



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL ALUMBRADO PÚBLICO VIAL DE LA  
CIUDAD DE CUENCA, COMPARANDO LUMINARIAS LED VS LAS DE  
DESCARGA, EN FUNCIÓN DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA QUE PRODUCEN

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

AUTORES: DANNY PABLO GODOY ARMIJOS

MIGUEL GABRIEL GUALAN ANDRADE

TUTOR: ING. FREDDY FERNANDO CAMPOVERDE ARMIJOS, Mgtr.

Cuenca - Ecuador

2025

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros Danny Pablo Godoy Armijos con documento de identificación N° 1104956089 y Miguel Gabriel Gualan Andrade con documento de identificación N° 1105107674; 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, 18 de febrero del 2025

Atentamente,



---

Danny Pablo Godoy Armijos  
1104956089



---

Miguel Gabriel Gualan Andrade  
1105107674

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

Nosotros Danny Pablo Godoy Armijos con documento de identificación N° 1104956089 y Miguel Gabriel Gualan Andrade con documento de identificación N° 1105107674, 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: “Análisis técnico y económico del alumbrado público vial de la ciudad de Cuenca, comparando luminarias led vs las de descarga, en función de la polución lumínica que producen”, 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, 18 de febrero del 2025

Atentamente



---

Danny Pablo Godoy Armijos  
1104956089



---

Miguel Gabriel Gualan Andrade  
1105107674

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Freddy Fernando Campoverde Armijos con documento de identificación N° 0102339470, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL ALUMBRADO PÚBLICO VIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA, COMPARANDO LUMINARIAS LED VS LAS DE DESCARGA, EN FUNCIÓN DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA QUE PRODUCEN, realizado por Danny Pablo Godoy Armijos con documento de identificación N° 1104956089 y Miguel Gabriel Gualan Andrade con documento de identificación N° 1105107674, obteniendo el Proyecto Técnico con enfoque investigativo, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de febrero del 2025

Atentamente,



---

Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos.  
0102339470

## DEDICATORIA

Dedico a mis padres Lida Armijos y José Godoy personas encantadoras y maravillosas que con su sabiduría y consejos supieron encaminarme en la vida y mis proyectos.

A mi mujer Cristina Zhigui y a mis hijos Emiliano y a José quienes los amo con todo mi corazón, motivo de inspiración y trabajo a mis hermanos, cuñados y sobrinos por su apoyo incondicional.

**Danny pablo Godoy Armijos**

## DEDICATORIA

Quiero dedicar esta Tesis a Dios por haberme guiado por el buen camino, ya que gracias a mi Dios he conseguido este gran logro. También quiero dedicar este trabajo de manera especial a mis padres Luis Gualán Andrade y Natividad Andrade Lozano, que me acompañaron durante todo mi proceso de mi carrera.

También dedico este presente trabajo a mi hijo Sayri Ezequiel Gualán Chalán quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme y continuar adelante en mis estudios.

**Miguel Gabriel Gualán Andrade**

## AGRADECIMIENTOS

Los padres son los profesores de la vida, una profesión señala tu futuro, gracias a Dios por regalarme la vida y unos padres extraordinarios, quiero agradecer infinita mente para mi los mejores padres del mundo como lo son Lida Armijos y José Godoy, quienes fueron los responsables de mi educación, formación de vida estudiantil, ellos que me han brindado el mejor apoyo incondicional para cumplir mis objetivos académicos y personal. Con su cariño, esfuerzo a pesar de las adversidades de la vida, me siguieron brindando el soporte en la parte económico para si no desmayar y continúe con mis estudios.

Así mismo quiero agradecer a la mujer que amo mucho a Cristina por el apoyo incondicional por estar siempre a mi lado en la buenas, en las malas por ayudarme a seguir adelante y nunca ceder.

A mis hermanos, quienes agradezco infinita mente a todos y cada uno de ellos por que los primeros siempre nos ayudaron para que los últimos tengamos lo mejor. A Marco y José que en su momento sacrificaron mucho en sus vidas por apoyar a los demás, agradeciendo a Maria, Lida, Veronica, Jhaneth, Ligia, Martin y Maricruz por el apoyo incondicional que me han brindado, hasta que culmine mis estudios profesionales.

Agradeciendo infinitamente a mi cuñado Jorge quien se volvió un pilar fundamental en mi carrera universitaria quien con su apoyo y palabras pude continuar en la Universidad.

Agradezco a todos mis docentes de la UPS quienes han sido parte del camino universitario, por transmitir sus conocimientos. Un agradecimiento infinito a mi tutor de tesis que nos ayudó a culminar nuestro trabajo con su conocimiento y consejos.

Agradecer a mis compañeros los cuales se convirtieron en amigos apoyándonos para salir adelante, gracias por las horas que compartir y de los trabajos que realizamos que se ha convertido en historias de la vida.

Por último agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por permitir ser parte de una hermosa institución, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan anhelado título.

**Danny Pablo Godoy Armijos**

## AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos hacia Dios por haberme guiado por el camino del bien y haberme abierto sus brazos para darme la fortaleza y sabiduría para culminar mi carrera universitaria. De la misma manera agradezco a mis padres Luis Antonio Gualán y María Natividad Andrade, por haber sido el pilar fundamental durante todo el proceso de mi carrera. Agradezco a mi director de tesis Ing. Freddy Cam-poverde, por impartirme sus conocimientos para poder culminar mi proyecto de titulación.

A todos mis hermanos y hermanas, que me motivaron todo este tiempo incondicionalmente siempre estando presente en los buenos y malos momentos, me han ayudado constantemente a esforzarme día tras día y no tenerle miedo al éxito.

A mis abuelos que me guían desde el cielo, José Miguel Gualán Cango, Mariana de Jesús Andrade y Miguel Andrade, que me acompañaron desde mi infancia compartiendo sus sabidurías y consejos, para ser una persona de bien.

Por último, quiero agradecer a todos mis profesores de la carrera de electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana, por compartir sus conocimientos y experiencias diariamente en las aulas de estudio.

**Miguel Gabriel Gualán Andrade**

## RESUMEN

Hoy en día el mundo que nos rodea sufre de un sin número de cambios que muchas veces no reconocemos pero que están estrechamente relacionados con nuestro diario vivir, muchas veces ni siquiera los notamos, pero es inevitable percibir algunos de ellos, no obstante, en cierto punto el desarrollo de la tecnología de la iluminación rebasa las normas socialmente aceptables. El alumbrado público es uno de los elementos que inciden directamente en la seguridad de la infraestructura vial, por lo tanto, los sistemas de iluminación existentes en este medio muchas veces presentan efectos nocivos sobre el ambiente interno y externo y directamente en las personas y la naturaleza. Como resultado de estos efectos se presenta la conocida contaminación lumínica que a pesar del avance de técnicas y tecnologías contemporáneas establecidas en la iluminación de espacios presenta consecuencias que han llevado a la vulneración de límites normalmente razonables y aceptables en materia de la dispersión de luz artificial especialmente en áreas sobreiluminadas resultando en una dispersión de energía eléctrica.

Por lo expuesto, el presente documento se enfoca en realizar un análisis técnico-económico del alumbrado público vial de la ciudad de Cuenca, en donde se compara las luminarias LED vs las de descarga, en función de la contaminación lumínica que producen. Este estudio tomara como punto de partida un análisis técnico-económico para viabilizar la implementación de luminarias LED o de descarga no solo desde el punto económico sino también ambiental, basándose en normas locales e internacionales referentes al servicio de alumbrado público y normas viales.

Para obtener los diferentes parámetros de iluminación requeridos para este estudio se implementarán los métodos de medición de 9 puntos y de malla, así mismo, se utilizarán diferentes instrumentos de medición que permitan determinar la contaminación lumínica generada por las tecnologías de iluminación contempladas en este estudio.

Finalmente se analizarán los datos obtenidos con los datos calculados y se analizaran parámetros eléctricos y lumínicos para saber cual de las dos tecnologías analizadas son más viables a implementar en el alumbrado público.

**Palabras Clave:** Alumbrado público; Contaminación lumínica; Luminarias; Análisis económico

## ABSTRACT

Today the world that surrounds us suffers from countless changes that we often do not recognize but that are closely related to our daily lives, many times we do not even notice them, but it is inevitable to perceive some of them, however, at a certain point the development of lighting technology exceeds socially acceptable norms. Public lighting is one of the elements that directly affect the safety of road infrastructure, therefore, existing lighting systems in this environment often have harmful effects on the internal and external environment and directly on people and nature. . One of these is the result of the well-known light pollution that, despite the advancement of contemporary techniques and technologies established in the lighting of spaces, not only presents benefits but also consequences that have LED to the violation of normally reasonable and acceptable limits in terms of the scattering of artificial light especially in overlit areas resulting in a scattering of electrical energy. For these reasons, this document focuses on carrying out a technical and economic analysis of street public lighting in the city of Cuenca, where LED luminaires are compared vs. discharge luminaires, depending on the light pollution they produce. This study will take as its starting point a technical economic analysis to make viable the implementation of LED or discharge luminaires not only from the economic point of view but also from the environmental point of view, based on local and international regulations regarding the public lighting service and road regulations.

In order to obtain the different lighting parameters required for this study, the 9-point and mesh measurement methods will be implemented, and different instruments will be used to determine the light pollution generated by the lighting technologies considered in this study.

Finalmente se analizarán los datos obtenidos con los datos calculados y se analizaran parámetros eléctricos y lumínicos para saber cual de las dos tecnologías analizadas son más viables a implementar en el alumbrado público.

**Keywords:** Street lighting; Light pollution; Light fixtures; Economic analysis

## ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	i
CERTIFICACIÓN	ii
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA Y OBJETIVOS	3
<b>1 CONCEPTOS GENERALES DE ALUMBRADO PÚBLICO, LUMINARIAS Y POLUCIÓN LUMÍNICA.</b>	<b>4</b>
1.1 Luminotecnia . . . . .	4
1.1.1 Magnitudes luminosas . . . . .	4
1.2 Factores que afectan la visión . . . . .	6
1.3 Alumbrado público. . . . .	6
1.4 Marco normativo para prestación del servicio de alumbrado público general . . . . .	7
1.4.1 Vías para trafico motorizado . . . . .	7
1.5 Aspectos técnicos del alumbrado público . . . . .	9

1.5.1	Luminancia promedio de calzada ( $L_{av}$ ). . . . .	9
1.5.2	Uniformidad general de la luminancia en la calzada ( $U_o$ ). . . . .	9
1.5.3	Coefficiente de uniformidad longitudinal ( $U_l$ ). . . . .	9
1.6	Cualidades que deben presentar las lámparas de alumbrado público. . . . .	10
1.7	Distribución de iluminación en el alumbrado público. . . . .	10
1.7.1	Clasificación energética del alumbrado Público. . . . .	11
1.8	Luminarias y lámparas. . . . .	12
1.8.1	Luminarias. . . . .	12
1.8.2	Lámparas. . . . .	12
1.8.3	Luminarias de vapor de sodio . . . . .	13
1.8.4	Light emitting diode (LED). . . . .	13
1.8.4.1	Beneficios generales de las luces públicas LED de alta calidad . . . . .	14
1.9	Polución lumínica. . . . .	16
1.9.1	Tipos de emisiones de luz que aportan con la contaminación lumínica. . . . .	17
1.9.2	Causas de la polución lumínica. . . . .	18
1.9.3	Consecuencias de la contaminación lumínica. . . . .	19
1.9.3.1	Polución lumínica en las personas. . . . .	19
1.9.3.2	Polución lumínica en la sociedad. . . . .	20
1.9.3.3	Polución lumínica en la naturaleza. . . . .	20
1.10	METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE ALUMBRADO PÚBLICO . . . . .	21
1.10.1	Método de Cálculo de los Nueve Puntos . . . . .	21
1.10.2	Disposición de luminarias. . . . .	22
1.11	Método de malla. . . . .	23
1.12	Instrumentos de medición . . . . .	24
1.12.1	Luxómetro. . . . .	25
1.12.2	Luminancímetro. . . . .	25
1.12.3	Medidor de calidad de cielo. . . . .	26
1.12.4	Analizador de calidad de energía. . . . .	26
1.12.5	Valor actual neto (VAN) . . . . .	27
1.12.6	Tasa de interna de retorno (TIR) . . . . .	27
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA</b> . . . . .	<b>28</b>
2.1	Recopilación de información . . . . .	28
2.2	Lugar de estudio . . . . .	28
2.2.1	Parámetros eléctricos de luminarias utilizadas. . . . .	29
2.2.2	Mediciones realizadas mediante el método de los 9 puntos. . . . .	30

2.2.3	Mediciones realizadas mediante el método de malla. . . . .	32
2.2.4	Colocación del SQM y tiempo de medición. . . . .	34
<b>3</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>36</b>
3.1	Datos de medición obtenidos mediante luxómetro. . . . .	36
3.2	Datos de medición de luminancia obtenidos mediante el luminancímetro. . . . .	38
3.3	Análisis de parámetros eléctricos mediante el analizador de calidad de energía. . . . .	39
3.3.1	Análisis de voltaje implementando luminarias de descarga y luminarias LED. . . . .	39
3.3.2	Análisis de corriente de arranque en luminarias de descarga y LED. . . . .	40
3.3.3	Análisis de transitorios en luminarias de descarga y LED. . . . .	41
3.3.4	Análisis de armónicos empleando luminarias de descarga y LED. . . . .	41
3.4	Análisis de mediciones calidad de cielo . . . . .	43
3.5	Análisis comparativo de eficiencia y costos por tipo de luminaria. . . . .	47
3.5.1	Análisis Técnico . . . . .	47
3.5.2	Análisis Económico . . . . .	48
3.5.3	Valor actual neto (VAN) . . . . .	50
3.5.4	Tasa de interna de retorno (TIR) . . . . .	50
3.5.5	Análisis de la polución lumínica técnica y sociedad. . . . .	51
3.5.6	Efectos en la salud humana. . . . .	54
3.5.7	Efectos en los ecosistemas. . . . .	55
3.5.8	Factor de Emisión de $CO_2$ . . . . .	55
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
4.1	Conclusiones . . . . .	57
4.2	Recomendaciones . . . . .	59
	<b>ANEXOS</b>	<b>60</b>
	<b>A DATOS DE MEDICIÓN DE LUXÓMETRO.</b>	<b>61</b>
	<b>B DATOS DE MEDICIÓN DE LUMINANCÍMETRO.</b>	<b>63</b>
	<b>C FICHA TÉCNICA DE LUMINARIAS .</b>	<b>65</b>
	<b>GLOSARIO</b>	<b>69</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Sistema radial con inclusión de pérdidas [1]. . . . .	5
1.2	Imagen ilustrativa de conceptos de luminotecnia. . . . .	5
1.3	Características de las lámparas de vapor de sodio de alta presión [2]. . . . .	13
1.4	Características de las lámparas LED [2]. . . . .	14
1.5	Proyección lumínica . . . . .	17
1.6	Ilustración del método de los 9 puntos . . . . .	21
1.7	Disposición unilateral. . . . .	23
1.8	Malla de medición para determinar iluminancia y luminancia . . . . .	23
1.9	Vista frontal Luxómetro. . . . .	25
1.10	Vista lateral Luminancímetro. . . . .	25
1.11	Equipo SQM-LU-DL-R1. . . . .	26
1.12	Analizador de calidad de energía. . . . .	26
2.1	Zona de estudio . . . . .	29
2.2	Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de los 9 puntos con luminarias apagadas. . . . .	31
2.3	Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de los 9 puntos con luminarias sodio encendidas. . . . .	31
2.4	Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de los 9 puntos con luminarias LED encendidas. . . . .	32
2.5	Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de malla, con luminarias apagadas. . . . .	33
2.6	Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de malla, con luminarias de sodio encendidas. . . . .	33
2.7	Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de malla, con luminarias LED encendidas. . . . .	34
2.8	Ubicación de medidor de calidad de cielo. . . . .	35
3.1	Análisis de la iluminancia en el lugar de estudio, implementando el método de los 9 puntos. . . . .	36
3.2	Análisis de la iluminancia en el lugar de estudio, implementando el método de malla. . . . .	37

3.3	Análisis de la luminancia en el lugar de estudio, implementando el método de los 9 puntos. . . . .	38
3.4	Análisis de la luminancia en el lugar de estudio, implementando el método de malla. . . . .	38
3.5	Variación de voltaje en luminarias de descarga . . . . .	39
3.6	Variación de voltaje en luminarias LED . . . . .	39
3.7	Corriente de arranque en luminarias de descarga . . . . .	40
3.8	Corriente de arranque en luminarias LED. . . . .	40
3.9	Transitorios en luminarias de descarga. . . . .	41
3.10	Transitorios en luminarias LED. . . . .	41
3.11	Armónicos en luminarias de descarga . . . . .	42
3.12	Armónicos en luminarias LED . . . . .	42
3.13	Mediciones calidad cielo con luminarias LED . . . . .	43
3.14	Mediciones calidad cielo con luminarias de Sodio. . . . .	44
3.15	Mediciones calidad cielo sin luminarias. . . . .	45
3.16	Perdida de luz en luminarias LED. . . . .	52
3.17	Reflexión de la Luz y su Impacto en la Polución Lumínica. . . . .	52
C.1	Características técnicas luminaria LED. . . . .	65
C.2	Características técnicas luminarias de Sodio. . . . .	66
C.3	Presupuesto de luminaria LED. . . . .	67
C.4	Presupuesto de luminaria sodio. . . . .	68

## ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Magnitudes luminosas elementales . . . . .	4
1.2	Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (M) [3]. . . . .	8
1.3	Parámetros fotométricos para vías con tráfico motorizado [3]. . . . .	8
1.4	Tipo de superficie y calzada [1]. . . . .	9
1.5	Parámetros fotométricos para vías [4]. . . . .	10
1.6	Configuración de disposición de luminarias [4]. . . . .	11
1.7	Clasificación energética de una instalación de alumbrado [5]. . . . .	12
1.8	Eficiencia y tiempo de vida útil de lámparas [6]. . . . .	13
1.9	Clasificación del tipo de zona [7]. . . . .	18
1.10	Valores máximos de FHS [7]. . . . .	18
1.11	Valores lumínicos máximos molestos [7]. . . . .	19
2.1	Datos técnicos de luminarias. . . . .	30
2.2	Datos obtenidos en laboratorio. . . . .	30
2.3	Valores medidos de iluminancia y luminancia implementando el método de los 9 puntos. . . . .	30
2.4	Valores obtenidos de iluminancia y luminancia implementando el método de malla. . . . .	32
2.5	Escala y simbología propuesta para centros urbanos [8]. . . . .	35
3.1	Uniformidad con los datos obtenidos del metodo de los 9 puntos. . . . .	37
3.2	Datos procesados de mediciones de calidad de cielo . . . . .	45
3.3	Datos del fabricante de las luminarias de estudio [6] . . . . .	47
3.4	Datos de mediciones con el analizador de calidad de energía . . . . .	48
3.5	Comparación económica de las luminarias en función del costo, potencia y vida útil . . . . .	49
3.6	Comparación técnica-económica VAN Y TIR. . . . .	50
A.1	Datos método de los 9 puntos luxómetro. . . . .	61
A.2	Datos método de malla luxómetro . . . . .	62
B.1	Datos método de los 9 puntos luminancímetro. . . . .	63
B.2	Datos método de malla luminancímetro. . . . .	64

## INTRODUCCIÓN

La seguridad vial resulta de varios factores. Los accidentes suscitados durante la noche suelen ser mas peligroso y resultan en un mayor impacto en los usuarios de la vía. Entre las principales causas se presenta la reducción de visibilidad, por lo tanto, el alumbrado público es parte esencial de la infraestructura vial y encargado de proporcionar una mejor visibilidad reduciendo así el número de accidentes de tráfico [9].

El alumbrado público juega un papel muy importante en la sociedad en general, teniendo un impacto estético en la ciudad e influyendo directamente en su seguridad. Los efectos negativos de un alumbrado público mal gestionado derivan en polución lumínica y consumo de energía, representando este consumo entre aproximadamente un 6–7% del total de la electricidad consumida segun el plan maestro de electricidad 2018 – 2027. La necesidad por disminuir el consumo eléctrico de la iluminación y de mejorar su eficiencia energética encamina a realizar actividades enfocadas a modernizar los sistemas lumínicos mediante la sustitución de fuentes de luz. La tecnología LED a aumentado sustancialmente en los últimos años debido a su mayor eficacia lumínica, confiabilidad y cualidades únicas, ofreciendo entre un 30–70% de ahorro de energía en el sector del alumbrado público, figurando como componente importante de la operación del sistema, control efectivo y verificación de funcionamiento. [9–11].

Sin embargo, existen varios factores a considerar para determinar el tipo de fuente de luz adecuada para el alumbrado público. Primero, se debe considerar los diferentes tipos de calzada mismos que exigen diferentes requisitos de iluminación. En segundo lugar se debe considerar la *temperatura de color correlacionada (CCT)* del . En tercer lugar hay que considerar el efecto de la luz sobre la adaptación de la oscuridad e la percepción de color de la vista del ser humano y por último debemos considerar también la capacidad de penetración de la niebla que figura como un factor muy sobresaliente en las luces de calle ya que esto conduce a una mayor contaminación del brillo del cielo [10].

Los sistemas de iluminación contemporáneos experimentan su etapa adolescente. La iluminación en exteriores genera una cantidad considerable de dispersión de luz que frecuentemente va más allá de los límites admisibles. La disposición de iluminación producida por el alumbrado vial e industrial produce un esquema que ocasiona la contaminación lumínica del entorno natural de áreas urbanas, es el deslumbramiento visual sistémico que la mayoría de la gente aun percibe como normal y aceptable [12].

Los efectos negativos que se pueden generar a raíz de la luz artificial son los siguientes [12]:

- Luz contaminante, se produce un cambio en la calidad del entorno debido a la luz generada en fuentes de luz artificial.
- Luz de emisión, es la luz emitida sin un propósito en un entorno.
- Luz de imisión, referido al impacto lumínico contaminante sobre las actividades de las personas y la naturaleza viva.
- La luz de resplandor, referente a la dispersión de luz artificial en el cielo nocturno.
- Dispersión de luz, esta es la luz emitida que no cumple sus objetivos y se desvía a su propósito inicial para el cual se empleó el sistema de iluminación.
- Luz de intromisión, esta es la luz que llega a lugares cerrados como edificios, residencias y lugares de trabajo que a su vez es antinatural, irritante y molesta.
- Luz contaminante, es la luz que genera un cambio en la calidad del medio debido a fuentes de luz artificial y es producto de un flujo luminoso emitido al cielo en un periodo de oscuridad y puede ser luz directa o reflejada.

La necesidad de migrar los sistemas de alumbrado público se justifica mediante un informe de análisis técnico-económico basado en tres criterios clave: consumo de energía, contaminación lumínica y costos operativos de vida útil de los sistemas de iluminación. La elección de soluciones técnicas para la rehabilitación de las instalaciones de alumbrado público se realiza de acuerdo con los documentos normativos nacionales e internacionales que evalúan cuánto y cómo se ilumina una calle o carretera en particular.

## **PROBLEMA Y OBJETIVOS**

### **Problema**

Analizar el beneficio a nivel técnico-económico en el uso de luminarias de tecnología LED frente a luminarias de descarga en el alumbrado público, identificando que tecnología lograría la disminución de la polución lumínica.

### **Objetivo General**

Analizar el alumbrado público vial en la ciudad de Cuenca, comparando Luminarias LED vs Luminarias de descarga, en función de la polución lumínica que producen.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar las características, ventajas y desventajas de usar tecnología LED o de descarga en el alumbrado público vial.
- Analizar el marco normativo que regula al alumbrado público en el Ecuador.
- Analizar la polución lumínica generada por las luminarias LED vs las de descarga y determinar cual causa mayor polución.
- Evaluar parámetros eléctricos y lumínicos de las luminarias LED y de descarga.

# CAPÍTULO 1

## CONCEPTOS GENERALES DE ALUMBRADO PÚBLICO, LUMINARIAS Y POLUCIÓN LUMÍNICA.

### 1.1 Luminotecnia

#### 1.1.1 Magnitudes luminosas

Entre algunas definiciones se puede definir a la luz como la porción de energía radiante apreciada visualmente, dicho en otras palabras, es la parte de la energía que al entrar en contacto con una superficie se refleja o se emite al sistema visual que en respuesta de los fotorreceptores produce el sentido de la visión.

En la Tabla 1.1 se presentan las magnitudes luminosas más utilizadas tomando en cuenta que al momento de realizar un estudio de iluminación los elementos fundamentales a considerar son la fuente productora de luz y el objeto para iluminar [2].

**Tabla 1.1:** Magnitudes luminosas elementales

MAGNITUD LUMINOSA	UNIDAD DE MEDIDA
Flujo luminoso	Lumen ( $lm$ )
Intensidad luminosa	Candela ( $cd$ )
Iluminancia	Lux ( $lm/m^2$ )
Luminancia	Candela por metro cuadrado ( $cd/m^2$ )

**Flujo luminoso.** Se refiere a la cantidad de energía luminosa que se dispersa en todas las direcciones emitida por una fuente de luz en el transcurso del tiempo, es decir, es la energía de una fuente de luz radiada que por la unidad de tiempo se la conoce como potencia radiante. En la Figura 1.1 se puede observar la distribución energética de la potencia eléctrica consumida de una lámpara y de una forma más

clara se puede dar cuenta que toda la potencia generada no está concentrada en la luz visible [1].

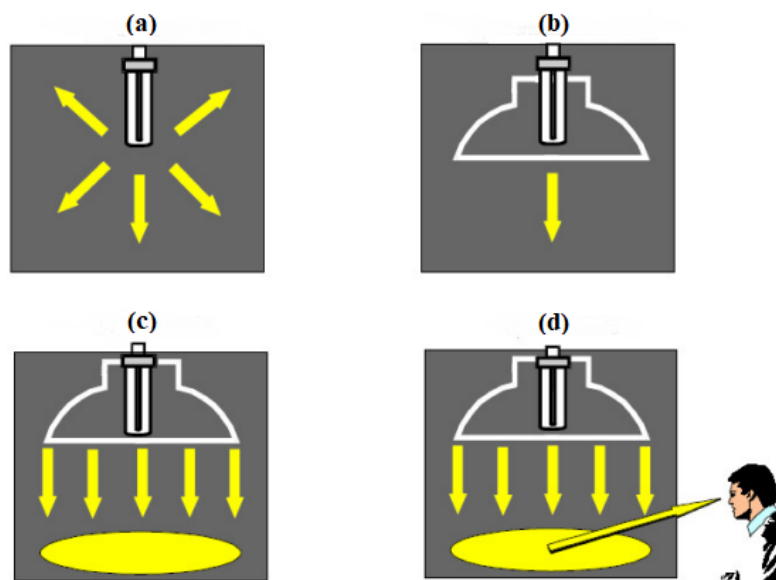


**Figura 1.1:** Sistema radial con inclusión de pérdidas [1]. .

**Intensidad luminosa.** Es la cantidad de luz emitida en una dirección determinada por unidad de tiempo [1].

**Iluminancia.** Es la cantidad de flujo luminoso que incide por unidad de superficie [1].

**Luminancia.** Es la relación entre intensidad luminosa y la superficie aparente vista en una dirección determinada [1].



**Figura 1.2:** Imagen ilustrativa de conceptos de luminotecnia.

En la Figura 1.2 se puede apreciar de forma ilustrativa los conceptos de flujo luminoso (a), intensidad luminosa (b), iluminancia (c) y luminancia (d).

## 1.2 Factores que afectan la visión

Entre varios factores que influyen en la visión se destacan principalmente los siguientes [13,14]:

1. **Contraste.** Son las diferencias de luminancia que se observa entre el objeto y su espacio inmediato.
2. **Sombras.** Es la diferencia de luminancias en referencia a un lugar mas iluminado.
3. **Iluminación.** Es en nivel adecuado de iluminación que permite sentirse cómodo y poder realizar actividades con satisfacción.
4. **Ambientes cromáticos.** Hace alusión a la longitud de onda fundamental y complementaria y al estado de pureza de un color tomado como conjunto y interfiere en el estado de ánimo de las personas.
5. **Deslumbramiento.** Es la condición visual en donde hay incomodidad y poca capacidad de distinguir objetos, esto en consecuencia de una mala iluminación compleja y en algunos casos imposible de realizar, es así como, la iluminancia se usa mayormente para verificar parámetros de iluminación [9].

## 1.3 Alumbrado público.

El objetivo fundamental del alumbrado público es, procurar que en los lugares en donde se desarrollan actividades nocturnas se brinde una iluminación eficiente y acorde con el medio, para esto, es necesario desarrollar proyectos enmarcados en hacer cumplir las normas vigentes, agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables ARCERNNR-007/23, Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC), servicio Ecuatoriano de normalización (INEN), y las dictadas por las empresas electricas comercializadoras para brindar el mejor servicio al usuario.

El alumbrado público se subdivide en alumbrado público general, alumbrado público ornamental y alumbrado público intervenido, en este documento se enfoco en el análisis de alumbrado publico general.

1. **Alumbrado público general.** Contempla la iluminación de vías públicas enfocadas en el tránsito de vehículos, personas para la movilidad humana y vehicular, en la ciudad, orientada a proporcionar seguridad a las personas.

Normada en regulaciones y aspectos técnicos y económicos con el fin de garantizar la calidad del servicio [4].

La elección del tipo de iluminación vial se determina mediante parámetros fotométricos mínimos de la vía y es el resultado de varios factores tomados del ARCERNR 007-23 tales como: tipo de vía, velocidad máxima permitida de vehículos, intensidad de tránsito, clases de vías y condiciones ambientales .

## 1.4 Marco normativo para prestación del servicio de alumbrado público general .

En base al marco normativo para prestación del servicio de alumbrado público general, se especifican parámetros y reglamentos a tomar en cuenta en las diferentes clases de iluminación de vías que buscan un sistema duradero, confiable y eficiente. [3].

En el servicio de alumbrado público se subdivide en vías para tráfico motorizado, vías para tráfico peatonal y vías en zona de conflicto, en este documento se enfoco en el análisis, vías para tráfico motorizado.

### 1.4.1 Vías para tráfico motorizado

La clasificación de alumbrado para vías se categoriza de M1 a M6 en función de determinadas especificaciones y se determina con la ecuación 1.1 [3].

$$M = \left(6 - \sum V_{pP}\right) \quad (1.1)$$

Donde:

$M$  : clase de iluminación de M1 a M6

$\sum V_{pP}$  : sumatoria de valores de ponderación indicados en la tabla 1.2

Los valores de ponderación se encuentran entre 0 y 6 y si el valor no es entero se aproximará al menor valor de la sumatoria

**Tabla 1.2:** Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (M) [3].

Parámetro	Opciones	valor de ponderación
Velocidad	Muy alta, $v \geq 100[km/h]$	1
	Alta, $70 < v < 100[km/h]$	0,5
	<b>Moderada, <math>40 \leq v \leq 70[km/h]</math></b>	<b>0</b>
Volumen de tráfico	Muy alto	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	<b>Bajo</b>	<b>-0,5</b>
Composición de tráfico	Muy bajo	-1
	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2
	Mezclado	1
	Solamente motorizado	0
Separación de vías	No	1
	Si	0
Densidad de la intersección	Alta	1
	Moderada	0
Vehículos parqueados	Se permite	0,5
	No se permite	0
Iluminación ambiental	Alta	1
	Moderada	0
	Baja	-1
Guías visuales	Pobre	0,5
	Moderado o bueno	0

En la Tabla 1.3 se presenta los parámetros fotométricos para vías con tráfico motorizado (M1 a M6) de acuerdo con sus características y parámetros luminosos establecidos en la regulación ARCERNNR-007/23 para el alumbrado público [3].

**Tabla 1.3:** Parámetros fotométricos para vías con tráfico motorizado [3].

Clase de iluminación	Luminancia promedio $L_{av}$ [ $cd/m^2$ ] mantenido		Factor de uniformidad $U_0$ mínimo	TI % máxima inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia $U_L$ mínimo	Relación de alrededores (SR) mínima
	Máxima	Mínima				
M1	2,40	2,00	0,40	10,00	0,70	0,50
M2	1,80	1,50	0,40	10,00	0,70	0,50
M3	1,20	1,00	0,40	15,00	0,60	0,50
M4	1,00	0,75	0,40	15,00	0,60	0,50
M5	0,75	0,50	0,35	15,00	0,40	0,50
M6	0,50	0,30	0,35	20,00	0,40	0,50

## 1.5 Aspectos técnicos del alumbrado público

El sistema de alumbrado público engloba el flujo peatonal y vehicular, es por ello que en su diseño se deben considerar parámetros y niveles acorde a su actividad.

### 1.5.1 Luminancia promedio de calzada ( $L_{av}$ ).

Se calcula como el promedio aritmético de la luminancia de las lámparas que se encuentran en los puntos de cálculo, y este será el valor mínimo que se debe conservar en el tiempo de vida útil de la instalación. La clasificación del tipo de calzada y la uniformidad de luminancia se dan acorde a la Tabla 1.4 [15] [1] .

**Tabla 1.4:** Tipo de superficie y calzada [1].

Tipo de superficie	Tipo de calzada	$Q_o$ (coeficiente de luminancia)
Revestimiento de concreto	Clara	0.10
Revestimiento de asfalto	Oscura	0.07
Superficies de tierra	Clara	0.10

### 1.5.2 Uniformidad general de la luminancia en la calzada ( $U_o$ ).

Esta uniformidad surge de la relación entre la luminancia mínima, la promedio que existe en la vía y depende de las mismas circunstancias que influyen en la luminancia promedio [15].

De acuerdo al ARCERNNR-007-23 el valor mínimo permitido de la uniformidad en una vía es de 0.4 o su equivalente 40% [3].

### 1.5.3 Coeficiente de uniformidad longitudinal ( $U_l$ ).

Este coeficiente, se relaciona directamente entre la luminancia mínima y máxima que es medida sobre los ejes paralelos al eje principal de la vía [15]. La Tabla 1.5 puntualiza niveles específicos a cumplirse en las vías dependiendo de determinadas características.

**Tabla 1.5:** Parámetros fotométricos para vías [4].

Clases de iluminación	Tipo de superficie				Incremento de umbral	Relación de alrededor
	Seco		Mojado			
	$l_{av}(\frac{cd}{m^2})$	$U_o$	$U_f$	$U_o$	Ti %	SR
M1	2,0	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M3	1,0	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M4	0,8	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M5	0,5	0,35	0,40	0,15	15	0,5
M6	0,3	0,35	0,40	0,15	20	0,5

## 1.6 Cualidades que deben presentar las lámparas de alumbrado público.

El tipo de lámparas empleadas en el alumbrado público deben contar con características y cualidades necesarias para el correcto funcionamiento en las condiciones de instalación [6].

- Eficacia luminosa, descrita como la relación del flujo luminoso total emitido y la potencia de la lámpara y se expresa en (lm/W).
- Vida útil de instalación y utilización de las lámparas.
- Conservación del flujo luminoso con el transcurso del tiempo.
- Factores económicos referentes a precio, coste de instalación y sustitución de lámparas.
- Temperatura de color.

## 1.7 Distribución de iluminación en el alumbrado público.

La disposición y localización de luminarias en una vía está relacionada con aspectos físicos, como: ancho de vía, altura de montaje, requisitos de instalación, perfil de vía y acceso o proximidad a redes de medio o alto voltaje [15].

La interdistancia de soporte de alumbrado público se determinan mediante estudios fotométricos de la vía, las distancias establecidas por el estudio solo pueden ser modificadas debido a obstáculos e impedimentos en el área de instalación y se puede

corregir mediante interdistancias mayores o menores y un análisis de la opción más viable de las siguientes alternativas [15].

1. Elección de la luminaria más adecuada.
2. Ajustar el reglaje en la luminaria a fin de ampliar su dispersión.
3. Ajustar la luminaria a una inclinación de  $(0^\circ - 20^\circ)$ .
4. Emplear brazos más grandes para obtener mayor alcance de la luminaria en la vía.

Establecidas las características fotométricas y propias de la vía se establece la mejor configuración acorde a cubrir los requerimientos de la vía a iluminar. En la tabla 1.6 se expone ciertas configuraciones a considerar en la disposición de luminarias [15].

**Tabla 1.6:** Configuración de disposición de luminarias [4].

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

La disposición unilateral se utiliza mayormente en vías secundarias y se instalan a un solo lado de la vía, mientras que la disposición bilateral es más utilizada en vías más anchas como avenidas y vías principales donde la instalación de las luminarias se realiza a los dos lados de la vía en configuración tres bolillo o intercalada equidistante. [15].

### 1.7.1 Clasificación energética del alumbrado Público.

Es una calificación energética que se manifiesta a través de varios indicadores y permite denotar un buen o mal comportamiento energético, se realiza en cada sección vial que posea características geométricas, luminotécnicas y distribución de luz iguales [5].

La Tabla 1.7 nos muestra cómo se califica una instalación de alumbrado en base a su consumo y eficiencia energética.

**Tabla 1.7:** Clasificación energética de una instalación de alumbrado [5].

Clasificación Energético	Índice de consumo de vehículos	Índice de Eficiencia Energética
A	$ICE < 0.91$	$I_e > 1.1$
B	$0.91 \leq ICE < 1.09$	$1.1 \geq I_e > 0.92$
C	$1.09 \leq ICE < 1.35$	$0.92 \geq I_e > 0.74$
D	$1.35 \leq ICE < 1.79$	$0.74 \geq I_e > 0.56$
F	$1.79 \leq ICE < 2.63$	$0.56 \geq I_e > 0.38$
G	$2.63 \leq ICE < 5.0$	$0.38 \geq I_e > 0.20$

## 1.8 Luminarias y lámparas.

### 1.8.1 Luminarias.

Las luminarias son módulos con propiedades eléctricas y mecánicas indispensables para promover la producción de luminiscencia de una fuente de luz, proyectadas con una disposición fotométrica a brindar una alta eficiencia energética, diseñadas para exteriores, su montaje se realiza en postes, columnas o lugares donde se encuentren fijadas en parques, plazas y vías [6].

### 1.8.2 Lámparas.

Son fuentes de luz desde donde se proporciona iluminación en una determinada área, estas a su vez se pueden clasificar por: tipo de tecnología, potencia, rendimiento, vida útil y lugar de instalación. Su eficiencia energética no solo se condiciona a su luz emitida por vatio sino también a sus colores emitidos en función a su aplicación [6].

En la Tabla 1.8 se presenta los tipos de luminarias más empleadas en los proyectos de iluminación en referencia a su eficiencia luminosa en lm/W y a su vida útil en horas.

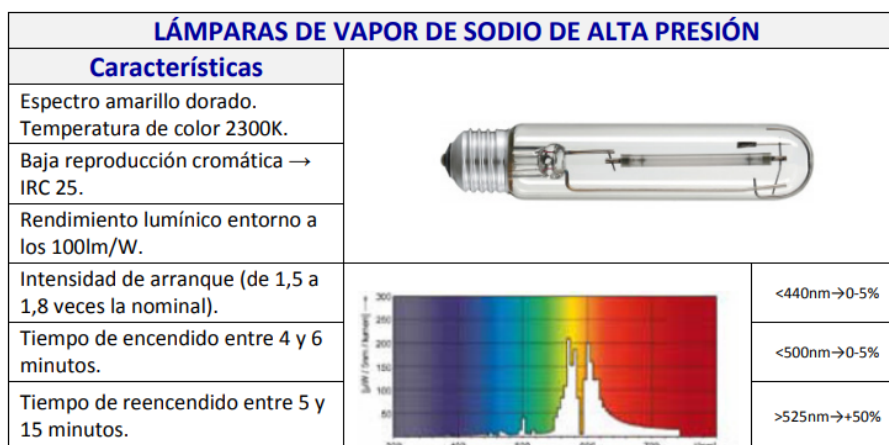
**Tabla 1.8:** Eficiencia y tiempo de vida útil de lámparas [6].

Tipo de tecnología	Lúmenes por watt	Vida útil de luminarias (horas)
Incandescente	8-26	1000-2000
Fluorescente	60-400	10000-24000
VSAP	45-110	10000-28000
VABP	80-180	10000-20000
VMAP	60-100	6000-14000
Haluro metálico (HM)	60-600	8000-16000
Luz mezcla (LM)	20-60	3000-6000
LED	28-79	25000-100000

### 1.8.3 Luminarias de vapor de sodio .

Su funcionamiento es bastante similar a las lámparas de mercurio con la diferencia que la descarga eléctrica se realiza en vapor de sodio que se contiene en una ampolla de vidrio que contenga el ataque químico del elemento [16].

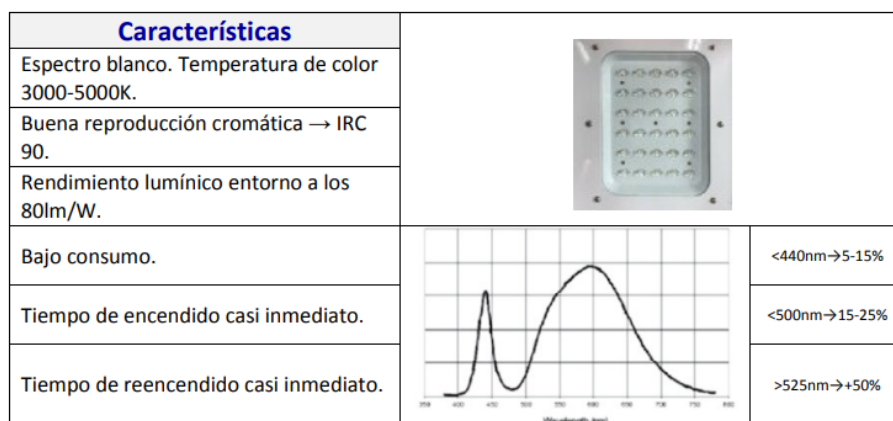
Las lámparas de sodio de alta presión presentan una eficiencia menor a las de baja presión con diferencia que su espectro de luz permite apreciar ciertos colores y se emplea principalmente en iluminación de exteriores de áreas industriales.

**Figura 1.3:** Características de las lámparas de vapor de sodio de alta presión [2].

### 1.8.4 Light emitting diode (LED).

El diodo emisor de luz se presenta como la tecnología empleada mayormente en la actualidad ya que supera en la mayoría de las características a los otros sistemas de iluminación.

El diodo es un componente electrónico, que tiene incorporado un chip el cual permite el paso de corriente eléctrica en un solo sentido, es decir, funciona como interruptor. El desarrollo de esta tecnología se basa en características fotoluminiscentes de ciertos semiconductores ya que el paso de corriente en estos produce energía luminosa y en combinación de diferentes semiconductores se produce diferentes longitudes de onda que resultan en luz blanca [16].



**Figura 1.4:** Características de las lámparas LED [2].

Partiendo de sus características mostradas en la Figura 1.4 las luminarias LED presentan diversas ventajas como: larga duración, respuesta rápida al encender y apagar, tamaño reducido, robustez mecánica, bajo mantenimiento, baja temperatura y ahorro energético [16].

Su principal desventaja se refleja en referencia al costo de instalación ya que muchas veces el costo inicial de inversión no resulta rentable. Otra desventaja se presenta debido a que su luz es direccional por ende puede producir sombras e inestabilidad en las luminancias y su temperatura de color, es decir su luz es más fría. La tecnología OLED (Organic light-emitting diode) que se encuentra en desarrollo y promete facilitar el uso de iluminación en grandes espacios [16].

#### 1.8.4.1 Beneficios generales de las luces públicas LED de alta calidad

- Menos consumo de energía. El consumo de electricidad con luces LED menora entre un 40–80% y representan una esperanza de vida de 5 veces mayor que las luminarias regulares de descarga y son 7 veces más eficientes energéticamente que las incandescentes y 2 veces más que las fluorescentes [17].
- Mayor eficiencia y menor contaminación lumínica. Las lámparas convencionales se pueden reemplazar por LED para alumbrado público con una salida

de lúmenes menor. Por ejemplo, una lámpara de sodio de alta presión de 80W sería reemplazada por una LED de 30W debido a la direccionalidad, es decir, la luz emitida en las lámparas LED se dirige hacia abajo y se extiende cubriendo el área de iluminación significando esto una menor cantidad de luz para iluminar un área y reduciendo considerablemente el deslumbramiento y la contaminación lumínica que afecta el estado anímico de las personas, navegación de aves e insectos, el apareamiento de los animales y la floración de las plantas [17].

- Larga vida útil. Las luces LED en comparación a las convencionales presentan una mayor vida útil en una relación de 4 a 8 veces más, debido a que la depreciación del lumen es más lenta permitiéndole así permanecer más brillante que otras lámparas, significando menos gasto económico y de mano de obra en la sustitución de las propias luces proporcionando un gran ahorro de costo por si mismas, posesionándolas como las bombillas adecuadas para lugares de difícil acceso donde los costos de manteniendo pueden ser relevantes. [17].
- Excelentes características de funcionamiento. El funcionamiento de las lámparas LED no se ve afectado por los ciclos de encendido y , y se mantiene eficiente a temperaturas altas y bajas, además de ser resistentes a golpes y vibraciones convirtiéndoles en la mejor opción para necesidades específicas en exteriores [17].
- Reducción de la huella de carbono. La huella de carbono del alumbrado público con luces LED es mucho menor a otras debido a su duración y menor consumo de energía [17].
- Amigable con el cielo oscuro. Esto debido a su luz direccional la cual se distribuye exactamente a donde debe ir, en consecuencia existe poca o ninguna luz desperdiciada, lo que ayuda a reducir la polución lumínica. [17].
- Espectro de luz natural. La temperatura de color de 3500-4200 K de las luces LED ofrecen más luz natural que el amarillo de las lámparas de sodio o el verde de las fluorescentes, además que las farolas LED no emiten radiación UV o IR y su índice de reproducción cromática es alto (80-90) permitiendo mostrar los colores de los objetos iluminados [17].
- Amigable con el medio ambiente. las luminarias LED son libres de sustancias nocivas como mercurio, plomo u otros productos químicos o gases peligrosos, estas se pueden desechar sin mayor cuidado ya que son reciclables y respetuosas con el ambiente y no representan una amenaza como otras luces que requieren

de un procedimiento y manejo especial ocasionando costos económicos y ambientales [17].

- **Visibilidad en lluvia y niebla.** La visibilidad en la lluvia y la niebla se determina por los parámetros de la cantidad de dispersión de la luz y la penetración de la luz. Las gotas de agua en la niebla actúan como pequeños espejos y provocan una dispersión de luz no deseada (o deslumbramiento) que afecta la visión de los usuarios de la carretera. La luz LED blanca produce menos deslumbramiento que la luz HPS amarilla en condiciones de lluvia y niebla. También el factor de penetración es favorable para LED. Sin embargo, algunas investigaciones muestran que las luces de carretera LED logran una mayor penetración de la luz a través de la niebla [17].
- **Fácil control.** Es fácilmente controlable y amigable con sistemas inteligentes, puede apagarse y encenderse instantáneamente y esto no afecta su vida útil además se puede atenuar para ahorrar más energía al amanecer, anochecer y en horas de poco tráfico [17].

## 1.9 Polución lumínica.

Existen muchas definiciones, pero apegado a normativas e investigaciones se la puede enmarcar como el resultado del flujo luminoso emitido en horario nocturno por fuentes artificiales de luz en diferentes direcciones, intensidades, espectros, rangos y horarios inadecuados en la realización de actividades consideradas en la zona de instalación de luminarias alterando el medio natural nocturno [13].

El resplandor del cielo es un subproducto de la reflexión de luz a través del aire que contiene partículas atmosféricas, vapor de agua, polvo, gases y partículas en suspensión en donde una parte de la luz se dispersa hacia el cielo durante la noche ocasionando la contaminación por brillo del cielo, fruto del uso inadecuado o excesivo de luminarias, resultando perjudicial en investigaciones astronómicas y afectando de forma negativa a la estética del cielo nocturno [9, 18]. Las principales fuentes de contaminación lumínica son [14]:

- **Incandescencia.** Resultado movimientos aleatorios o agitación térmica que sufren los átomos que constituyen el material de fabricación del filamento de la lámpara, resulta la luz.

- **Luminiscencia.** Referente al proceso de dispersión de la luz, la cual se origina a temperaturas frías en condiciones de ambiente.

### 1.9.1 Tipos de emisiones de luz que aportan con la contaminación lumínica.

1. **Emisión directa.** Este tipo de emisión presenta una mayor cantidad de flujo luminoso por lo que resulta perjudicial y contaminante, procedente de luminarias con una estructura de faros y globos presentes en zonas patrimoniales [13].
2. **Emisión por reflexión.** Tiene una emisión 10 veces menor que la directa y depende mucho de las características físicas de los objetos ya sea paredes, vegetación, viviendas o pavimento ya que puede ser dirigida, semi directa, difusa y semi difusa [13].
3. **Emisión por refracción.** Su efecto es mucho mas pequeño en referencia a las anteriores y se origina debido a la atmosfera circundante a la lámpara [13].



**Figura 1.5:** Proyección lumínica .

En la Figura 1.5 se muestra los tipos de luz que se deben considerar para evitar la intrusión de luz intrusa en otras zonas. Existen varias normativas en luminotecnia según la clase de zona a iluminar, a continuación, en la Tabla 1.9 se presenta la clasificación de zonas de acuerdo al tipo de actividades y su entorno [7].

La tabla 1.9 se presenta las características a considerar en la clasificación del tipo de zona para iluminar.

La Tabla 1.10 muestra los límites de FHS máximos permitidos dependiendo el tipo de zona.

**Tabla 1.9:** Clasificación del tipo de zona [7].

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	DESCRIPCIÓN
E1	ÁREAS CON ENTORNOS O PAISAJES OSCUROS: Observatorios astronómicos de categoría internacional, parques nacionales, espacios natural, áreas de protección espacial (red natura, zonas de protección de aves, etc.) donde las carreteras están sin iluminar.
E2	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD BAJA: Zonas periurbanas o extrarradios de ciudades, suelos no urbanizables, , áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales, urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.
E3	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD MEDIA: Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras están iluminadas).
E4	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD ALTA: Centros urbanos, zonas residenciales sectores comerciales y de ocio con elevada actividad durante horario nocturno.

El FHS es el flujo hemisférico superior que representa la cantidad de luz que se concentra en la mitad superior de la luminaria, es decir la proporción de luz considerada en la contaminación lumínica [7].

**Tabla 1.10:** Valores máximos de FHS [7].

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO $FHS_{INST}$
E1	$\leq 1\%$
E2	$\leq 5\%$
E3	$\leq 15\%$
E4	$\leq 25\%$

En la Tabla 1.11 se exponen valores máximos de parámetros luminotécnicos, se determina valores de la luz intrusa procedente de alumbrado público o exterior que ingresa a residencias causando incomodidad en la noche [7].

### 1.9.2 Causas de la polución lumínica.

- Sistemas eléctricos de alumbrado público que no usan las luminarias adecuadas.
- El entorno de trabajo de la luminaria, que al estar en un entorno de atmosfera contaminada causa dispersión de luz.
- Exceso de iluminación.
- Estudios inadecuados al momento del diseño de una instalación eléctrica.

**Tabla 1.11:** Valores lumínicos máximos molestos [7].

Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Iluminancia vertical ( $E_v$ )	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensidad luminosa emitida por luminarias (I)	250 cd	7500 cd	10000 cd	25000 cd
Luminancia media de las fachadas ( $L_m$ )	$5cd/m^2$	$5cd/m^2$	$10cd/m^2$	$25cd/m^2$
Luminancia máxima de las fachadas ( $L_{m\acute{a}x}$ )	$10cd/m^2$	$10cd/m^2$	$60cd/m^2$	$150cd/m^2$
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos ( $L_{m\acute{a}x}$ )	$50cd/m^2$	$400cd/m^2$	$800cd/m^2$	$1000cd/m^2$
Incremento de umbral de contraste (TI)	Clase de alumbrado			
	Sin iluminación	ME 5	ME3 / ME4	ME1/ME2
	$TI = 15\%$ para adaptación a $L = 0, 1cd/m^2$	$TI = 15\%$ para adaptación a $L = 1cd/m^2$	$TI = 15\%$ para adaptación a $L = 2cd/m^2$	$TI = 15\%$ para adaptación a $L = 5cd/m^2$

- Falta de normativa sobre polución lumínica.

### 1.9.3 Consecuencias de la contaminación lumínica.

#### 1.9.3.1 Polución lumínica en las personas.

En su constante evolución el ser humano tiene la capacidad de asimilar y absorber la energía luminosa, inclusive esta asimilación se da conforme transcurre la edad [13].

Los ciclos de luz natural en las sociedades modernas se han alterado debido al uso excesivo de la luz artificial provocando desplazar hábitos normales de vida a un modo nocturno disminuyendo tiempos de descanso y aumentado la actividad humana expuesta a inadecuados sistemas de iluminación que causan enfermedades cardiovasculares, deterioro cognitivo, trastorno efectivos, envejecimiento acelerado, insomnio, depresión, trastornos de personalidad, y alteración en el ritmo cardiaco. La longitud de onda de luz trasformada en señal eléctrica interactúa con el sistema nervioso alterando la producción de melatonina, función del reloj biológico y afectando a la producción de antioxidantes que cumplen la función de prote-

ger a nuestro organismo de ciertas alteraciones degenerativas y de ciertos tipos de cáncer [2, 13].

### **1.9.3.2 Polución lumínica en la sociedad.**

El desarrollo de la sociedad y la tecnología esta ligada a la luz, ya que con la iluminación se busca mejorar las condiciones de vida del ser humano, sin embargo, al estar a su disposición muchas veces su utilización es inapropiada, derrochista y excesiva. La contaminación lumínica inicialmente es notada por la comunidad científica dedicada a la rama de la astronomía debido a su constante observación del cosmos, al notar que el brillo de la polución lumínica restringía realizar sus estudios con normalidad, pero esto, no solo debe ser una preocupación científica si no también social en el deseo de no privar a las generaciones venideras de la observación del universo comprendiendo todos que no siempre iluminar es signo de desarrollo si no que se debe buscar la calidad y no cantidad procurando mejorar nuestros paisajes nocturnos [13].

### **1.9.3.3 Polución lumínica en la naturaleza.**

En la sociedad como en la naturaleza la luz es vital en el desarrollo de la vida y fenómenos como la fotosíntesis son base de esta cadena vital. La contaminación lumínica interfiere en el comportamiento y función visual de la vida animal. En los insectos se alteran su nivel de reproducción e incremento de plagas por la atracción de la luz, la migración de las aves se ve afectada ya que este brillo a causa de la polución lumínica desorienta su navegación en base al brillo de las estrellas [13].

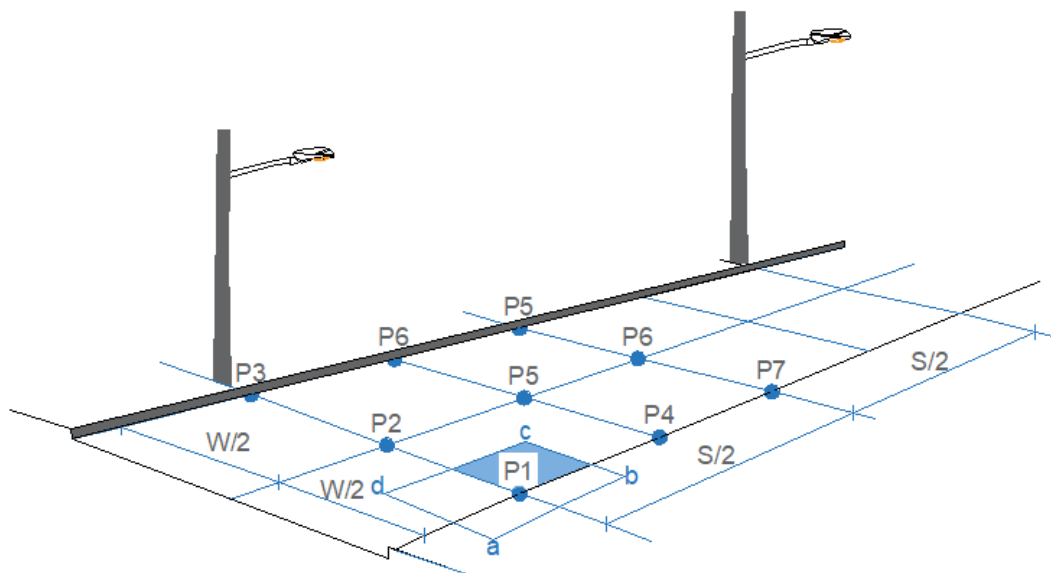
Los impactos fisiológicos y biológicos en la flora y fauna a raíz de la contaminación lumínica están muy presentes y se muestran con mayor regularidad en la naturaleza, ya que al contrario de nuestro pensar en la noche existe una mayor actividad de muchos animales terrestres como aves, anfibios e invertebrados de los cuales su vida se desarrolla en la noche. Los impactos en los mamíferos nocturnos se relacionan al desequilibrio entre cazador y presa resultando en dificultad de obtener alimento debido al exceso de luz desembocado en el aumento de mortalidad por el impedimento visual nocturno. En los anfibios esta luz artificial provoca una desorientación que conlleva a disminución de reproducción, dificultad de alimentación y la pérdida de protección de depredadores. En los insectos, se ve afectados sus ciclos de

reproducción y sobre todo crece el aumento de insectos voladores atraídos por la luz disminuyendo su población e impactando a las plantas por falta de polinización. Los reptiles como las tortugas marinas se ven afectadas debido a que anidan en playas oscuras y este reflejo de luz artificial dificulta que encuentren un lugar seguro de anidar sus huevos, también al nacer sus crías sufren de desorientación por que al contrario de guiarse por la luna y las estrellas y se arrastren al mar estas debido al reflejo se desplazan al interior de las costas resultando en consecuencias que los lleva a la muerte debido al agotamiento y deshidratación [2]

## 1.10 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE ALUMBRADO PÚBLICO

### 1.10.1 Método de Cálculo de los Nueve Puntos

Este método permite determinar la iluminancia media en una instalación de alumbrado público, su aplicación es variada y se puede realizar en carreteras o en zonas libres de circulación.



**Figura 1.6:** Ilustración del método de los 9 puntos .

En la Figura 1.6 podemos observar que dentro del rectángulo que se proyecta de la vía se establece un largo de interdistancia entre luminarias representadas como  $(S/2)$ , y el ancho de la vía se representa por  $(W)$ , de este modo el esquema o el rectángulo se divide en cuatro partes, dos transversales y dos longitudinales fraccionadas en partes

iguales de tal modo que, los puntos a tomar en cuenta son cada vértice formado de los nuevos rectángulos. De esta forma se obtiene los 9 puntos a considerar para el cálculo de este método [6, 19].

La iluminancia media de la vía se obtiene del cálculo de la contribución lumínica de cada punto de medición considerando que el punto central tendrá una contribución de 1.0, los puntos intermedios de 0.5 y los puntos extremos de 0.25, por ejemplo la iluminancia  $E_1$  correspondiente al punto  $P_1$  procedente de las áreas a, b, c, d es considerada únicamente la cuarta parte del área sobre la vía es por ello que los puntos  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_7$  y  $P_9$  solo contribuyen en un 25%, similarmente los puntos  $P_2$ ,  $P_4$ ,  $P_6$  y  $P_8$  representan las áreas que cuentan con un 50% de iluminación y  $P_5$  es el único que representa el área totalmente iluminada en la vía [19].

Es así como la iluminación promedio de la vía se calcula a partir de la ecuación.

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2 \times (E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4 \times E_5] \quad (1.2)$$

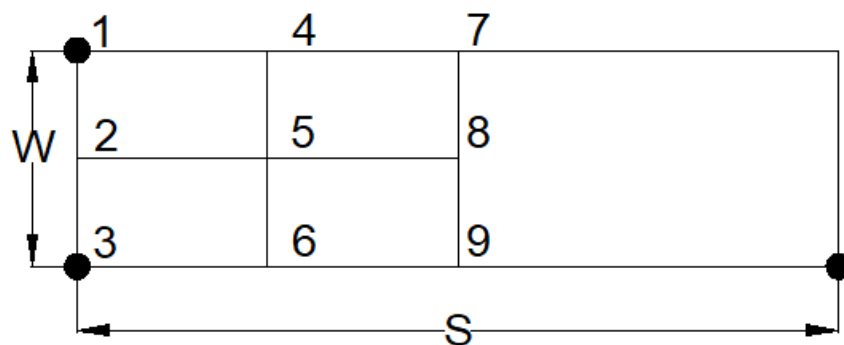
$E_1, E_2, \dots, E_9$  son las iluminancias de  $P_1, P_2, \dots, P_9$  correspondientemente.

### 1.10.2 Disposición de luminarias.

Al conocer las propiedades de la calzada y las características fotométricas de la luminaria, el proyectista deberá utilizar la configuración que mejor se adapte a los requerimientos luminotécnicos [19].

Los postes de alumbrado público exclusivo para dos propósitos. Debido a que algunos proyectos tienen usos múltiples en vías de tráfico motorizado y peatonal las aceras y los senderos para bicicletas, se debe minimizar el uso de postes y accesorios de alumbrado público. Para diseños se considera las recomendaciones de la NTC 900 de la tabla 1.6 [19].

En la Figura 1.7 se representa el modelo de medición de los nueve puntos en la disposición unilateral en donde las luminarias son ubicadas a un solo lado de la vía y se deben utilizar luminarias apropiadas con características específicas que cumplan con los requerimientos técnicos y fotométricos exigidos. En los diseños es recomendable no superar los  $20^\circ$  de elevación ya que esto generaría contaminación luminosa. Esta disposición de luminarias no brinda una buena uniformidad y es más

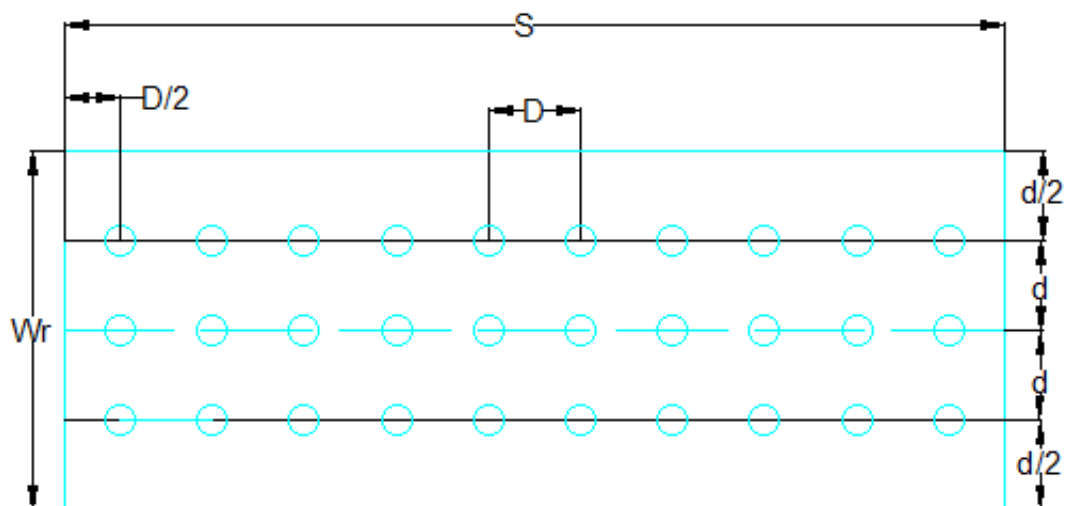


**Figura 1.7:** Disposición unilateral.

utilizada en vías secundarias en donde la altura de la luminaria es mayor a la del ancho de vía [7] [20].

### 1.11 Método de malla.

Para la realización de la medición, se debe considerar la clase de iluminación que se recomienda para el tipo de vía [19].



**Figura 1.8:** Malla de medición para determinar iluminancia y luminancia .

La Figura 1.8 presenta como se deberían tomar los puntos de acuerdo con el espacio uniforme en el área de cálculo, determinando el número de puntos a considerar en la medición de la siguiente manera [19].

En sentido longitudinal, el espacio de los puntos se determina con la siguiente ecuación 1.3 [19].

$$D = \frac{S}{N} \quad (1.3)$$

Donde:

$D$ : es el espacio en dirección longitudinal entre puntos (m)

$S$ : es el espacio entre luminarias (m)

$N$ : es el número de puntos a tomar en cuenta en el cálculo en dirección longitudinal, considerado los siguientes valores. Para  $S \leq 30m$ ;  $N = 10$  Para  $S \geq 30m$  EL ENTERO QUE RESULTE DE LA RELACION  $N = S/3$

Considerando que la primera fila de puntos se encuentra a una distancia de  $D/2$  más allá de la primera luminaria.

En dirección transversal tomando en cuenta el ancho de la calzada se toman tres puntos determinados en la ecuación 1.4 [19].

$$d = \frac{W_r}{3} \quad (1.4)$$

Donde:

$D$ : representa el espaciamiento de puntos en dirección transversal (m)

$W_r$ : representa el ancho de la calzada en el área de medición aplicable (m)

## 1.12 Instrumentos de medición

Para la recolección de información en campo se utilizó instrumentos de medición como: luxómetro, luminancímetro, medidor de calidad de cielo y analizador de calidad de energía. Con la base de datos obtenida de estas mediciones se evaluará la iluminación y la eficiencia energética de las tecnologías analizadas.

### 1.12.1 Luxómetro.

Este equipo se emplea en la medición de la intensidad de iluminación en unidad de Lux, su funcionamiento se basa en una célula fotoeléctrica que al contacto con un haz de luz los electrones emiten una señal eléctrica la cual proporciona el nivel de iluminación. Los errores con relación al ángulo de incidencia de la luz se evitan con una corrección de coseno, este equipo como cualquier otro se debe calibrar regularmente [16].



**Figura 1.9:** Vista frontal Luxómetro.

### 1.12.2 Luminancímetro.

Este equipo es utilizado para la medición de la luminancia, contando con un tubo fotométrico sensible a la luz el cual al dirigir a la superficie genera una corriente proporcional al brillo fotométrico. Cuenta con un sensor de respuesta espectral para igualar de manera más cercana la eficiencia luminosa espectral del ojo humano y ofrecer resultados de medición en relación con la evaluación visual [16].



**Figura 1.10:** Vista lateral Luminancímetro.

En la Figura 1.10 se muestra una imagen lateral del Luminancímetro, para el uso de este equipo se debe considerar que su apertura angular se debe ajustar de acuerdo con el tipo de medición, así mismo su calibración debe hacerse frecuentemente y considerando en los resultados siempre un grado de incertidumbre [16].

### 1.12.3 Medidor de calidad de cielo.

Posee con un fotómetro que mide el brillo en el cielo durante la noche con relación a una banda espectral similar a la de la sensibilidad humana.



**Figura 1.11:** Equipo SQM-LU-DL-R1.

La Figura 1.11 muestra una imagen del medidor de calidad del cielo modelo SQM-LU-DL-R1 proporciona lectura en magnitud por segundo de arco cuadrado llegando a determinar el brillo del cielo. El análisis de los resultados obtenidos deben ser interpretados cuidadosamente ya que estos dependen del tiempo y las condiciones climáticas que se presenten durante su recopilación. Este instrumento de medición posee un campo aproximado de visión de  $40^\circ$  y también se debe considerar un margen de error en sus mediciones de  $\pm 10\%$  [16], [21].

### 1.12.4 Analizador de calidad de energía.

Este analizador de energía nos permite obtener características técnicas sobre la calidad de energía eléctrica que alimenta la red de alumbrado público y se da cuenta de como varia con relación a la tecnología de iluminación utilizada [16].



**Figura 1.12:** Analizador de calidad de energía.

En la Figura 1.12 se puede observar una imagen frontal del analizador de calidad de energía el cual nos permitirá analizar parámetros eléctricos en referencia a la tecnología de iluminación utilizada.

### **1.12.5 Valor actual neto (VAN)**

El VAN es una herramienta que ha permitido determinar la factibilidad económica de un proyecto, dando a notar de una herramienta financiera valiosa para evaluar la rentabilidad de un proyecto o inversión. En el desarrollo del calculo de la presente se toma en cuenta el valor de ingresos como egresos en relación a la inversión, descontado una tasa de interés específica [15]

### **1.12.6 Tasa de interna de retorno (TIR)**

Se define como la tasa de interés a la que, el valor actual neto (VAN) de una inversión es cero. El método es aceptable si la TIR de la inversión resultante (tasa interna de retorno) es igual o mayor que el interés requerido por el inversor (tasa de descuento) y, dependiendo de las alternativas que se obtenga como resultado del mismo, se puede definir la rentabilidad de la inversión [15].

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Recopilación de información**

El objetivo de la iluminación en vías públicas es lograr crear un confort visual cómodo para peatones y conductores que permita reaccionar de manera oportuna ante cualquier percance en la vía. Para el desarrollo de este estudio se ha considerado aplicar el método de los nueve puntos y el método de malla.

La recopilación de información se realizó mediante un proceso de mediciones, empleando diferentes instrumentos de medida como el luxómetro, luminancímetro y medidor de calidad del cielo, los datos obtenidos permitirán realizar un análisis de la luminosidad directa e indirecta en la causa de la polución lumínica y poder comprobar la variante de polución en el proceso de iluminación con las lámparas de descarga e iluminación LED, en función de las características de las calles de la ciudad de Cuenca, donde se realizaran las medidas correspondientes.

#### **2.2 Lugar de estudio**

La obtención de parámetros eléctricos de luminarias de descarga y LED, así como, las medidas de iluminación, luminancia y contaminación lumínica se realizó en los laboratorios de electricidad y en el parqueadero adyacente al estadio de la Universidad Politécnica Salesiana. Para el desarrollo de estudio se tomó en cuenta el área mencionada debido a factores de seguridad personal y de los equipos implementados ya que las medidas se realizan en la noche. Se considero los siguientes parámetros para la medición; ancho de vía de siete metros considerando adicionalmente un metro de vereda, los postes que se encuentran ubicados en el sitio men-

cionado poseen una distancia acorde a lo establecido en el ARCERNNR; siendo su distribución veinte nueve metros de poste a poste, el montaje de las luminarias se determinó de 8.50 metros dando una similitud con las luminarias ubicadas en las calles de la ciudad de Cuenca.



**Figura 2.1:** Zona de estudio .

En la Figura 2.1 se puede observar la zona a intervenir donde se realizará las diferentes mediciones que permitan analizar las diferencias técnicas en el alumbrado público vial utilizando luminarias de descarga de 150W y LED de 100W.

### 2.2.1 Parámetros eléctricos de luminarias utilizadas.

En la Tabla 2.1 se presentan los parámetros eléctricos obtenidos del data shift de las luminarias utilizadas en el estudio, de acuerdo con las características de cada una de las luminarias se utilizó luminarias LED de marca sylvania homologadas, en las de sodio su bombilla es de marca osram, se tomó en cuenta la luminaria de sodio de 150W de alta presión ya que son las luminarias que se utilizan en las calles de la ciudad de Cuenca, al querer comprar se procedió a elegir los parámetros eléctricos que no esten muy distantes la de descarga con la LED y su comparación sea la mas adecuada.

**Tabla 2.1:** Datos técnicos de luminarias.

	Sodio	LED	Unid.
Potencia nominal:	150	100	W
Corriente nominal:	1,8	0,47	A
Voltaje de operación:	120-240	100-240	V
Frecuencia	60	60	Hz
Flujo luminoso:	17500	12000	lm
Temperatura de color:	2000	5000	K
Vida útil:	24000	30000	Hrs.

En la Tabla 2.2 se muestra los datos obtenidos en laboratorio utilizando 3 luminarias de sodio 150W de alta presión y 3 luminarias LED 100W, ambas configuraciones en conexión paralelo, cabe recalcar, que en las luminarias LED se considera una menor potencia equivalente a la potencia de las luminarias de sodio.

**Tabla 2.2:** Datos obtenidos en laboratorio.

	Sodio	LED	Unid.
Potencia:	420	286	W
Corriente:	2,26	1,43	A
Voltaje:	211	210	V
Factor de potencia:	0,88	0,95	

### 2.2.2 Mediciones realizadas mediante el método de los 9 puntos.

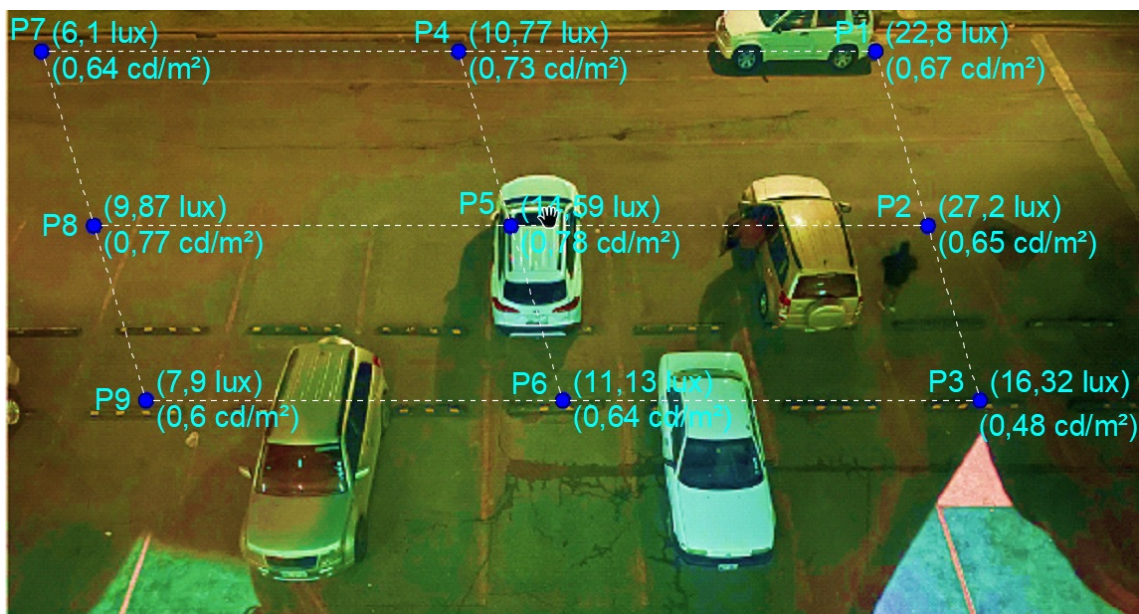
La Tabla 2.3 indica los valores obtenidos en campo utilizando el luxómetro y luminancímetro aplicando el método de medición de los nueve puntos, se presentan los resultados obtenidos en cada punto en tres estados, el primero cuando se encuentran apagadas las luminarias, el segundo al instalar y encender las luminarias de sodio y finalmente cuando se instalan y se encienden las luminarias LED.

**Tabla 2.3:** Valores medidos de iluminancia y luminancia implementando el método de los 9 puntos.

Puntos	Luxómetro				Luminancímetro			
	Luminarias (Off)	Sodio (On)	LED (On)	Unid.	Luminarias (Off)	Sodio (On)	LED (On)	Unid.
P1	0,46	22,8	36,5	lux	0,17	0,67	1,14	cd/m <sup>2</sup>
P2	1,25	27,2	36,4	lux	0,3	0,65	1,05	cd/m <sup>2</sup>
P3	1,04	16,32	26,7	lux	0,13	0,48	0,88	cd/m <sup>2</sup>
P4	0,39	10,77	21,3	lux	0,12	0,73	0,93	cd/m <sup>2</sup>
P5	0,44	14,59	29	lux	0,12	0,78	1,19	cd/m <sup>2</sup>
P6	1,25	11,13	26,3	lux	0,12	0,64	1,01	cd/m <sup>2</sup>
P7	0,45	6,1	12	lux	0,12	0,6	0,88	cd/m <sup>2</sup>
P8	1,88	9,87	18,1	lux	0,14	0,77	1,1	cd/m <sup>2</sup>
P9	1,5	7,9	19,3	lux	0,13	0,6	0,89	cd/m <sup>2</sup>

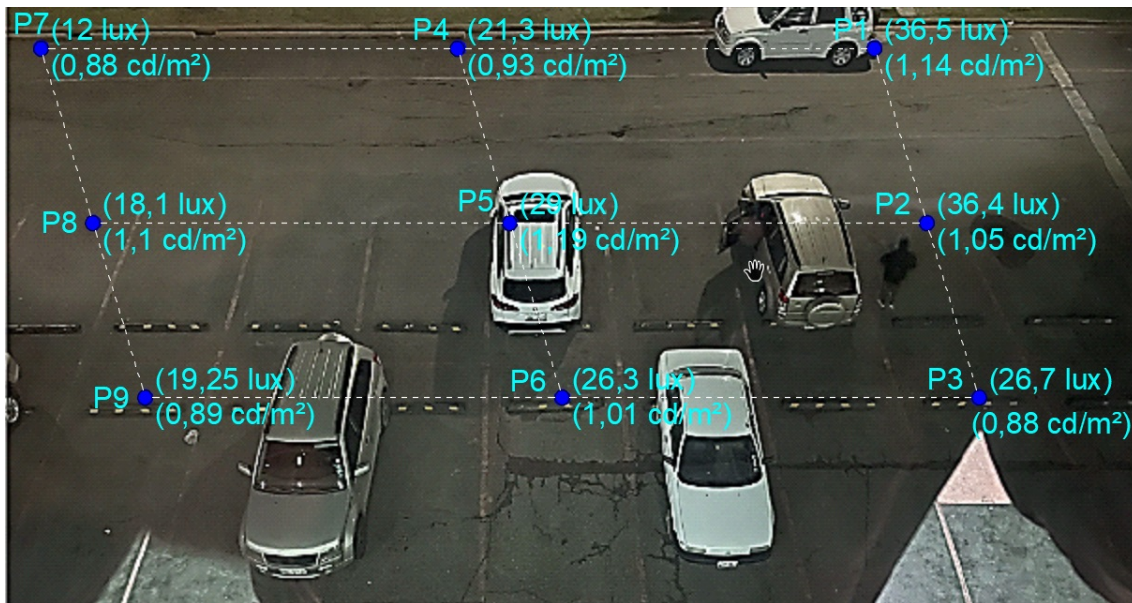


**Figura 2.2:** Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de los 9 puntos con luminarias apagadas.



**Figura 2.3:** Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de los 9 puntos con luminarias sodio encendidas.

En la Figura 2.2 podemos observar los valores obtenidos cuando las luminarias se encuentran apagadas, La Figura 2.3 nos presenta los resultados utilizando luminarias de sodio de doble nivel potencia de alta presión.



**Figura 2.4:** Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de los 9 puntos con luminarias LED encendidas.

La Figura 2.4 nos muestra los datos obtenidos tras las mediciones utilizando luminarias LED, así mismo, se realizó varias mediciones con cada instrumento y se obtiene la media de cada una para obtener valores más confiables. Las Figuras 2.2, 2.3 y 2.4 presentan la posición de cada medición aplicando el método de los 9 puntos utilizando luxómetro y luminancímetro.

### 2.2.3 Mediciones realizadas mediante el método de malla.

La Tabla 2.4 muestra los valores obtenidos utilizando el luxómetro y luminancímetro aplicando el método de malla, se presentan los resultados obtenidos en cada punto cuando se encuentran las luminarias apagadas, luminarias de sodio como las luminarias LED.

**Tabla 2.4:** Valores obtenidos de iluminancia y luminancia implementando el método de malla.

Puntos	Luxómetro				Luminancímetro			
	Luminarias (Off)	Sodio (On)	LED (On)	Unid.	Luminarias (Off)	Sodio (On)	LED (On)	Unid.
P1	1,58	19,05	36	lux	0,12	0,62	0,96	cd/m <sup>2</sup>
P2	1,28	20,1	34,3	lux	0,23	0,78	1,08	cd/m <sup>2</sup>
P3	0,9	16,33	30,7	lux	0,14	0,64	0,85	cd/m <sup>2</sup>
P4	1,41	16,02	28,5	lux	0,13	0,66	0,88	cd/m <sup>2</sup>
P5	0,7	16,31	28,7	lux	0,17	0,74	1,03	cd/m <sup>2</sup>
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
P62	1,71	9,4	36,6	lux	0,17	0,82	1,08	cd/m <sup>2</sup>
P63	1,01	20,9	31,6	lux	0,17	0,54	0,97	cd/m <sup>2</sup>

Las mediciones se las realizo en la noche con parámetros de clima normales y en horario de 20:00 a 23:00 horas.

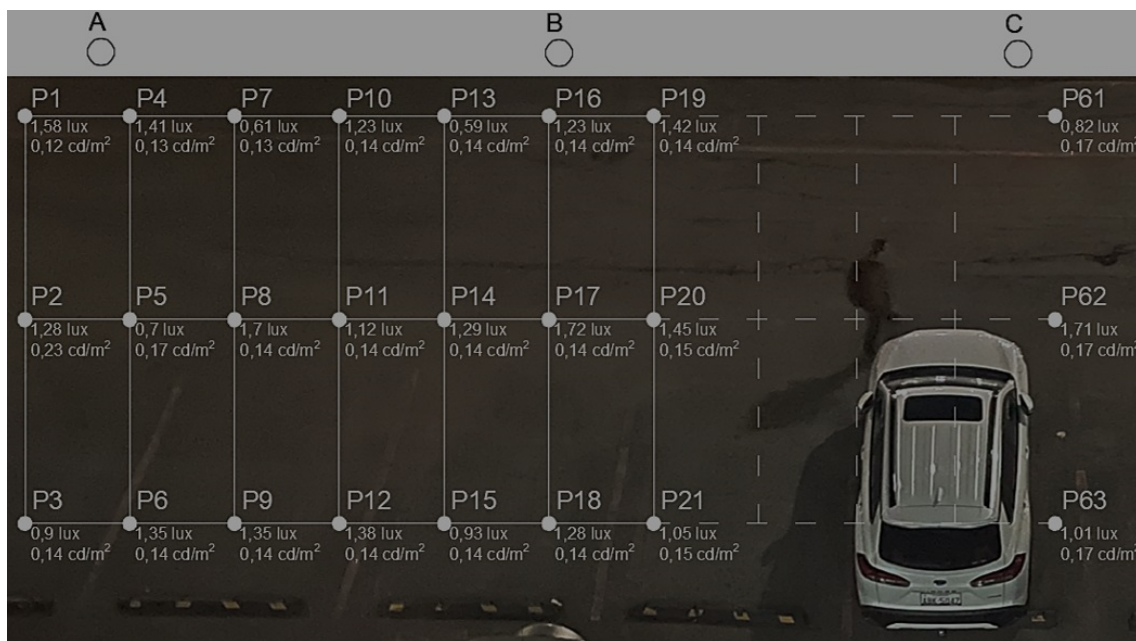


Figura 2.5: Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de malla, con luminarias apagadas.

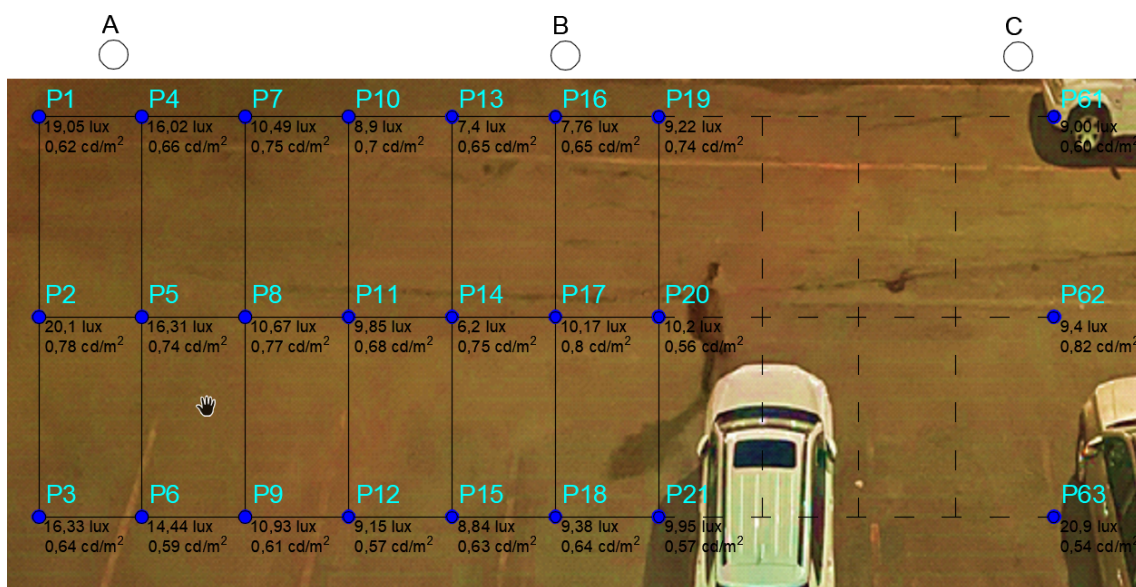
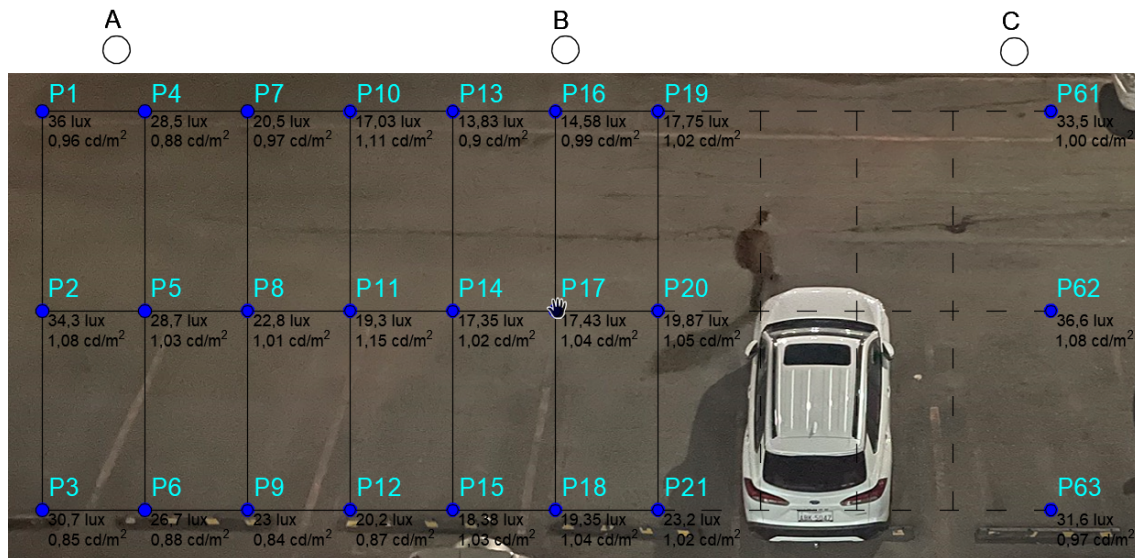


Figura 2.6: Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de malla, con luminarias de sodio encendidas.

La Figura 2.5 muestra los resultados de las mediciones con las luminarias apagadas, La Figura 2.6 nos muestra los valores utilizando luminarias de sodio de doble nivel potencia de alta presión.



**Figura 2.7:** Valores obtenidos en el lugar de estudio implementando el método de malla, con luminarias LED encendidas.

En la Figura 2.7 podemos observar los resultados de las mediciones con luminarias LED.

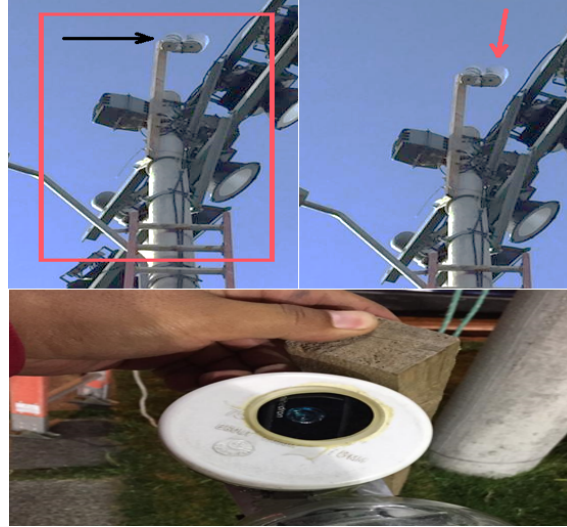
Las Figuras 2.5, 2.6 y 2.7 se muestra la posición de los 63 puntos de medición determinados mediante el método de malla, las mediciones se realizaron utilizando luxómetro y luminancímetro. Al igual que el método anterior se realizó varias mediciones con cada instrumento y se obtuvo de los valores de iluminancia y luminancia para cada punto.

Para la toma de datos se consideró aspectos técnicos y ambientales recomendados y se baso las mediciones en un esquema de pasos a seguir como, por ejemplo: definir los puntos de medición, verificar las condiciones del área de trabajo, verificar instrumentos, posicionar sensores de medición y finalmente lectura y registro datos.

#### 2.2.4 Colocación del SQM y tiempo de medición.

Las mediciones de calidad de cielo se realizaron con el medidor "SQM-LU-DL" de Unihedron [21], dicho equipo fue colocado en su base y por encima de las luminarias como se muestra en la Figura 2.8 a 4m por encima de las luminarias de estudio.

Para cada tipo de luminaria se realizó mediciones durante 4 días mientras que para las mediciones sin luminarias se obtuvo datos de dos días.



**Figura 2.8:** Ubicación de medidor de calidad de cielo.

Para evitar datos erróneos en las mediciones el equipo fue configurado de tal manera que valores menores a  $10\text{mag}/\text{arcseg}^2$  no se registren (por recomendación del fabricante). De igual manera no se toman en cuenta los valores de mediciones realizadas antes de las 23:00 y después de las 4:30, esto para evitar mediciones erróneas causadas por el sol al atardecer y al amanecer.

Considerando un punto de partida, de referencias internacionales y conforme a datos recolectados, resultados analizar, se propone la escala y simbología, como el color para empezar desde centros urbanos, donde la iluminación es primordial como esta propuesta y planteada por [8], que se muestran en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5:** Escala y simbología propuesta para centros urbanos [8].

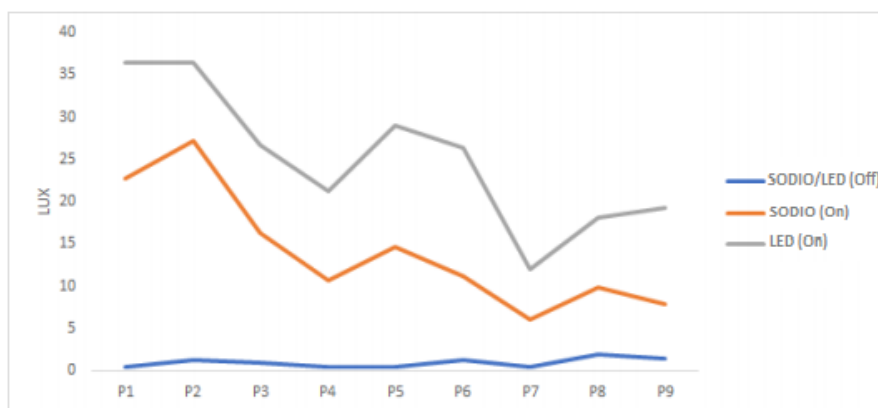
Magnitud (MSAS)	Significado	Color	
SQM < 15,4	Muy Contaminado	Blanco	
SQM 15,4 - 16,6	Contaminado	Rojo	■
SQM 16,6 - 17,8	Medianamente Contaminado	Naranja	■
SQM 17,8 - 18,8	Ligeramente Contaminado	Amarillo	■
SQM 18,8 - 21,6	Aceptable	Verde	■

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó la medición en el área de trabajo utilizando los métodos de 9 puntos y malla que permiten determinar la iluminancia y luminancia en los puntos establecidos, además nos permitirán tener una perspectiva de la iluminancia y luminancia media que está presente en el área de estudio. Con los datos obtenidos se puede deducir si contamos con los parámetros correctos de iluminación en el sitio y además se podrá determinar la eficiencia entre las luminarias de descarga y LED.

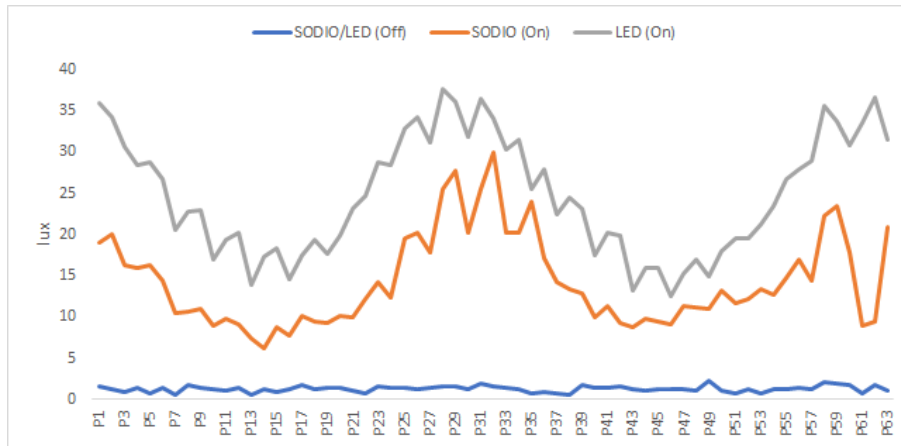
#### 3.1 Datos de medición obtenidos mediante luxómetro.



**Figura 3.1:** Análisis de la iluminancia en el lugar de estudio, implementando el método de los 9 puntos.

La Figura 3.1 y 3.2 se elaboró en base a los datos registrados por el luxómetro mediante mediciones realizadas por los métodos de los 9 puntos y el de malla respectivamente.

Las gráficas 3.1 y 3.2 presentan tres líneas de tendencia; la línea de color azul hace referencia a los valores obtenidos cuando las luminarias se encuentran apagadas



**Figura 3.2:** Análisis de la iluminancia en el lugar de estudio, implementando el método de malla.

dando 0,92 lux media, la línea de color naranja representa los datos utilizando la tecnología de luminarias de sodio con 14,33 lux y la línea gris se forma de los datos referentes a las luminarias LED con 25,9 lux obtenidos por el luxómetro.

**Tabla 3.1:** Uniformidad con los datos obtenidos del metodo de los 9 puntos.

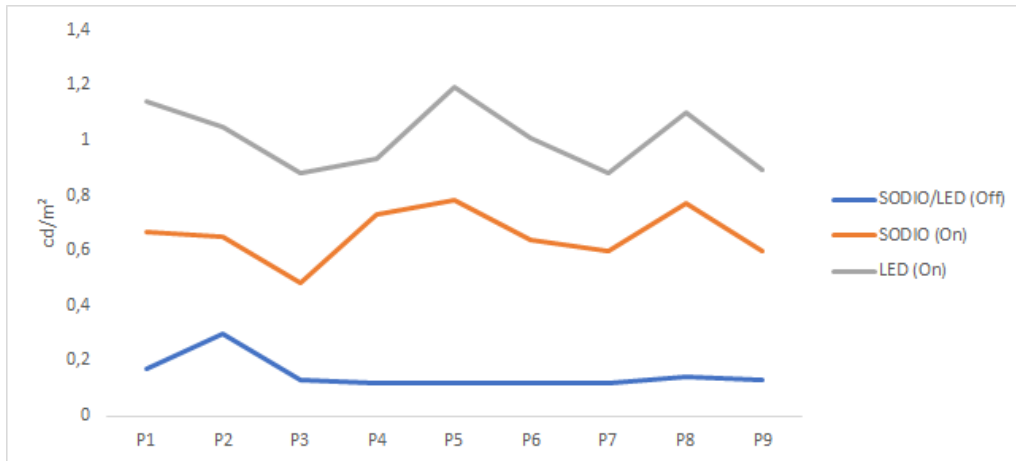
	Em	Emin (lux)	Emax (lux)	Epro (lux)	Uo (lux)
LED	24,78	12,61	37,7	24,78	0,51
Sodio	14,33	6,2	30	14,3	0,43
Sin Luminarias	1,56	1,1	1,99	1,56	0,71

En la tabla 3.1 se obtiene la uniformidad media con luminarias de sodio de 14.3 lux, mientras que con luminarias LED la iluminancia media registrada es de 24.78 lux, se puede apreciar en la tabla 3.1, la uniformidad que se genera con las luminarias de descarga está en 0.43, mientras que la uniformidad con las luminarias LED mejora su valor a 0.51, a pesar que los valores en los dos casos se encuentran sobre los valore mínimos requeridos en la normativa ARCENNR 007/23 en donde se indica que la uniformidad será igual o superior a 0.4, así mismo los valores de Em, Emx y Emi, son mejorados sustancialmente con el uso de luminarias LED. implementando el método de 9 puntos y de malla respectivamente.

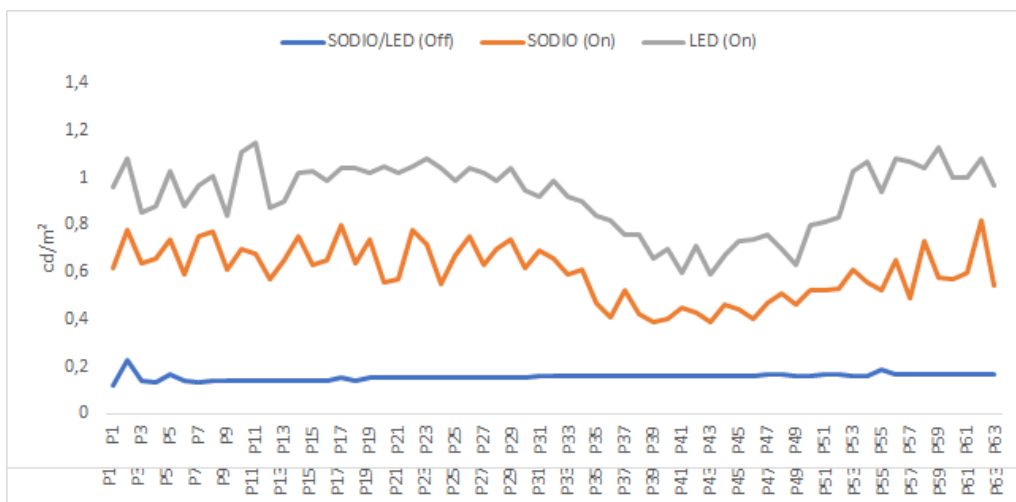
Es claro diferenciar que la intensidad de iluminación que presentan las luminarias LED en relación con las de sodio es más alta, y por ende empleando luminarias LED se podría iluminar de una mejor manera las diferentes vías, teniendo en cuenta que se debe considerar varios aspectos técnicos a la hora de determinar la tecnología adecuada de iluminación.

Los datos obtenidos por el luxómetro mediante el método de los 9 puntos y el método de malla se presentan en el Anexo A de las Tablas A.1 y A.2 respectivamente.

### 3.2 Datos de medición de luminancia obtenidos mediante el luminancímetro.



**Figura 3.3:** Análisis de la luminancia en el lugar de estudio, implementando el método de los 9 puntos.



**Figura 3.4:** Análisis de la luminancia en el lugar de estudio, implementando el método de malla.

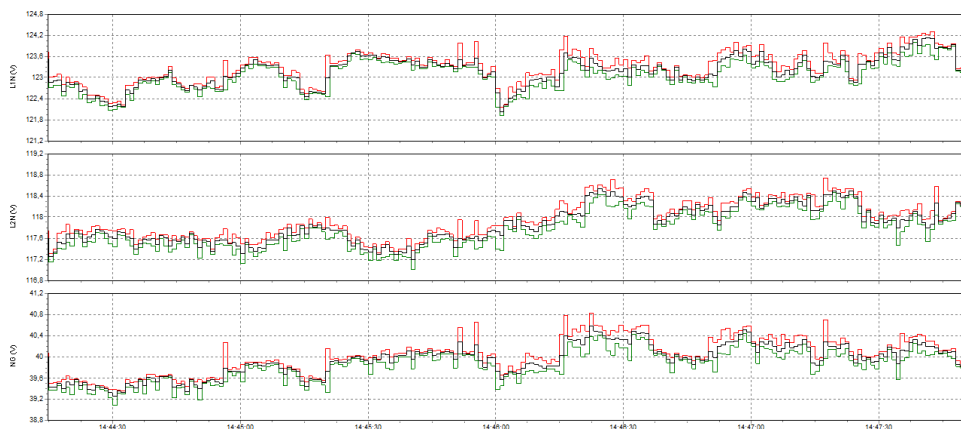
Las Figuras 3.3 y 3.4 se representa de una forma gráfica las mediciones obtenidas mediante el luminancímetro, el cual nos permite determinar la luminancia en el área de estudio.

Mediante los datos obtenidos se determina una luminancia media de  $0.66 \text{ cd/m}^2$  y con luminarias de sodio. Y de  $1 \text{ cd/m}^2$  con luminarias LED, es decir la luminancia nos indica que tan claro se puede observar el objeto iluminado. Entonces, es claro ver en la gráfica que la línea gris correspondiente a las luminarias LED, brinda una luminancia mejor que las de sodio permitiéndolo una mejor claridad en la calzada.

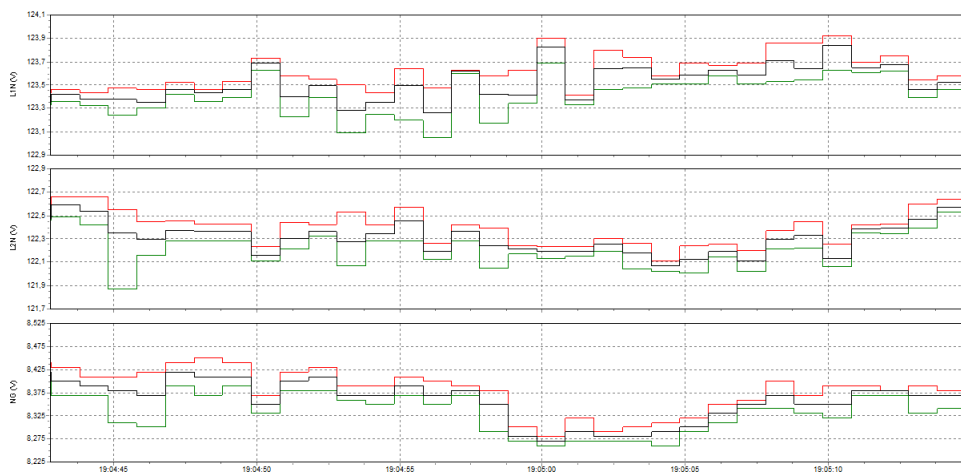
Los datos obtenidos por el luminancímetro se presentan en el Anexo B en las Tablas B.1 y B.2 mediante el método de los 9 puntos y el método de malla correspondientemente.

### 3.3 Análisis de parámetros eléctricos mediante el analizador de calidad de energía.

#### 3.3.1 Análisis de voltaje implementando luminarias de descarga y luminarias LED.



**Figura 3.5:** Variación de voltaje en luminarias de descarga .



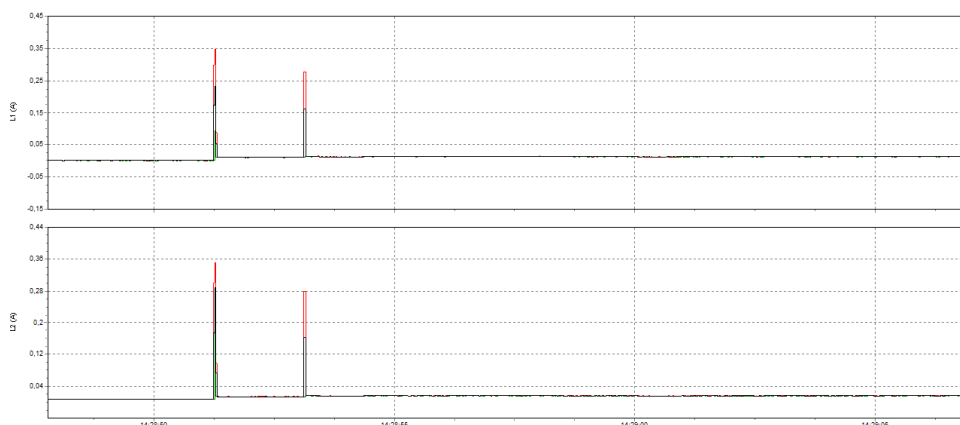
**Figura 3.6:** Variación de voltaje en luminarias LED .

En las Figuras 3.5 y 3.6 se puede observar el comportamiento del voltaje al emplear tecnologías de iluminación como las luminarias de descarga y las luminarias LED, la gráfica nos presenta un voltaje máximo 124.8 V en las líneas L1 en referencia a neutro y L2 voltaje máximo es de 118.6 V con luminarias de descarga. La gráfica

3.6 nos refleja valores máximos de voltaje en L1 de 124.1 V y un voltaje maximo en la L2 de 122.6 V que concierne a las luminarias LED con respecto a neutro.

Las luminarias de descarga presentan una variación de voltaje de 4.9% y las luminarias LED presentan una variación de un 1% lo que se resume en que las luminarias LED presentan un perfil de tensión más estable, esto debido a sus características de funcionamiento, teniendo presente que la variación de voltaje no solo depende del cumplimiento en si de los circuitos instalados si no también de la red en sí.

### 3.3.2 Análisis de corriente de arranque en luminarias de descarga y LED.



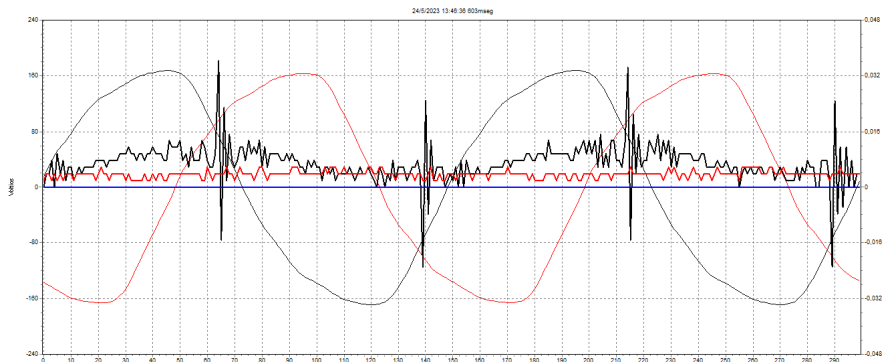
**Figura 3.7:** Corriente de arranque en luminarias de descarga .



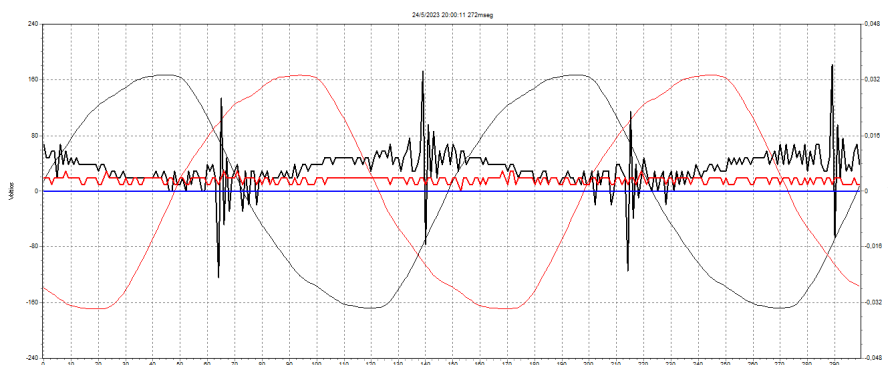
**Figura 3.8:** Corriente de arranque en luminarias LED.

Las Figuras 3.7 y 3.8 representan la variación en la corriente a la hora de encender las luminarias. La Figura 3.7 presenta una corriente de arranque en las luminarias de descarga de 0.35 A L1 y en L2 0.28 A, la Figura 3.8 muestra una corriente de arranque de las luminarias LED de 0.09 A L1 y en la L2 0.08, es decir las luminarias LED a la hora de ser encendidas tienen un menor impacto en el consumo de corriente eléctrica.

### 3.3.3 Análisis de transitorios en luminarias de descarga y LED.



**Figura 3.9:** Transitorios en luminarias de descarga.



**Figura 3.10:** Transitorios en luminarias LED.

Las Figuras 3.9 y 3.10 muestra la presencia de transitorios en la red al tiempo de conectar luminarias de descarga y LED respectivamente.

Estos transitorios son sobretensiones de corta duración que se hacen presentes en el sistema eléctrico y es medido entre dos líneas eléctricas, estos se generan debido a varios factores como pueden ser: descargas atmosféricas, conmutaciones y por la presencia de componentes electrónicos en la red.

### 3.3.4 Análisis de armónicos empleando luminarias de descarga y LED.

En base a la resolución Nro. ARCERNR 017/2020, la cual establece los límites máximos del factor de distorsión individual en 5% y como factor máximo de distorsión armónica total de voltaje de 8% regulación ARCERNR 002/20.

Las Figuras 3.11 y 3.12 presentan los valores de la distorsión armónica total que presentan los sistemas de iluminación de descarga y LED. Esta distorsión armónica

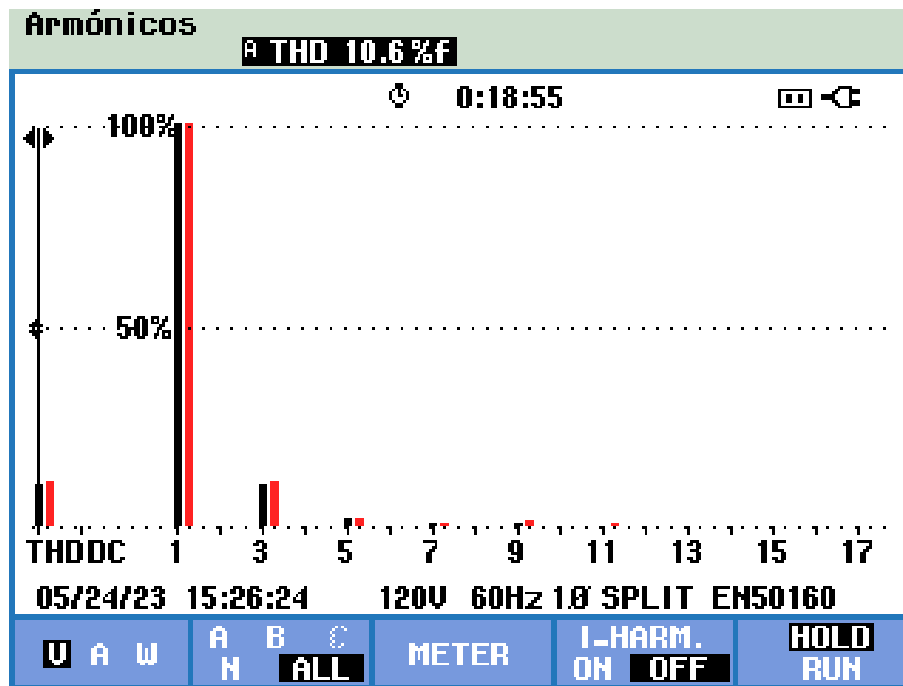


Figura 3.11: Armónicos en luminarias de descarga .

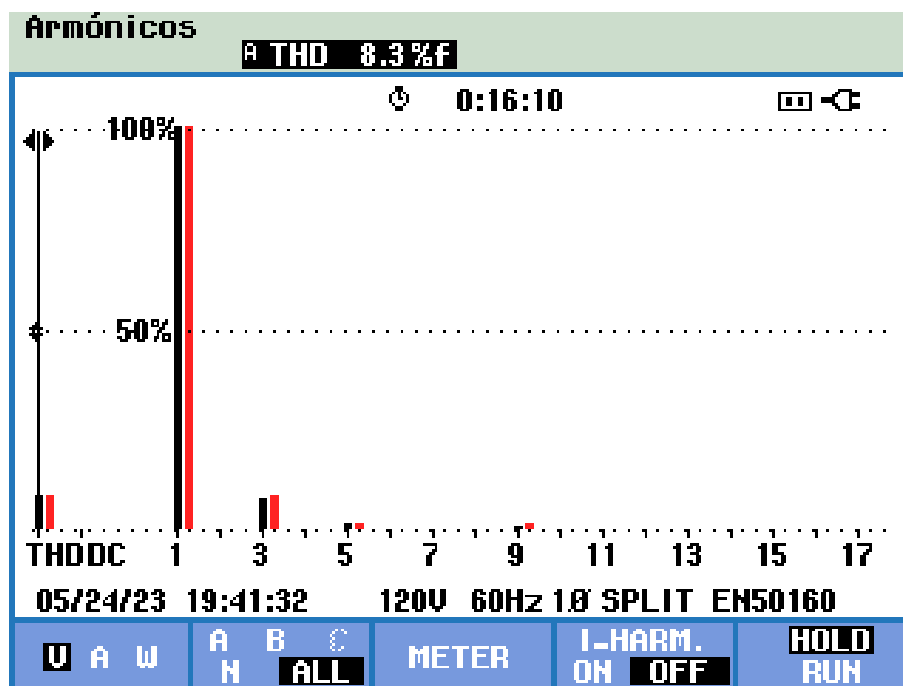


Figura 3.12: Armónicos en luminarias LED .

es el cambio que pueden sufrir las ondas sinusoidales convencionales de la tensión y corriente.

En referencia a la regulación estos valores de THD están fuera de los límites máximos establecidos y permitidos, pero en referencia a los valores presentados claramente podemos concluir que las luminarias LED generan menos armónicos

que las de descarga, esto debido al consumo de potencia que claramente es menor, también podemos notar que el valor del THD en las luminarias de descarga sobrepasa el 10%, representando el origen de un signumero de problemas en el sistema de iluminación afectando directamente a los usuarios.

### 3.4 Análisis de mediciones calidad de cielo

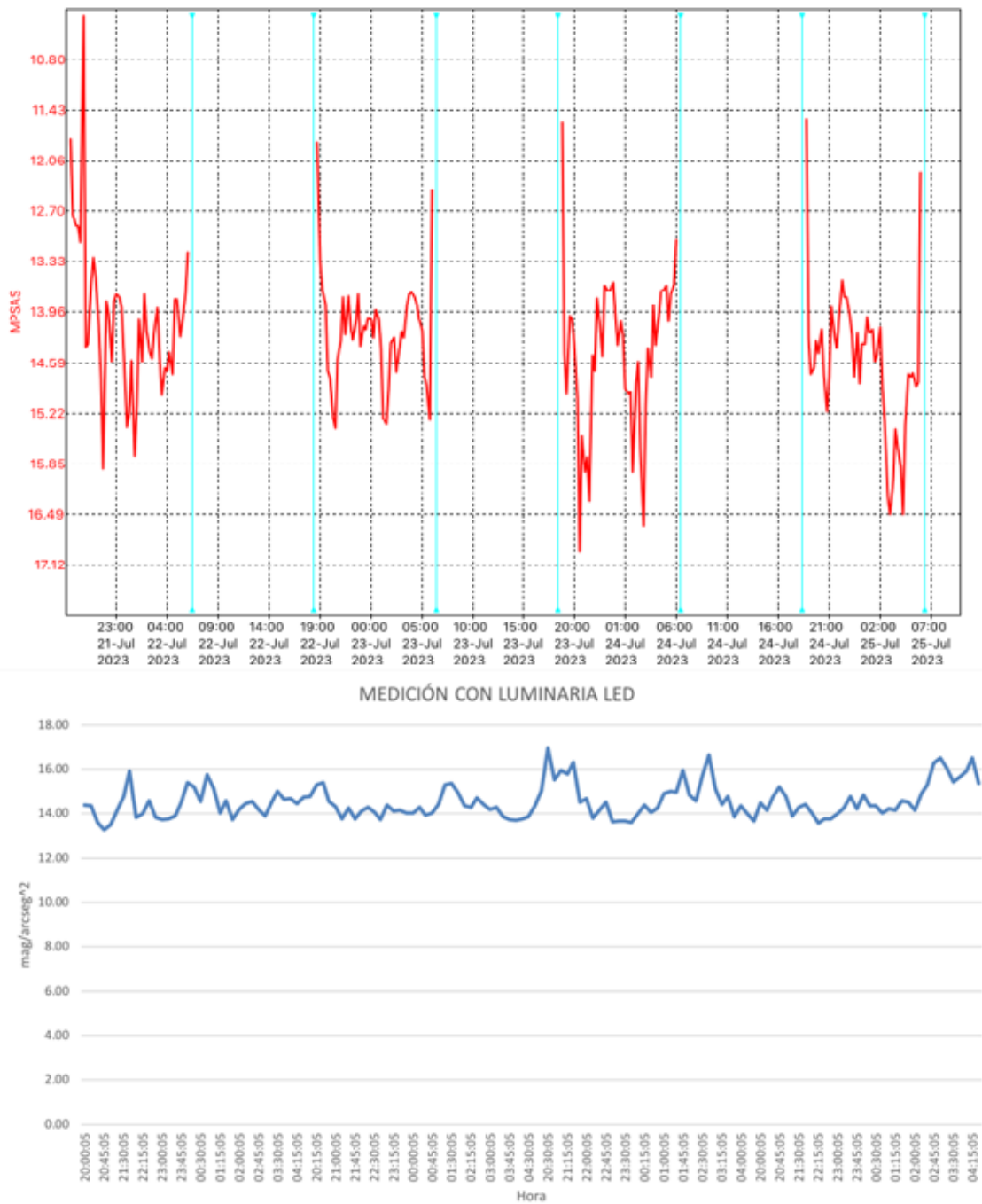
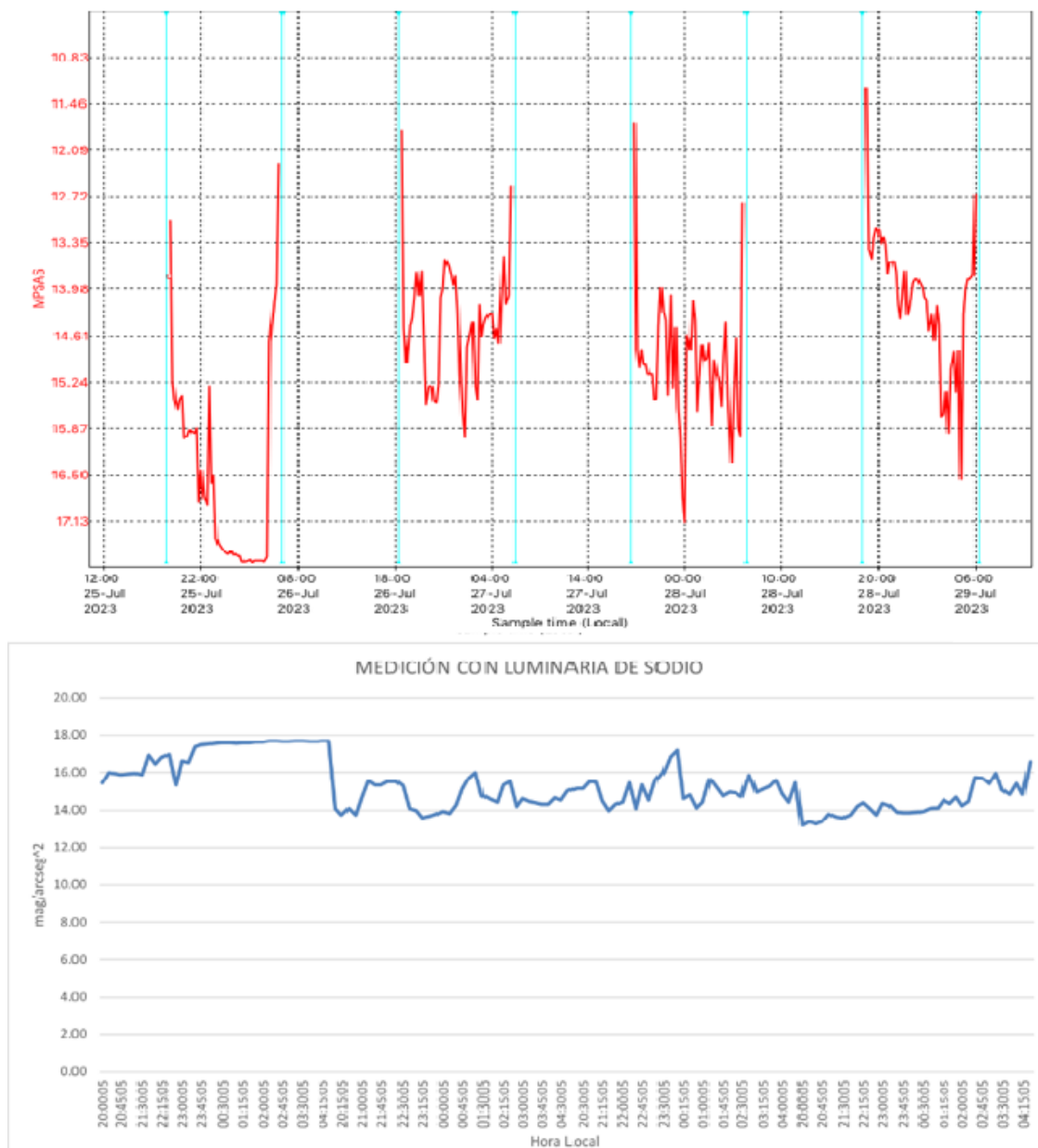


Figura 3.13: Mediciones calidad cielo con luminarias LED .



**Figura 3.14:** Mediciones calidad cielo con luminarias de Sodio.

Las Figuras 3.13, 3.14 y 3.15 muestran las graficas de las mediciones con luminarias LED, sodio y sin luminarias.

Los graficos de color rojo de la parte superior de las imágenes corresponden a valores que no tienen ningún tratamiento, es decir, son los datos que entrega el SQM.

Para realizar las gráficas de la parte inferior de color azul, se realiza un análisis y tratamiento de datos que permite eliminar los errores que suelen presentar las mediciones.



**Figura 3.15:** Mediciones calidad cielo sin luminarias.

Los datos de cada medición fueron procesados para obtener la mediana para cada tipo de luminaria. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2:** Datos procesados de mediciones de calidad de cielo

	Media	Mínimo	Máximo
LED	14,36	13,27	16,96
Sodio	15,04	13,18	17,69
Sin Luminarias	14,07	13,43	16,56

En la Tabla 3.2, se observa los valores correspondientes a la media de toda la base de datos que están por debajo de 15.4 MSAS lo cual indica que es un área muy contaminada.

Los valores medidos para cada tipo de luminarias no presentan grandes cambios, los cambios menores en los valores se deben a otros factores como: nubosidad y fase lunar. Consecuentemente el medidor de calidad de cielo es un equipo que abarca grandes áreas, por lo que los datos obtenidos con cada tipo de luminaria son significativos para determinar cual produce más polución lumínica.

De acuerdo con la información del geoportal de CENTROSUR, en las calles urbanas del cantón Cuenca se encuentran instalados un aproximado 60000 luminarias en el año 2023, el registro indica que el 70% son luminarias de sodio y el 30% son LED. Es importante recordar que el número de luminarias en el casco urbano de Cuenca es un valor dinámico que cambia con el tiempo.

Debido a la gran cantidad de luminarias, se puede afirmar que la polución lumínica en las calles de Cuenca aumenta con el cambio de luminarias. Tomando en cuenta el crecimiento arquitectónico y vial de la ciudad, junto con su irregularidad, se espera que las mediciones de polución lumínica sean variadas.

Según las mediciones realizadas, las luminarias de sodio tienen menos impacto en la polución lumínica que las LED. Por lo tanto, se puede decir que la polución lumínica aumentará en las calles de Cuenca debido a la migración de luminarias de sodio a LED, Sin embargo, es importante considerar la medición que realizan en la calle Av. las Américas y calle Barrial Blanco, sector noroeste de la ciudad donde a existido un valor promedio de 18.69 mag/arcseg<sup>2</sup> obteniendo en este punto un nivel ligeramente contaminado [13] del lugar donde se realiza la medición, teniendo en cuenta la irregularidad de la ciudad.

Las características técnicas de las luminarias utilizadas para las mediciones se pueden visualizar en los Anexos C.1 y C.2 respectivamente.

### 3.5 Análisis comparativo de eficiencia y costos por tipo de luminaria.

#### 3.5.1 Análisis Técnico

En la Tabla 3.3 se presentan los diferentes tipos de luminarias empleadas en la iluminación del alumbrado público, junto con sus principales características técnicas, incluyendo tensión de operación, potencia nominal, flujo luminoso, eficiencia luminosa y vida útil. Estos parámetros permiten evaluar el desempeño y la eficiencia energética de cada tecnología, facilitando la comparación entre ellas para su aplicación en sistemas de iluminación vial. [6]

**Tabla 3.3:** Datos del fabricante de las luminarias de estudio [6]

Voltaje (V)	Potencia (W)	Flujo (lm)	Eficiencia (lm/W)	Vida útil (horas)
LUMINARIA DE DESCARGA				
100-240	150	17500	117	20000
LUMINARIA LED				
100-240	100	12000	120	30000

A partir de la base de datos técnicos, se evidencia que la tecnología LED ofrece ventajas significativas en comparación con las luminarias de descarga. Aunque la luminaria de descarga proporciona un mayor flujo luminoso, su eficiencia es ligeramente inferior, lo que indica que la tecnología LED convierte una mayor proporción de energía en luz útil. Además, el menor consumo de potencia de la luminaria LED y su vida útil hace que sea una alternativa más eficiente y sostenible en función de consumo energético.

La Tabla 3.4 muestra una comparación de los parámetros eléctricos de los grupos de luminarias, compuesto por tres luminarias LED de 100 W y tres luminarias de descarga de 150 W. A continuación, se describen los principales valores medidos:

1. Corriente de trabajo: Se observa que la luminaria de descarga (Na) de alta presión presenta una corriente de trabajo de 2.26 A, significativamente mayor que la del LED 1.434 A, lo que indica menor demanda energética.

2. Distorsión armónica total de voltaje (THDv%): La luminaria de sodio de alta presión genera un nivel de distorsión armónica en el voltaje del 10.6%, superior al

8.3% del LED, a lo que tenemos una mayor afectación en la calidad de la energía eléctrica de la red.

3. Potencia (W): Las luminarias LED consumen 286 W, mientras que las de descarga consumen 421 W, lo que refleja una mayor eficiencia del LED en términos de conversión de energía en iluminación útil.

4. Potencia (VA): Las luminarias LED presentan una potencia aparente de 301.14 VA, mientras que las de descarga alcanza 476.86 VA, en línea con su mayor consumo de potencia activa.

5. Factor de potencia (FP): Se observa que las luminarias LED tiene un factor de potencia de 0.95, superior al 0.884 de las luminarias de descarga. Esto indica que la luminarias LED utiliza la energía de manera más eficiente, reduciendo las pérdidas por corrientes reactivas.

6. Voltaje (V): Ambas luminarias operan a niveles de voltaje similares, con 210 V para el LED y 211 V para la luminarias de descarga, no existen diferencias significativas en este parámetro de operación.

**Tabla 3.4:** Datos de mediciones con el analizador de calidad de energía

	100W LED	150W (Na)
Voltaje (V)	210	211
Potencia (W)	286	421
Potencia (VA)	301,14	476,86
Factor de Potencia	0,950	0,884
Corriente de Trabajo (A)	1,434	2,26
Armónicos THDv(%)	8,3	10,6

### 3.5.2 Análisis Económico

El consumo de energía eléctrica constituye el principal gasto operativo en los sistemas de iluminación, directamente proporcional a la potencia de las luminarias, las horas de funcionamiento y el costo de la electricidad. En este contexto, las luminarias LED presentan una ventaja considerable frente a las de descarga, tal como se evidencia en la tabla 3.5. Al consumir menos energía para iluminar la misma área, las LED proporciona mas iluminancia y luminancia con menos potencia esto nos muestra una ahorro significativo, especialmente en instalaciones que operan durante extensos períodos.

El mantenimiento, que incluye el reemplazo de luminarias, es un factor en los costos operativos del alumbrado. La tabla 3.5 muestra que las luminarias LED tienen una vida útil de 6.94 años, superando los 4.63 años de las de descarga. Esta diferencia de 2.3 años en la frecuencia de reemplazo implica mayores costos de reemplazo y mano de obra para las luminarias de descarga. La mayor vida útil de las LED reduce estos costos. Sin embargo, ambas tecnologías pueden requerir reemplazo de componentes electrónicos.

Comparación económica

**Tabla 3.5:** Comparación económica de las luminarias en función del costo, potencia y vida útil

<b>Comparación técnica económica</b>			
Parámetro	Luminaria LED	luminaria Sodio	
Potencia	100	150	W
Vida Útil	30000	20000	h
Duración en años	6,94	4,63	12h de trabajo
Números de luminarias	1	1	
El costo de la luminarias	230	180	USD
El costo del kilovatio-hora	0,10	0,10	cent x KWh
Energía consumida al mes	36,5	54,75	KWh/mes
Energía consumida al año	438	657	KWh/año
Costo de energía al mes	3,65	5,47	USD
Costo de energía al año	43,80	65,70	USD

En la Tabla 3.5 se analiza la vida útil de las luminarias y el costo energético asociado, evidenciando que este último compensa la diferencia en durabilidad. La luminaria LED presenta un consumo de 438 kWh/año, en contraste con los 657 kWh/año de la luminaria de descarga de sodio (Na), lo que mejora la eficiencia energética. Esto se traduce en un costo anual de 43,80 USD para la luminaria LED, frente a los 65,70 USD de la luminaria de descarga.

Para evaluar la rentabilidad del proyecto de sustitución de luminarias, es fundamental realizar un análisis técnico-económico considerando factores como el costo de energía y la inversión en nuevas luminarias. Dicho análisis debe incluir indicadores económicos clave, como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales permiten una mejor comprensión de la viabilidad del proyecto, tal como se presenta en la Tabla 3.6. En este estudio de evaluación económica, se proyecta el impacto financiero de la transición de luminarias de descarga a tecnología LED.

### 3.5.3 Valor actual neto (VAN)

$$VAN = -I_0 + \sum_{T=1}^n \frac{F_n}{(1+k)^t} \tag{3.1}$$

Donde:

$I_0$  : Valor inicial

$F_n$  : Flujo beneficio neto

$K$  : Tasa de interes

$n$  : Es el número de periodos de tiempo

### 3.5.4 Tasa de interna de retorno (TIR)

formula del TIR

$$VAN = -I_0 + \sum_{T=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \tag{3.2}$$

Donde:

$I_0$  : inersión inicial

$F_f$  : Flujo de dinero en el periodo t.

$n$  :es el número de periodos de tiempo

**Tabla 3.6:** Comparación técnica-económica VAN Y TIR.

VAN Y TIR												
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Consumo luminaria (Na)	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7
Valor residual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Ingreso	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7	65,7
Egreso o Costos												
Inversion de LED	290	0	0	0	0	0	232,81	0	0	0	0	0
Costo de O/M	0	11,40	5,80	5,80	5,80	5,80	238,61	8,78	5,80	5,80	5,80	5,80
Total Egreso	290	11,40	5,80	5,80	5,80	5,80	238,61	8,78	5,80	5,80	5,80	5,80
(I-C)	-234,30	54,30	59,90	59,90	59,90	59,90	-172,91	56,90	59,90	59,90	59,90	59,90
											<b>VAN</b>	<b>TIR</b>
											<b>6,32</b>	<b>12,80%</b>

El análisis proyectado para el cambio de luminarias se estimo un tiempo de 12 años, evaluando los ingresos y costos asociados a la inversión en luminarias LED. A

lo largo del período evaluado, el consumo de energía se mantiene constante en 65,7 USD anuales.

Los costos de operación y mantenimiento (O/M) presentan variaciones entre 11,40 y 5,80 unidades, de acuerdo con la tasa de inflación proyectada para los años de estudio. La inversión inicial en luminarias LED asciende a 290 USD en el primer año, y se prevé una re-inversión de 232,81 USD en el año 7, con el objetivo de garantizar la continuidad y eficiencia del sistema de iluminación.

En cuanto al flujo de caja (I-C), durante el primer año se observa un valor negativo de -234,30 debido a la inversión inicial. A partir del segundo año, los valores se tornan positivos, reflejando ingresos netos constantes de 59,90 USD en la mayoría de los años. Sin embargo, en el año 7, el flujo de caja vuelve a presentar un valor negativo de -172,91 USD debido a la re-inversión en luminarias.

Respecto a los indicadores financieros, como el VAN se obtuvo un 6,32, lo que indica que el proyecto es ligeramente rentable. Con respecto al TIR se obtuvo un 12,80%, lo que se puede decir que tiene una rentabilidad superior a la tasas de descuento, haciendo que la inversión pueda considerarse viable.

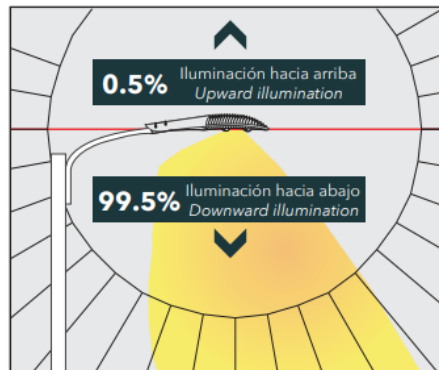
### 3.5.5 Análisis de la polución lumínica técnica y sociedad.

La polución lumínica es un problema ambiental en aumento que tiene diversos efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana. Las luminarias LED y las luminarias de descarga son dos tipos de tecnologías de iluminación vial que se utilizan ampliamente. En este apartado se comparará el impacto ambiental de ambas tecnologías en términos de polución lumínica. Es importante precisar que la polución lumínica no solo se refiere a la cantidad de luz emitida, sino también a su calidad. La luz azul, presente en mayor medida en las luminarias LED tiene un mayor impacto en la salud humana y el medio ambiente que la luz amarilla o anaranjada, presente en las luces de sodio.

#### 1. Luminarias LED y polución Lumínica

Las luminarias LED modernas están diseñadas con ópticas precisas que direccionan la luz hacia la superficie deseada, minimizando la dispersión no controlada. Como se observa en la figura 3.16 proporcionada, el 99.5% del flujo luminoso se

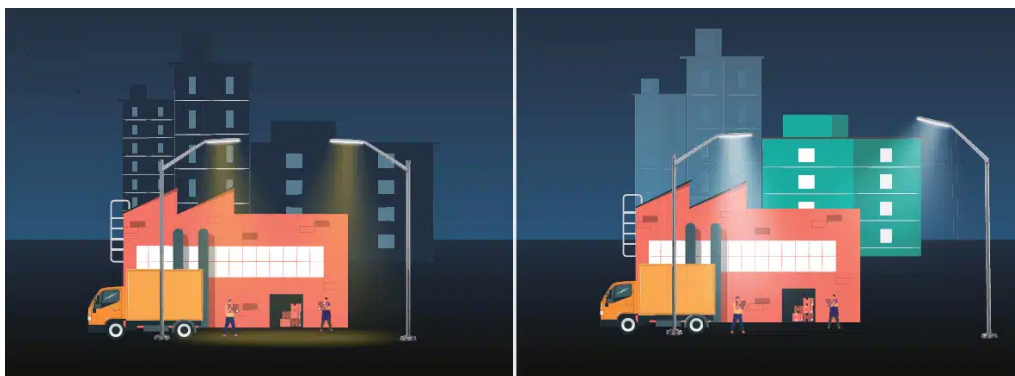
emite hacia abajo, mientras que solo el 0.5% se dirige hacia arriba, reduciendo significativamente la polución lumínica.



**Figura 3.16:** Perdida de luz en luminarias LED.

sin embargo la luz azul es una parte del espectro visible de la luz que tiene una longitud de onda entre 400 y 450 nanómetros. Se encuentra en la luz natural del sol, pero también en las pantallas de dispositivos electrónicos como teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras y televisores.

Estudios como el de Herranz, Ollé y Jáuregui (2011) sugieren que la luz blanca de los LED contribuye significativamente a la polución lumínica debido a su alto contenido en el espectro azul., lo que provoca una mayor dispersión en la atmósfera como se puede ver en la figura 3.17 y afecta la visibilidad del cielo nocturno.



**Figura 3.17:** Reflexión de la Luz y su Impacto en la Polución Lumínica.

La potencia en un sistema de iluminación se puede relacionar con la luminancia y el área a través de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{L.A.\pi}{n} \tag{3.3}$$

Donde:

$P$  : Potencia en vatios (W).

$l$  : Luminancia en candelas por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

$A$  : Área de emisión de la fuente de luz ( $\text{m}^2$ ).

$n$  : Eficiencia luminosa del sistema (adimensional o en porcentaje).

$\pi$  : Relaciona la luminancia con la intensidad luminosa en un hemisferio.

Para determinar el área de emisión de la fuente de luz se considera las medidas del ancho de la calzada y la distancia que existe entre poste y poste; como lo es para este caso las medidas obtenidas son las siguientes:

- Distancia entre poste y poste, 30 metros
- Ancho de la calzada de la vía, 7 metros

Obteniendo un área de 210 metros cuadrados. Se procede a calcular potencia emitida con la luminaria de sodio y LED respectivamente en función de la polución.

Potencia emitida con la luminaria de sodio:

$$P = \frac{0.104 \text{cd}/\text{m}^2 \cdot 210 \text{m}^2 \cdot \pi}{116.66 \text{lm}/\text{W}} = 0.588 \text{W} \quad (3.4)$$

- Potencia emitida con la luminaria de LED:

$$P = \frac{0.194 \text{cd}/\text{m}^2 \cdot 210 \text{m}^2 \cdot \pi}{120 \text{lm}/\text{W}} = 1.067 \text{W} \quad (3.5)$$

A partir de los datos procesados en la tabla 3.2, se ha realizado la conversión de la polución lumínica en términos de potencia emitida. Este análisis permite determinar la energía desperdiciada en función de la luminancia registrada en las diferentes tecnologías de iluminación.

Como se observa en la ecuación (1.4), la potencia emitida por las luminarias de sodio de alta presión es de 0.588 W, mientras que, en la ecuación (1.5), se evidencia que las luminarias LED emiten 1.067 W. Esto demuestra que la tecnología LED presenta una mayor luminancia que las luminarias de sodio, lo que incrementa el brillo nocturno y agrava la contaminación lumínica.

Este resultado evidencia que, si bien las luminarias LED son más eficientes en términos de conversión de energía en luz útil, su espectro con alta emisión en la región azul y su mayor potencia emitida contribuyen significativamente a la alteración del cielo nocturno, afectando tanto la observación astronómica como los ecosistemas sensibles a la luz artificial.

## 2. Luminarias de Descarga y contaminación Lumínica

Las luminarias de descarga, como las de sodio de alta presión (SAP), han sido utilizadas tradicionalmente en el alumbrado público. En general, estas luminarias emiten luz en un espectro más cálido y con menor dispersión en la atmósfera. Sin embargo, muchas luminarias antiguas con esta tecnología presentan diseños menos eficientes en la distribución de la luz, lo que puede resultar en una mayor emisión de luz hacia el cielo y generar mayor contaminación lumínica por dispersión directa.

Según el Manual Técnico de Iluminación de Sylvania (2021), algunas luminarias de descarga pueden tener un porcentaje significativo de luz proyectada hacia arriba si no cuentan con ópticas adecuadas o deflectores, contribuyendo al resplandor luminoso en el cielo nocturno.

### 3.5.6 Efectos en la salud humana.

- **Supresión de melatonina:** La luz azul puede suprimir la producción de melatonina, una hormona que regula el sueño. La falta de sueño puede tener varios efectos negativos en la salud, como fatiga, disminución del rendimiento cognitivo y un mayor riesgo de enfermedades crónicas.
- **Daño a la retina:** La exposición a la luz azul de alta intensidad puede dañar las células de la retina, lo que puede provocar degeneración macular relacionada con la edad Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE) y otros problemas de visión.

- **Fatiga ocular digital:** La exposición prolongada a las pantallas digitales puede causar fatiga ocular digital, que se caracteriza por ojos secos, irritados, visión borrosa y dolores de cabeza.

### 3.5.7 Efectos en los ecosistemas.

- **Interrupción de los ciclos circadianos:** La luz azul artificial puede interrumpir los ciclos circadianos de los animales, lo que puede afectar su comportamiento, reproducción y alimentación.
- **Alteración de la migración:** La luz azul puede desorientar a las aves migratorias, lo que puede afectar su capacidad para navegar y encontrar sus rutas migratorias.
- **Daño a las plantas:** La exposición a la luz azul durante la noche puede dañar las plantas y afectar su crecimiento y desarrollo.

### 3.5.8 Factor de Emisión de $CO_2$ .

Según el sistema nacional interconectado de Ecuador 2023, el factor de emisión de  $CO_2$  para el margen de operación es de 0,6459 toneladas de  $CO_2$  por megavatio-hora [ $tCO_2/MWh$ ]. Esto equivale a 645.9 gramos de  $CO_2$  por kilovatio-hora ( $gCO_2/kWh$ ). Se determina las emisiones de  $CO_2$  de las luminarias de descarga y LED respectivamente considerando el consumo energético de cada luminaria se obtiene lo siguiente:

$$\text{Emisiones (gCO}_2\text{)} = \text{Consumo (kWh)} \times 645.9 \text{ gCO}_2\text{/kWh}$$

Cálculo de Emisiones de  $CO_2$  luminaria de sodio:

$$E1 = \text{consumo de la luminaria de sodio } 1.8 \text{ Kwh}$$

$$\text{Emisiones (gCO}_2\text{)} = E1 \times 645.9 \text{ gCO}_2\text{/kWh} = 1162,62 \text{ gCO}_2$$

Cálculo de Emisiones de  $CO_2$  luminaria de LED:

$$E2 = \text{consumo de la luminaria de LED } 1.2 \text{ Kwh}$$

---

$$\text{Emisiones (gCO}_2) = E2 \times 645.9 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 775,08\text{g CO}_2$$

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- De acuerdo a los datos tomados en campo por el luxómetro y el luminancímetro, se puede concluir que las luminarias con tecnología LED, mejoran radicalmente los parámetros de iluminación, como se puede apreciar en la tabla 3.1, la uniformidad que se genera con las luminarias de descarga está en 0.43, mientras que la uniformidad con las luminarias LED mejora su valor a 0.51, a pesar que los valores en los dos casos se encuentran sobre los valores mínimos requeridos en la normativa ARCENNR 007/23 en donde se indica que la uniformidad será igual o superior a 0.4, así mismo los valores de uniformidad media, uniformidad máxima y uniformidad mínima, son mejorados sustancialmente con el uso de luminarias LED.
- De acuerdo a los datos que se obtuvieron con el medidor de calidad de cielo, se determina que al emplear luminarias LED en el área de estudio, los valores SQM tienden a variar en relación a la tabla 2.5 de referencia, obteniendo un valor medio de  $14.07 \text{ mag/arcseg}^2$  de brillo del cielo sin luminarias en el área de estudio a  $14.36 \text{ mag/arcseg}^2$  de brillo con luminarias LED, lo que representa una variación del  $0.29 \text{ mag/arcseg}^2$ , en términos de porcentaje se puede deducir que existe un incremento de contaminación de 6.45% superior al brillo sin luminarias. Y de la misma manera al remplazar las luminarias LED por las de descarga se obtuvo una diferencia de  $0.97 \text{ mag/arcseg}^2$  que representa el 2.33% menos contaminado.
- Si se analiza la tabla 2.5 en cuanto a escalas y simbología propuesta para centros urbanos, se puede concluir que existe una alta contaminación lumínica, con los valores obtenidos al emplear los dos tipos de luminarias ya que se encuentran por debajo de los valores mínimos aceptables con respecto al centro urbano de  $15.4 \text{ mag/arcseg}^2$ .

- Las luminarias LED presentan una mejor estabilidad eléctrica en cuanto a variaciones de voltaje, donde las luminarias de descarga presentan una variación del 4.9% a diferencia de las luminarias LED que presentan una variación del 1% entre fases respectivamente. Además, las luminarias de descarga mostraron una variación en la corriente de encendido, mientras que las LED no (Figuras 3.7 y 3.8). El THDv, un indicador de la presencia de armónicos en la instalación, fue mayor en las luminarias de descarga (10.6%) que en las LED (8.3%). Ambos grupos de lámparas superaron el rango establecido en la regulación ARCERNR 002/20. Sin embargo, las luminarias LED mostraron un menor contenido armónico, llegando solo hasta el noveno armónico, mientras que las de descarga llegaron hasta el onceavo. En conclusión, las luminarias LED tienen una mejor calidad de energía que las luminarias de descarga, lo que las convierte en una opción más eficiente enigmáticamente.
- La contaminación lumínica es una consecuencia directa de la emisión inadecuada de luz artificial en el entorno nocturno, afectando tanto la observación astronómica como los ecosistemas naturales. En este contexto, las luminarias LED con temperaturas de color de 5000K generan un mayor impacto negativo en comparación con las luminarias de sodio de 2000K. Según Herranz, Ollé y Jáuregui (2011), la luz blanco-azulada emitida por los LED con temperaturas de color elevadas es la que más contribuye a la contaminación lumínica debido a su mayor dispersión atmosférica, fenómeno conocido como dispersión de Rayleigh. Este efecto incrementa el brillo del cielo nocturno, reduciendo la visibilidad de estrellas y afectando negativamente la biodiversidad nocturna.
- El resultado del VAN de 6,32 indica que el proyecto generará un retorno económico superior al costo de capital, lo cual se considera ventajoso y en cuanto a la Tasa Interna de Retorno (TIR) se obtuvo como resultado de 12.80% positivo que nos indica que el proyecto generará suficiente retorno para cubrir el costo de capital; y por lo tanto se considera viable desde una perspectiva financiera.
- La luz azul tiene un impacto significativo en la salud humana y los ecosistemas. Es importante tomar medidas adecuadas para minimizar la exposición a la luz azul, especialmente por la noche, para proteger la salud y el medio ambiente.
- El cambio de luminarias de sodio a LED en la ciudad de Cuenca ha intensificado la contaminación lumínica. Es necesario tomar medidas para reducir este problema y proteger el medio ambiente y la salud de la población.

## 4.2 Recomendaciones

- Implementar algoritmos que permitan desarrollar análisis lumínicos considerando parámetros geográficos, astronómicos, climáticos, atmosféricos y sociales.
- Se recomienda a la Empresa Eléctrica CENTROSUR considerar la contaminación lumínica en las diferentes calles y avenidas de la ciudad de Cuenca. Esto se puede lograr mediante la realización de estudios previos de iluminación que determinen la cantidad de luz necesaria para cada área a iluminar, con el objetivo de disminuir la contaminación lumínica.
- Continuar con estudios para mejorar la calidad de iluminación en referencia a la contaminación lumínica de manera que se pueda desarrollar mayor conocimiento y causar menos efectos de contaminación.
- Para mitigar estos efectos, se recomienda el uso de luminarias LED con temperaturas de color inferiores a 3000K, además de una correcta orientación de luminarias y el empleo de sistemas de apantallamiento que minimicen la dispersión de la luz hacia el cielo. De esta manera, se podría reducir significativamente el impacto ambiental del alumbrado público sin comprometer la eficiencia energética.

# ANEXOS

## ANEXO A

### DATOS DE MEDICIÓN DE LUXÓMETRO.

**Tabla A.1:** Datos método de los 9 puntos luxómetro.

Luminarias Apagadas		Luminarias Encendidas		
PUNTOS	SODIO/LED (Off)	SODIO(On)	LED(On)	UNIDADES
P1	0,46	22,8	36,5	lux
P2	1,25	27,2	36,4	lux
P3	1,04	16,32	26,7	lux
P4	0,39	10,77	21,3	lux
P5	0,44	14,59	29	lux
P6	1,25	11,13	26,3	lux
P7	0,45	6,1	12	lux
P8	1,88	9,87	18,1	lux
P9	1,5	7,9	19,25	lux

**Tabla A.2:** Datos método de malla luxómetro

Luminarias Apagadas		Luminarias Encendidas		
PUNTOS	SODIO/LED (Off)	SODIO (On)	LED (On)	UNIDADES
P1	1,58	19,05	36	lux
P2	1,28	20,1	34,3	lux
P3	0,9	16,33	30,7	lux
P4	1,41	16,02	28,5	lux
P5	0,7	16,31	28,7	lux
P6	1,35	14,44	26,7	lux
P7	0,61	10,49	20,5	lux
P8	1,7	10,67	22,8	lux
P9	1,35	10,93	23	lux
P10	1,23	8,9	17,03	lux
P11	1,12	9,85	19,3	lux
P12	1,38	9,15	20,2	lux
P13	0,59	7,4	13,83	lux
P14	1,29	6,2	17,35	lux
P15	0,93	8,84	18,38	lux
P16	1,23	7,76	14,58	lux
P17	1,72	10,17	17,43	lux
P18	1,28	9,38	19,35	lux
P19	1,42	9,22	17,75	lux
P20	1,45	10,2	19,87	lux
P21	1,05	9,95	23,2	lux
P22	0,67	12,12	24,6	lux
P23	1,63	14,25	28,7	lux
P24	1,45	12,45	28,5	lux
P25	1,43	19,63	32,8	lux
P26	1,32	20,2	34,3	lux
P27	1,39	17,78	31,1	lux
P28	1,56	25,5	37,7	lux
P29	1,51	27,7	36,2	lux
P30	1,18	20,2	31,8	lux
P31	2,02	25,5	36,4	lux
P32	1,6	30	34	lux
P33	1,45	20,3	30,3	lux
P34	1,23	20,3	31,5	lux
P35	0,66	24	25,5	lux
P36	0,98	17,15	28	lux
P37	0,7	14,25	22,4	lux
P38	0,65	13,45	24,5	lux
P39	1,68	12,8	23,1	lux
P40	1,5	10,04	17,5	lux
P41	1,36	11,4	20,2	lux
P42	1,54	9,35	19,88	lux
P43	1,3	8,78	13,24	lux
P44	1,15	9,79	16,04	lux
P45	1,28	9,52	16	lux
P46	1,3	9,19	12,61	lux
P47	1,2	11,4	15,27	lux
P48	1,05	11,11	17,02	lux
P49	2,25	11	14,98	lux
P50	1	13,26	18,03	lux
P51	0,8	11,71	19,58	lux
P52	1,23	12,12	19,61	lux
P53	0,75	13,43	21,3	lux
P54	1,2	12,72	23,5	lux
P55	1,25	14,77	26,7	lux
P56	1,44	17	27,9	lux
P57	1,24	14,4	29,01	lux
P58	2,13	22,3	35,6	lux
P59	1,86	23,4	33,7	lux
P60	1,75	17,77	30,9	lux
P61	0,82	9	33,5	lux
P62	1,71	9,4	36,6	lux
P63	1,01	20,9	31,6	lux

## ANEXO B

### DATOS DE MEDICIÓN DE LUMINANCÍMETRO.

**Tabla B.1:** Datos método de los 9 puntos luminancímetro.

Luminarias Apagadas		Luminarias Encendidas		
PUNTOS	SODIO/LED (Off)	SODIO (On)	LED (On)	UNIDADES
P1	0,17	0,67	1,14	cd/m <sup>2</sup>
P2	0,3	0,65	1,05	cd/m <sup>2</sup>
P3	0,13	0,48	0,88	cd/m <sup>2</sup>
P4	0,12	0,73	0,93	cd/m <sup>2</sup>
P5	0,12	0,78	1,19	cd/m <sup>2</sup>
P6	0,12	0,64	1,01	cd/m <sup>2</sup>
P7	0,12	0,6	0,88	cd/m <sup>2</sup>
P8	0,14	0,77	1,1	cd/m <sup>2</sup>
P9	0,13	0,6	0,89	cd/m <sup>2</sup>

**Tabla B.2:** Datos método de malla luminancímetro.

Luminarias Apagadas		Luminarias Encendidas		
PUNTOS	SODIO/LED (Off)	SODIO (On)	LED (On)	UNIDADES
P1	0,12	0,62	0,96	cd/m <sup>2</sup>
P2	0,23	0,78	1,08	cd/m <sup>2</sup>
P3	0,14	0,64	0,85	cd/m <sup>2</sup>
P4	0,13	0,66	0,88	cd/m <sup>2</sup>
P5	0,17	0,74	1,03	cd/m <sup>2</sup>
P6	0,14	0,59	0,88	cd/m <sup>2</sup>
P7	0,13	0,75	0,97	cd/m <sup>2</sup>
P8	0,14	0,77	1,01	cd/m <sup>2</sup>
P9	0,14	0,61	0,84	cd/m <sup>2</sup>
P10	0,14	0,7	1,11	cd/m <sup>2</sup>
P11	0,14	0,68	1,15	cd/m <sup>2</sup>
P12	0,14	0,57	0,87	cd/m <sup>2</sup>
P13	0,14	0,65	0,9	cd/m <sup>2</sup>
P14	0,14	0,75	1,02	cd/m <sup>2</sup>
P15	0,14	0,63	1,03	cd/m <sup>2</sup>
P16	0,14	0,65	0,99	cd/m <sup>2</sup>
P17	0,15	0,8	1,04	cd/m <sup>2</sup>
P18	0,14	0,64	1,04	cd/m <sup>2</sup>
P19	0,15	0,74	1,02	cd/m <sup>2</sup>
P20	0,15	0,56	1,05	cd/m <sup>2</sup>
P21	0,15	0,57	1,02	cd/m <sup>2</sup>
P22	0,15	0,78	1,05	cd/m <sup>2</sup>
P23	0,15	0,72	1,08	cd/m <sup>2</sup>
P24	0,15	0,55	1,04	cd/m <sup>2</sup>
P25	0,15	0,67	0,99	cd/m <sup>2</sup>
P26	0,15	0,75	1,04	cd/m <sup>2</sup>
P27	0,15	0,63	1,02	cd/m <sup>2</sup>
P28	0,15	0,7	0,99	cd/m <sup>2</sup>
P29	0,15	0,74	1,04	cd/m <sup>2</sup>
P30	0,15	0,62	0,95	cd/m <sup>2</sup>
P31	0,16	0,69	0,92	cd/m <sup>2</sup>
P32	0,16	0,66	0,99	cd/m <sup>2</sup>
P33	0,16	0,59	0,92	cd/m <sup>2</sup>
P34	0,16	0,61	0,9	cd/m <sup>2</sup>
P35	0,16	0,47	0,84	cd/m <sup>2</sup>
P36	0,16	0,41	0,82	cd/m <sup>2</sup>
P37	0,16	0,52	0,76	cd/m <sup>2</sup>
P38	0,16	0,42	0,76	cd/m <sup>2</sup>
P39	0,16	0,39	0,66	cd/m <sup>2</sup>
P40	0,16	0,4	0,7	cd/m <sup>2</sup>
P41	0,16	0,45	0,6	cd/m <sup>2</sup>
P42	0,16	0,43	0,71	cd/m <sup>2</sup>
P43	0,16	0,39	0,59	cd/m <sup>2</sup>
P44	0,16	0,46	0,67	cd/m <sup>2</sup>
P45	0,16	0,44	0,73	cd/m <sup>2</sup>
P46	0,16	0,4	0,74	cd/m <sup>2</sup>
P47	0,17	0,47	0,76	cd/m <sup>2</sup>
P48	0,17	0,51	0,7	cd/m <sup>2</sup>
P49	0,16	0,46	0,63	cd/m <sup>2</sup>
P50	0,16	0,52	0,8	cd/m <sup>2</sup>
P51	0,17	0,52	0,81	cd/m <sup>2</sup>
P52	0,17	0,53	0,83	cd/m <sup>2</sup>
P53	0,16	0,61	1,03	cd/m <sup>2</sup>
P54	0,16	0,56	1,07	cd/m <sup>2</sup>
P55	0,19	0,52	0,94	cd/m <sup>2</sup>
P56	0,17	0,65	1,08	cd/m <sup>2</sup>
P57	0,17	0,49	1,07	cd/m <sup>2</sup>
P58	0,17	0,73	1,04	cd/m <sup>2</sup>
P59	0,17	0,58	1,13	cd/m <sup>2</sup>
P60	0,17	0,57	1	cd/m <sup>2</sup>
P61	0,17	0,6	1	cd/m <sup>2</sup>
P62	0,17	0,82	1,08	cd/m <sup>2</sup>
P63	0,17	0,54	0,97	cd/m <sup>2</sup>

## ANEXO C

# FICHA TÉCNICA DE LUMINARIAS .



LED Outdoor  
LED OUTDOOR ORION 100W NW P25214



Luminaria LED para iluminación exterior, con diseño moderno y robusto, driver de corriente constante integrado en la luminaria. Montaje en brazo horizontal. Proyección uniforme de la luz, reduce los costos de consumo de energía y de mantenimiento.

#### CARACTERÍSTICAS

Diseño moderno con fuente LED SMD y lentes en policarbonato  
Chasis robusto en aluminio inyectado, liviano con disipador de calor integrado  
Driver de alta precisión con salida de corriente constante

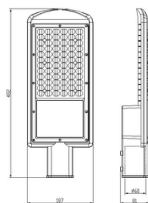
#### APLICACIONES

Iluminación general en exteriores en áreas privadas  
Iluminación perimetral  
Iluminación exterior en clubes e instalaciones deportivas  
Iluminación de jardines privados

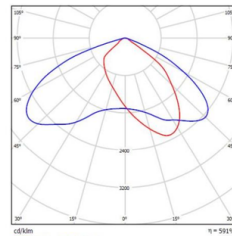


DATOS ÓPTICOS		DATOS FÍSICOS		DATOS ELÉCTRICOS	
Temperatura de color	5000K	Acabado	Pintura gris (RAL 7031)	Potencia de entrada	100 W
Flujo luminoso	12000 lm	Grado de protección IP   IK	IP65 IK07	Tensión de operación	100-240V 50/60Hz
Tipo de distribución	Directa asimétrica Tipo II	Dimensiones (WxLxH)	482x187x81 mm	Corriente de entrada	0.23 A @ 220 V
Reproducción de color (IRC)	80	Tipo de montaje	Brazo horizontal	Corriente de modulo LED	1050mA
Vida útil	30000 h	Chasis	Aluminio inyectado	Factor de potencia	>0.9
Eficacia	120 lm/W	Material optica	Lente PC	Tipo de driver	Independiente CC
Chip LED	2835	Temperatura de operación Ta	-25°C ~ +40°C	Atenuable	No
		Diametro soporte	50 mm	Base Fotocelda	No

#### DIMENSIONES



#### FOTOMETRIA



\* Producto no diseñado para aplicaciones de alumbrado publico.

Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 07/21

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

by FEILO SYLVANIA

Figura C.1: Características técnicas luminaria LED.

Product datasheet

Technical data

Electrical data

Nominal wattage	150.00 W
Rated wattage	152.00 W
Lamp current	1.8 A
Nominal voltage	100 V
Ignition voltage	3.5 kVp; 5.0 kVp <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Minimum/Maximum

Photometrical data

Rated lamp efficacy (standard condition)	115 lm/W
Rated luminous flux	17500 lm
Color rendering index Ra	≤25
Color temperature	2000 K
Rated LLMF at 2,000 h	0.98
Rated LLMF at 4,000 h	0.97
Rated LLMF at 6,000 h	0.96
Rated LLMF at 8,000 h	0.95
Rated LLMF at 12,000 h	0.94
Rated LLMF at 16,000 h	0.94
Rated LLMF at 20,000 h	0.94

Dimensions & weight



Diameter	47.0 mm
Length	210.0 mm
Light center length (LCL)	132.0 mm
Product weight	145.00 g

Product datasheet  
NAV-T 150 W SUPER 4Y

VIALOX NAV-T SUPER 4Y | High-pressure sodium vapor lamps for open and enclosed luminaires



Figura C.2: Características técnicas luminarias de Sodio.





## GLOSARIO

CCT Temperatura de color correlacionada

THD distorsión de armónicos total

LED diodo emisor de luz

ARCERNNR Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables

NEC norma Ecuatoriana de la construcción

INEN Servicio Ecuatoriano de normalización

HPS Luces de sodio de alta presión.

TIR Tasa interna de retorno.

VAN Valor actual neto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. J. P. Vásquez Vásquez y A. W. Montero Marcelo, “Propuesta de alumbrado público con tecnología led en la avenida José Gálvez Chimbo 2016,” 2017.
- [2] P. Ponce Lara *et al.*, “Estudio de la contaminación lumínica y eficiencia energética en alumbrado exterior,” 2015.
- [3] E. D. D. L. A. D. R. Y. C. D. E. Y. R. N. N. R. ARCERNNR, *Marco normativo para la prestación del servicio de alumbrado público general*, 2023.
- [4] R. INEN, “Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069” alumbrado público,” *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069” Alumbrado público*, 2010.
- [5] W. F. Silva Sánchez, “Estudio y análisis del grado de contaminación lumínica en un polígono (o área) del sector norte de la ciudad de Quito de acuerdo a la normativa de contaminación lumínica mundial—propuestas de solución,” Master’s thesis, Quito, 2018., 2018.
- [6] J. B. C. Piarpuezan, “Selección y dimensionamiento Óptimo de los sistemas de alumbrado público basado en múltiples criterios.” B.S. thesis, 2018.
- [7] S. R. Munté, “Cálculo luminotécnico del alumbrado público de una calle en zona urbana .” B.S. thesis, Universitat Rovira I Virgili, 2018.
- [8] R. M. Quito A., M. V. Guanquiza L., J. L. Espinoza A., y G. S. Pulla G., “Metodología para evaluar la contaminación lumínica causada por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca,” *Maskana*, vol. 5, p. 163–173, ene. 2016. [En línea]. Recuperable: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/584>
- [9] P. Jaskowski y P. Tomczuk, “Measurement systems used in measuring the illuminance of the road,” sep 2019.

- [10] H. Jin, S. Jin, L. Chen, S. Cen, y K. Yuan, “Research on the lighting performance of LED street lights with different color temperatures,” *IEEE Photonics Journal*, vol. 7, no. 6, pp. 1–9, dec 2015.
- [11] S. Kamoji, D. Koshti, J. Noronha, E. Arulraj, y E. Clement, “Deep learning-based smart street lamps – a solution to urban pollution,” jul 2020.
- [12] T. Kyuchukov, “Light pollution – “borders” of lighting design,” sep 2019.
- [13] M. V. G. L. R. M. Q. Arias, “Análisis y metodología de evaluación de la contaminación lumínica causado por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca,” Master’s thesis, May 2014.
- [14] E. A. Sarmiento Franco y S. M. Toro Atarihuana, “Estudio de la contaminación lumínica exterior en miradores turísticos mediante el análisis de imágenes digitales, aplicado al mirador de la parroquia Turi de la ciudad de Cuenca,” B.S. thesis, 2022.
- [15] J. P. Narváez Muñoz, “Análisis técnico, económico para determinar la viabilidad de reemplazar 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, 2020.
- [16] C. N. d. N. T. I. Teresa Alvarez Bayona, *Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos*, 2015.
- [17] M. M. A. S. Mahmoud, “Typical economic model for calculating the saving norm of replacement HPS street lighting by LED fixtures in access road of gas production company at GCC,” may 2018.
- [18] M. Liu, Y. Fan, H. Yu, y B. G. Zhang, “Surveying on light pollution from China urban lighting,” 2009.
- [19] M. de Minas y Energía, “reglamento técnico de iluminación y alumbrado público retilap,” de *RESOLUCION*, no. 18, p. 252, 2010.
- [20] E. Chocho y W. Yunga, “Zonificación para control de la contaminación lumínica, aplicada a los cantones servidos por la empresa eléctrica regional centro sur. ca,” *Universiad De Cuenca*, 2014.
- [21] Unihedron, *SQM-LU-DL Operator’s Manual*, 2024. [En línea]. Recuperable: [http://unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU-DL/SQM-LU-DL\\_Users\\_manual.pdf](http://unihedron.com/projects/darksky/cd/SQM-LU-DL/SQM-LU-DL_Users_manual.pdf)