	48
2.8. LED	49
2.9. Tecnología LED	50
2.9.1. Beneficios	51
2.9.2. Efectos Ambientales	51
2.9.3. Economía y Finanzas	52
2.9.4. Seguridad Vial	52
2.10. Eficiencia Energética	52
2.11. Luminarias Convencionales versus Luminarias LED	53
3. Estado actual del Sistema de Alumbrado Público de la Avenida Joffre Lima de la Ciudad de Santa Rosa.	55
3.1. Tipo de luminarias utilizadas en el Alumbrado Público.	56
3.1.1. Luminarias de vapor de sodio	57
3.1.2. Luminarias LED	58
3.1.3. Comparativa entre las luminarias existentes en la Avenida.	59
3.2. Características de los postes	60
3.3. Disposición del alumbrado público	61
3.3.1. Distribución Bilateral	62
3.3.2. Distribución Central	63
3.3.3. Distribución Tresbolillo	64

3.4. Características Actuales de la Avenida Joffre Lima de la Ciudad de Santa Rosa	65
3.5. Uniformidad lumínica de la Avenida	68
3.6. Resumen del estado actual del alumbrado público en la Avenida Joffre Lima.	70
4. Criterio del diseño del sistema de iluminación de la Avenida Joffre Lima de la ciudad de Santa Rosa	72
4.1. Propuesta Técnica para la Mejora de la Iluminación en el Alumbrado Público en la Avenida Joffre Lima	72
4.1.1. Configuración de Luminarias	72
4.1.2. Componentes Técnicos:	73
4.1.3. Beneficios Técnicos	90
4.2. Diseño Lumínico	91
4.2.1. Plano Eléctrico diseñado en AutoCAD	91
4.3. Diseño Lumínico Simulado en DIALux evo	95
4.3.1. Software Especializado DIALux evo	95
4.3.2. Metodología Aplicada a la Simulación	95
4.3.3. Simulación	96
4.3.4. Distribución de las luminarias	97
4.3.5. Fotometría de la Avenida obtenida en la simulación . .	101
4.4. Comparativa de Resultados	103
4.4.1. Caídas de voltaje	103

4.4.2. Resultados lumínicos simulados en DIALux evo	104
4.5. Presupuesto	106
5. Conclusiones y Recomendaciones	110
5.1. Conclusiones	110
6. Recomendaciones	111

Índice de figuras

1.	Reflexión de luz	9
2.	Refracción de luz	10
3.	Absorción de Luz	11
4.	Transmisión de Luz	12
5.	Polarización	13
6.	Distinción entre Flujo Luminoso y Luminosidad	14
7.	Iluminancia y Luminancia	15
8.	Curvas de Distribución Luminosa - Coordenadas Polares	17
9.	Curvas de Distribución Luminosa - Coordenadas Rectangulares	18
10.	Deslumbramiento	20
11.	Deslumbramiento Perturbador y Molesto	21
12.	Método de la cuadrícula	42
13.	Luminaria de vapor de sodio	47
14.	Luminaria LED	49
15.	Diodo LED	50
16.	Iluminación de la Av. Joffre Lima.	56
17.	Comparativa entre la iluminación de vapor de sodio e iluminación LED de la Avenida.	57
18.	Luminarias de 250 y 150 Watts	58
19.	Postes en la Av. Joffre Lima	60
20.	Distribución bilateral de luminarias.	62

21.	Distribución central de luminarias.	63
22.	Distribución tresbolillo.	64
23.	Vía tipo M2 según la regulación ARCERNNR 006/20.	65
24.	Partes de la Placa de Identificación - Parte 1	75
25.	Partes de la Placa de Identificación - Parte 2	76
26.	Partes del POSTE PRFV 12 m x 500 Kgf monolítico	76
27.	Dimensiones de la Luminaria en milímetros (mm)	79
28.	Fotometría de la Luminaria	80
29.	Planos para un Transformador Autoprotegido CSP	83
30.	Descripción de Partes	84
31.	Excavación manual para implantación de Postes	85
32.	Izado de Postes	86
33.	Estructuras más comunes en Redes Aéreas de Distribución	87
34.	Luminaria montada en poste de Red Aérea Preensamblada	89
35.	Plano de la propuesta diseñado en AutoCAD.	92
36.	Plano de la propuesta diseñado en AutoCAD (Zoom).	93
37.	Simbología usada en el plano.	94
38.	Simulación de la Avenida en DIALux evo en vista 3D	97
39.	Ubicación de las luminarias en el plano.	98
40.	Ubicación de las luminarias en el plano.	99
41.	Especificaciones técnicas de la Luminaria Simulada en DIALux evo.	100

42.	Fotometría de la Luminaria modelo 1xLED module 250.0 W del fabricante VARTON.	101
43.	Fotometría de colores de la Avenida.	102
44.	Fotometría de colores de la Avenida.	102

Índice de tablas

1.	Clases de Alumbrado y Parámetros Fotométricos por Vías . . .	36
2.	Clases de Alumbrado y Parámetros Fotométricos por Vías . . .	38
3.	Selección de clase de iluminación C según los parámetros de la normativa	40
4.	Parámetros fotométricos para zonas en conflicto	41
5.	Luminarias Convencionales versus Luminarias LED	54
6.	Cantidad de luminarias de vapor de sodio en la Avenida.	58
7.	Cantidad de luminarias LED en la Avenida.	59
8.	Porcentaje de Luminarias en la Avenida.	59
9.	Características de los postes existentes en la Avenida.	61
10.	Parámetros que debe cumplir una vía categoría M2.	66
11.	Clase de iluminación C según la Regulación ARCERNR 006/20 de la Avenida.	67
12.	Parámetros lumínicos que debe cumplir la Avenida.	68
13.	Resultados obtenidos aplicando el método de la cuadrícula.	69
14.	Resumen de las Características de la Avenida.	70
15.	Especificaciones técnicas del poste seleccionado.	77
16.	Parámetros Técnicos de la Luminaria Lum Olympia II shp, c/foco Lumec	78
17.	Especificaciones Técnicas de la Luminaria Seleccionad	79
18.	Especificaciones técnica del transformador seleccionado.	82

19.	Dimensiones del Transformador Monofásico Autoprotegido(CSP), 10 KVA.	83
20.	Datos específicos (ExMEER) del plano eléctrico	94
21.	Tabla comparativa entre los resultados de las caídas de tensión calculadas con las permitidas por la normativa ARCERNNR 002/20.	103
22.	Resultados Lumínicos de la simulación	104
23.	Cuadro comparativo entre la Regulación ARCERNNR 006/20 y los resultados obtenidos en la simulación.	105
24.	Presupuesto del proyecto con postes de fibra de vidrio	107
25.	Presupuesto del proyecto con postes de hormigón	108

CAPÍTULO 1

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Desde el principio de la existencia, los seres humanos han requerido de fuentes de iluminación, marcando el inicio de la crónica de la luz con el empleo del fuego alrededor de hace veinte mil años. La iluminación experimentó su primer avance significativo durante la revolución industrial, impulsada por la necesidad de alargar las horas de trabajo, lo cual llevó a numerosas innovaciones en el diseño de lámparas de aceite. Este capítulo en la historia de la iluminación concluye con la creación de la lámpara incandescente eléctrica [1].

Los dispositivos semiconductores lumínicos, denominados generalmente como LED, son la tecnología óptimo para iluminación global hoy en día, dado que constituyen fuentes de luz de rendimiento energético muy superior en comparación con las bombillas de bajo consumo convencionales [1].

EL consumo energético destinado a la iluminación es uno de los más significativos, consumiendo aproximadamente el 19% de la electricidad a nivel mundial. Sin embargo, la ineficiencia de las tecnologías existentes y el

desperdicio en la iluminación destacan la urgencia de implementar mejoras significativas en este ámbito [1].

La iluminación urbana desempeña un papel fundamental en el bienestar existencial de los habitantes de las ciudades, así como en el rendimiento energético y la preservación del entorno ambiental [2].

En los últimos años, la tecnología LED (Light Emitting Diode) ha emergido como una opción prometedora para la iluminación urbana en muchas partes del mundo debido a su eficiencia energética y durabilidad [3].

La tecnología de diodos emisores de luz (LED) ha revolucionado la iluminación a nivel mundial. Los emisores lumínicos son altamente eficientes en términos energéticos, tienen una vida útil más larga y ofrecen un mayor control sobre la dirección y la luminosidad. Esta tendencia global ha llevado a una transición gradual de las luminarias convencionales hacia las luminarias LED en áreas urbanas [4].

La adopción de luminarias LED puede conllevar múltiples beneficios, incluyendo una mejor calidad de iluminación, una mayor durabilidad, una reducción considerable en el presupuesto para su mantenimiento, además de asegurar una mejora en la seguridad pública. Estudios en diversas ciudades han demostrado estos beneficios [5].

Diversas investigaciones a nivel global han verificado la eficacia del enorme cambio que representa migrar hacia la tecnología basada en diodos emisores de luz (LED), además con estas investigaciones han documentado logros significativos el rendimiento lumínico, disminución de costos operativos y la

considerable mejora de la calidad de vida en entornos urbanos [6].

Santa Rosa es una ciudad de Ecuador con sus propias características y desafíos en cuanto a iluminación urbana. Se requiere un análisis específico de la infraestructura existente, los requerimientos de iluminación y los aspectos ambientales y económicos de la implementación de AP en esta ciudad.

Uno de los principales efectos será la disminución del uso de energía eléctrica, lo que conllevará a una reducción significativa en las emisiones de CO₂, produciendo un impacto ambiental favorable a nivel local, nacional y global en la ciudad, el país y el mundo [7].

El análisis de estos antecedentes subraya la importancia de llevar a cabo un estudio y diseño técnico del sistema de alumbrado público en la Av. Joffre Lima de Santa Rosa, con el propósito de evaluar la viabilidad de reemplazar las luminarias actuales de vapor de sodio por tecnología LED. Este proyecto puede no solo mejorar el uso eficiente de la energía, sino también aumentar la seguridad y la calidad de vida de los residentes en esta importante vía urbana.

1.2. Justificación

Realizar este estudio y diseño lumínico radica en la obsolescencia de las actuales luminarias de alumbrado público en la ciudad de Santa Rosa, las cuales son ineficientes en términos de consumo de energía y calidad de iluminación. Las luminarias de tecnología desactualizada, generan altos costos de operación y mantenimiento, así como un menor rendimiento lumínico, lo

que resulta en zonas insuficientemente iluminadas, aumentando los riesgos de seguridad e impactando negativamente la calidad de vida en la avenida.

La adopción de luminarias LED modernas representa una solución técnica idónea debido a sus ventajas en eficiencia energética, durabilidad y capacidad de control. Las luminarias LED poseen un factor de potencia elevado, lo que reduce las pérdidas de energía reactiva en la red eléctrica, disminuyendo los costos operativos y la huella de carbono ambiental. Además, estas luminarias ofrecen una vida útil más prolongada, minimizando los gastos asociados al mantenimiento y la sustitución frecuente de lámparas.

1.3. Grupo Objetivo

El beneficio social de este proyecto es significativo, debido a que la mejora en la iluminación pública contribuirá directamente a la seguridad de los ciudadanos, en particular en áreas sensibles como el Hospital Central, el Cementerio General y las zonas comerciales y de servicios en la Avenida Joffre Lima de la ciudad de Santa Rosa en la provincia de EL Oro.

Una iluminación más eficaz y uniforme en estas áreas reducirá los riesgos de accidentes y actividades delictivas, al tiempo que mejorará la comodidad y el bienestar de los residentes y visitantes.

Además, la Avenida Joffre Lima alberga restaurantes y farmacias, cuyas operaciones se beneficiarán de una iluminación mejorada, atrayendo a más clientes y mejorando la seguridad en sus inmediaciones.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estudiar y diseñar la iluminación en la Avenida Joffre Lima de forma que se puedan reemplazar las luminarias antiguas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar el rendimiento de las luminarias actuales que alumbran la avenida Joffre Lima.
- Seleccionar la luminaria adecuada para la iluminación de la Avenida en beneficio de los residentes y visitantes de la zona.
- Realizar el diseño lumínico de la avenida tomando en cuenta la normativa ecuatoriana y normativas internacionales.

CAPÍTULO 2

2. Marco Teórico

La Avenida Joffre Lima en la ciudad de Santa Rosa, constituye un epicentro vital de actividades comerciales, de salud y servicios en la localidad. Alberga no solo el Hospital Central, sino también el Cementerio Municipal, una variedad de establecimientos gastronómicos, farmacias y otros negocios locales que atiende las necesidades que requiere la comunidad. A pesar de su relevancia como núcleo urbano, esta arteria enfrenta desafíos significativos en términos de su iluminación.

La obsolescencia tecnológica de las luminarias existentes se convierte en una problemática central que no solo afecta la estética visual de la avenida, sino que también plantea preocupaciones palpables en materia de seguridad pública. La insuficiencia lumínica genera un entorno propicio para incidentes indeseables, como robos, vandalismo o accidentes de tráfico, especialmente en horarios nocturnos cuando la actividad en la zona disminuye y la visibilidad se reduce.

Esta situación crítica no solo impacta en la percepción estética del entorno urbano, sino que representa una amenaza directa para la seguridad y bienestar de residentes y visitantes que frecuentan los servicios y comercios situados en la avenida durante las horas nocturnas. La presencia del Hospital Central y el Cementerio Municipal, como lugares de actividad continua

durante todo el día y la noche, subraya aún más la importancia de abordar de manera urgente y efectiva las deficiencias en la iluminación de esta arteria principal.

Ante este escenario, se evidencia la imperiosa necesidad de emprender una investigación exhaustiva y desarrollar un plan integral para la implementación de un Sistema de Iluminación basado en tecnología LED moderno, eficiente y seguro. Este nuevo sistema no solo debe aspirar a realzar la belleza arquitectónica y estética de la Avenida Joffre Lima, sino que también debe priorizar la mejora de la seguridad en áreas de alta relevancia como el Hospital Central, el Cementerio Municipal y los negocios locales circundantes. La meta final es transformar esta avenida en un espacio vibrante, acogedor y sobre todo seguro, que promueva el bienestar y las condiciones de vida de la comunidad santarroseña [5] .

2.1. Fundamentos de Iluminación

2.1.1. La Luz

La luz puede ser definida como una forma de radiación electromagnética que se propaga a través del espacio en forma de ondas transversales, caracterizada por una frecuencia y una longitud de ondas específicas. Al interactuar con la retina del ojo humano, la luz produce una serie de reacciones fotoquímicas que dan lugar a la percepción visual[8]. Las ondas electromagnéticas se generan como resultado de la aceleración experimentada por una carga eléc-

trica. Estas ondas se caracterizan por parámetros tales como la intensidad, la longitud de onda (la distancia entre crestas adyacentes) y la velocidad. La frecuencia, vinculada a la longitud de onda, se define como el número de crestas que atraviesan un punto específico en el espacio en un intervalo de un segundo [8].

2.1.2. Luminotecnia

La luminotecnia, como disciplina especializada, se dedica al análisis de distintas técnicas destinadas a la generación controlada de luminosidad artificial, así como la modulación de su nivel de intensidad con el propósito de aplicarla de una manera específica a su alcance. Su objetivo primordial consiste en determinar los niveles óptimos de iluminación en un espacio dado, teniendo en cuenta tanto la fuente lumínica como los objetos que serán expuestos a la iluminación [5].

2.1.3. El Lumen (lm)

El lumen es la cantidad de luz visible que incide sobre una superficie en un área específica. Cuanto mayor sean los lúmenes, mayor será la cantidad de luz producida por la fuente luminosa. Es una medida crucial para evaluar la eficiencia lumínica y el rendimiento de dispositivos de iluminación, como bombillas y lámparas, ya que proporciona información sobre la cantidad de luz que realmente se emite [9].

2.1.4. El Lux (lx)

Es la unidad de medida del nivel de iluminación en un área determinada, expresado en términos de la cantidad de flujo luminoso incidente por metro cuadrado. Este parámetro proporciona una evaluación cuantitativa de la luminancia en un espacio específico, considerando la distribución espacial de la luz incidente [10].

2.1.5. Efecto de la lux sobre la materia

La relación que se establece entre la luz y la materia da lugar a diversos fenómenos físicos, entre ellos la reflexión, la refracción, la absorción, la transmisión y la polarización [8].

- **Reflexión:** Este fenómeno óptico se refiere al rebote de la luz cuando incide sobre una superficie, siguiendo la ley de reflexión que establece que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión [11].

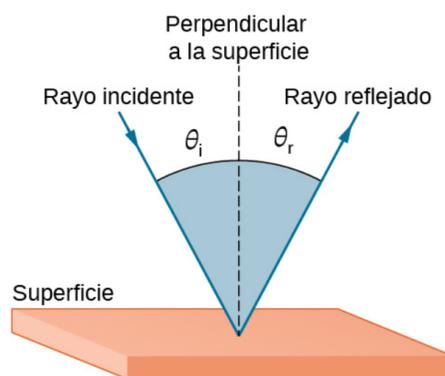


Figura 1: Reflexión de luz

Fuente: [12].

- **Refracción:** La refracción de la luz es el fenómeno óptico que se produce cuando la propagación de una onda lumínica atraviesa la interfaz entre dos medios con índices de refracción distintos, ocasionando un cambio en su dirección. La alteración en la dirección de la luz se tribuye a cambios en la velocidad onda, la cual al transitar entre diferentes medios, donde dicha velocidad guarda una relación inversamente proporcional con el índice de refracción del medio respectivo. En este contexto, conforme se incrementa el índice de refracción de un algún medio, se observa la disminución correspondiente en la velocidad de la luz dentro de dicho medio específico [11].

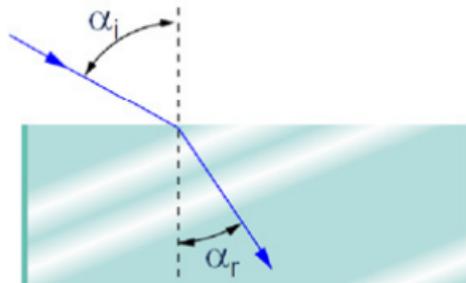


Figura 2: Refracción de luz

Fuente: [13].

- **Absorción:** La absorción de radiaciones, una propiedad intrínseca de los cuerpos, que determina la pérdida de luz al absorber ciertas longitudes de onda de luz incidente. Cuando un cuerpo es iluminado con luz blanca, absorbe total o parcialmente partes específicas del espectro, reflejando o transmitiendo, lo que determina su color, según su nivel

de opacidad o transparencia. Este proceso permite la conversión de energía luminosa en formas alternativas, como calor, electricidad, o incluso la des encadenación de reacciones químicas, como en la fotografía analógica y los materiales fotosensibles [11].

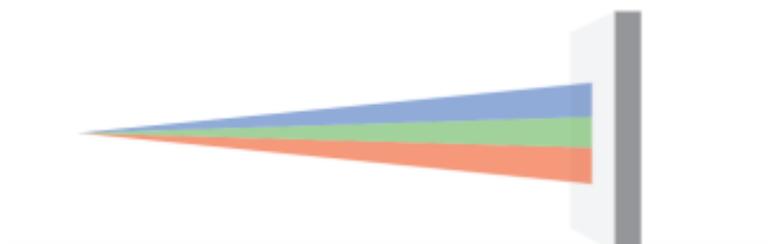


Figura 3: Absorción de Luz

Fuente: [5].

- **Transmisión** Transmisión óptica se define como la capacidad de la luz para propagarse a través de un medio sin sufrir modificaciones en la frecuencia de sus componentes monocromáticos u otras características. Puede concebirse como un proceso de doble refracción, en el cual la luz atraviesa el medio de manera uniforme y continua, sin experimentar cambios notables [8].

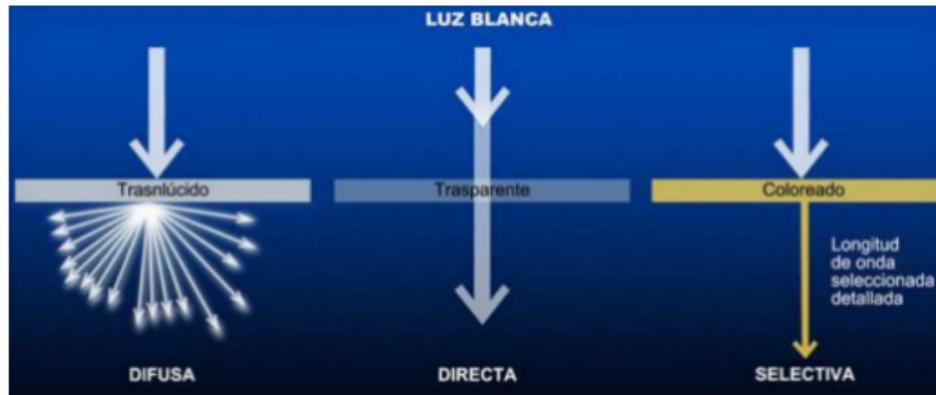


Figura 4: Transmisión de Luz

Fuente: [5].

- Polarización:** La luz es una onda electromagnética transversal, donde la vibración de los campos eléctrico y magnético es perpendicular a la dirección de propagación. La polarización lineal ocurre cuando el campo eléctrico siempre es paralelo a una línea fija en el espacio. La polarización es crucial en el diseño de luminarias para mitigar deslumbramientos [8].

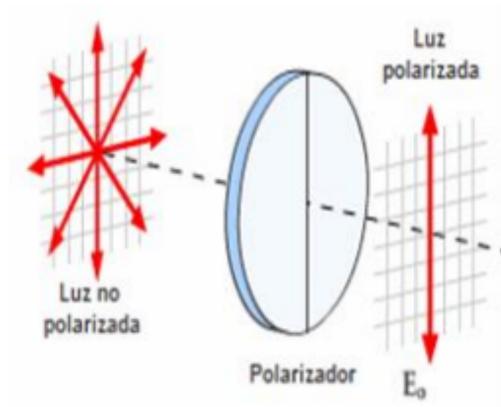


Figura 5: Polarización

Fuente: [8].

2.2. Parámetros Luminosos Fundamentales: Magnitudes y Unidades

2.2.1. Flujo Luminoso (Φ)

Se refiere a la cantidad de energía radiante perceptible por el ojo humano en forma de luz. Se representa con el símbolo (Φ) y se mide en lúmenes (lm) [14].

2.2.2. Intensidad Luminosa (I)

Se trata de la cantidad de flujo luminoso liberado por unidad de ángulo solido en una dirección específica. Su representación simbólica es (I) y su medida se expresa en candelas (cd) [14].

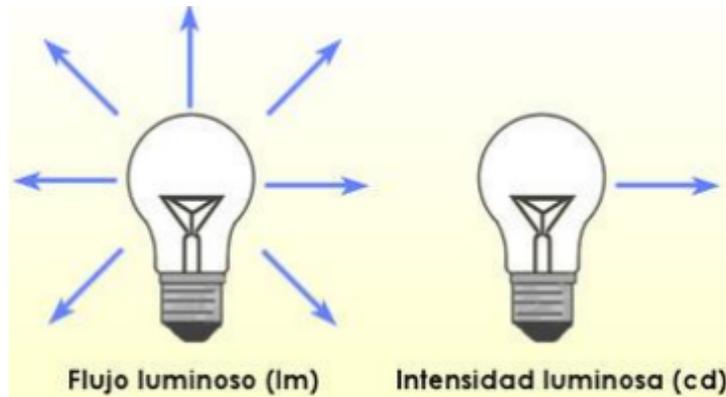


Figura 6: Distinción entre Flujo Luminoso y Luminosidad
Fuente: [8].

2.2.3. Iluminancia (E)

Es la densidad del flujo luminoso que llega a una superficie, representado por el símbolo (E) , se puede medir en lux (Lx) o en lumen por metro cuadrado (lm/m^2) [14].

2.2.4. Luminancia (L)

Se define como la relación entre la intensidad luminosa y la superficie visible para el ojo en una dirección específica. Se representa mediante el símbolo (L) y se mide en candelas por metro cuadrado (cd/m^2) [14].

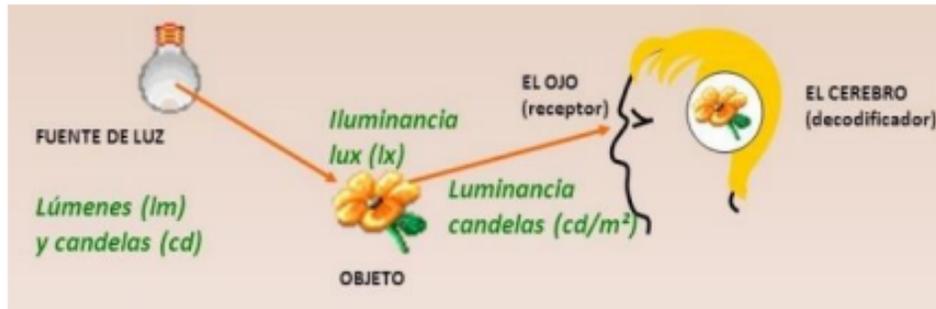


Figura 7: Iluminancia y Luminancia
Fuente: [8].

2.2.5. Rendimiento Luminoso

El rendimiento luminoso se define como la proporción entre la cantidad de luz emitida por una fuente lumínica y la energía eléctrica consumida para generar esa luminosidad. Esta relación se expresa matemáticamente como cociente entre el flujo luminoso emitido, medido en lúmenes, y la potencia eléctrica absorbida, medida en vatios[15]. La unidad de medida para el rendimiento (lm/w) y su expresión se define como:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (1)$$

Donde:

η = Rendimiento Luminoso

Φ = Flujo Luminoso

P = Potencia Eléctrica

2.2.6. Energía Luminosa

Según [16], La energía luminosa se hace alusión a la parte del espectro electromagnético asociada con la radiación visible. Esta energía es percibida por el ojo humano y desencadena procesos fisiológicos y perceptuales. Su medición se realiza en unidades como lúmenes, que cuantifican la radiación luminosa, y lux, que representa la iluminancia. La investigación y aplicación de energía luminosa son cruciales en el diseño de sistemas de iluminación eficientes y en diversas disciplinas, desde la ingeniería de iluminación hasta la biología de la visión [17].

2.2.7. Eficiencia Luminosa

La eficiencia luminosa se refiere a la proporción entre la luz emitida por una fuente lumínica y la energía eléctrica requerida para producirla. Se suele medir en lúmenes por vatio (lm/W) y es un factor crucial para evaluar la capacidad de una fuente de luz en convertir la energía eléctrica en luz visible de forma efectiva [18]. A continuación su expresión:

$$\eta = \left[\frac{\text{Flujo Luminoso}(lm)}{\text{Potencia Activa Consumida}(W)} \right] \quad (2)$$

2.2.8. Distribución Luminosa

Según [19], la distribución luminosa se define como la manera en que la luz se distribuye en el espacio a partir de una fuente de iluminación específica. Esta distribución se distingue por cambios en la intensidad luminosa en

diversa orientaciones.

- **Curva de Distribución Luminosa:**

La representación gráfica de la distribución luminosa se obtiene mediante la toma de mediciones de la intensidad luminosa distintos ángulos alrededor de la luminaria. Estas mediciones son posteriormente transcritas de manera gráfica, tanto en coordenadas polares como en coordenadas rectangulares [20].

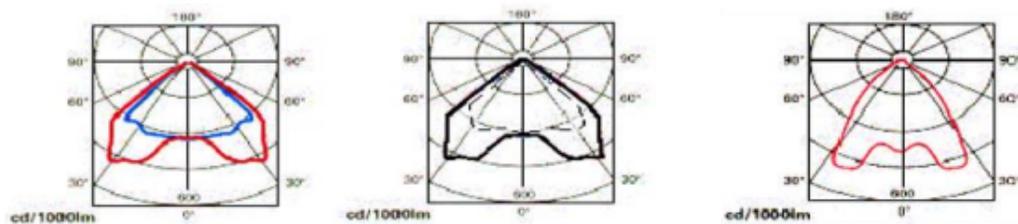


Figura 8: Curvas de Distribución Luminosa - Coordenadas Polares

Fuente: [Fernández, J.G. y O. Boix. Cálculo de instalaciones de Alumbrado 2004].

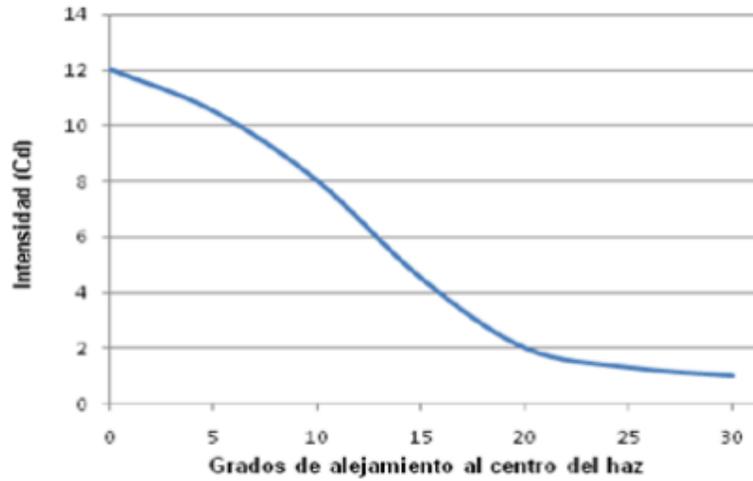


Figura 9: Curvas de Distribución Luminosa - Coordenadas Rectangulares
Fuente: [Fernández, J.G. y O. Boix. Cálculo de instalaciones de Alumbrado 2004].

2.2.9. Eficiencia Energética de una Instalación

La eficiencia energética de una instalación de un AP, se determina mediante la relación entre el producto de la superficie iluminada en metros cuadrados y la iluminaria promedio en lux en funcionamiento, dividido para la potencia activa total instalada en vatios [21].

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P} \quad (3)$$

Donde:

ε = Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior expresada en $[m^2 * Lm/W]$.

S = Superficie iluminada, expresada en $[m^2]$.

P = Potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares), expresada en $[W]$.

E_m = Iluminancia media en servicio de instalación, considerando el mantenimiento previsto, expresada en $[lux]$.

La eficiencia energética ε se la puede determinar a partir de la utilización de los siguientes factores:

$$\varepsilon = \varepsilon_L * f_m * f_u \quad (4)$$

Donde:

ε_L = Eficiencia de lámparas y equipos auxiliares, expresada en $[lum/W]$.

f_m = Factor de mantenimiento de la instalación, expresada en valores en P.U.

f_u = Factor de utilización de la instalación, expresada en valores en P.U.

Definición de cada factor:

- **Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares (ε_L):** Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar [21].
- **Factor de mantenimiento(f_m):** Es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la

instalación de alumbrado y los valores iniciales [21].

- **Factor de utilización (f_u):** Es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias [21].

2.2.10. Deslumbramiento

Condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes de luz [14].



Figura 10: Deslumbramiento

Fuente: [8].

Tipos de Deslumbramiento:

- **Deslumbramiento Molesto:** La experiencia del deslumbramiento molesto se caracteriza por una percepción visual desagradable que exhibe una tendencia al aumento con la exposición temporal, induciendo fatiga visual. En ambientes de oficina, la incidencia de deslumbramiento molesto es más frecuente en comparación con su contraparte perturbadora. Este fenómeno se atribuye a fuentes luminosas ubicadas dentro del campo visual del observador, contribuyendo así a la generación de molestias visuales prolongadas en entornos de trabajo específicos [8].
- **Deslumbramiento Fisiológica:** El deslumbramiento fisiológico se refiere a la perturbación visual causada por la sobre exposición a intensidades luminosas elevadas, lo que resulta en una respuesta fisiológica negativa en el sistema visual humano. Este fenómeno puede provocar fatiga ocular, dificultad para enfocar y malestar visual. Su comprensión y gestión son esenciales en el diseño de sistemas de iluminación ergonómicos [22].



Figura 11: Deslumbramiento Perturbador y Molesto

Fuente: [8].

2.3. Alumbrado Público

El alumbrado público se refiere al sistema de iluminación utilizado en áreas urbanas, como calles, plazas, parques y otros espacios públicos, con el propósito de proporcionar luz y seguridad durante las horas nocturnas. Este sistema tiene un impacto significativo en la percepción de seguridad de la comunidad y en la calidad visual del entorno urbano. El alumbrado público cumple una función esencial al permitir la movilidad segura de peatones y conductores, y contribuye a la estética y el bienestar de una ciudad [23]. El alumbrado público desempeña un papel crucial en la vida cotidiana de las personas, al facilitar diversas actividades y mejorar la seguridad en las comunidades. Se distinguen tres tipos principales de alumbrado público: el general, que proporciona iluminación funcional; el intervenido, cuando entidades públicas asumen el control para mejorar eficiencia y seguridad; el ornamental, que busca embellecer los espacios públicos; y el alumbrado público urbano, que presta un servicio de gran importancia para la sociedad, debido que permite la movilidad de las personas y vehículos en una ciudad.

Actualmente, el alumbrado público es esencial para el progreso de la sociedad moderna, garantizando la seguridad de peatones y conductores durante la noche y creando un ambiente adecuado. Además de su función básica, la iluminación adecuada contribuye a reducir costos indirectos, accidentes y riesgos nocturnos, y mejora el clima social y cultural.

Implementar soluciones modernas y eficientes es un desafío para los municipios, buscando estándares técnicos más altos y mayor eficiencia energética.

ca. Además de reducir el consumo energético, es importante garantizar una iluminación cómoda y de calidad. Por tanto, se deben considerar criterios cualitativos además de los energéticos [24].

El mantenimiento adecuado del sistema de alumbrado público es esencial para mantener su calidad y funcionalidad a lo largo del tiempo. La colaboración entre diversas partes es necesaria para llevar a cabo reconstrucciones periódicas y garantizar la eficiencia y uniformidad del alumbrado público, sin perturbar el entorno y manteniendo costos operativos razonables.

Para abordar de manera efectiva el tema del alumbrado público, es necesario establecer una estructura ordenada y reglas claras, asegurando una visión conceptual sólida que garantice su eficiencia energética, ambiente agradable y calidad acorde a las inversiones realizadas [5].

2.3.1. Alumbrado Público General

El alumbrado público general hoy en día es un componente vital de la infraestructura urbana que proporciona iluminación en las vías públicas para facilitar el tránsito seguro de vehículos y personas durante la noche y en condiciones de poca visibilidad. Su importancia radica en garantizar la seguridad de los ciudadanos y mejorar la accesibilidad en áreas urbanas y suburbanas.

Este tipo de alumbrado se compone de una red de luminarias estratégicamente ubicadas en calles, carreteras, pasillos peatonales y otros espacios públicos. La iluminación adecuada en estas áreas ayuda a prevenir accidentes de tráfico, reduce el riesgo de delitos y mejora la calidad de vida de los

residentes al crear entornos más seguros y confortables.

El diseño del AP general toma como referencia criterios técnicos abarque la distribución uniforme de la luz, la selección de luminarias apropiadas según el tipo de vía y la implementación de sistemas de control para regular la intensidad lumínica según las necesidades y condiciones ambientales. Además, se consideran aspectos como la eficiencia energética, la durabilidad de los equipos y la minimización de la contaminación lumínica. con el fin de disminuir tanto la huella ambiental como los gastos operativos a largo plazo.

En cuanto a la tecnología utilizada, el alumbrado público general ha experimentado avances significativos en los últimos años. Se han desarrollado sistemas de iluminación LED, más eficientes y duraderos, que posibilitan una mayor eficiencia energética y una calidad iluminación superior en contraste con tecnología convencionales, tales como las lámparas de mercurio o las de vapor de sodio. Además, la incorporación de sensores y sistemas de gestión inteligente ha permitido una mayor optimización del consumo energético y una respuesta más rápida ante eventos o emergencias. [25].

2.3.2. Alumbrado Público Intervenido

El AP intervenido representa una categoría especializada dentro de la infraestructura lumínica de una localidad. Este tipo de iluminación se distingue por su adaptación a requerimientos específicos definidos por las entidades competentes, ya sea los gobiernos autónomos descentralizados u otras autoridades pertinentes, los cuales pueden diferir de los estándares establecidos

para el alumbrado público general. Estas divergencias pueden surgir de la necesidad de atender condiciones particulares del entorno, tales como zonas de alto tránsito peatonal o vehicular, áreas con requerimientos de seguridad específicos, o en casos donde se busca mejorar la visibilidad en espacios críticos.

La intervención en el AP puede implicar la instalación de luminarias con características técnicas específicas, como mayor potencia lumínica o distribución de la luz adaptada a las necesidades particulares del entorno. Asimismo, puede requerir el uso de tecnologías avanzadas, como sensores de movimiento o sistemas de control inteligente, para garantizar una respuesta eficiente y adecuada a las condiciones cambiantes del entorno.

Además de las consideraciones técnicas, la infraestructura constructiva del AP intervenido puede diferir de los estándares establecidos para el AP general. Esto puede implicar la implementación de postes o soportes de luminarias de mayor resistencia, sistemas de cableado más robustos o la adopción de medidas de protección adicionales para asegurar la integridad y durabilidad del sistema en condiciones adversas.

Es importante destacar que la intervención en el alumbrado público no solo busca satisfacer necesidades específicas de iluminación, sino también contribuir al bienestar y seguridad de la comunidad. Por lo tanto, este tipo de iniciativas generalmente se originan a partir de un examen minucioso y detallado de las condiciones ambientales y de las exigencias de los beneficiarios, así como de la evaluación de los beneficios en términos de seguridad vial,

reducción de la criminalidad y mejora del ambiente urbano. [25].

2.3.3. Alumbrado Público Ornamental

El AP ornamental abarca una gama diversa de espacios y estructuras emblemáticas que contribuyen al embellecimiento y realce estético de las áreas públicas en una comunidad. Estos espacios incluyen parques, plazas, espacios deportivos al aire libre, iglesias, fuentes, monumentos y otros lugares de interés cultural o histórico. A diferencia del AP general, el alumbrado ornamental se caracteriza por su diseño especializado y su capacidad para crear ambientes atmosféricos y atractivos visualmente, en lugar de simplemente proporcionar iluminación funcional.

La iluminación ornamental se distingue de los estándares establecidos por normativas para iluminación público en general, considerando que su principal objetivo es destacar y realzar la arquitectura, paisajismo o características distintivas de los espacios públicos, en lugar de simplemente iluminarlos para fines prácticos. Este tipo de iluminación se planifica cuidadosamente para resaltar elementos específicos, como la vegetación, la escultura, la arquitectura o el agua, utilizando técnicas de iluminación creativas y dispositivos especiales como proyectores, focos direccionales, luces empotradas y sistemas de cambio de color.

Es importante señalar que, aunque el alumbrado público ornamental busca mejorar la estética y el atractivo visual de las áreas públicas, se excluyen de esta categoría aquellos elementos que no están directamente relacionados

con la iluminación, tales como las bombas utilizadas en piletas o los motores presentes en sistemas de extracción de aire en túneles. Además, los que equipos que consumen energía y no están destinados a la iluminación, como sistemas de climatización o fuentes de agua, no se considera parte del alumbrado ornamental. [25].

2.3.4. Alumbrado Urbano

El alumbrado urbano constituye una infraestructura esencial que contribuye significativamente al funcionamiento y la seguridad de las ciudades en todo el mundo. Su importancia radica en su capacidad para proporcionar iluminación adecuada en espacios públicos, facilitando la movilidad y la actividad diaria de las personas, así como mejorando la percepción de seguridad en entornos urbanos.

Desde una perspectiva técnica, la planificación y el diseño del alumbrado urbano necesitan considerar diversos factores, los mismo que deben incluir la distribución espacial de las luminarias, la selección de tecnologías de iluminación eficientes y sostenibles, y la integración de sistemas de control inteligentes que permitan ajustar la intensidad lumínica según las necesidades específicas de cada área y el horario del día. Además, se deben considerar aspectos relacionados con la seguridad vial, la visibilidad de los peatones y la prevención del delito al diseñar y ubicar las luminarias en calles, aceras, plazas y otras áreas públicas.

En lo que respecta a los elementos tanto económicos como financieros,

la provisión del servicio de iluminación urbana conlleva gastos sustanciales, tanto en cuanto a la inversión inicial como a la operación y mantenimiento a lo largo de su vida útil. Resulta esencial llevar a cabo una evaluación minuciosa de los costos y beneficios vinculados a diversas alternativas de tecnología y diseño, teniendo en cuenta elementos como la eficiencia energética, la duración de vida de los equipos, gastos operativos y de mantenimiento, así como los impactos ambientales y sociales.

La financiación del alumbrado urbano puede provenir de diversas fuentes, incluyendo presupuestos municipales, tarifas de servicio, fondos públicos y privados, así como programas de financiamiento externo a través de organizaciones multilaterales o bancos de desarrollo. Es importante establecer mecanismos transparentes y sostenibles para la gestión de los recursos financieros destinados al alumbrado urbano, garantizando una asignación equitativa de los fondos y una gestión eficiente de los recursos disponibles. [26].

2.4. Normativas y Regulaciones para el Sistema de Alumbrado Público

El estudio y análisis de las normativas y regulaciones para el sistema de AP constituyen una pieza fundamental en la planificación urbana y el bienestar de las comunidades. Estas normativas, como la ARCERNNR 006-20 en Ecuador, desempeñan un papel crucial al establecer estándares específicos para el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de AP. Dichas regulaciones abordan aspectos técnicos, eficiencia energética, seguridad y sostenibilidad, garantizando un entorno iluminado adecuadamente que promueva la seguridad ciudadana y mejore la calidad de vida. Además, estas normativas pueden incluir disposiciones para la adopción de tecnologías más eficientes y amigables con el medio ambiente, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible. Un examen detenido de estas regulaciones no solo proporciona un marco normativo para la infraestructura de AP, sino que también contribuye a la creación de entornos urbanos más seguros, eficientes y respetuosos con el medio ambiente[14].

2.4.1. Regulación ARCERNNR 006-20.

La regulación ARCERNNR 006-20 tiene como objetivo primordial detallar las normas técnicas y comerciales que las empresas eléctricas distribuidoras deben seguir para proporcionar servicios de alumbrado público general con calidad y eficiencia. Su finalidad es garantizar que dichas empresas cumplan con los requisitos técnicos esenciales para la instalación y operación de sistemas de alumbrado público, asegurando así una iluminación adecuada y la seguridad de los espacios públicos. Además, se establecen normas comerciales que fomentan la gestión eficiente del servicio y la atención adecuada a los usuarios, abordando aspectos como facturación, manejo de reclamos y mecanismos de retroalimentación. La implementación de esta normativa se traduce en mejoras sustanciales en la prestación del servicio de alumbrado público, garantizando una iluminación adecuada, minimizando el impacto ambiental y optimizando el uso de recursos energéticos.

2.4.2. Regulación ARCENNR 002-20.

La Regulación No. ARCENNR 002/20, titulada "Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica", representa un hito significativo en el marco regulatorio del sector energético. Su objetivo principal radica en establecer de manera precisa los indicadores, índices y límites que rigen la calidad del servicio ofrecido tanto en la distribución como en la comercialización de energía eléctrica. Este marco normativo busca no solo definir estos parámetros fundamentales, sino también detallar los procedimientos necesarios para la medición, registro y evaluación de los mismos. En este sentido, tanto las empresas eléctricas de distribución como el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), en los casos que les aplique, se encuentran bajo la obligación de cumplir con las disposiciones establecidas en la regulación[27].

Es importante destacar que esta normativa no solo impacta a las entidades proveedoras de energía, sino también a los consumidores, tanto aquellos que están regulados como los no regulados, que están conectados a la red de distribución. De esta manera, se busca garantizar un estándar de calidad uniforme en la prestación de servicios eléctricos, promoviendo la eficiencia operativa, la transparencia y la satisfacción tanto de los proveedores como de los usuarios finales.

Esta regulación, al imponer estándares claros y exigentes, contribuye a fortalecer la confianza en el sector energético, incentivando la inversión en infraestructura y tecnología, y fomentando la competencia justa en el mer-

cado. En última instancia, se espera que la implementación efectiva de esta regulación conduzca a una mejora palpable en la calidad del servicio eléctrico, beneficiando a toda la sociedad y contribuyendo al desarrollo sostenible del país.

2.4.3. Reglamento técnico de de iluminación y alumbrado público (RETILAP)

La RETILAP, normativa colombiana, se erige como un compendio de normas y especificaciones técnicas meticulosamente delineadas en el contexto colombiano. Su propósito trasciende al de mera regulación, buscando la armonización y estandarización de diversos aspectos vinculados con la iluminación y el alumbrado público en el país. La RETILAP, engloba una amplia gama de temáticas fundamentales. Entre ellas, se destacan los requisitos de eficiencia energética aplicables a lámparas y sistemas de iluminación, los niveles lumínicos exigidos para distintos tipos de entornos y actividades, las especificaciones concernientes a las luminarias, así como las medidas orientadas a la preservación ambiental y la prevención de la contaminación lumínica, entre otros aspectos de relevancia. Su cumplimiento, imperativo para empresas y entidades dedicadas al diseño, instalación y operación de sistemas de iluminación y alumbrado público en Colombia, busca fomentar el uso eficiente y sostenible de la energía eléctrica, elevar la calidad de la iluminación y contribuir de manera significativa a la seguridad y bienestar de los ciudadanos[28].

2.4.4. Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013

La Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013, representando un pilar esencial en el ámbito energético mexicano, se establece con el objetivo primordial de regular y optimizar la eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior público. Su enfoque abarca la estandarización de tecnologías, prácticas y criterios para la gestión eficiente de la iluminación exterior, con especial énfasis en la reducción del consumo energético y la minimización de impactos ambientales. La implementación de esta normativa no solo busca adecuar las instalaciones a parámetros técnicos específicos, sino también fomentar la adopción de tecnologías más sostenibles, contribuyendo así al ahorro de recursos energéticos y a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la NOM-013-ENER-2013 emerge como una herramienta estratégica para promover un desarrollo urbano más eficiente, sostenible y en armonía con el entorno, generando beneficios tanto a nivel medioambiental como económico en el panorama energético de México[29].

2.5. Aspectos Técnicos del Sistema de Alumbrado Público

2.5.1. Parámetros Fotométricos según la Norma ARCENNR 006/20

Luminancia promedio(L_{av}): Es el nivel mínimo de iluminación que deberá mantener una instalación, esta dependerá de varios factores, como el flujo luminoso de una luminaria, su distribución lumínica, entre otras. El

calculo de la luminancia promedio deberá cumplir lo que dicta la regulación ARCENNR 006/20 [14].

Uniformidad lumínica (U_o): Esta magnitud es la relación entre la luminancia promedio y la luminancia mínima de la calzada. Este valor depende de los mismos factores que inciden en la luminancia promedio.

Uniformidad longitudinal (U_L): De acuerdo con los estándares especificados en la norma CIE 140-2000, se determina la relación de iluminancia evaluando las intensidades lumínicas mínimas y máximas a lo largo de la trayectoria longitudinal del centro de cada carril vehicular. La metodología para la recolección de datos lumínicos exige que tanto la cantidad de puntos de medición como su distribución espacial sean consistentes con aquellos empleados para el cálculo de la iluminación media del pavimento.

Deslumbramiento (TI): La medida del efecto de deslumbramiento se determina utilizando la variable denominada TI , que se obtiene mediante un cálculo en base a la instalación en su estado de inicio, para ello se usa la siguiente expresión:

$$TI = \frac{k * E_e}{(Lav)^{0,8} * \theta^2} \quad (5)$$

Donde:

$k =$ Factor que varía con la edad del observador, que según la normativa ecuatoriana se usará un valor estandarizado de 650^3 .

$E_e =$ Es la luminancia total emitida por luminarias completamente nuevas, al plano de visión a la altura del observante.

$L_{av} =$ Luminancia promedio inicial.

$\theta =$ Es el ángulo que se forma entre la línea de visión y el centro de las luminarias.

Relación de alrededores(SR): La normativa establece un ratio de iluminancia media como medida de comparación entre la luz sobre bandas de 5 metros de anchura adyacentes a los bordes externos de la vía y aquella sobre bandas equivalentes o proporcionalmente ajustadas si la vía es más angosta, dentro de la misma. Para vías de doble calzada, se consideran como una única entidad para la aplicación de esta métrica, excepto cuando una separación superior a 10 metros las separa. Adicionalmente se destaca que en entorno con iluminación ambiental suficiente, el uso de la relación de iluminancia especificada SR se vuelve redundante[14].

2.5.2. Tipos de alumbrado y parámetros fotométricos por vías

Vías para tráfico motorizado: Las especificaciones sobre Clase de Alumbrado están clasificadas de M1 a M5, y son seleccionadas conforme a: la función de la vía pública, densidad de tráfico, complejidad del tráfico, separación del tráfico y la existencia de facilidades para el control de éste, tales como señales de tránsito[14]. La tipificación está dada en la tabla que sigue:

Tabla 1: Clases de Alumbrado y Parámetros Fotométricos por Vías

Descripción de la Vía	Tipo de iluminación
Vías de alta velocidad, sin cruces ni accesos directos, como autopistas y autovías, con mucho tráfico y movilidad complicada.	
Alta (más de 1000 vehículos/hora)	M1
Media (entre 500 y 1000 vehículos/hora)	M2
Baja (entre 150 y 500 vehículos/hora)	M3
Vías de doble sentido con control de tráfico y segregación de usuarios, garantizando seguridad y fluidez en la circulación.	
Pobre	M1
Bueno	M2
Vías con tráfico intenso en áreas urbanas y carreteras radiales, gestionadas para separar a los distintos usuarios de la vía.	
Pobre	M2
Bueno	M3
Vías de conexión secundarios, carreteras locales de distribución, vías residenciales principales y acceso a propiedades, gestionados para separar a los usuarios y regular el tráfico.	
Pobre	M4
Bueno	M5

Para interpretar mejor la tabla 1 realizamos un resumen de los tipos de vía clasificados en la regulación ecuatoriana ARCERNNER 006/20.

- **M1:** Son vías de alta velocidad como autopistas y autovías, sin cruces ni accesos directos y con tráfico muy elevado, con una estimación de más de 1000 vehículos/hora. También se aplica a vías urbanas con tráfico intenso donde la iluminación es clasificada en la norma como buena.
- **M2:** Estas vías son de tráfico medio, cuentan con un estimado entre 500 y 1000 vehículos/hora. Esta categoría incluye tanto carreteras suburbanas como urbanas, que presentan un doble sentido de circulación tanto para vehículos como para peatones.
- **M3:** Son vías de tráfico bajo, entre 150 y 500 vehículos/hora, con diseño y control de tráfico que permite una segregación efectiva de los usuarios, asegurando seguridad y fluidez.
- **M4:** Vías secundarias, son carreteras locales de distribución y vías residenciales principales con buena iluminación, diseñadas para regular el tráfico y separar usuarios.
- **M5:** Estas vías son similares a las tipo M4, pero con iluminación deficiente.

Esta tabla ayuda a identificar fácilmente el tipo de vía en el que estamos trabajando para llevar a cabo este proyecto con éxito y de manera correcta bajo las normas que exige la regulación ecuatoriana.

Parámetros fotométricos para vías con tráfico motorizado: Identificando la particularidades de las vías y los requisitos visuales asociados, se procede a determinar la adecuada iluminación. Cada tipo de iluminación contiene los valores fotométricos mínimos que deben mantenerse constantes a lo largo del tiempo [14]. Estos valores se encuentran resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2: Clases de Alumbrado y Parámetros Fotométricos por Vías

Clase de iluminación	Campo de Aplicación				
	Todas las Vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con aceras no iluminadas para clases P1 a P4 intersecciones
	Luminancia promedio $l_{av}(cd/m^2)$ mínimo mantenido	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	0.4	10	0.7	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.7	0.5
M3	1.0	0.4	10	0.7	0.5
M4	0.8	0.4	10	NR	NR
M5	0.6	0.4	10	NR	NR

Vías en zona de conflicto: Los puntos de conflicto vial ocurren en áreas donde las trayectorias de los vehículos se entrecruzan o convergen hacia áreas de alta actividad peatonal y ciclista, así como en zonas donde los caminos de otros usuarios se intersectan. También se presentan en situaciones donde la configuración de la carretera varía, incluyendo la disminución en el número de carriles o una contracción en el ancho de los carriles o de la vía misma. En estas zonas de conflicto, la categorización de la iluminación, designada como clase C [14], se establece de acuerdo con el siguiente criterio:

$$C = 6 - \sum V_{ps} \quad (6)$$

Donde:

C = Serán valores entre 0 y 5 y cada valor corresponderá a las clases de iluminación respectivamente.

$\sum V_{ps}$ = Sumatorio de los parámetros seleccionados en función de la Tabla 3.

Tabla 3: Selección de clase de iluminación C según los parámetros de la normativa

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (V_{ps})	V_{ps} seleccionado
Velocidad	Elevado	3	
	Alto	2	
	Moderado	1	
	Bajo	0	
Volumen del tráfico	Elevado	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	
	Si	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías Visuales	Pobre	0,5	
	Moderado o bueno	0	

Parámetros fotométricos para zonas en conflicto: Para las zonas de conflicto, los parámetros fotométricos para las seis clases de iluminación de C0 a C5, se definen en la siguiente tabla:

Tabla 4: Parámetros fotométricos para zonas en conflicto

Clases de iluminación	Iluminación promedio E (lx)	Uniformidad de la iluminancia U_0	Incremento de umbral (%)	
			Moderada y alta velocidad	Baja y muy baja velocidad
C0	50	0,4	10	15
C1	30		10	15
C2	20		10	15
C3	15		15	20
C4	10		15	20
C5	7,5		15	25

2.6. Método de la cuadrícula

El enfoque de la cuadrícula en luminotecnia emerge como una estrategia esencial para examinar detalladamente la distribución de la iluminación en un área específica. Este método implica la subdivisión del espacio en celdas imaginarias, donde se llevan a cabo mediciones precisas de iluminancia, que es la cantidad de luz que incide sobre una superficie y se mide en lux (lx). Mediante la aplicación de esta técnica, se obtienen datos detallados sobre la variación de la iluminación en distintas partes del espacio.

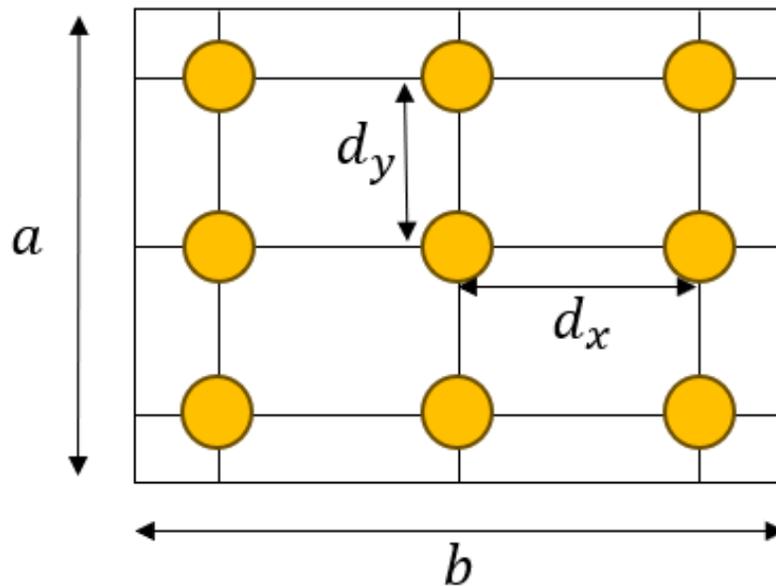


Figura 12: Método de la cuadrícula

Fuente: [Autores].

Al analizar los resultados obtenidos de las mediciones de iluminancia en cada celda de la cuadrícula, se puede evaluar si la distribución de la ilu-

minación es uniforme en todo el espacio o si existen áreas con niveles de iluminación deficientes. Esta información es crucial en el diseño de sistemas de iluminación, ya que garantiza el cumplimiento de los requisitos específicos de iluminación según la actividad o función del espacio, ya sea en entornos laborales, espacios de exhibición u otras áreas de interés[30]. Las ecuaciones que se usaran para calcular si la uniformidad lumínica es la educada serán:

- **Índice local (k):** Este factor " k " nos ayuda a encontrar el numero de puntos mínimos de medición.

$$k = \frac{a * b}{h * (a + b)} \quad (7)$$

Donde:

a = Ancho

b = Largo

h = Altura de luminaria al suelo

Cuando el índice local resulte un numero decimal, este se deberá redondear a su entero superior.

- **Numero mínimo de puntos de medición (N):** Con la ecuación 7 encontramos los puntos mínimos de medición para encontrar la uniformidad lumínica.

$$N = (k + 2)^2 \quad (8)$$

Donde:

k = Índice local

- **Nivel de iluminación promedio (E_{media}):** El calculo del nivel promedio de iluminación es clave para comparar con las normativas y asegurarnos de que estamos cumpliendo con los requisitos mínimos de iluminación.

$$E_{media} = \frac{\sum \text{Valores medidos}(lux)}{\text{Cantidad de puntos medidos}} \quad (9)$$

- **Uniformidad lumínica (U_o):** Es la relación entre el nivel de iluminación promedio y el nivel de iluminación mínima, esta relación indica que la uniformidad de la iluminación esta dentro de lo exigido por las normativas.

$$U_o = E_{min}/E_{media} \quad (10)$$

$$E_{min} \geq \frac{E_{media}}{2} \quad (11)$$

Donde:

E_{min} = Medición mas baja de todos los datos obtenidos

E_{media} = Promedio de todas las mediciones

Con la ecuación 10 calculamos la uniformidad lumínica y la 12 se usa para comprobar si la relación de uniformidad, que tenemos se cumple.

2.7. Luminaria

Una luminaria, entendida como un aparato de iluminación integral, consta de uno o más emisores de luz, tales como bombillas, lámparas LED o tubos fluorescentes, acompañados de todos los componentes necesarios que sirven para distribuir la luz, modular su intensidad y orientarla de manera eficaz. Este conjunto puede incluir reflectores para dirigir la luz, lentes o difusores que la dispersan uniformemente, y carcasas que protegen los elementos eléctricos, a la vez que proporcionan una estética adecuada para su entorno de aplicación.

Las luminarias desempeñan un papel fundamental en cualquier sistema de iluminación arquitectónico o de infraestructura. Son los dispositivos a través de los cuales se canaliza la luz para alcanzar los objetivos lumínicos deseados, ya sea para maximizar la visibilidad en vías de tránsito, realzar la seguridad en espacios públicos, crear ambientes acogedores en interiores o destacar elementos estéticos de diseño en diversas construcciones. La elección

adecuada de las luminarias es crucial y se basa en una cuidadosa consideración de varios criterios técnicos y estéticos. La eficiencia lumínica, entendida como la cantidad de luz que una luminaria es capaz de proveer por unidad de energía consumida, es un factor determinante en la selección de estos equipos. Asimismo, la temperatura de color, que se refiere a la tonalidad de la luz emitida, ya sea más cálida o más fría, es esencial para crear el ambiente deseado y para asegurar la precisión en la percepción del color en el entorno iluminado.

Además de estos factores, se valoran las características de durabilidad, facilidad de mantenimiento, resistencia a las condiciones ambientales y la capacidad de integrarse armónicamente en el paisaje o la arquitectura circundante. En contextos especializados, como la iluminación de museos o espacios de exposición, se presta especial atención al índice de reproducción cromática, que es la medida en que la luz revela los colores de los objetos de manera fiel y natural [31].

2.7.1. Luminarias HID

Las luminarias HID (Alta Intensidad de Descarga) son un tipo de sistema de iluminación que utiliza lámparas de descarga eléctrica en un gas o vapor a alta presión para producir una fuente intensa de luz. Estas lámparas funcionan a través de un proceso de descarga eléctrica que excita los átomos o moléculas del gas o vapor contenido en una ampolla sellada. Este proceso genera una luz brillante y uniforme.

Las luminarias HID son conocidas por su capacidad para proporcionar una iluminación intensa en una variedad de aplicaciones, desde iluminación exterior en calles y carreteras hasta iluminación en almacenes, estadios y espacios industriales. Algunos tipos comunes de lámparas HID incluyen luminarias de sodio de alta presión, halogenuros metálicos y lámparas de vapor de mercurio [32].



Figura 13: Luminaria de vapor de sodio
Fuente: [Luminaria (2023)].

2.7.2. Luminarias LED

Las luminarias LED presentan una serie de beneficios significativos que las hacen especialmente atractivas para el alumbrado público en la actualidad. En primer lugar, su alta eficiencia energética permite una notable reducción en el consumo de electricidad en comparación con fuentes de luz tradicionales, lo que se traduce en importantes ahorros de costos operativos a lo largo de su vida útil. Además, su larga vida útil, que supera con creces la de las tecnologías convencionales, minimiza la necesidad de reemplazo y mantenimiento frecuente. Sin embargo, cabe señalar que las luminarias LED pueden tener un costo inicial más elevado. En cuanto a las ventajas medioambientales, las luminarias LED contribuyen a la reducción de la huella de carbono debido a su menor consumo energético y a la eliminación de mercurio, presente en algunas lámparas fluorescentes. Además, su capacidad de control permite adaptar la intensidad luminosa y el color a las necesidades específicas de cada entorno, lo que aumenta su versatilidad. En resumen, a pesar de su inversión inicial, las luminarias LED representan una elección técnica y económicamente sólida para el alumbrado público en la actualidad debido a su eficiencia, durabilidad, beneficios medioambientales y flexibilidad de control. [33].



Figura 14: Luminaria LED
Fuente: [Schreder (2023)].

2.8. LED

El Diodo Emisor de Luz o LED es una tecnología de iluminación altamente eficiente y duradera que utiliza semiconductores para emitir luz. Los LEDs son conocidos por su capacidad para generar luz de alta calidad, con una eficiencia energética significativamente mayor en comparación con las tecnologías de iluminación convencionales, como las lámparas incandescentes y fluorescentes. Los LEDs son ampliamente utilizados en la actualidad para aplicaciones de iluminación, desde iluminación de interiores hasta alumbrado público y se han convertido en una opción popular debido a su capacidad para reducir el consumo de energía y la huella de carbono [5].

adaptable a las necesidades específicas de una ubicación.

2.9.1. Beneficios

El reemplazo de las luminarias de vapor de sodio por tecnología LED conlleva una serie de beneficios significativos. Uno de los beneficios más destacados es la drástica reducción en el consumo de energía. Los LEDs son notablemente más eficientes, lo que puede traducirse en ahorros sustanciales en los costos operativos a lo largo del tiempo. Además, el uso de LEDs contribuye a la reducción de emisiones de carbono al disminuir la huella de carbono de la ciudad. La mejora en la calidad de la iluminación proporcionada por los LEDs también se traduce en una mayor seguridad para los ciudadanos, mejorando la percepción del entorno urbano y disminuyendo la delincuencia.

2.9.2. Efectos Ambientales

La transición hacia la tecnología LED en el AP no solo tiene un impacto positivo en términos de eficiencia energética, sino que también beneficia al medio ambiente de diversas maneras. La incorporación de esta tecnología conlleva una notable disminución de la contaminación lumínica, lo que a su vez reduce el deslumbramiento y el brillo que puede afectar negativamente a la vida silvestre y la observación astronómica. Esta reducción en la contaminación lumínica puede tener efectos beneficiosos en la biodiversidad y mejorar la calidad de vida en entornos urbanos [34].

2.9.3. Economía y Finanzas

Desde una perspectiva económica, la transición hacia la tecnología LED en el alumbrado público puede considerarse una inversión a largo plazo. Aunque el costo inicial de implementación puede ser significativo, los ahorros en energía y mantenimiento a lo largo de la vida útil de las luminarias LED pueden superar con creces esta inversión inicial. Además, existen opciones de financiamiento disponibles, como préstamos gubernamentales o programas de eficiencia energética, que pueden hacer que el proyecto sea financieramente viable y beneficioso a largo plazo [35].

2.9.4. Seguridad Vial

El alumbrado público desempeña un papel fundamental en la seguridad vial. El reemplazo de luminarias de vapor de sodio por tecnología LED tiene un impacto directo en la visibilidad de las carreteras y calles. La iluminación LED proporciona una luz más brillante y uniforme, lo que mejora la visibilidad de señales de tráfico, peatones y otros vehículos, reduciendo así el riesgo de accidentes de tráfico. Este aspecto es fundamental para aumentar la seguridad en la vía pública y contribuir a la reducción de accidentes [36].

2.10. Eficiencia Energética

La eficiencia energética se define como la capacidad de un sistema o dispositivo para realizar una tarea específica utilizando la menor cantidad de

energía posible. EN el contexto de la iluminación, este concepto se refiere a la relación entre la cantidad de luz producida y la energía consumida. Un sistema de iluminación eficiente es capaz de generar un cantidad adecuada de luz con un consumo mínimo de energía, lo que se traduce en ahorros sustanciales en electricidad y, en consecuencia, en una reducción significativa de los costos operativos y del impacto ambiental asociado con el uso de energía [23].

2.11. Luminarias Convencionales versus Luminarias LED

Hace aproximadamente alrededor de unos 12 años se aplicaba las luminarias con tecnología de tipo presión de mercurio, las mismas que se usaron con mayor aplicación en el sector de alumbrado publico, sin embargo los estudios de investigación a ámbito internacional determinaron que su componente fundamental era el mas contaminante e ineficiente, motivo por el cual se dejaron de aplicar, dando paso al uso de luminarias de alta presión de sodio, las cual consistía hace algunos años en el 88,33% del país representando un gasto de 25,7 millones de dolares [33].

Las luminarias LED contra las luminarias convencionales cuentan con mayores beneficios, los que se pueden apreciar en la tabla 5.

Tabla 5: Luminarias Convencionales versus Luminarias LED

Características	Luminarias LED	Luminarias de Vapor de Sodio
Eficiencia Energética	Alta eficiencia energética. Menor consumo de energía para la misma cantidad de luz.	Buena eficiencia energética, pero generalmente menor que los LED.
Vida Útil	Muy larga, puede ser de hasta 50,000 horas o más.	Larga, pero menor que los LED, típicamente alrededor de 24,000 horas.
Calidad de la Luz	Excelente calidad de luz con alta reproducción cromática. Colores más vivos y naturales.	Luz amarillenta con baja reproducción cromática, lo que hace que los colores aparezcan distorsionados.
Impacto Ambiental	Menor impacto ambiental. No contienen mercurio ni otros materiales peligrosos.	Contienen mercurio, lo que representa un riesgo ambiental si no se desechan correctamente.
Costo Inicial	Más alto debido a la tecnología avanzada.	Generalmente más bajo que los LED.
Costo a Largo Plazo	Menor, gracias a la reducción del consumo energético y los costos de mantenimiento.	Mayor debido a la necesidad de reemplazos más frecuentes y mayor consumo energético.
Temperatura de Operación	Operan bien en un rango de temperaturas más amplio.	El rendimiento puede disminuir en temperaturas muy bajas o muy altas.
Encendido	Encendido instantáneo.	Puede requerir un tiempo de calentamiento antes de alcanzar el brillo máximo.

CAPÍTULO 3

3. Estado actual del Sistema de Alumbrado Público de la Avenida Joffre Lima de la Ciudad de Santa Rosa.

El estado actual de su alumbrado público se caracteriza por deficiencias significativas, especialmente debido al uso de luminarias obsoletas de vapor de sodio. Con 217 luminarias según CNEL (Corporación Nacional de Electricidad), 45 de estas luminarias son de vapor de sodio, es evidente la necesidad urgente de un reemplazo. En este contexto, se propone implementar luminarias LED modernas y eficientes como una solución integral para mejorar la iluminación en la avenida.



Figura 16: Iluminación de la Av. Joffre Lima.
Fuente: [Autores].

3.1. Tipo de luminarias utilizadas en el Alumbrado Público.

La avenida Joffre Lima, cuenta con un total de 217 luminarias de alumbrado público, las cuales 172 ya han sido reemplazados por tecnología LED, quedan pendientes 45 luminarias de vapor de sodio por sustituir. Este cam-

bio mejorará la seguridad de la zona, fomentará la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental que contribuirán significativamente al desarrollo de la comunidad santarroseña.



Figura 17: Comparativa entre la iluminación de vapor de sodio e iluminación LED de la Avenida.

Fuente: [Autores].

3.1.1. Luminarias de vapor de sodio

Existe un total de 45 luminarias de vapor de sodio en la avenida, las cuales podremos observar en la tabla 3 con su respectiva potencia instalada.

Tabla 6: Cantidad de luminarias de vapor de sodio en la Avenida.

Potencia [W]	Total de Luminarias	Porcentaje [%]
100	7	15.5 %
150	11	24.4 %
250	16	35.5 %
400	11	24.4 %
Total	45	100 %

3.1.2. Luminarias LED



Figura 18: Luminarias de 250 y 150 Watts
Fuente: [Autores].

En la Avenida Joffre Lima, se sustituyeron 86 luminarias de 240 watts de potencia para la vía y 86 lámparas más de 150 watts para las veredas de ambos lados.

Tabla 7: Cantidad de luminarias LED en la Avenida.

Potencia [W]	Total de Luminarias	Porcentaje [%]
150	86	50 %
240	86	50 %
Total	172	100 %

3.1.3. Comparativa entre las luminarias existentes en la Avenida.

Basándonos en la Tabla 8, se puede observar la distribución de los tipos de luminarias a lo largo de la avenida estudiada. Se identificaron un total de 217 luminarias, de las cuales 172 corresponden a luminarias de vapor de sodio, representando el 79,26 % del total. Por otro lado, las luminarias LED constituyen una minoría con 45 unidades, lo que equivale al 20,74 % del conjunto. Este análisis refleja una predominancia significativa de las luminarias de vapor de sodio sobre las LED en la infraestructura actual de la avenida. Este hecho puede implicar consideraciones relevantes en términos de eficiencia energética, costos de mantenimiento y emisiones de luz, aspectos cruciales en la planificación urbana y en la gestión ambiental de la iluminación pública. La transición hacia una mayor proporción de luminarias LED podría ser una estrategia a considerar para mejorar la sostenibilidad y reducir el consumo energético en el área estudiada.

Tabla 8: Porcentaje de Luminarias en la Avenida.

Tipo de Luminaria	Cantidad	Porcentaje (%)
Luminarias LED	172	79,26
Luminarias de Vapor de Sodio	45	20,74
TOTAL	217	100

3.2. Características de los postes

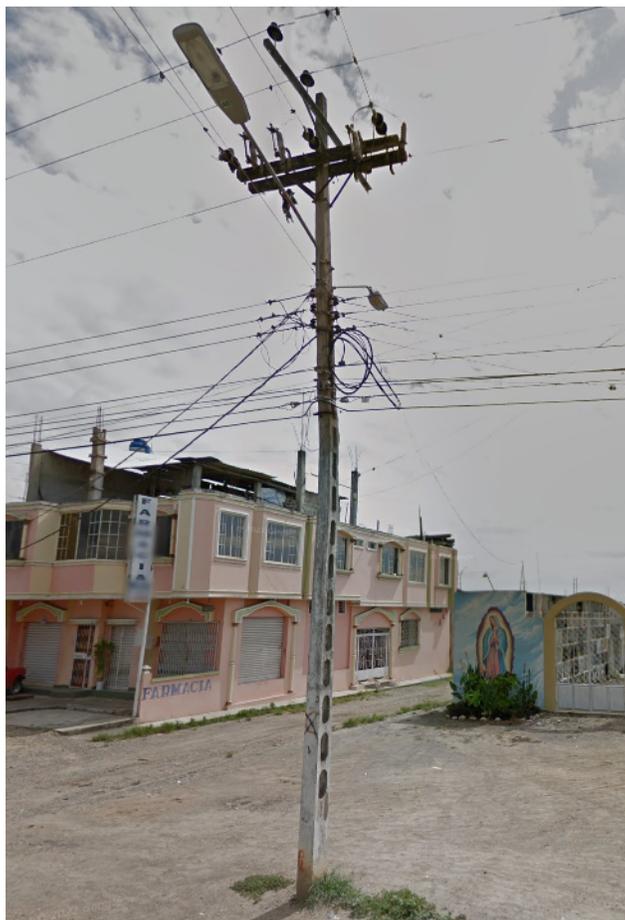


Figura 19: Postes en la Av. Joffre Lima

Fuente: [Autores].

Los postes de alumbrado público pueden variar en características dependiendo de su diseño, propósito y ubicación específica. Sin embargo, estas son algunas características de los postes ubicados en la Avenida.

Tabla 9: Características de los postes existentes en la Avenida.

Tipo de Poste	Altura (m)	Material	Cantidad	Porcentajes (%)
PHC11_500	11	Hormigón	12	31,58
PHR11_500	11	Hormigón	18	47,37
PHC9_350	9	Hormigón	5	13,16
PHC12_500	12	Hormigón	1	2,63
PEC11	11	Metálico	1	2,63
PEC10	10	Metálico	1	2,63
TOTAL			38	100,00

La tabla 9 nos indica que en la Avenida existen poste de hormigón armado y de material metálico, con alturas que varían desde los 9 hasta los 12 metros de altura, con capacidad de ruptura de 350 a 500 kilogramos de peso. Se puede observar que el 74.95 % son de hormigón, lo que representa ser la mayoría de postes en la zona.

3.3. Disposición del alumbrado público

El sistema de alumbrado público de la Av. Joffre Lima en la ciudad de Santa Rosa se caracteriza por contener varios tipos de distribuciones en los que se encuentran, distribuciones bilaterales, centrales y tresbolillo que abarcan toda la extensión de esta avenida.

3.3.1. Distribución Bilateral

Esta distribución actualmente en la avenida no cuenta con una uniformidad lumínica eficiente. La vida útil de las luminarias de vapor de sodio ha reducido la potencia de iluminación, dejando sensaciones de oscuridad. Esto presentará un problema grave a mediano plazo para el tráfico vehicular, peatonal y locales comerciales de la avenida, ya que se sigue reduciendo la uniformidad lumínica de la vía, lo que aumentará la probabilidad de accidentes y actos delictivos.



Figura 20: Distribución bilateral de luminarias.

Fuente: [Autores].

3.3.2. Distribución Central

La distribución central es solo una pequeña parte de toda la Avenida, por ahora solo existen 8 luminarias, 4 de una potencia de 400 watts y 4 más de 150 watts, que se encuentran ubicadas a la altura del hospital central y del cementerio general de Santa Rosa.



Figura 21: Distribución central de luminarias.

Fuente: [Autores].

3.3.3. Distribución Tresbolillo

La distribución tresbolillo en el alumbrado público es un diseño estratégico de disposición de luminarias que emula la organización de un tablero de ajedrez. En este patrón, las luminarias se colocan en filas alternas en dos direcciones perpendiculares entre sí. Este enfoque se implementa ampliamente en entornos urbanos y viales con el objetivo de asegurar una iluminación uniforme y eficiente. Al distribuir las luminarias de esta manera, se logra una cobertura más completa del área, lo que reduce los puntos oscuros y mejora la visibilidad tanto para peatones como para conductores. Además, la distribución tresbolillo contribuye a mitigar el deslumbramiento y la contaminación lumínica al dirigir la luz de manera más uniforme hacia el suelo, evitando así una dispersión excesiva hacia arriba y garantizando un entorno más confortable y seguro para los usuarios.

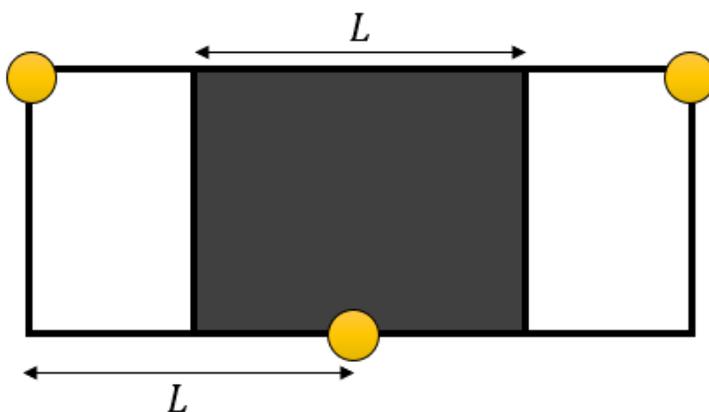


Figura 22: Distribución tresbolillo.

Fuente: [Autores].

3.4. Características Actuales de la Avenida Joffre Lima de la Ciudad de Santa Rosa .



Figura 23: Vía tipo M2 según la regulación ARCERNNR 006/20.

Fuente: [Autores].

Se determinó que la Av. Joffre Lima según la regulación ARCERNNR 006/20 es una vía tipo **M2** por su flujo de vehículos/hora, su doble sentido de circulación y también considerando que es una vía urbana de tráfico moderado con circulación peatonal [14].

Tabla 10: Parámetros que debe cumplir una vía categoría M2.

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 $L_{av}(cd/m^2)$ mínimo mantenido	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	10	0,7	0,5
M4	0,8	0,4	10	NR	NR
M5	0,6	0,4	10	NR	NR

Fue necesario determinar la clasificación de iluminación C correspondiente a la avenida Joffre Lima según la normativa vigente, con el fin de realizar una comparación entre la iluminación promedio calculada en dicha vía y los estándares establecidos por la regulación.

Tabla 11: Clase de iluminación C según la Regulación ARCERNNR 006/20 de la Avenida.

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (V_{ps})	V_{ps} seleccionado
Velocidad	Elevado	3	2
	Alto	2	
	Moderado	1	
	Bajo	0	
Volumen del tráfico	Elevado	1	0
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy bajo	-1	
Composición de Tráfico	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	1
	Mezclado	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	0
	Si	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	1
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías Visuales	Pobre	0,5	0,5
	Moderado o bueno	0	

Siguiendo las ecuaciones que nos ofrece la regulación [14]. Obtenemos:

$$C = 6 - \sum V_{ps}$$

$$C = 6 - (2 + 0 + 1 + 0 + 1 + 0,5) \quad (12)$$

$$C = 1,5$$

En este caso el resultado es 1.5, no es un numero entero, entonces el valor

será igual al menor valor de la suma según la normativa, como el resultado es 1, la avenida entra en la clase de iluminación **C1** por lo que se tiene que cumplir con los parámetros de la tabla 11.

Tabla 12: Parámetros lumínicos que debe cumplir la Avenida.

Clases de iluminación	Iluminación promedio E (lx)	Uniformidad de la luminancia(U_o)	Incremento de umbral (%)	
			Moderada y alta velocidad	Baja y muy baja velocidad
C0	50	0,4	10	15
C1	30		10	15
C2	20		10	15
C3	15		15	20
C4	10		15	20
C5	7,5		15	25

3.5. Uniformidad lumínica de la Avenida

Para conocer si la Avenida tiene una uniformidad lumínica correcta, dentro de las exigencias de las normativas, aplicamos el método de la cuadrícula que es una técnica utilizada en el diseño y la instalación de sistemas de iluminación urbana que consiste en dividir el área a iluminar en una cuadrícula o rejilla imaginaria, y luego calcular la cantidad de luz necesaria para cada sección de la cuadrícula con el objetivo de proporcionar una iluminación uniforme y adecuada en todo el espacio.

Aplicando este método se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13: Resultados obtenidos aplicando el método de la cuadrícula.

Mediciones de campo calculadas		Parámetros fotométricos de la normativa	
Emedia	105,018 lx	Emedia	30lx
Emin	12 lx	Emin	15lx
Uniformidad U_o	0.113	Uniformidad U_o	0.4
Emin ≥ Emedia/2	No cumple	Emin ≥ Emedia/2	Si cumple
Iluminación NO Uniforme		Iluminación Uniforme	

Tras analizar los resultados, se evidencia que si bien la luminancia promedio en la avenida Joffre Lima cumple con los estándares normativos, el resto de parámetros no lo hacen. Por lo tanto, se concluye que la avenida Joffre Lima no proporciona una uniformidad lumínica adecuada, dado que no cumple con la relación establecida por el método de la cuadrícula, ni con los parámetros exigidos por la normativa ARCERNNR 006/20. Sin embargo, es importante señalar que sí cumple con el nivel de iluminación promedio requerido.

3.6. Resumen del estado actual del alumbrado público en la Avenida Joffre Lima.

Tabla 14: Resumen de las Características de la Avenida.

Resumen de las características de la Avenida	
Luminarias	
Cantidad de luminarias LED	172
Cantidad de luminarias de vapor de sodio	45
Características de los postes	
Total de postes	38
Alturas	9 - 12m
Materiales	Hormigón - Metálicos
Capacidad de ruptura	350 - 500kg
Distribución de alumbrado público	
Distribución Bilateral	29
Distribución Central	8
Distribución Tresbolillo	8
Avenida según la normativa	
Tipo de vía	M2
Clase de iluminación	C1
Luminosidad de la Avenida	
Iluminación promedio	105,018lx
Uniformidad Lumínica	NO UNIFORME

En resumen, la Avenida Joffre Lima en la ciudad de Santa Rosa contiene un total de 172 luminarias de AP, las cuales 172 luminarias son LED y 45 son de vapor de sodio, esto quiere decir que el 20.74 % de luminarias, son de vapor de sodio, las cuales se busca reemplazar con este proyecto.

En la avenida se encuentran un total de 38 postes con alturas que van desde los 9 a 12 metros de altura. El material de estos postes son de hormigón y metálicos con capacidad de ruptura de 350 a 500 kg. Aunque la altura de

estos postes es adecuada para la colocación de luminarias, existen postes en malas condiciones, que merecen ser reemplazados.

La distribución del alumbrado público de la avenida se divide en distribución bilateral (29 postes), distribución central (8 postes) y tipo tresbolillo (8 postes), que no cumplen con la uniformidad adecuada que exige la normativa ecuatoriana.

La avenida se clasifica como M2 con clase de iluminación C1 según la Regulación ARCERNNR 006/20, debido a que consta de una circulación tanto vehicular como peatonal con tráfico moderado[14].

La iluminación promedio de la avenida es de 105.018 luxes, un nivel bastante elevado que cumple con la normativa, sin embargo no cumple con los parámetros de uniformidad mínima de la vía según la ARCERNNR 006/20 [14].

Como conclusión, la avenida actual cuenta con una uniformidad lumínica deficiente, postes en mal estado, una distribución del alumbrado público no equidistante y luminarias de tecnología obsoleta, por lo que se procede a crear un nuevo diseño que cumpla con todas las características lumínicas que exige la normativa ecuatoriana para hacer de esta avenida una zona más segura y que la comunidad santarroseña cuente con todos los beneficios de la tecnología LED.

CAPÍTULO 4

4. Criterio del diseño del sistema de iluminación de la Avenida Joffre Lima de la ciudad de Santa Rosa

4.1. Propuesta Técnica para la Mejora de la Iluminación en el Alumbrado Público en la Avenida Joffre Lima

La presente propuesta tiene como objetivo la mejora de la iluminación en la Avenida Joffre Lima a través de la implementación de la tecnología LED en lugar de las luminarias de Vapor de Sodio instaladas actualmente. Se busca optimizar la eficiencia energética, la visibilidad y la seguridad, considerando aspectos técnicos como la configuración de luminarias, la implementación de coronillas de dos brazos y la elección de luminarias LED de doble potencia.

4.1.1. Configuración de Luminarias

- **Disposición en Tresbolillo:** Se propone la disposición de luminarias en tresbolillo a 35m cada poste para maximizar la uniformidad de la iluminación en la avenida. Esta configuración garantiza una distribución equitativa de la luz, reduciendo los puntos oscuros y mejorando la

visibilidad para peatones y conductores.

- **Tecnología LED:** La tecnología LED ha sido seleccionada por su eficiencia energética y calidad de iluminación. Se busca implementar luminarias LED de doble potencia, modelo Barto con una potencia nominal de 250W, que se ajustan a las necesidades específicas de la avenida y son compatibles con las condiciones del mercado actual en Ecuador. Se realizará una búsqueda detallada en el catálogo de Luminarias OLYMPIA para garantizar la adquisición de productos de alta calidad.
- **Coronilla de Dos Brazos:** La implementación de coronillas de dos brazos en el alumbrado público permitirá una distribución más efectiva de la luz en los espacios de circulación pública. Esto contribuirá a la uniformidad y eficacia de la iluminación, mejorando la seguridad y reduciendo la contaminación lumínica.

4.1.2. Componentes Técnicos:

- **Poste de Fibra de Vidrio Translúcido:**

Se propone el uso de postes de fibra de vidrio translúcido de 12 metros de altura. Estos postes ofrecen resistencia estructural, durabilidad y transmiten la luz, mejorando la estética y la visibilidad nocturna. Los postes mencionados están compuestos por plástico reforzado con fibra de vidrio, además deben satisfacer las especificaciones técnicas pertinentes [37], las cuales se detallan a continuación:

1. **Secciones transversales:** Los postes requeridos deberán exhibir una configuración tronco-cónica en su geometría externa, con una sección circular interna hueca destinada a facilitar el transporte y alojamiento de los conductores eléctricos (cables). Las paredes del poste deberán presentar un espesor en el rango de 5 a 20 mm, manteniendo una conicidad uniforme a lo largo de sus extensión [37].
2. **Orificios Pasantes:** La facultad de incorporar perforaciones o aberturas pasantes en la parte superior de poste con el propósito de anclar estructuras queda sujeta a la consideración del contratista. En el cuerpo de los postes se dispondrá dos orificios designados como ventanas, destinados a la introducción del cable de conexión a tierra, de acuerdo con las normas establecidas en la tabla de especificaciones técnicas [37].
3. **Carga de Rotura:** Las capacidades de carga nominal, ya sea en términos de resistencia a la rotura o diseño de los postes, muestran variabilidad en correspondencia con la altura respectiva. Se enfatiza que estas cargas nominales de rotura se consideran como valores mínimos, durante los ensayos de la norma NTE INEN 2657, se debe procurar alcanzar cargas superiores [37]. Las magnitudes nominales de carga se especifican de la manera siguiente:
 - a) Un poste de 10 metros de altura requiere una carga nominal

de rotura de 400 kilogramos.

b) Un poste de 12 metros de altura requiere una carga nominal de rotura de 500 kilogramos.

4. **Placa de Identificación:** Se refiere a los datos que deben estar grabados en el poste para detallarlo mas a profundidad y porque la normativa lo exige de tal manera, con preferencia se prioriza por materiales como aluminio o también acero inoxidable, el recuadro debe poseer las dimensiones mínimas de 6 cm de ancho por 12 cm de largo. La norma también estable que su ubicación óptima corresponde a una altura de 1.8 m sobre la línea de empotramiento, cumpliendo así con las directrices establecidas[37], y deberá presentar la siguiente información:

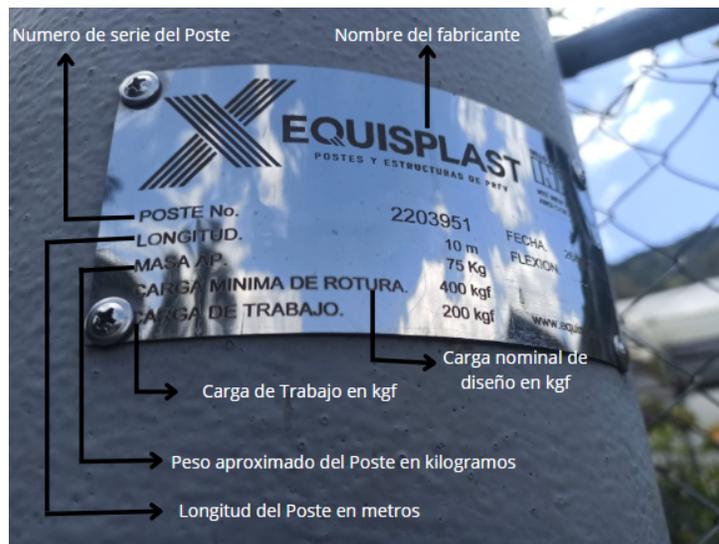


Figura 24: Partes de la Placa de Identificación - Parte 1
Fuente: [Autores].



Figura 25: Partes de la Placa de Identificación - Parte 2
Fuente: [Autores].

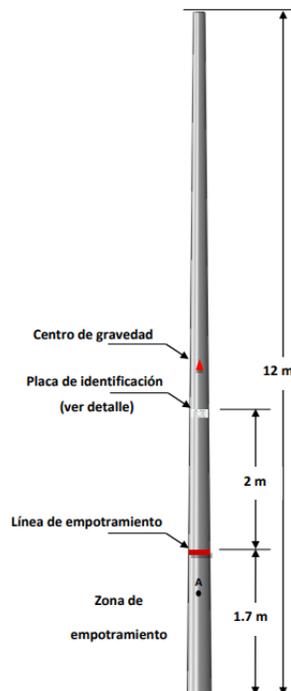


Figura 26: Partes del POSTE PRFV 12 m x 500 Kg monolítico
Fuente: [Multicreteo, Departamento de Investigación y Desarrollo (2016)].

Tabla 15: Especificaciones técnicas del poste seleccionado.

ESPECIFICACIONES PARTICULARES	
Item	Especificaciones
Descripción Técnica	Poste circular de plástico reforzado con fibra de vidrio, 12 m X 500 kgf.
Altura del poste (m)	12
Carga Nominal de rotura horizontal (kgf)	500
Diámetro de la punta (mm)	130 a 170
Diámetro de la base (mm)	300 a 390
Ventana superior rectangular de 25 X 80 mm para puesta a tierra (m desde la base)	8,00
Ventana inferior rectangular de 25 X 80 mm para puesta a tierra (m 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

■ **Luminarias:**

La selección de luminarias para el alumbrado público en la avenida se llevó a cabo de manera meticulosa, considerando diversos factores cruciales para garantizar una iluminación efectiva y eficiente en la vía. Se tuvo en cuenta el tipo de vía, las especificaciones de eficiencia luminosa y la potencia requerida según la ARCERNNR 006/20 la cual es la normativa vigente en Ecuador para este propósito.

La elección de las luminarias se basó en criterios que aseguran una

distribución uniforme de la luz, minimizando deslumbramientos y proporcionando una visibilidad óptima para los conductores y peatones. Posterior a la simulación y a la luminaria propuesta en la misma, se busco y se realizó cotizaciones con proveedores y marcas reconocidas para alumbrado publico, teniendo en cuenta que datos técnicos y demás parámetros se asemejen los mas posible a la luminaria simulada en el software especializado DIALux evo.

A continuación, se presentarán detalladamente los datos técnicos, dimensiones de la luminaria y la respectiva fotometría de la luminaria, asegurando así la transparencia y la conformidad con las regulaciones establecidas para el alumbrado público en la mencionada avenida.

Tabla 16: Parámetros Técnicos de la Luminaria Lum Olympia II shp, c/foco Lumec

Parametros de la Luminaria	Unidad	Valor
Modelo	/	L253701
Potencia	W	250
Fuente de Luz	/	3030
Cantidad de LED	PCS	256
Lente	PCS	16
CCT	K	4000k
Lumen	LM/W	>130
CRI	/	>70
Voltaje de Operación	V	240

Tabla 17: Especificaciones Técnicas de la Luminaria Seleccionad

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - LUMINARIA		
ITEM	Simbolo	Especificación/Datos
Índice de color	CRI	Ra>70
Eficacia luminosa	LM/W	130LM/W
Clase de eficiencia energética	/	A++
Consistencia del color en el nivel	/	Max.6SDCM
THD	/	<20 %
Tiempo de Inicio	S	<0.5S
Ciclo de conmutación antes del fallo	/	>100,000times
Índice de fallos prematuros/1000h	/	0
Vida útil	H	>100000Horas

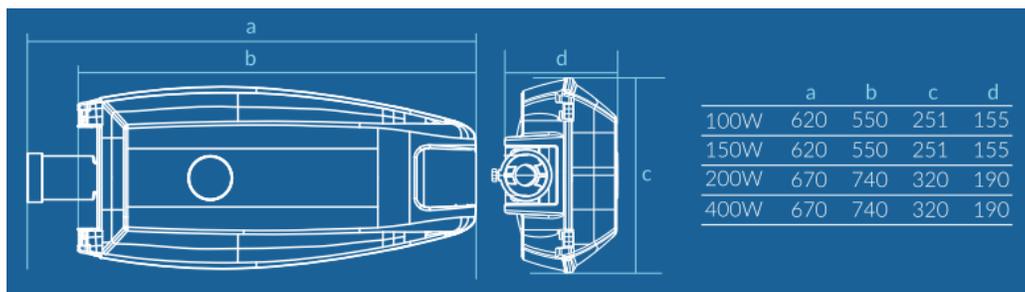


Figura 27: Dimensiones de la Luminaria en milímetros (mm)
Fuente: [LUMEC-Luminaria Olympia I-II, Catalogo Digital].

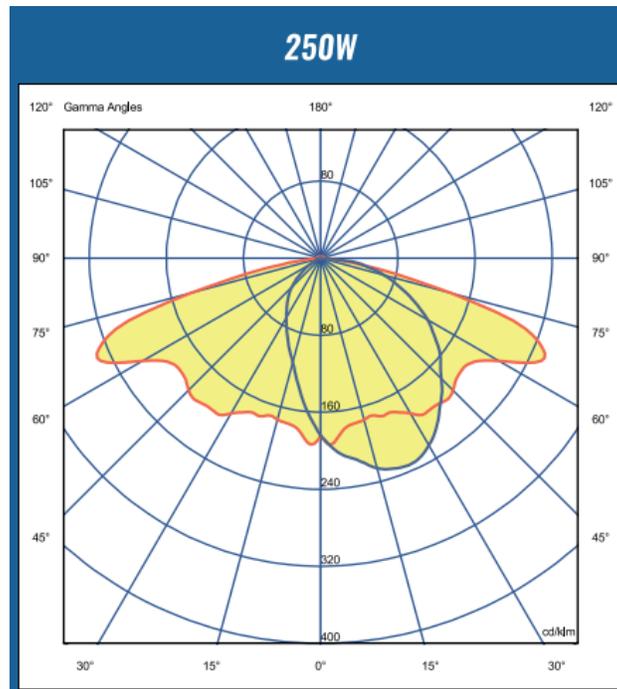


Figura 28: Fotometría de la Luminaria
Fuente: [LUMEC-Luminaria Olympia I-II, Catalogo Digital].

■ **Transformadores:**

Una vez seleccionado tanto el tipo de postes como las luminarias a implementarse en la avenida, en reemplazo de las anteriores de vapor de sodio se ha considerado que debido a la cargabilidad de un total de siete transformadores que existen a lo largo del tramo estudiado, se ha planteado incorporar cuatro transformadores nuevos, con una potencia nominal de 10 KVA cada uno.

Cabe recalcar que los mismos estarán distribuidos en puntos estratégicos para poder abastecer a todas las luminarias LED a implementar y evitar una sobrecarga en cualquiera de ellos.

La implementación de estos nuevos transformadores son una solución óptima con vistas hacia el futuro, dado que los mismo serán aplicables solo para el uso del alumbrado público de la avenida en cuestión. Mas adelante se considera el tema de la caída de tensión parámetro importante para verificar la viabilidad de la propuesta de reemplazo de luminarias de vapor de sodio por tecnología LED.

Respetando la normativa vigente sobre el alumbrado publico, y considerando los parámetros a cumplir por parte de la empresa CNEL EP, la cual esa la encargada del suministro y distribución de energía eléctrica en el sector de Santa Rosa, se dedujo que la mejor opción seria el modelo TRANSF. MONOF 10 KVA 13800GRDY/7970 (1B) 120/240V cotizado en ELEKTRON SUMINISTROS ELÉCTRICOS a continuación se detallan las especificaciones técnicas de este modelo:

Tabla 18: Especificaciones técnica del transformador seleccionado.

ESPECIFICACIONES PARTICULARES		
Ítem	17	
Descripción Técnica	TRANSF. MONOFÁSICO AUTO PROTEGIDO(CSP) 10 KVA, 13800 GRDY / 7967 - 120/240V	
Potencia Nominal [KVA]	10	
Voltaje Nominal	MV [V]	13800GRDY / 7967
	BV [V]	120-240
N° de Bujes en MV	1	
Polaridad	Aditiva	
Grupo de conexión según IEC	li6	
Clase de aislamiento (Voltaje más elevado para el equipo)	Primario [KV]	17,50
	Secundario [KV]	<1,1
Nivel básico de aislamiento (Voltaje soportable de impulso primario) [KVpico]	95,00	
Prueba de voltaje aplicada en el secundario [KVrms]	3,00	
Pararrayo para medio voltaje	Máximo voltaje nominal (kV)	10,00
	Máx. Voltaje continuo operación MCOV (kV)	8,40
	Máx. voltaje de descarga (kV) un 10 KV	32,00
Nivel de Ruido [dB]	48	

En la tabla 19, se muestra de forma detallada las dimensiones del transformador seleccionado para la implementación en el caso de estudio:

Tabla 19: Dimensiones del Transformador Monofásico Autoprotegido(CSP), 10 KVA.

TRANSFORMADOR AUTOPROTEGIDO (CSP)				
Potencia (KVA)	Dimensiones			Peso
	A (mm)	L (mm)	H (mm)	W (Kg)
10	520	430	920	132

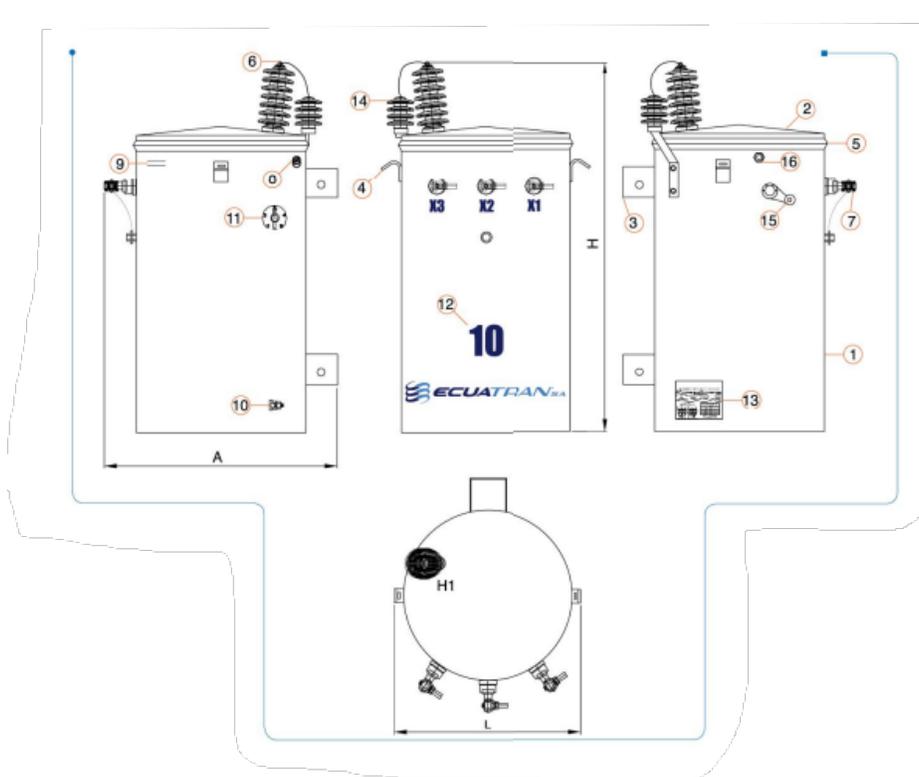


Figura 29: Planos para un Transformador Autoprotegido CSP
Fuente: [Ecuatran S.A. - Catalogo técnico del Producto].

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Cuba del transformador	9	1	Nivel de aceite
2	1	Tapa	10	1	Conectores a Tierra
3	2	Soportes de montaje	11	1	Cambiador de derivaciones 5pos.
4	2	Soportes de izado	12	1	Potencia
5	1	Banda de cierre	13	1	Placa de características
6	1*	Pasatapas de media tensión	14	1**	Pararrayo
7	3	Pasatapas de baja tensión	15	1**	Breaker
8	1	Válvula de sobrepresión	16	1**	Luz de emergencia

Figura 30: Descripción de Partes

Fuente: [Ecuatran S.A. - Catalogo técnico del Producto].

En la figura 30, se especifican los componentes enumerados en los planos de la figura 29, expuesta anteriormente.

Proceso de Implementación:

1. **Excavación:** El contratista designará a sus trabajadores para llevar a cabo la excavación de manera precisa y acorde con el tipo de cimiento previamente autorizado, restringiendo sus operaciones a una superficie de trabajo mínima mediante la aplicación de métodos constructivos eficientes [38].



Figura 31: Excavación manual para implantación de Postes

Fuente: [EnergyElect (2022)].

- Izado de Postes:** El izaje de postes requerida la utilización de grúas con altura y capacidad adecuadas a este actividad, asegurando la manipulación segura de los mismos. El contratista deberá proveer tanto el equipo como el personal necesario para el transporte de los postes a sus respectivos emplazamientos. Asimismo, se encarga del suplir todas las necesidades en cuanto a materiales supone para el relleno de las excavaciones, la preparación del acceso a los puntos de elevación de los postes, así como las labores de desbroce y limpieza correspondientes [38]. Se llevará a cabo un proceso de plantado de postes estratégicamente ubicados para maximizar la cobertura lumínica y garantizar la

estabilidad estructural.



Figura 32: Izado de Postes
Fuente: [CENEL EP (2021)].

- 3. Vestido de estructuras en BV y montaje e instalaciones transformadores autoprotegidos:** El vestido de estructura implica la integración de materiales pertinentes de acuerdo con las especificaciones de cada unas de las estructuras correspondientes, en este caso en baja tensión indicadas en el diseño eléctrico [39]. El contratista está obligado a llevar a cabo el ensamblaje e instalación de las estructuras conforme a los diseños eléctricos proporcionados en el plano, y de acuerdo con las directrices impartidas por la administración del contrato. En términos de compensación, se llevará a cabo una cuantificación del número de estructuras retiradas, readecuadas y equipadas, procediéndose al correspondiente pago conforme la tarifa unitaria estipulada en la tabla de precios y cantidades, según lo dispuesto en el marco de referen-

cia establecido. Dicho precio unitario abarca los costos asociados a la mano de obra, herramientas y equipos empleados en dichas actividades. La instalación de los transformadores se llevará a cabo conforme a las directrices establecidas en la hoja de estacamiento y de acuerdo con las capacidades especificadas en la misma. Se asegurará la correcta conexión de las puestas a tierra y las bajadas utilizando los conectores apropiados. Es imperativo que cumplan con las especificaciones técnicas predefinidas, y además de presentar el protocolo de pruebas, se requerirá la presentación de las garantías correspondientes.

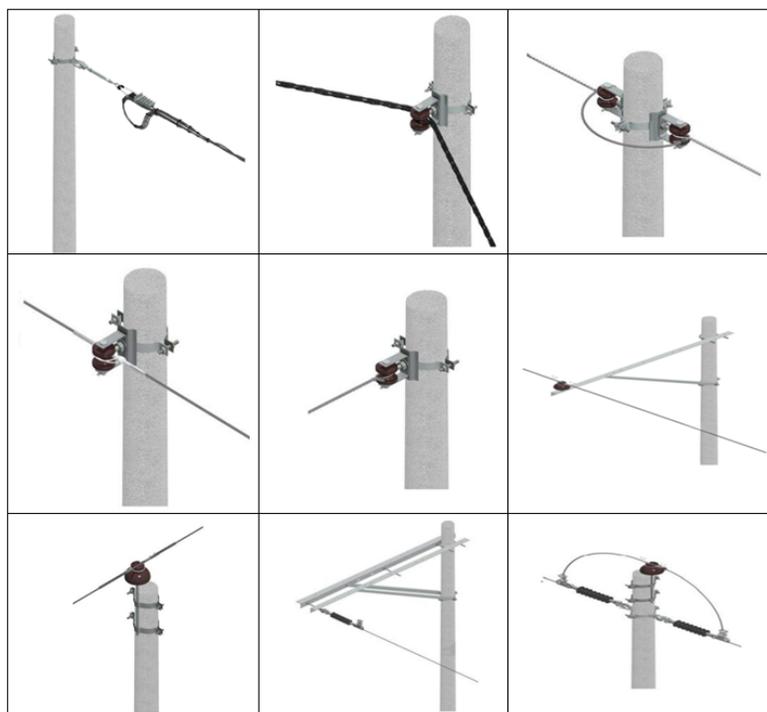


Figura 33: Estructuras más comunes en Redes Aéreas de Distribución
Fuente: [Homologación de las Unidades de Propiedad UP (2011)].

4. **Tendido de conductor:** Los conductores de fase y neutro deberán ser instalados siguiendo las indicaciones de los planos y la tabla de tendido proporcionada por la empresa eléctrica CENEL EP, la cual es la encargada del área designada para nuestro caso de estudio. Todos los elementos utilizados en el tendido deberán contar con acabados que eviten cualquier avería o falla en los cables. La colocación de los conductores se llevará a cabo con un control meticuloso y utilizando equipos mecánicos equipados con cabrestantes [39].

Los equipos necesarios deben incorporar un tambor doble con un diámetro igual o superior a treinta (30) el diámetro del conductor respectivo. La superficie de contacto de dicho tambor deberá incorporar acanaladuras estratégicamente diseñadas para acomodar el conductor a lo largo del tendido, las mismas estarán revestidas con un material plástico de prolongada durabilidad considerando condiciones climáticas adversarias en el sector de Santa Rosa. Además cabe mencionar que se que se disponga la suficiente capacidad para albergar a no menos de 3.5 vueltas completas del cable.

5. **Montaje de Luminarias:** La instalación de luminarias LED se realizará de acuerdo con la disposición en tresbolillo y la implementación de coronillas de dos brazos para asegurar la uniformidad en la iluminación.

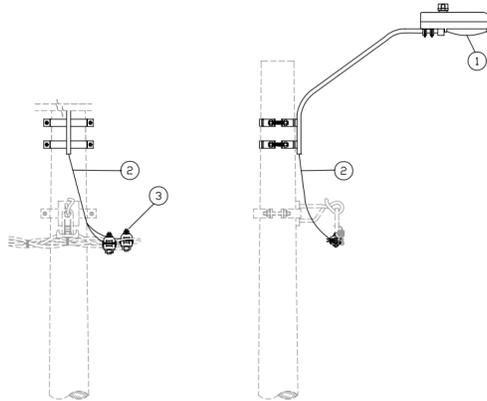


Figura 34: Luminaria montada en poste de Red Aérea Preensamblada
Fuente: [Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2013)].

6. **Desmantelamiento de redes existentes:** El proceso de desmantelamiento de las estructuras que se encuentran vigentes implican sus desmontaje, esto se debe tanto a su deterioro como por la sustitución de nuevas estructuras que cumplan las regulaciones y normativas respectivas, y además que cumpla con los parámetros establecidos en el diseño eléctrico del AP. [39].

Análisis Técnico:

1. **Caída de Tensión:** Se realizará un análisis de caída de tensión para asegurar que la instalación cumpla con los estándares técnicos y normativas locales.

4.1.3. Beneficios Técnicos

- **Eficiencia Energética:** La implementación de luminarias LED contribuirá a la reducción del consumo energético, optimizando la eficiencia del sistema.
- **Mejora de la Visibilidad:** La disposición en tresbolillo y la utilización de coronillas de dos brazos mejorarán la visibilidad y la uniformidad de la iluminación.
- **Mantenimiento Eficiente:** La elección de componentes duraderos y de calidad reducirá la necesidad de mantenimiento frecuente, disminuyendo costos operativos.

La propuesta técnica para la mejora de la iluminación en la Avenida Joffre Lima del cantón de Santa Rosa se fundamenta en criterios de eficiencia energética, seguridad y durabilidad. La implementación de luminarias LED, la disposición en tresbolillo, la coronilla de dos brazos y el uso de postes de fibra de vidrio translúcido conforman un enfoque integral para optimizar la iluminación pública, cumpliendo con los estándares técnicos y contribuyendo al desarrollo sostenible del entorno urbano.

4.2. Diseño Lumínico

4.2.1. Plano Eléctrico diseñado en AutoCAD

Previo al desencadenamiento del proceso de concepción del sistema lumínico, se antecede la ejecución del levantamiento de planos arquitectónicos del área a diseñar. Este procedimiento se efectúa mediante la utilización del software especializado AUTOCAD, instrumental en la obtención y representación gráfica precisa de las características arquitectónicas del espacio. Este enfoque metodológico, de índole técnica, constituye un paso esencial para la correcta contextualización del diseño lumínico, permitiendo una visualización detallada de la disposición espacial y la configuración arquitectónica que impactará directamente en la planificación eficiente del sistema de iluminación.

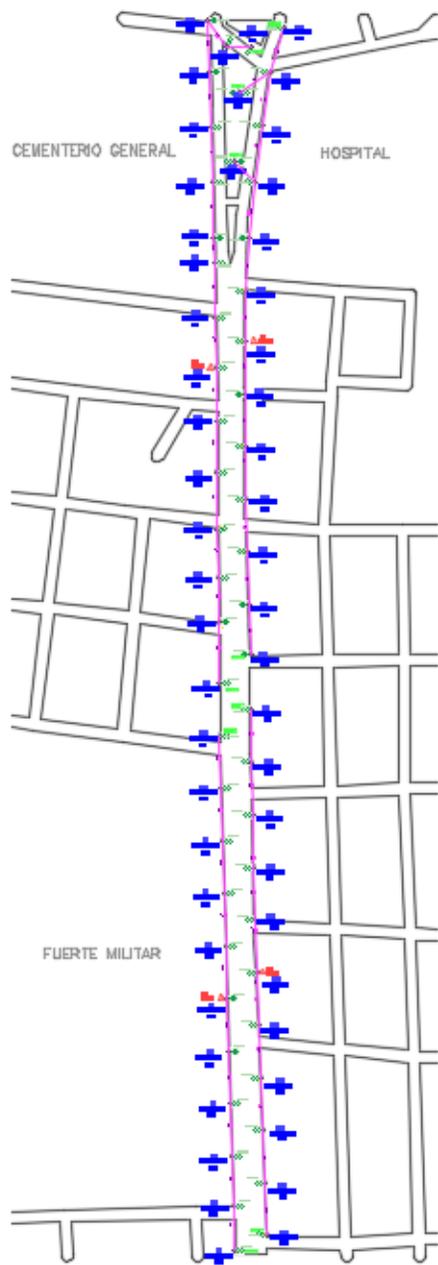


Figura 35: Plano de la propuesta diseñado en AutoCAD.
Fuente: [Autores].

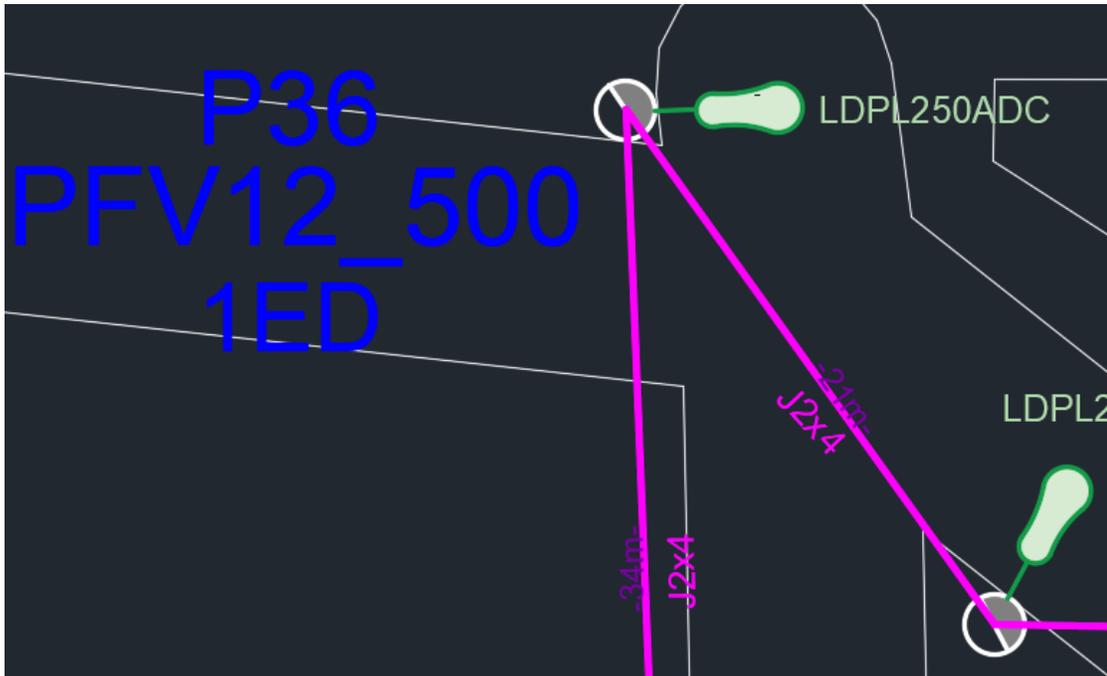


Figura 36: Plano de la propuesta diseñado en AutoCAD (Zoom).
Fuente: [Autores].

Tomando en cuenta las especificaciones técnicas propuestas anteriormente, se diseñó el plano eléctrico para la iluminación pública de la Avenida Joffre Lima. Para ellos se usó la siguiente simbología lo que ayudara a facilitar la identificación de objetos en el plano.

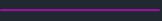
S I M B O L O G I A	
	LUMINARIA LED 250 W. Y POSTE DE FIBRA DE VIDRIO EN LA BASE.
	LUMINARIA LED 250 W. BRAZO DOBLE Y POSTE DE FIBRA DE VIDRIO EN LA BASE.
	TRANSF. MONOFASICO DE ALUMBRADO.
	REGISTRO DE FIBRA DE VIDRIO.
	TRAMO AEREO.

Figura 37: Simbología usada en el plano.

Fuente: [Autores].

En la siguiente tabla podemos observar las cantidades de luminarias utilizadas, las coronillas LED de 2 brazos, los tipos de estructuras para la red de Bajo voltaje, el numero de postes y la cantidad de transformadores colocados en el plano.

Tabla 20: Datos específicos (ExMEER) del plano eléctrico

Tabla de Datos	
Descripciones	Cantidades
Luminaria LED de 250W	51
Coronilla LED 2 brazos incluye luminarias	2
Estructura ED	7
Estructura EP	35
Estructura ER	11
Transformadores de 10 KVA	4

4.3. Diseño Lumínico Simulado en DIALux evo

4.3.1. Software Especializado DIALux evo

Este software de diseño lumínico gratuito, destinado a la planificación profesional de sistemas de iluminación, se distingue por su versatilidad y aplicabilidad en diversos contextos, desde espacios simples hasta la iluminación integral de pisos, edificaciones y entornos exteriores complejos. Su utilidad abarca tanto a diseñadores como a profesionales enfocados en la luz, ofreciendo una gama de herramientas específicas para el análisis y proyección lumínica. Actualmente, este software se posiciona como una elección preferida entre los especialistas en iluminación, con una notable base de usuarios que supera los 700 mil individuos, respaldada por su disponibilidad en 25 idiomas distintos [?].

4.3.2. Metodología Aplicada a la Simulación

La metodología aplicada en este proyecto técnico se ha regido por un enfoque técnico meticuloso. Inicialmente, se llevó a cabo una investigación bibliográfica exhaustiva, priorizando la revisión de la normativa ecuatoriana actualmente vigente relacionada con los parámetros a cumplir con respecto a alumbrado público. Este proceso incluyó una especial atención a los aspectos técnicos de iluminación establecidos por la normativa ARCERNNR 006/20, la cual es la vigente en Ecuador. La importancia de esta metodología radica en su capacidad para asegurar la conformidad con los requisitos específicos y

estándares técnicos establecidos por la normativa local, garantizando así la eficiencia y calidad del sistema de iluminación pública [5].

4.3.3. Simulación

Con un conocimiento preciso de la distribución espacial de la avenida en estudio, así como de los sistemas de iluminación específicos a implementar y los niveles lumínicos permitidos conforme a las normativas vigentes para dicho entorno, se inicia la fase de diseño del sistema lumínico mediante la plataforma especializada DIALux evo. Este enfoque metodológico garantiza coherencia en la conceptualización y ejecución del diseño lumínico, optimizando la eficiencia del sistema y asegurando la plena observancia de los estándares lumínicos establecidos para los distintos espacios dentro de todo el tramo de la avenida en estudio.

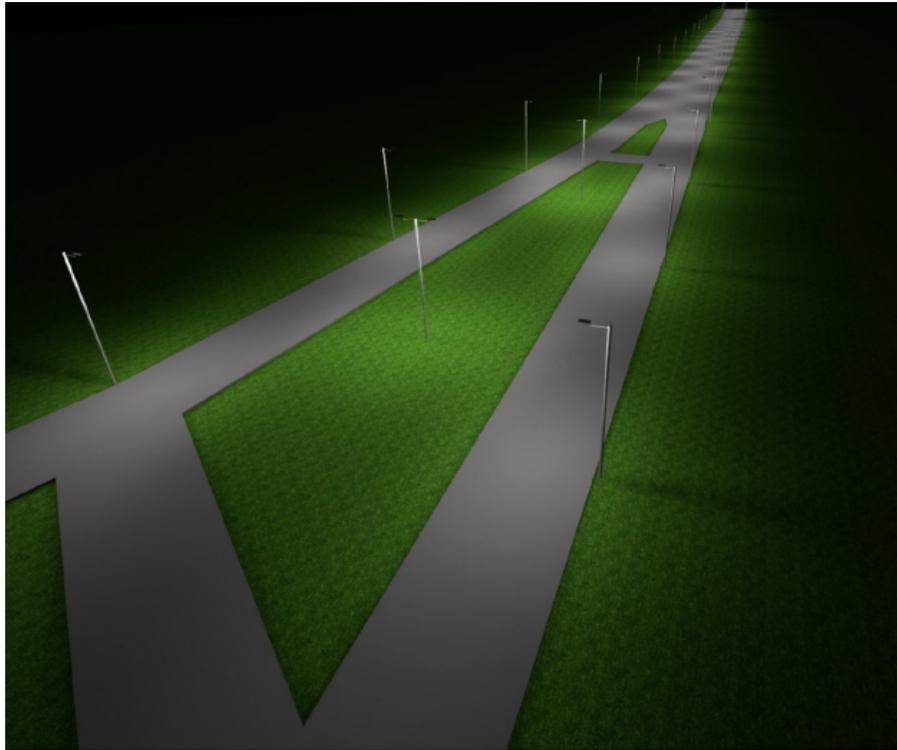


Figura 38: Simulación de la Avenida en DIALux evo en vista 3D
Fuente: [Autores].

4.3.4. Distribución de las luminarias

En la imagen [39](#), se puede apreciar la distribución de las luminarias propuestas a colocar a lo largo del tramo de la avenida, después de la simulación realizada en el software especializado DIALux evo y la optimización del mismo, en total se plantea un total de cincuenta y cinco luminarias de tecnología LED.



Figura 39: Ubicación de las luminarias en el plano.

Fuente: [Autores].

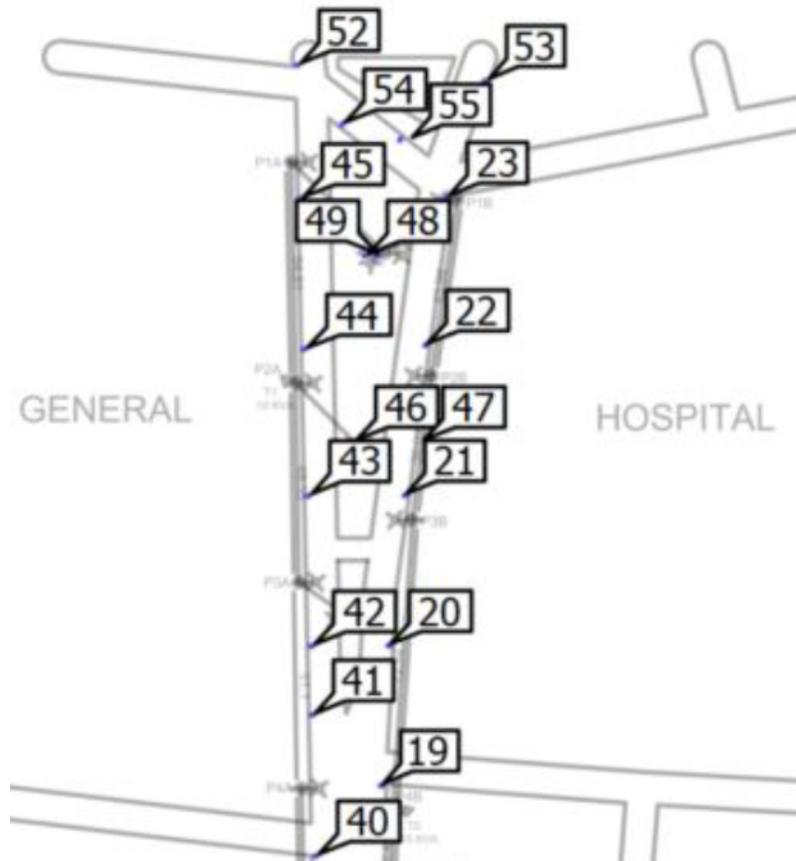


Figura 40: Ubicación de las luminarias en el plano.
Fuente: [Autores].

El modelo simulado es la lampara modelo 1xLED module 250.0 W del fabricante VARTON, se puede revisar mas a detalle el resto de especificaciones técnicas de esta modelo en la imagen 41 y también su respectiva fotometría en la imagen 43 . Las luminarias se proponen a ser colocadas en la disposición tresbolillo, la cual fue detallada en la propuesta técnica.

Ficha de producto

VARTON - LED



Nº de artículo	V1-S1-70117-40L04-6525050 Uran
P	250.0 W
$\Phi_{\text{Lámpara}}$	32108 lm
$\Phi_{\text{Luminaria}}$	32111 lm
η	100.01 %
Rendimiento lumínico	128.4 lm/W
CCT	5000 K
CRI	80

Figura 41: Especificaciones técnicas de la Luminaria Simulada en DIALux evo.

Fuente: [Autores].

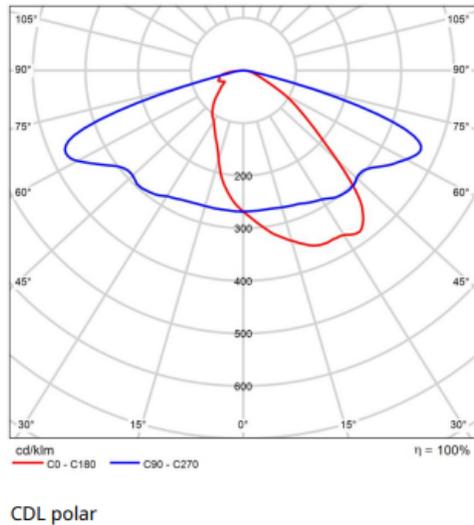


Figura 42: Fotometría de la Luminaria modelo 1xLED module 250.0 W del fabricante VARTON.

Fuente: [Autores].

4.3.5. Fotometría de la Avenida obtenida en la simulación

En la imagen 43, se observa la fotometría obtenida, la cual demuestra un alineamiento preciso con los criterios establecidos por la normativa AR-CERNR 006/20 la cual esta vigente actualmente en el Ecuador, evidenciando la conformidad con los niveles de iluminancia, distribución lumínica y demás aspectos técnicos requeridos para la iluminación de la avenida en cuestión. La coherencia entre los resultados fotométricos y los parámetros normativos subraya la eficacia del diseño lumínico implementado, reforzando su capacidad para cumplir con los requisitos específicos y garantizar un entorno lumínico conforme a las normativas locales.

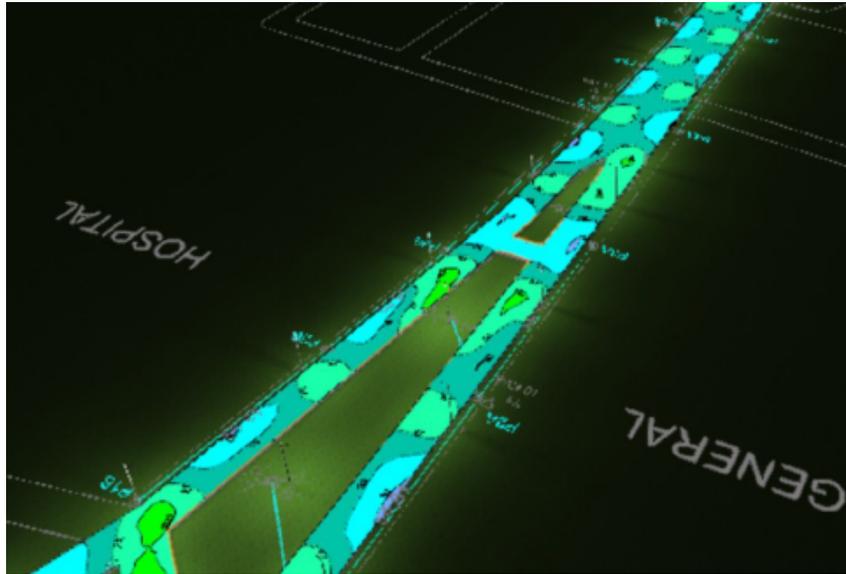


Figura 43: Fotometría de colores de la Avenida.
Fuente: [Autores].

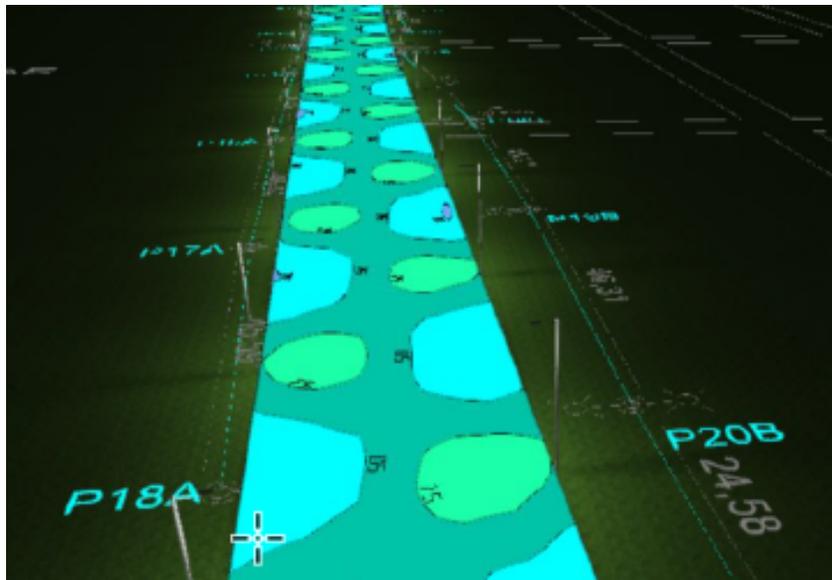


Figura 44: Fotometría de colores de la Avenida.
Fuente: [Autores].

4.4. Comparativa de Resultados

4.4.1. Caídas de voltaje

Tras llevar a cabo el cálculo de las caídas de voltaje en los cuatro transformadores propuestos en este proyecto de iluminación, se ha constatado que los resultados obtenidos se sitúan notablemente por debajo del límite máximo del 8% estipulado por la regulación ARCERNNR 002/20. Esta circunstancia representa un hito significativo, que confirma la plena conformidad de la instalación con las exigencias normativas establecidas. Este cumplimiento integral de los estándares regulatorios no solo garantiza la eficiencia y fiabilidad del sistema eléctrico, sino que también respalda la viabilidad y el éxito del proyecto en su conjunto.

Tabla 21: Tabla comparativa entre los resultados de las caídas de tensión calculadas con las permitidas por la normativa ARCERNNR 002/20.

Caidas de Voltaje		Transformadores			
		T1	T2	T3	T4
Caida de tension permitida en la regulación(%)		8	8	8	8
Caída de tensión calculada (%)	Final Circuito 1	0,55	0,57	0,79	0,8
	Final Circuito 2	0,57	0,57	1,53	1,07
	Final Circuito 3	x	x	x	1,43
	Final Circuito 4	x	x	x	1,41
Observaciones		Cumple la norma	Cumple la norma	Cumple la norma	Cumple la norma

4.4.2. Resultados lumínicos simulados en DIALux evo

En la siguiente tabla se observan 3 metricas claves, la potencia total de todas las luminarias simuladas fue de 13750W de potencia, por lo mismo que se consideró poner 4 transformadores de 10kva, donde evitaremos caídas de tensión fuera de la normativa aplicada, quedando con cargabilidad de reserva para futuras instalaciones, también se aprecia la iluminación total de 1756105 lm, que es una iluminación bastante alta y adecuada para la seguridad de los habitantes de la zona, por ultimo el rendimiento lumínico fue de 128.4 lm/W, que indica la eficiencia luminosa de las luminarias, calculada como la relación entre la iluminación total (en lúmenes) y la potencia total de las luminarias (en vatios). Un mayor número aquí indica una mayor eficiencia, es decir, más luz por cada vatio de electricidad consumida.

Tabla 22: Resultados Lumínicos de la simulación

Resultados de la simulación en DIALux evo	
Potencia total de las luminarias	13750 W
Iluminación total Φ	1766105 lm
Rendimiento lumínico	128,4 lm/W

En la tabla 23, se realiza un análisis entre los resultados obtenidos en la simulación y los parámetros vigentes de la normativa, en el resultados se analiza específicamente los parámetros fotométricos que se consideran dentro del contexto del Alumbrado Público, las cuales son principalmente la luminancia promedio de la calzada (L_{av}), la uniformidad general de luminancia de la calzada (U_o), la uniformidad longitudinal sobre la calzada(U_L) y el

deslumbramiento(TI) verificando que para un tipo de vía M2 se cumplen con todos estos parámetros siendo esta la opción mas óptima para aplicar esta propuesta de reemplazo de luminarias en la avenida en cuestión.

Tabla 23: Cuadro comparativo entre la Regulación ARCERNNR 006/20 y los resultados obtenidos en la simulación.

Parámetros de la normativa Ecuatoriana		Parámetros simulados		
Lm	1,5	Lm	3,85	Cumple
Uo	0,4	Uo	0,7	Cumple
Ul	0,7	Ul	0,7	Cumple
TI	10	TI	8	Cumple

Donde:

Lm :Luminancia promedio de la calzada.

Uo : Uniformidad general de luminancia.

Ul : Uniformidad longitudinal sobre la calzada.

TI : Deslumbramiento.

4.5. Presupuesto

Dada la naturaleza crítica de la iluminación en la avenida del caso de estudio, la eficiencia energética y la optimización de costos son factores primordiales. En este contexto, la evaluación presupuestaria para la sustitución de luminarias se presenta como un componente esencial para asegurar tanto la conformidad con la normativa local, en este caso, la ARCERNNR 006/20, como la implementación de tecnologías lumínicas avanzadas y sostenibles. La introducción técnica destaca la importancia de equilibrar la mejora de la calidad lumínica con la eficiencia financiera, garantizando así un alumbrado público moderno y económicamente viable para la ciudad de Santa Rosa.

Tabla 24: Presupuesto del proyecto con postes de fibra de vidrio

Descripción	Cantidad	Precio Unitario + Mano de Obra	P.Total
Luminaria LED de 250W	51,00	\$ 220,80	\$ 11.260,80
Coronilla LED 2 brazos incluye luminarias	2,00	\$ 150,00	\$ 300,00
Estructura de doble retención	7,00	\$ 23,03	\$ 161,21
Estructura de paso	35,00	\$ 17,00	\$ 595,00
Estructura de retención	11,00	\$ 21,00	\$ 231,00
Suministro y montaje de poste de fibra de vidrio translúcido de 12m	53,00	\$ 950,00	\$ 50.350,00
Desmantelamiento de postería y luminarias existentes	38,00	\$ 97,00	\$ 3.653,70
Montaje e instalación de transformador de 10 KVA	4,00	\$ 1.271,40	\$ 7.448,00
Suministro y tendido de conductor	1700,00	\$ 1.58	\$ 567,93
TOTAL			\$ 74.323,31

El presupuesto del proyecto de iluminación de la avenida Joffre Lima en la ciudad de Santa Rosa contempla diversos ítems, esenciales para su implementación, en los que consideramos la cantidad de unidades, el precio unitario mas la mano de obra y el precio total. Entre ellos se encuentran la provisión e instalación de 51 luminarias LED de 250W, 2 coronillas de doble brazo para sostener las luminarias LED de la distribución central de la avenida. También se tomaron en cuenta el tipo de estructura de los postes, como 7 estructuras de doble retención, 35 estructuras de paso y 11 estructuras de retención, todas estas estructuras por el diseño de la avenida. Se

ha presupuestado el suministro y montaje de 53 postes de fibra de vidrio translúcidos, y el desmantelamiento de 38 postes y 45 luminarias antiguas. Además, se ha considerado el montaje de instalación de 4 transformadores de 10 KVA tomando en cuenta las caídas de voltaje y posibles cargas lumínicas futuras que se puedan conectar al circuito de la avenida, por el hecho de que los transformadores quedarán con carga de reserva aun con las nuevas luminarias instaladas. Por último, el suministro y tendido de conductor, que abarca 1700 metros considerando el 10 % de desperdicio, asegurando una conexión eléctrica necesaria para el nuevo sistema de iluminación de la avenida Joffre Lima de la ciudad de Santa Rosa.

Tabla 25: Presupuesto del proyecto con postes de hormigón

Descripción	Cantidad	Precio Unitario + Mano de Obra	P.Total
Luminaria LED de 250W	51,00	\$ 220,80	\$ 11.260,80
Coronilla LED 2 brazos incluye luminarias	2,00	\$ 150,00	\$ 300,00
Estructura de doble retención	7,00	\$ 23,03	\$ 161,21
Estructura de paso	35,00	\$ 17,00	\$ 595,00
Estructura de retención	11,00	\$ 21,00	\$ 231,00
Suministro y montaje de postes de hormigón de 12m	53,00	\$ 267,76	\$ 14.191,28
Desmantelamiento de postes y luminarias antiguas	38,00	\$ 75,00	\$ 2.850,00
Montaje e instalación de transformador de 10 KVA	4,00	\$ 1.271,40	\$ 7.448,00
Suministro y tendido de conductor	1640,00	\$ 0,35	\$ 567,93
TOTAL			\$ 40.072,59

La elección del material para los postes, fibra de vidrio frente a hormigón, tiene un impacto significativo en el presupuesto total del proyecto de iluminación. El costo asociado con los postes de fibra de vidrio es considerablemente mayor, con el presupuesto total alcanzando 73,763,94, en comparación con 37,605,22 para los postes de hormigón. Aunque la fibra de vidrio podría ofrecer ventajas estéticas y posiblemente una mayor resistencia a la corrosión y una vida útil más larga, estas ventajas deben ser estudiadas cuidadosamente para tomar una buena elección. Este análisis enfatiza la necesidad de un juicio equilibrado entre la estética, la durabilidad y la viabilidad financiera en la planificación de proyectos de infraestructura, donde la selección de materiales puede tener implicaciones de largo alcance en el presupuesto del proyecto y en su aceptación por parte de los moradores de la avenida.

CAPÍTULO 5

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El presente proyecto propuesto en la Avenida Joffre Lima del Cantón Santa Rosa, ha logrado satisfacer plenamente los requerimientos establecidos por la normativa ARCERNNR 006/20. Dicha normativa ha sido la piedra angular para los resultados finales de nuestro diseño de iluminación. Asimismo, nos hemos guiado por la ARCERNNR 002/20 para determinar el límite permitido de caída de voltaje, asegurando así el cumplimiento de los estándares vigentes.

La revisión de la uniformidad lumínica actual de la Avenida Joffre Lima, reveló que las instalaciones existentes no cumplen con los criterios establecidos por la normativa ecuatoriana. Esto pone de manifiesto la necesidad de modernización para alcanzar los estándares requeridos y asegurar una iluminación adecuada para la seguridad y confort de los usuarios de la avenida.

La transición a luminarias LED emerge como una estrategia eficaz y sostenible. Este cambio no solo propone una mejora significativa en la calidad de la iluminación, sino que también promete una notable reducción en el consumo de energía y los costos de mantenimiento, lo que conduce a una administración más eficiente de los recursos públicos.

6. Recomendaciones

Se recomienda implementar evaluaciones y monitoreos continuos del sistema implementado, para garantizar que la iluminación se mantenga dentro de los estándares normativos. Esto podría incluir un sistema de gestión de alumbrado inteligente, mediante el uso de sensores.

Es crucial implementar una estrategia de mantenimiento proactivo y reactivo que garantice el rendimiento óptimo de las luces LED a lo largo del tiempo, además de su modernización a medida que evoluciona la tecnología.

Se sugiere evaluar la integración de alternativas de energías limpias, como la solar a través de paneles fotovoltaicos, para suministrar energía al sistema de iluminación, lo cual contribuirá a disminuir tanto la huella de carbono como los gastos de operación.

Desarrollar campañas educativas para informar a la población sobre los beneficios del alumbrado LED y cómo contribuye a la seguridad vial y a la reducción del consumo energético.

Se sugiere fomentar la exploración y adopción de innovaciones tecnológicas en el ámbito de la iluminación, incluyendo sistemas de gestión lumínica automatizados y adaptativos. Estos sistemas deberían ser capaces de modificar la intensidad luminosa basándose en variables ambientales y la detección de movimiento de peatones o vehículos, optimizando así el uso energético y mejorando la seguridad vial.

Referencias

- [1] M. C. Gutiérrez Hernández *et al.*, “Iluminación led: ahorro, eficiencia e innovación: proyecto de mejora de la iluminación de un hotel,” Master’s thesis, Universidad de La Laguna, 2015.
- [2] I. B. Sara, “Diseño de sistemas de iluminación inteligente para el desarrollo de ciudades sostenibles,” Master’s thesis, Universidad de Alicante, 2018.
- [3] J. P. Narvárez 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.
- [4] 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.
- [5] P. O. L. Fernando and V. O. F. Marcelo, “Evaluación de la factibilidad técnica y energética de las luminarias led clase i y clase ii según la homologación vigente del meer,” B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2023.

- [6] E. Saavedra, F. Rey, and J. Luyo, “Sistemas de iluminación, situación actual y perspectivas,” *Revista Tecnica*, vol. 26, no. 2, pp. 2309–0413, 2016.
- [7] N. C. Jackelin, M. A. J. David, B. T. J. Carlos, and R. A. J. Freddy, “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,” Master’s thesis, Universidad EAN, 2021.
- [8] P. P. Salemrón, “Propuesta de mejora de la eficiencia energética en instalaciones existentes de alumbrado público,” Master’s thesis, Universidad Politécnica de Cartagena, 2017.
- [9] E. G. González, “Guía básica de conceptos de radiometría y fotometría,” *Universidad de Sevilla, Sevilla*, 2006.
- [10] M. Añón Mallo, “Lux, lumen, splendor. el diálogo artístico de la luz y el espacio,” 2021.
- [11] L. A. Sebastián, “Iluminación y alumbrado público,” 2015.
- [12] M. López, F. Greco, and L. Boccia, “Reflector antenna analysis for 5g applications,” in *Memorias de Congresos UTP*, 2018, pp. 134–141.
- [13] P. Díaz Hernández *et al.*, “Alumbrado público basado en led: estudio y aplicaciones,” 2011.

- [14] *Regulación Nro. ARCERNNR 006/20*, Control de Recursos y Energía Std., 2020.
- [15] R. J. Koschel, *Illumination Engineering: design with nonimaging optics*. John Wiley & Sons, 2013.
- [16] I. E. Society, *Journal of the Illuminating Engineering Society*. Illuminating Engineering Society, 1971.
- [17] M. Spitschan, J. Mead, C. Roos, C. Lewis, B. Griffiths, P. Mucur, M. Herf, S. Nam, and J. A. Veitch, “luox: validated reference open-access and open-source web platform for calculating and sharing physiologically relevant quantities for light and lighting,” *Wellcome open research*, vol. 6, no. 69, p. 69, 2022.
- [18] J. M. Palmer, “Radiometry and photometry: Units and conversions,” *Handbook of Optics*, vol. 3, pp. 7–1, 2010.
- [19] I. L. Handbook, “Ies lighting handbook,” *New York: Illuminating Engineering Society*, 1966.
- [20] G. González Imeno, “Procedimiento para la determinación de las curvas de distribución luminosa en método de alumbrado general-localizado.” Ph.D. dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Económicas e Informáticas, 2014.
- [21] C. E. de Iluminación, “Protocolo de auditoría energética de las instalaciones de alumbrado público exterior,” *Recuperado el*, vol. 15, 2008.

- [22] P. R. Ixtaina, A. Armas, B. Bannert, and N. Bufo, "Iluminación led en autopistas argentinas," *COPIME*, 2017.
- [23] P. C. Acuña Roncancio, "Impacto del alumbrado público con leds en la red de distribución," Ph.D. dissertation, Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [24] G. M. R. Bolaños, "Evaluación técnica-económica del ahorro de energía en un sistema de alumbrado público," Master's thesis, Universidad Politécnica Nacional, 1996.
- [25] *Presentación del Servicio de Alumbrado Público General*, Agencia de Regulación y Control de Electricidad Std., 2018.
- [26] *RTE INEN 069 .Alumbrado Público, Ecuador"*, Servicio Ecuatoriano de Normalización Std., 2017".
- [27] *Regulación Nro. ARCERNNR 002/20*, Control de Recursos y Energía Std., 2020.
- [28] *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*, Republica de Colombia Std., 2010.
- [29] *Norma Oficial Mexicana, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.*, Secretaria de Energía, Gobierno de Mexico Std., 2013.

- [30] *Protocolo para la medición de la iluminación en el ambiente laboral*, Superintendencia de riesgo del trabajo Std., 2012.
- [31] M. P. Castro Guaman and N. C. Posligua Murillo, “Diseño de iluminación con luminarias tipo led basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas.” B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [32] C. E. Garcia, “Manual de procedimientos correctivos y preventivos de luminarias tipo exterior para bombillas hid de sodio y halogenuros metálicos utilizadas en alumbrado público,” Master’s thesis, Universidad Tecnológica de Pereira, 2011.
- [33] G. A. Flores Fueres, “Factibilidad del sistema de alumbrado público empleando luminarias led y alimentación solar fotovoltaica,” B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
- [34] L. Plantarrosa and G. Jesus, “Análisis del ahorro y beneficios producidos con el reemplazo a luminarias led en las principales calles de moquegua 2018,” Master’s thesis, Universidad José Carlos Mariátegui, 2020.
- [35] H. A. V. Almeida, “Análisis de los beneficios económicos y sociales para la implementación de iluminación led en el alumbrado público,” *INSTA MAGAZINE*, vol. 2, no. 1, pp. 5–7, 2019.

- [36] D. M. Pasquevich and S. M. Spurio, “¿sabías que en toda argentina existen aprox 4, 5 millones de luminarias en uso para alumbrado público?” *Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, Argentina*, 2021.
- [37] *Catalogo Digital - Homologación de especificaciones técnicas, unidades de propiedad, unidades constructivas, simbología, entre otros*, 2024.
- [38] *Especificaciones Técnicas para la construcción de obras civiles y montaje electromecánico.*, ELECTRIC POWER AND TELECOMMUNICATIONS COMPANY Std., 2014.
- [39] *Normas de construcción para el montaje electromecánico .*, Ministerio de Energía y Recursos no Renovables Std., 2013.