



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**“EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO PÚBLICO:  
POLUCIÓN LUMÍNICA EN EL PARQUE CENTRAL DE LA  
CIUDAD DE CUENCA Y AFECCIÓN AL ENTORNO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTORES:**

**Pablo Andréé Rivera Romero**

**Andrés Mauricio Bernal Vidal**

**DIRECTOR: Ing. Giovani Santiago Pulla Galindo, MSc.**

**Cuenca - Ecuador**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**“EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO PÚBLICO: POLUCIÓN  
LUMÍNICA EN EL PARQUE CENTRAL DE LA CIUDAD DE CUENCA Y  
AFECCIÓN AL ENTORNO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**AUTORES: PABLO ANDRÉE RIVERA ROMERO**

**ANDRÉS MAURICIO BERNAL VIDAL**

**DIRECTOR: ING. GIOVANI SANTIAGO PULLA GALINDO, MSc.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

**Pablo Andréé Rivera Romero** portador de la cédula de ciudadanía N° **0750559320** y **Andrés Mauricio Bernal Vidal** portador de la cédula de ciudadanía N° **0104634621**. Declaramos ser los autores de la obra: “**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO PÚBLICO: POLUCIÓN LUMÍNICA EN EL PARQUE CENTRAL DE LA CIUDAD DE CUENCA Y AFECCIÓN AL ENTORNO**”, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 25 de enero de 2022

F: 

Pablo Andréé Rivera Romero  
0750559320

F: 

Andrés Mauricio Bernal Vidal  
0104634621

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Pablo Andrée Rivera Romero y Andrés Mauricio Bernal Vidal, bajo mi supervisión.



---

**Ing. Giovanni Santiago Pulla Galindo MSc.**

**DIRECTOR**

## **DEDICATORIAS**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, porque gracias a él pude lograr todo esto lo que un día soñé.

A mis padres Juan Pablo Y Maria Augusta ya que sin el apoyo de ellos no lo hubiera logrado, gracias por siempre demostrar confianza en mí. A mi tío Gonzalo ya que fue mi inspiración y gracias a él pude escoger esta hermosa carrera.

A mis abuelitas que siempre me presionaban que ya acabé pronto la carrera y que le ponga más empeño. A mi hermano quien ha sido mi motivación para yo ser un ejemplo para él.

**Pablo Andréé Rivera Romero**

Esta Tesis está dedicada a mi Familia por ser el apoyo más grande que tuve a lo largo de toda mi preparación universitaria y en mi vida.

Está dedicada especialmente a mi madre María Eulalia Vidal y a mis hermanos Angelica y Pablo quienes siempre creyeron en mí y por ser la inspiración para salir adelante.

De igual forma se la dedico especialmente a mi segunda madre Zoila Ubaldina Cordero por el apoyo y la sabiduría impartida en mis caídas y por el amor que comparte con todos sus hijos.

**Andrés Mauricio Bernal Vidal**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y más que todo darme fuerzas para poder superar dificultades que se me presentaron a lo largo de todo este camino.

A mis padres, que a pesar de que no fui muy buen estudiante en el colegio nunca dejaron de confiar en mí y gracias a eso pude seguir adelante en todo.

Al Ing. Santiago Pulla, director de tesis, por guiarnos y asesorarnos de la mejor manera con respecto a la misma.

A mi compañero Andrés ya que sin él no hubiera podido lograr todo esto. Gracias a todas personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

**Pablo Andréé Rivera Romero**

Agradezco a Dios por la fortaleza en los tiempos de dificultad y el bienestar y salud de mi Familia, Amigos y Maestros durante la preparación universitaria.

Gracias a mi Mama, María Eulalia Vidal por el amor, el ejemplo y los consejos en mi inculcados ya que fueron el motor para culminar la preparación universitaria.

Agradezco Al Ing. Santiago Pulla tutor del trabajo de titulación por haber compartido sus conocimientos y por el importante aporte para nuestra investigación.

Agradezco a mi compañero Pablo Rivera por el compañerismo y sobre todo la gran amistad que se llegó a fortalecer a lo largo de este camino.

Finalmente agradezco a todos mis amigos y colegas que me brindaron su ayuda de una manera desinteresada por todo su apoyo y buena voluntad gracias totales.

**Andrés Mauricio Bernal Vidal**

## RESUMEN

Este trabajo investigativo plantea un procedimiento para determinar si el Parque Central “Abdón Calderón” de la ciudad de Cuenca – Ecuador está contaminado por contaminación lumínica, ya que es uno de los principales atractivos turísticos de la ciudad, además de ser un eje de comercio y movilidad urbana. Para dicha evaluación, se realizó un análisis de iluminancia con el objetivo de determinar la cantidad de luxes que emiten las luminarias del Alumbrado Público en los alrededores y el interior del parque. Se utilizó la metodología europea de los nueve puntos, la cual está definida en la Norma INEN 069 de Ecuador y el Reglamento Técnico De Iluminación y Alumbrado Público de Colombia (RETILAP), para la medición de luxes que emiten estas luminarias sobre la horizontal.

Esta metodología evalúa la Iluminancia promedio la cual nos permite encontrar la Uniformidad general de la calzada, para ser contrastados con las distintas recomendaciones que hacen las normas internacional y local guía, con el objetivo de descubrir si están o no, dentro de los estándares sugeridos de iluminancia por el tipo de calzada o por el uso vehicular y peatonal que se da dentro del parque y de sus alrededores.

El estudio muestra cómo se implementó la metodología y analizaron los resultados, para ser concluido con recomendaciones de futuros estudios y la respuesta a la hipótesis de que si el parque está contaminado o no.

*Palabras clave:* Contaminación lumínica, parque urbano, alumbrado público, luminotecnología, eficiencia energética.

## ABSTRACT

This research work proposes a procedure to determine if the "Abdón Calderón" Central Park in Cuenca- Ecuador is contaminated by light pollution since it is one of the city's main tourist attractions and an axis of commerce and urban mobility. For this evaluation, an illuminance analysis was conducted to determine the number of lux emitted by the public lighting luminaires in both its surroundings and inside the park. The European nine-point methodology was used, defined in the INEN 069 Standard of Ecuador and the Technical Regulation of Illumination and Public Lighting of Colombia (RETILAP by its Spanish acronym), for the measurement of lux emitted by these luminaires on the horizontal.

This methodology evaluates the average illuminance, which allows us to find the general uniformity of the roadway, to be contrasted with the different recommendations made by the international and local guide standards. The objective is to discover whether or not they are within the suggested illuminance standards for the type of roadway or the vehicular and pedestrian use within the park and its surroundings.

The study shows how the methodology was implemented and the results analyzed. Furthermore, it was concluded with recommendations for future studies and the answer to the hypothesis of whether or not the park is contaminated.

*Keywords:* Light pollution, urban park, street lighting, lighting technology, energy efficiency.

# ÍNDICE GENERAL

Declaratoria de autoría y responsabilidad.....	I
Certificación.....	II
Dedicatorias.....	III
Agradecimientos.....	V
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
Índice general.....	IX
Índice de figuras.....	X
Índice de tablas.....	XII
Capítulo 1: El problema.....	1
Capítulo 2: Marco teórico.....	9
Capítulo 3: Metodologías de medición de iluminancia.....	42
Capítulo 4: Metodología.....	58
Capítulo 5: Análisis de resultados.....	70
Capítulo 6: Conclusiones.....	76
Capítulo 7: Recomendaciones.....	78
Bibliografía.....	79
Anexos.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Flujo de luz producido por una luminaria.....	15
Figura 2 Curvas de sensibilidad de insectos, perros y humanos.....	16
Figura 3 Luminarias en forma de faros globos.....	17
Figura 4 Tableros publicitarios.....	17
Figura 5 Reflexión de la luz al impactar con una superficie.....	18
Figura 6 Cambios que experimenta la luz al cambiar de medio de propagación. ....	18
Figura 7 Clasificación de los ángulos de emisión de las luminarias en radiación al efecto contaminante. ....	23
Figura 8 Flujo de luz producido por una luminaria.....	26
Figura 9 Alumbrado público en el parque central Abdón Calderón. ....	27
Figura 10 Alumbrado público con distribución unilateral. ....	28
Figura 11 Alumbrado público con distribución central doble. ....	29
Figura 12 Alumbrado público con distribución bilateral alternada.....	29
Figura 13 Alumbrado público con distribución bilateral opuesta sin parterre. ....	30
Figura 14 Alumbrado público con distribución bilateral opuesta con parterre.....	30
Figura 15 Proyección central del sistema de coordenadas CIE. ....	32
Figura 16 Proyección isométrica del sistema de coordenadas CIE.....	32
Figura 17 Alcance de una luminaria.....	34
Figura 18 Dispersión de una luminaria.....	35
Figura 19 Espectro electromagnético.....	37
Figura 20 Espectro de lámparas.....	37
Figura 21 Concepto de iluminancia.....	40
Figura 22 Cálculo de la iluminancia promedio método europeo de los 9 puntos. ....	50
Figura 23 Selección de los 9 puntos según disposición de las luminarias.....	52
Figura 24 Luxómetro EXTECH HD450 .....	58
Figura 25 Mapa del Parque Calderón en la ciudad de Cuenca - Ecuador.....	59
Figura 26 Ubicación y disposición de luminarias dentro del Parque Calderón de la ciudad de Cuenca.....	60
Figura 27 Visita de campo al sitio a evaluar.....	61
Figura 28 Zonas a evaluar dentro del Parque Calderón de la ciudad de Cuenca....	61
Figura 29 Luminaria LED 150 W alrededor al monumento del Parque Calderón de la ciudad de Cuenca.....	62
Figura 30 Luminaria tipo farol de Sodio 150 W del Parque Calderón de la ciudad de Cuenca.....	62
Figura 31 Vanos que cumplen los requisitos en la zona 1 .....	64

Figura 32 Luminaria tipo farol en zona 1 .....	64
Figura 33 Vanos que cumplen los requisitos en la zona 2 .....	65
Figura 34 Vanos que cumplen los requisitos en la zona 3 .....	66
Figura 35 Medición distancia entre luminarias .....	67
Figura 36 Marcado de puntos con tiza .....	67
Figura 37 Toma de mediciones en el sitio.....	68
Figura 38 Asistencia policial en el sitio.....	69
Figura 39 Sector de alta polución en zona 1 .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de zonas para la contaminación lumínica. ....	12
Tabla 2. El alumbrado público.....	13
Tabla 3. Tipos de brillo.....	19
Tabla 4. Efectos ambientales.....	21
Tabla 5. Efectos sociales.....	22
Tabla 6. Clasificación de los ángulos.....	23
Tabla 7. Parámetros para calcular la contaminación lumínica.....	25
Tabla 8. Clasificación antigua de luminarias en alumbrado público. ....	33
Tabla 9. Alcance con respecto al ángulo $\gamma$ .....	34
Tabla 10. Dispersión de la luminaria.....	35
Tabla 11. Índice específico de una luminaria. ....	36
Tabla 12 Grado de control de la luminaria. ....	36
Tabla 13. Lámparas según su nivel de contaminante. ....	38
Tabla 14. Clasificación de vías vehiculares.....	43
Tabla 15. Clasificación de vías peatonales y ciclistas. ....	44
Tabla 16. Valores mínimos de iluminancia vías motorizadas. ....	45
Tabla 17. Características de la superficie. ....	46
Tabla 18. Requisitos mínimos de iluminación para vías con ciclo-rutas y andenes adyacentes. ....	47
Tabla 19. Requisitos mínimos de iluminación para vías peatonales.....	48
Tabla 20. Fotometría mínima en áreas críticas distintas a vías vehiculares. ....	49
Tabla 21. Parámetros de evaluación.....	55
Tabla 22. Requisitos normas NTC 900. ....	56
Tabla 23. Datos que debe contener el informe. ....	57
Tabla 24. Puntos de referencia de iluminancia para zona 1.....	71
Tabla 25. Resumen de resultados de la evaluación de iluminancia para zona 1.....	71
Tabla 26. Puntos de referencia de iluminancia para zona 2.....	73
Tabla 27. Resumen de resultados de la evaluación de iluminancia para zona 2.....	73
Tabla 28. Puntos de referencia de iluminancia para zona 3.....	74
Tabla 29. Resumen de resultados de la evaluación de iluminancia para zona 3.....	75
Tabla 30. Evaluación de vano M1 Zona 1.....	84
Tabla 31. Evaluación de vano M2 Zona 1.....	85
Tabla 32. Evaluación de vano M3 Zona 1.....	86
Tabla 33. Evaluación de vano M4 Zona 1.....	87
Tabla 34. Evaluación de vano M5 Zona 1.....	88

Tabla 35. Evaluación de vano M6 Zona 1.....	89
Tabla 36. Evaluación de vano M7 Zona 1.....	90
Tabla 37. Evaluación de vano M8 Zona 1.....	91
Tabla 38. Evaluación de vano M9 Zona 1.....	92
Tabla 39. Evaluación de vano M10 Zona 1.....	93
Tabla 40. Evaluación de vano M11 Zona 1.....	94
Tabla 41. Evaluación de vano M12 Zona 1.....	95
Tabla 42. Evaluación de vano M1 Zona 2.....	96
Tabla 43. Evaluación de vano M2 Zona 2.....	97
Tabla 44. Evaluación de vano M3 Zona 2.....	98
Tabla 45. Evaluación de vano M4 Zona 2.....	99
Tabla 46. Evaluación de vano M1 Zona 3.....	100
Tabla 47. Evaluación de vano M2 Zona 3.....	101

# CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA

## 1.1. Introducción

La contaminación lumínica es un efecto directo de la forma de vida que hemos acarreado durante el siglo XX y que mantenemos hasta la actualidad. La contaminación es generada por fuentes de luz artificial que irradian sus haces descontroladamente hacia cualquier dirección (Pozo, 2014). El establecimiento de sistemas de alumbrado público en la ciudad son la principal fuente de contaminación ambiental, su diseño e implementación tiene como único fin alumbrar las distintas zonas de la urbe dejando de interesarse por la eficiencia energética y por los efectos negativos que su construcción sin tener en cuenta los criterios adecuados podría provocar.

Debemos tener en cuenta que la contaminación lumínica es toda irradiación de luz en el cielo provocada por la emisión de luz artificial, la cual, no se detecta y casi no se perciben sus efectos, pero en el contexto macro afecta a todo el ecosistema urbano en el cual nos desenvolvemos día a día (Pozo, 2014). El ecosistema no está formado únicamente por los habitantes de un sector, sino por todos los usuarios del espacio público, como también por la flora y la fauna que habita ahí, tales como los distintos pájaros que sobrevuelan el sector.

La luz puede llegar a ser perturbadora, molesta, además de que puede generar alteraciones en el sistema nervioso. Sin embargo, la luz es necesaria para el desenvolvimiento de una ciudad, no se trata solo de tener una adecuada luminosidad, si no de que también un buen sistema de iluminación permite que se genere una mayor seguridad en la circulación, impide el desperdicio de luz, logra que se respeten los ciclos naturales tanto de la flora como de fauna y racionaliza el consumo energético.

Cuenca es una ciudad patrimonial declarada por la Unesco en el año de 1999, además, su nombre propio es Santa Ana de los Ríos de Cuenca, es una urbe ecuatoriana y capital de la Provincia de Azuay. Es llamada "Atenas del Ecuador" por sus edificaciones, su pluralidad, su aportación a la cultura, ciencia y escritura ecuatoriana y por ser el sitio de origen de varios personajes prestigiosos de la comunidad ecuatoriana. Con base en los últimos datos registrados por el (INEC, 2010) del censo que se llevó a cabo en el año 2010 elaborado por el Instituto Nacional

de Estadísticas y Censos, Cuenca tenía una población de 505.585 pobladores, actualmente tiene 613,996 pobladores en el año 2020, lo cual la convierte en la tercera localidad más poblada del territorio detrás de Guayaquil y Quito.

Las ocupaciones primordiales de la urbe son el negocio y la industria; A lo largo de los últimos años, Cuenca además se va consolidando como un llamativo turístico mundial. La artesanía es realizada por las habilidades innatas de la gente que ha nacido en esta hermosa ciudad. Su riqueza artesanal está representada por las hábiles manos de los pobladores que la habitan, que con unión y fuerza pueden convertir los recursos naturales en hermosos vestuarios y esencias que son incluso muy reconocidos a nivel internacional. En resumen, Cuenca es una ciudad tranquila y alegre habitada por gente trabajadora y progresista (Vintimilla, 2007).

La iluminación de origen artificial durante periodos nocturnos resulta imprescindible para el desarrollo de actividades turísticas, comerciales y productivas; y, la habitabilidad de zonas urbanas y en menor escala, zonas rurales. Un diseño deficiente, o falta de equipamiento adecuado correspondiente a las instalaciones de iluminación establece consecuencias perjudiciales para el ambiente y su biodiversidad característica, alterando las condiciones naturales de oscuridad. En manera opuesta, el exceso de iluminación artificial dificulta la visibilidad atmosférica nocturna en procesos de observación astronómica y perjudica los ciclos vitales correspondientes a especies animales y vegetales.

Dado el volumen de contaminación lumínica en áreas urbanas, las aves, insectos no disponen de la oscuridad necesaria para asegurar su descanso nocturno; y en términos correspondientes a flora, la vegetación urbana, constituida por arbolado en plazas, paseos y calles, altera sus procesos biológicos naturales (procesos de fotosíntesis, respiración vegetal, etc.).

La polución lumínica constituye un concepto de análisis e interés de un adecuado enfoque. Se halla evidenciada en la alteración de la oscuridad natural nocturna generada por el alumbrado exterior, conjunto de luminarias ambientales, luminarias públicas y agentes adicionales que producen luz en intensidades, direcciones u horarios innecesarios. Actualmente la universidad está llevando a cabo el proyecto de “DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGETICA Y POLUCIÓN LUMÍNICA EN LA CIUDAD DE CUENCA”.

Una iluminación nocturna dotada de racionalidad y desarrollada bajo criterios coherentes tales como utilizar técnicas para conocer los tipos de luminarias que se deben colocar en determinadas zonas, conocer los tipos de emisiones de luz artificial y las leyes de luminotecnia para el encendido de una lámpara durante lapsos de tiempo corto, incide directa e inmediatamente en el consumo eléctrico, derivando en un notable ahorro energético. Los procesos de generación eléctrica a nivel nacional emplean recursos renovables en mayor escala, por ello, un ahorro energético implica adicionalmente, un cuidado de recursos naturales para generaciones próximas.

El objetivo primordial correspondiente al trabajo desarrollado consiste en exponer el proceso metodológico orientado al análisis de la contaminación lumínica generado por el sistema de alumbrado exterior en el Parque Central de la ciudad de Cuenca (Parque Abdón Calderón) y su afección al entorno en términos cuantitativos. Enmarcado dentro del proyecto en mención que lo realiza el Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT). Para el cumplimiento del objetivo propuesto, la información y datos de análisis serán obtenidos en campo. La información obtenida a partir de las mediciones de iluminancia efectuadas en campo, permitirán registrar la evolución de contaminación en el área previamente mencionada. No obstante, las medidas obtenidas deberán ser contrastadas y analizadas en investigaciones futuras, puesto que, los factores climáticos se hallan correlacionados con el aumento o reducción de los niveles de contaminación. Al ser un estudio analítico se utiliza el criterio definido en la norma INEN 069 (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaría de la calidad, 2013) y el Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público (RETILAP) de Colombia (Ministerio de Minas y Energía, 2010) el cual nos permite encontrar cada uno de los parámetros a medir.

El capítulo uno de este trabajo muestra la necesidad de llevar a cabo investigaciones relacionadas con la contaminación lumínica; tiene como misión revelar el gran aporte que representa para la ciudad y para las asociaciones científicas, quienes al tener en consideración este tipo de información y adquiriendo ya el conocimiento necesario consigan desarrollar futuros proyectos u estudios que permitan disminuir de alguna manera la contaminación lumínica que existe hoy en día y reducir la consecuencias negativas que esta conlleva. El capítulo dos es una presentación teórica de los distintos conceptos involucrados dentro del presente trabajo, como son la contaminación lumínica, el alumbrado público y fundamentos luminotécnicos.

El capítulo tres presenta la metodología recomendada por la norma INEN 069 (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la calidad, 2013) de Ecuador, el Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público RETILAP. (Ministerio de Minas y Energía, 2010) de Colombia correspondiente a los estándares internacionales adoptados por estos países los cuales han ido aprobando normativas para minimizar la polución lumínica y mejorar la eficiencia energética. El capítulo cuatro explica cómo se llevó a cabo el experimento que incluye un análisis del entorno a intervenir, el levantamiento de información y la evaluación de la misma. El capítulo cinco presenta los resultados de la evaluación realizada con los datos recopilados.

Para finalizar el capítulo seis presentará las conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos.

## **1.2. Antecedentes**

Los altos índices de polución lumínica implican un evidente deterioro y afección de los ciclos naturales de los seres vivos debido a la alteración del cielo nocturno y lugares aledaños generado por la emisión de flujos luminosos originados en fuentes artificiales en cantidades y direcciones errantes que no iluminan las zonas previstas (Chiluisa, 2014).

En periodos nocturnos, el Parque Central de la ciudad de Cuenca constituye un sitio de concentración masiva. Su afluencia se halla definida por actividades turísticas, laborales, de ocio y su tráfico vehicular característico. Al caer la noche, el parque Abdón Calderón recibe iluminación artificial, en forma directa, a través de luminarias públicas e iluminación de monumentos; y, en línea similar, percibe iluminación indirecta proveniente de sus edificaciones aledañas y tránsito vehicular.

Por ello, resulta necesario determinar el nivel de lúmenes existentes en periodos nocturnos, puesto que, el Parque Central en mención, según (Castillo, 2016; GoRaymi, s.f), alberga especies vegetales de árboles de Ciprés, Arupos, Ficus, Fresnos, Guavisay, Romerillo y Palma Nacional que lo rodean en toda su extensión y, en consecuencia, la polución lumínica puede afectar notablemente sus ciclos naturales.

Adicionalmente, durante festividades tradicionales, el parque incrementa sus puntos de iluminación artificial en puntos previamente definidos, lo que, en menor índice, contribuye a elevar los niveles de contaminación lumínica.

Con la información mencionada con anterioridad se pretende aportar soluciones definidas en el marco de eficiencia energética, estableciendo límites adecuados y criterios apropiados para los procesos de iluminación artificial e implicando parámetros de ahorro económico. Por ello, resulta prioritario desarrollar el estudio en mención, puesto que, a partir de los resultados obtenidos, el análisis efectuado procura trazar un mapa zonal de contaminación lumínica correspondiente al área previamente delimitada, permitiendo disponer de un registro evolutivo.

El estudio, análisis y determinación de iluminancia existentes en el parque Abdón Calderón (unidad de observación) serán efectuados durante periodos nocturnos, empleando métodos de observación directa para su efecto y variables de carácter cuantitativo.

Teóricamente, el desarrollo del proyecto se limita a obtener y trazar estadísticamente los niveles de iluminancia medidos inherentes a la contaminación lumínica durante un rango temporal, y, proponer soluciones enmarcadas, de ser necesario, en los aspectos correspondientes a eficiencia energética.

El área geográfica en estudio corresponde a una zona netamente urbana característica de la ciudad de Cuenca (Azúay - Ecuador). El análisis práctico y levantamiento de información en campo será efectuado en el parque Abdón Calderón, limitado por las calles Benigno Malo, Mariscal Sucre, Luis Cordero y Simón Bolívar, y las fachadas de las edificaciones alrededor del parque.

El área previamente mencionada constituye una plaza histórica y es el parque principal de la ciudad de Cuenca. En torno a ella, se hallan ubicadas diversas edificaciones de arquitectura histórica.

### **1.3. Justificación**

El presente proyecto de investigación de fin de carrera pretende realizar un análisis orientado a aportar soluciones teóricas que permitan disminuir los niveles de contaminación lumínica, en caso de que existan, en el sector del Parque Central en la ciudad de Cuenca - Ecuador, con el fin de reducir el denominado “resplandor luminoso” el cual dificulta los procesos de observación astronómica y afecta a especies animales (aves, insectos) y especies vegetales que existen en esta área. Las soluciones propuestas deben elevar los índices de eficiencia energética e incrementar los estándares de calidad de vida.

Dada el área de estudio, el análisis a efectuarse adquiere una magnitud considerable. A partir de la información y datos obtenidos, los procesos de resolución a gran escala resultan complejos, puesto que, la zona constituye Patrimonio Cultural de la Humanidad y modificar sus estructuras demanda procesos legales de suma complejidad.

Por tal motivo, el ámbito competitivo correspondiente al área de Ingeniería Eléctrica brinda la oportunidad de poder modificar las estructuras de iluminación sin la necesidad de operaciones masivas. La correcta inclinación de las luminarias o la sustitución de los faroles son apenas algunas de las opciones que permiten disminuir los niveles de contaminación lumínica.

Las razones antes mencionadas sumado a la progresiva conciencia ambiental ciudadana, justifican la necesidad de regular legalmente los mecanismos necesarios ante una iluminación nocturna inadecuada que derive en formas de contaminación lumínica, por lo tanto, es primordial recordar la importancia que el alumbrado nocturno tiene para el desarrollo de la vida comercial, turística y recreativa de la zona de estudio. Una regulación adecuada de la iluminación nocturna debería mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y no afectar los ciclos naturales característicos de especies vegetales y animales, sin descuidar la seguridad de las personas o limitar la visibilidad en rutas y calles.

#### **1.4.Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general.**

- Determinar los índices de contaminación lumínica generados por el sistema de alumbrado artificial situado en exterior en el Parque Central de la ciudad de Cuenca (Parque Abdón Calderón) y su afección al entorno en términos cuantitativos; y, establecer bases para futuras evaluaciones.

##### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Obtener los niveles de iluminación correspondientes a las instalaciones de alumbrado exterior en el área previamente delimitada.

- Medir la iluminancia existente en el área de estudio durante los periodos nocturnos.
- Desarrollar una base de información con datos iniciales correspondientes a los índices de polución lumínica para conocer la evolución de dicho proceso de contaminación en el Parque Central de la ciudad.
- Determinar si los índices de polución lumínica se hallan dentro de los márgenes recomendados.
- Proponer soluciones destinadas a disminuir los niveles de polución lumínica enmarcadas en el contexto energético.

### **1.5. Metodología**

En términos generales, la metodología empleada para el desarrollo de la investigación propuesta consiste en una investigación de campo contrastada con estándares internacionales. Sin embargo, el procedimiento empleado para el cumplimiento de cada objetivo específico es expuesto y desarrollado en las líneas posteriores.

Para obtener los niveles de iluminación correspondientes a las instalaciones de alumbrado exterior en el Parque central “Abdón Calderón” de la ciudad de Cuenca se utiliza un artefacto de medición de iluminancia con características que cumplan las normativas internacionales, equipado por un sensor de luz capaz de contabilizar la iluminancia del sector a analizar.

Con la finalidad de obtener mediciones acertadas, es necesario localizar las coordenadas exactas propias al lugar de medición (GPS, mapas topográficos, mapas electrónicos, etc.). Adicionalmente, las mediciones deben ser efectuadas posterior a la puesta de sol y bajo condiciones climáticas favorables.

Para el desarrollo de una base de información con datos iniciales correspondientes a los índices de polución lumínica para conocer la evolución de dicho proceso de contaminación en el Parque Central de la ciudad, es necesario el diseño de una matriz que recolecte los datos de manera adecuada y ordenada.

Para determinar si los índices de polución lumínica se hallan dentro de los márgenes recomendados, se evaluarán los índices de contaminación medidos y serán comparados con estándares internacionales establecidos, proponiendo soluciones destinadas a disminuir los niveles de polución lumínica enmarcadas en el contexto de eficiencia energética.

#### **1.6. Hipótesis**

Existe polución lumínica del entorno del Parque Calderón de la Ciudad de Cuenca-Ecuador.

#### **1.7. Variables**

- Cantidad de Luxes.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Introducción**

El siguiente capítulo muestra las bases teóricas en donde se basa esta investigación. Esta inicia en una revisión de la polución lumínica, explorando sus causas y las consecuencias en el medio ambiente. Luego estudiaremos los sistemas de alumbrado público, su clasificación, su importancia y por qué son una de las principales fuentes de polución de este tipo. Para terminar, estudiaremos las distintas magnitudes físicas fundamentales relacionadas a la luminotecnica de los sistemas de alumbrado público que serán medidas en este estudio.

### **2.2 Polución lumínica**

Existe una definición de la primera ley de la termodinámica en la cual (Babor, 1978) hace referencia a que “la materia no se crea ni se destruye solo se transforma”, la cual significa que, si queremos que el ecosistema se encuentre en equilibrio, la cantidad de energía de salida debe ser la misma de la entrada. Siguiendo este esquema podemos definir que por lo tanto cualquier elemento que se encuentre en exceso es considerado contaminante, provocando alteraciones en las condiciones propicias para la vida tanto de los animales como de las personas.

Teniendo claro esto último, (Tabuenca, 2018), indica que existen distintos tipos de contaminación ambiental, la cual se clasifica según el estudio u objetivo, las más habituales son: contaminación del agua y suelo, contaminación atmosférica, contaminación acústica, contaminación térmica, contaminación electromagnética y contaminación lumínica.

Por la importancia del trabajo en estudio nos centraremos en la contaminación lumínica. Según (Tabuenca, 2018), la contaminación lumínica se da cuando existe un exceso de iluminación en un lugar determinado, puede provocar una serie de problemas médicos, psicológicos, económicos, sociales y culturales tanto en las personas como en la flora y fauna que rodea nuestro entorno.

#### **2.2.1 Generalidades de la contaminación lumínica.**

En la actualidad hay una serie de trabajos de investigación, normativas internacionales y nacionales que definen científicamente la contaminación lumínica,

a continuación, se describe brevemente los conceptos más utilizados para explicar este fenómeno por los científicos más reconocidos en el transcurso de estos años.

En trabajos investigativos escritos por (Chiluisa, 2014) encontramos que el Departamento de Astronomía que se encuentra en la Universidad de Barcelona define a este tipo de contaminación como la difusión de luz que proviene de diferentes fuentes en magnitudes, sentidos y tiempos inadecuados para la ejecución de labores programados en los sectores en donde se encuentran instaladas las luminarias.

Según la ley 34/2007 española de calidad del aire y protección de la atmosfera (Jefatura del Estado, 2007), define a la contaminación lumínica como la irradiación de luz presente en las tinieblas, ocasionado por el esparcimiento de la luz en las partículas suspendidas, aerosoles y gases que se encuentran en la atmosfera, que producen un cambio en las horas nocturnas e imposibilita la visibilidad de los astros.

Con toda esta información que ha sido suministrada, a través de los distintos documentos informativos se deduce finalmente que la contaminación lumínica está estrechamente relacionada con las zonas urbanas, debido al alumbrado que es colocado muchas de las veces en condiciones excesivas y defectuosas, dificultando no solo la observación nocturna de los cuerpos celestes sino que también tiene otras efectos adversos para el medio ambiente, como lo son: cambios drásticos en la biodiversidad, mayor consumo energético, aumento de la cantidad de residuos, etc. Los problemas asociados a la contaminación dificultan los ciclos día - noche que son lapsos de tiempos a los cuales las especies de animales y plantas se han acondicionado a lo largo de los años, las alteraciones en sus ecosistemas pueden llegar a ser devastadoras para su desarrollo (Moreno & Moreno, 2016).

Para prevenir la contaminación lumínica es necesario un control y monitoreo constante de todos los factores que intervienen y se encuentran interrelacionados entre sí; el medio ambiente, alumbrado público y sus efectos colaterales, de tal forma que se pueda evaluar el impacto ambiental que causa este tipo de fenómeno y minimizar sus consecuencias (Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible, 2008).

### **2.2.2 Iluminación nocturna como causante de contaminación lumínica.**

La iluminación nocturna es considerada uno de los servicios más sofisticados implantados en las metrópolis de las grandes ciudades que existen en la actualidad,

es una actividad que está a cargo por organismos del estado que tiene la única intención de alumbrar espacios (parques, zonas con acceso libre), permitiendo que sus habitantes puedan realizar sus actividades incluso durante altas horas de la noche sin que estos tengan que preocuparse por la falta de iluminancia en ciertas zonas de la ciudad. Su finalidad es ofrecer una sensación de seguridad a la ciudadanía, ya que, la falta de iluminación puede causar un estado de inseguridad constante en la psiquis de las personas debido a la ausencia de luminaria en espacios en los cuales su diseño y adecuación llega a ser imprescindible, sin embargo sus diseños inadecuados y su uso y mal funcionamiento muchas de las veces ha sido motivo de efectos nocivos para la salud de las personas, la biodiversidad y el medio ambiente en general esto da como resultado que su adquisición y posterior adecuación tanto en los núcleos urbanos y zonas rurales provoque una alteración de la oscuridad normal de la noche, causando además un desperdicio energético innecesario (Unidad de Planeación Minero Energética, 2007).

El alumbrado público tiene como objetivo garantizar la actividad socio económica, disminuir incidentes y evitar actos vandálicos, sin embargo, la falta de normas que regulen su correcta disposición y funcionamiento, el aumento indiscriminado de la población y de las áreas destinadas a otro tipo de actividades industriales ha traído consigo la alteración de la fase natural de la oscuridad en el cielo.

Para controlar los efectos de la contaminación lumínica es necesario diferenciar y zonificar los lugares que requieren de iluminación que van desde zonas E1 de mayor sensibilidad hasta zonas E4 de menos sensibilidad, además es importante clasificar los distintos tipos de alumbrado: público, público general, ornamental para inmediatamente establecer las restricciones pertinentes. Este sistema de zonificación fue definido en la norma CIE 126-1997 "Guidelines for minimizing sky glow" (CIE, 1997), el cual presenta las exigencias fotométricas que especifica los límites de luminiscencia con la intención de disminuir la contaminación.

La Tabla 1, muestra esta clasificación.

Tabla 1. Definición de zonas para la contaminación lumínica.

<b>Zona</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>E1</b>	Áreas con entornos oscuros	Observatorios astronómicos de categoría internacional
<b>E2</b>	Áreas de bajo brillo	Áreas rurales
<b>E3</b>	Áreas de bajo brillo	Áreas urbanas residenciales
<b>E4</b>	Áreas de brillo alto	Centros urbanos con elevada actividad nocturna

Fuente: (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaría de la Calidad, 2013)

Esto quiere decir que en los núcleos urbanizados el objetivo es que los conductores y transeúntes no corran el riesgo de sufrir accidentes, por el contrario, cuando se trata de parques y localidades ubicadas a cielo abierto la finalidad es iluminar y resaltar los objetos que se encuentren allí presentes.

La Tabla 2 muestra un análisis de lo que debe o no debe hacer el alumbrado público.

Tabla 2. El alumbrado público.

<b>El alumbrado público debe</b>	<b>El alumbrado público no debe</b>
Incrementar la eficiencia de la actividad humana en horas nocturnas, de tal manera que las personas se sientan en un ambiente seguro y agradable.	Invadir u perturbar la intimidad y salud de las personas.
Suministrar visibilidad de todos aquellos cuerpos u objetos que se encuentren en la localidad de tal manera que exista claridad tanto para los transeúntes como para los conductores y de esta forma evitar cualquier tipo de accidente automovilístico.	Provocar alteraciones en el equilibrio normal de los ecosistemas.
Ayudar al desarrollo de actividades en horarios nocturnos.	Generar espacios sombríos que puedan impulsar a cometer actos vandálicos.
Iluminar los monumentos, parques y calles peatonales de las ciudades.	Uso indiscriminado de luz en los sistemas de iluminación.
Abastecer de iluminación e incrementar la visibilidad en espacios comerciales: aeropuertos, bases militares, lugares deportivos, actividades industriales y económicas.	Poca visibilidad para las observaciones astronómicas.

Fuente: (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012)

En Ecuador en años pasados los sistemas de iluminación se encontraban en condiciones defectuosas y debido a su antigüedad no poseían un buen funcionamiento; por lo tanto no cumplían con los estándares de las normas que se requería en esas épocas, en la actualidad la nueva normativa obliga a prestar un servicio en el cual las pérdidas energéticas de los sistemas sean mínimas y exige que su adecuación en el espacio exterior cumpla con los requerimientos necesarios para que tengan una buena iluminación. Un adecuado diseño, implementación y

gestión de los sistemas de alumbrado público, incrementa su eficiencia, ocasionando un ahorro de energía y disminuyendo por ende la contaminación (González, 2022).

### **2.2.3 Causas que produce la contaminación lumínica.**

La contaminación lumínica se produce por un diseño y adecuación del sistema de alumbrado público deficiente, ya sea porque las luminarias se encuentran en una posición incorrecta o en su defecto por las superficies reflejantes como el pavimento. Esto quiere decir que los factores que contribuyen a la contaminación lumínica son todos aquellos tipos de luz que no se aprovechan para alumbrar el suelo u otros elementos que así lo necesiten, en las siguientes líneas se describe brevemente las principales razones del porque se genera la contaminación lumínica (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012):

#### **Dirección de la luz.**

Se refiere a la dirección que tiene la luz emitida proveniente de un farol. Según como estén diseñados los faroles varia la dirección de luz emitida, se puede considerar diferentes tipos de emisión (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012).

- Flujo útil: Se refiere a la luz que es aprovechada correctamente proveniente de un farol; ya sea para alumbrar calzadas, frentes, monumentos entre otros (Choco & Yunga, 2014).
- Flujo ascendente: Es cuando no toda la luz es aprovechada, es decir, es una pequeña parte de la luz emitida por el farol reflejada en la superficie en relación de la luz total emitida (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la calidad, 2013).
- Flujo ascendente reflejado: Este tipo de flujo favorece al resplandor luminoso en el cielo nocturno (Choco & Yunga, 2014).
- Flujo no útil: Es la luz no aprovechada que refleja de forma innecesaria los espacios no definidos en el sistema de alumbrado inicial (Choco & Yunga, 2014).

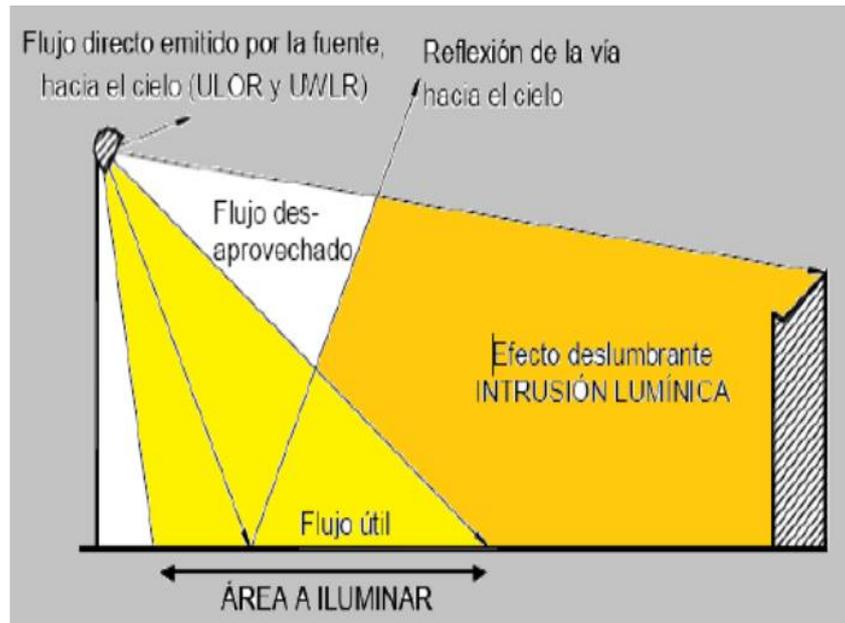


Figura 1 Flujo de luz producido por una luminaria.

Fuente: (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012)

### Espectro de luz.

La mayor sensibilidad a la cual el ojo humano puede estar expuesto es a una longitud de onda de 555 nm, la cual está representada por un color amarillo que tiende a ser de un tono verde y la mínima sensibilidad a la que puede estar expuesto está constituida por los colores rojo y violeta. Por lo tanto, cualquier tipo de luz que se encuentre fuera de estos rangos es considerada contaminante debido a que no sirve para iluminar, hay que tener en consideración que las formas de vida son sensibles a los mismos espectros de longitud de onda. Cuando hablamos de espectro luminoso se refiere al aglomerado de radiaciones que provocan sensibilidad en la vista de las personas, como mencionamos con anterioridad las longitudes de ondas que son visibles por las personas pueden llegar a ser dañinas para otras formas de vida, porque el rango de visión espectral es distinto (Choco & Yunga, 2014).

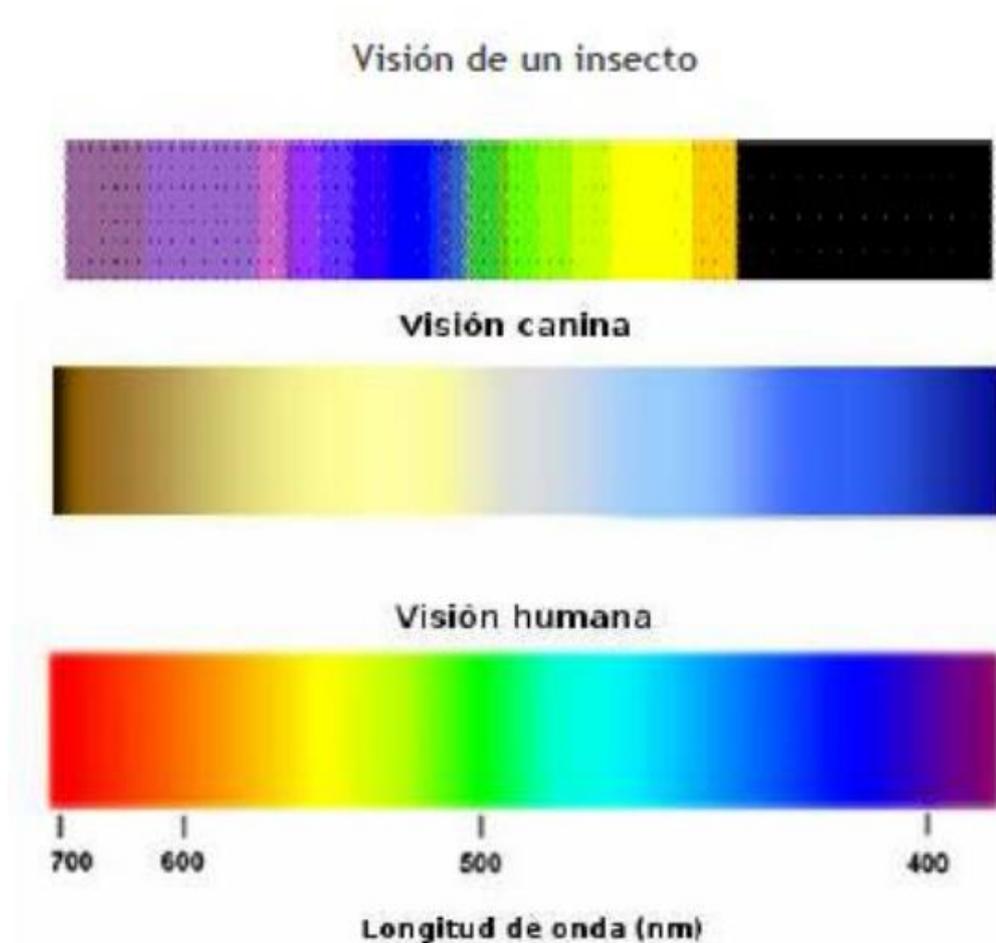


Figura 2 Curvas de sensibilidad de insectos, perros y humanos.

Fuente: (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012)

### **Iluminaciones en exceso.**

Según (Choco & Yunga, 2014), las características de alumbrado que se utilizan varían en función del sector en el que esté ubicada la actividad que se va a realizar, esto se debe a que cada actividad requiere un rango de luminosidad específico; es decir, el tipo de luz que se necesita para un centro comercial no es el mismo que el que se requiere para alumbrar el interior de una vivienda, cualquier cuerpo que se encuentre alumbrado en exceso es considerado una fuente de contaminación lumínica.

### **2.2.4 Tipos de emisión de luz artificial que contribuyen con la polución lumínica.**

La polución lumínica se produce por tres tipos diferentes de emisión de luz artificial:

### **Emisión directa.**

Producida por lámparas diseñadas para iluminar espacios representativos en determinadas zonas de una ciudad, son diseñadas con una inclinación por encima de los 20° provocando que el flujo de luz emitido sobre el horizonte, sea desperdiciado, la emisión directa es considerada la más dañina, ejemplos son: luminarias que tienen forma de faroles utilizadas para destacar los espacios más llamativos a la vista del espectador, otro ejemplo son los tableros publicitarios (Hernández, 2010).



Figura 3 Luminarias en forma de faros globos.

Fuente: (Factor LED, 2019)



Figura 4 Tableros publicitarios.

Fuente: (Publisitios, 2022)

### **Emisión por reflexión.**

Es menos nociva que la anterior, con un impacto 10 veces menor a la emisión directa, también conocida como emisión por reflexión, la cual depende de las

características de los cuerpos que se encuentran dentro del área iluminada; la reflexión puede ser dirigida, semi directa, difusa y semi difusa (Hernández, 2010).

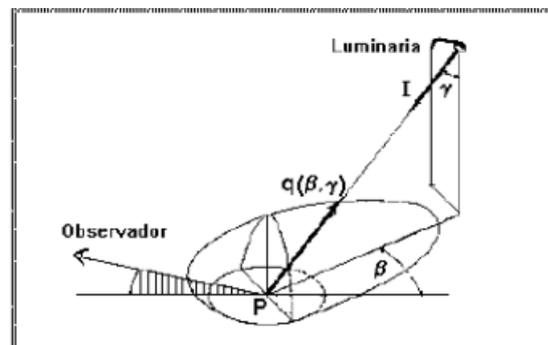


Figura 5 Reflexión de la luz al impactar con una superficie.

Fuente: (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012)

### Emisión por refracción.

Sus efectos son menos perjudiciales que las dos anteriores, y depende de la dimensión y cantidad de las partículas que se encuentran en el aire, se reduce con la distancia entre la luz emitida y el espacio alumbrado (Choco & Yunga, 2014).

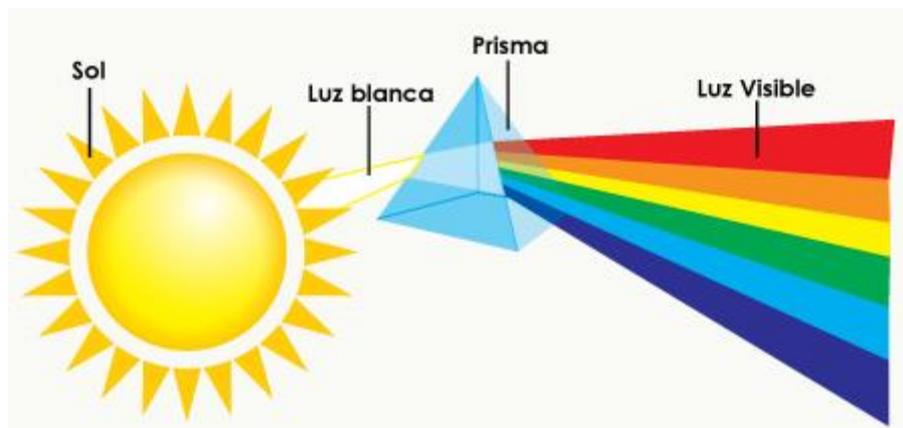


Figura 6 Cambios que experimenta la luz al cambiar de medio de propagación.

Fuente: (SITORI, 2021)

### 2.2.5 Causas y problemas de la contaminación lumínica.

La contaminación lumínica puede provocar afecciones tanto en el ser humano como en los animales, a causa de la presencia de un brillo exacerbado en el cielo nocturno, el cual interviene en el sistema circadiano, los efectos que se producen como consecuencia se pueden clasificar en efectos directos e indirectos (Hernández, 2010).

### **Efectos directos.**

Este tipo de efecto es aquel que repercute únicamente en la vista de los seres vivos y se produce por un uso inadecuado de las luminarias, podemos distinguir las siguientes consecuencias (Choco & Yunga, 2014):

#### *Resplandor luminoso nocturno.*

Es el brillo exacerbado que se manifiesta en la oscuridad que se produce por la luz emitida en dirección al cosmos y la reflexión de la radiación, que es diseminada por los elementos atmosféricos, existen diferentes tipos de brillo como se muestra en la Tabla 3 (Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible, 2008):

Tabla 3. Tipos de brillo.

<b>Brillo natural</b>	Producido por los astros presentes en el cielo.
<b>Brillo artificial</b>	Producido como efecto colateral de la presencia de luminarias que dirigen el flujo luminoso hacia el cielo, en lugar de direccionarse hacia los objetos que necesitan alumbramiento.

Fuente: (Choco & Yunga, 2014)

Este efecto está relacionado con las condiciones de la atmósfera, como la humedad, nublados en el cielo, las partículas de polvo y número de elementos de gas presentes en el ambiente además del espectro de emisión de las fuentes de luz (Choco & Yunga, 2014).

La emisión de luz originada por las luminarias produce como efecto colateral, nubosidad en la vista del ser humano impidiendo la visión del firmamento, perdiéndose las costumbres que se han tenido por varias generaciones las cuales a más de un valor cultural tienen también un motivo emocional (Gortazar, 2007).

#### *Intrusión lumínica.*

Se genera cuando el flujo luminoso, alumbrando un espacio, cuerpo u material que no estaba destinado a ser iluminado dentro del diseño del sistema de alumbrado público, la luz entra por las lumbreras invadiendo las zonas internas de las viviendas, lo cual

provoca modificaciones en su interior afectando también las actividades domésticas (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

#### *Deslumbramiento.*

Se produce por un aumento excesivo de la potencia instalada, faroles con un apantallamiento incorrecto, por el cambio brusco de espacios oscuros a espacios muy iluminados, por protectores instalados en las vías que se encuentran mal dirigidos provocando una mala visibilidad del área para el chofer (Hernández, 2010).

#### **Efectos indirectos.**

Los efectos indirectos provienen de los efectos directos y repercuten en diferentes situaciones en la existencia humana, son de tipo ambiental, económico, social y socio culturales (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012).

#### *Exceso de consumo energético*

Existen en la actualidad estudios que demuestran que el 15% del uso de energía es dirigido para los medios de luminiscencia y de este valor del 0.5% al 7% se dirige para la iluminación nocturna, el desperdicio de energía es una realidad en la actualidad y esto es consecuencia de las potencias excesivas utilizadas en las luminarias, no se necesita niveles de luminosidad superiores para que el alumbrado sea eficiente, lo que es adecuado es que los diseños sean mejor elaborados y por lo tanto más eficientes de tal manera que permitan una adecuada distribución del haz luminoso (Choco & Yunga, 2014).

#### *Efectos ambientales.*

El flujo luminoso afecta no solo la visión en los seres humanos y animales si no que influye en las glándulas de secreción interna, la función que desempeña tiene el mismo valor de significancia que los ritmos circadianos, los tiempos de sueño y vigilia así como el ciclo reproductivo de las especies, los cambios que ocasiona la emisión de luz en las especies producto de las luminarias, puede ocasionar perturbación en

el comportamiento normal de las funciones esenciales para la vida de la especie humana y animal (Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible, 2008).

En la Tabla 4 se muestra los efectos ambientales en los seres humanos, animales, plantas, flora y fauna:

Tabla 4. Efectos ambientales.

<b>Efectos ambientales</b>		
<b>En los seres humanos</b>	<b>En animales</b>	<b>En plantas, flora y fauna</b>
	Altera el equilibrio entre depredadores y presas.	Disminución de insectos que desempeñan un papel fundamental en la polinización de muchas plantas.
Cansancio visual.	Deslumbramiento y desorientación en las aves.	
Ansiedad.	Bloqueo de migración de ciertas especies.	Adelantamiento, retardo o abstención de la floración.
Estrés.	Altera los ciclos de ascenso y descenso del plancton marino que influye en la alimentación de las especies marinas.	Alteraciones en la fotosíntesis, debido a que es un proceso que depende de la luz, provocando envejecimiento prematuro de algunas especies.
Depresión.	Concentración de insectos voladores alrededor de las luminarias.	

Fuente: (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012); (Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible, 2008)

#### *Efectos sociales.*

Dentro de los efectos sociales se encuentran todos aquellos que implican un peligro para la tranquilidad y vitalidad de las personas (Choco & Yunga, 2014).

En la Tabla 5 se observa los efectos sociales en la salud de las personas, en la glándula pineal y sobre la seguridad vial y ciudadana:

Tabla 5. Efectos sociales.

<b>Efectos sociales</b>		
<b>En la salud de las personas</b>	<b>En la glándula pineal: conexiones con los ojos y el reloj circadiano</b>	<b>Sobre la seguridad vial y ciudadana</b>
<p>Cáncer en personas que se encuentran en espacios en los que existe un alumbrado que está fuera de los rangos establecidos, por un lapso de tiempo continuo.</p> <p>Afectación al ciclo circadiano disminuyendo la dotación de la hormona del sueño.</p>	<p>La glándula pineal es un componente fundamental del reloj biológico en todas las especies de vertebrados, cuando se detecta luminosidad por los ojos se regula el reloj biológico y la síntesis de melatonina, los cambios a consecuencia de la iluminación excesiva provoca también cambios en la relación noche-día y por lo tanto cambios en las concentraciones de melatonina.</p>	<p>Pérdida parcial o total de la vista provocada por un diseño erróneo de un farol cuya luminosidad no es la adecuada en determinada localidad u actividad.</p> <p>Incremento de los accidentes de tráfico por excesos de iluminación y por efecto del deslumbramiento el cual disminuye la seguridad vial al disminuir la visión del conductor y transeúnte.</p>

Fuente: (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012)

### **2.2.6 Como impedir y minimizar las consecuencias negativas de la contaminación lumínica.**

Ya conocidas las causas y consecuencias de la contaminación lumínica existen una serie de principios explicados técnicamente que permiten en muchos de los casos eliminar o disminuir la contaminación lumínica, a pesar de que existen factores no controlables como la composición del ambiente y las superficies reflectantes; si bien es cierto, no es posible eliminar por completo los consecuencias que pueden acarrear la presencia de esta, pero si existe la posibilidad de minimizar y contrarrestar sus efectos adversos (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012).

#### **Dirección y distribución de la luz.**

Según (Ponce, 2014) , existe una investigación científica publicada por *Illuminating Engineering Society*, en la cual se describe la clasificación de los ángulos de emisión de las luminarias, este estudio se puede emplear para la adecuación del alumbrado público en los países, regiones y ciudades del mundo.

- De acuerdo al ángulo de emisión, el recorrido de difusión puede llegar a ser desde pocos metros o incluso llegar a varios kilómetros.
- La irradiación de luz nocturna se incrementa con la cantidad total de luminosidad que se emite al hemisferio superior.

Con esta información los ángulos de emisión del flujo luminoso, se pueden clasificar de la siguiente manera como se observa en la Tabla 6, Figura 7

Tabla 6. Clasificación de los ángulos.

<b>Ángulos de 0-70°</b>	Ángulo ideal para la distribución de la luz
<b>Ángulos de 70-130°</b>	Ángulos que causan intrusión lumínica y contribuyen al resplandor luminoso a escala global
<b>Ángulos de 130-180°</b>	Contribuyen al resplandor luminoso a escala local

Fuente: (Choco & Yunga, 2014)

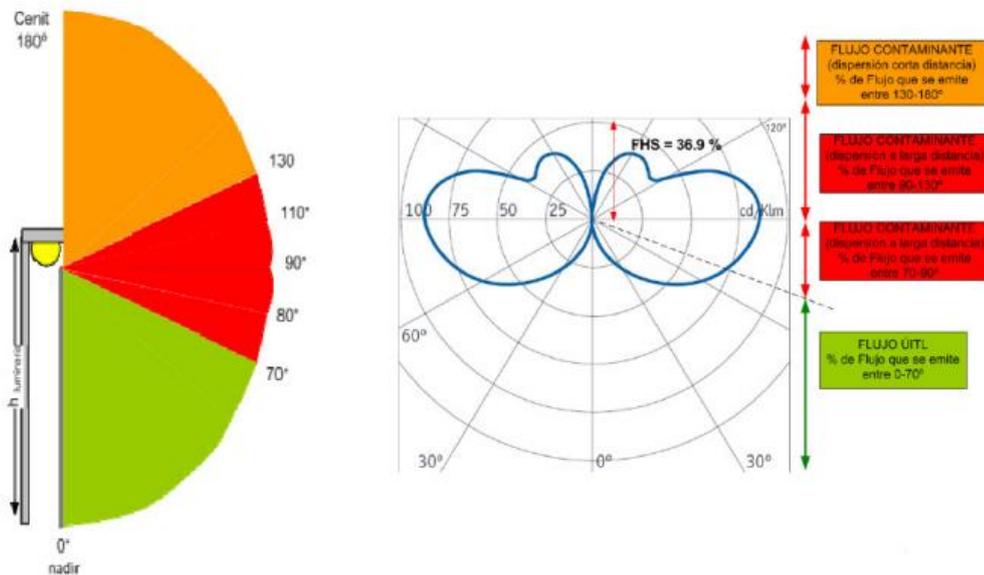


Figura 7 Clasificación de los ángulos de emisión de las luminarias en radiación al efecto contaminante.

Fuente: (Ponce, 2014)

### Espectros no contaminantes.

Según el (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012), se puede definir cuáles son los bordes del espectro que contribuirán a la contaminación lumínica, para esto

es importante tener en cuenta los siguientes lineamientos para poder seleccionar las luminarias más eficaces.

- Las luces de las luminarias no deben exponer flujos de luz alrededor de los extremos del espectro porque no pueden ser vistas por las personas.
- Los faroles que emiten longitudes de frecuencia corta aportan en mayor proporción a la luminiscencia.
- Mientras más grande sea el espectro de emisión que emite una luminaria más dificulta la visión de los científicos, investigadores y aficionados que se dedican al estudio y observación de los astros.
- Las radiaciones desde 460-470 nm en el entorno, son aquellas que tienen el control de los ritmos circadianos de las especies, el flujo de luz emitida en periodos de la noche produce daños a la biodiversidad y molestias en el ser humano.

#### **Niveles de iluminación óptimos.**

Para controlar la contaminación lumínica es prudente no alumbrar de forma excedida, debido a que, al cumplir con los límites apropiados para los sectores que deben estar iluminados se consigue apartar espacios que no tienen sombras o espacios desmedidamente iluminados (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012).

Según (Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia, 2012), estos niveles de iluminación los establece la Comisión Internacional de Alumbrado (CIE) o la Asociación de Ingenieros en Iluminación de Norte América, sobrepasar estos valores mínimos establecidos puede producir:

- Un enorme gasto energético.
- Contribuir al resplandor luminoso.
- Efectos de deslumbramiento.

- Reducción del espacio público porque su nivel de iluminación no va en concordancia con el uso del mismo.

### 2.3. Cálculo de la contaminación lumínica

Según la (CIE, 1997) que es la comisión internacional de iluminación indica que para lograr calcular la contaminación que produce una luminaria, debe tenerse en cuenta la siguiente ecuación:

$$\varphi \text{ total} = ULOR + UWLR + Kr1 + Kr2 \quad (1)$$

En donde:

Tabla 7. Parámetros para calcular la contaminación lumínica.

Cálculo de la contaminación lumínica	
<i>Kr1.</i>	Reflexión de la vía
<i>Kr2</i>	Reflexión de los alrededores.
<i>ULOR</i>	Upward Light Output Ratio, es el porcentaje del flujo luminoso de la bombilla de una luminaria enviado sobre la horizontal.
<i>UWLR</i>	Upward Waster Light Ratio, es el porcentaje del flujo luminoso de una luminaria enviado sobre la horizontal.

Fuente: (CIE, 1997)



Figura 8 Flujo de luz producido por una luminaria.

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Estos conceptos fueron también presentados en la Sección 0, los cuales indican que la geometría de instalación de las luminarias es el primer paso para evitar contaminación lumínica, el cual debe ser estudiado desde el diseño del sistema de Alumbrado Público.

#### 2.4. Sistemas de alumbrado público

Los sistemas de alumbrado público forman parte de la red de distribución eléctrica, los cuales cumplen con la misión de brindar seguridad a todos los usuarios del espacio público como también darles comodidad para desarrollar sus actividades durante periodos nocturnos. Los usuarios del espacio público son todo el tránsito vehicular, peatonal o de movilidad alternativa que tiene una ciudad, a quienes se les debe garantizar un espacio público iluminado, con una excelente estética ornamental la cual es un símbolo y un motor para el desarrollo de las ciudades.

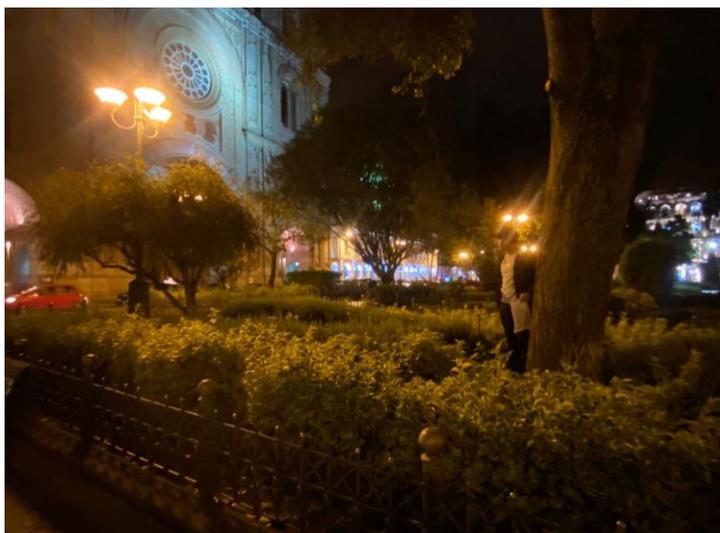


Figura 9 Alumbrado público en el parque central Abdón Calderón.

Fuente: Autor

#### **2.4.1 Clasificación de los sistemas de alumbrado público.**

Los sistemas de alumbrado público se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Alumbrado público general: Por sus siglas también conocido como APG. Este sistema de alumbrado público está compuesto por lámparas, pilares, dispositivos de control, que proporcionan luminosidad para vías y zonas públicas con la finalidad de suministrar un ambiente seguro y cómodo para la ciudadanía. (ARCONEL, 2018).
- Alumbrado público intervenido: Este sistema difiere del APG tradicional a que los Gobiernos Autónomos Descentralizados u otras organizaciones gubernamentales competentes regulan y controlan los requerimientos y necesidades de estos sistemas, ajustando los niveles de iluminación e infraestructura del APG establecidos en las normas (ARCONEL, 2018).
- Alumbrado público ornamental: Este sistema es la base de nuestro estudio ya que es el encargado de iluminar espacios públicos como parques, canchas deportivas, iglesias, monumentos, piletas diferenciándose del APG tradicional porque su objetivo no solo se trata de iluminar sino también de decorar cumpliendo criterios estéticos establecidos por los Gobiernos Autónomos Descentralizados, Ministerio de Transporte y Obras Públicas u organismo estatal correspondiente (ARCONEL, 2018).

## 2.4.2 Tipos de distribución de alumbrado público.

Existen diferentes disposiciones de los puntos de luz que pueden ser utilizados en diseño de un sistema de alumbrado público. En el caso del Ecuador, “REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 ALUMBRADO PÚBLICO” (2013) presenta las siguientes distribuciones:

### Unilateral.

En esta disposición los faroles se colocan a un solo lado del camino. Es comúnmente utilizada en zonas rurales o de tránsito peatonal reducido, ya que su inversión es económica en comparación al resto de distribuciones. En la Figura 10 se puede ver una representación gráfica de este tipo de disposición.

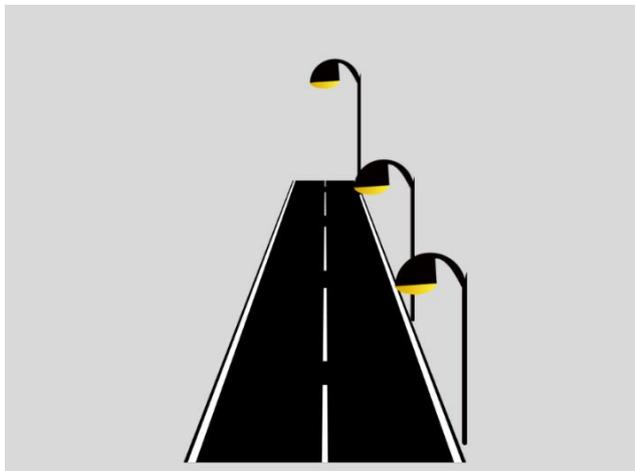


Figura 10 Alumbrado público con distribución unilateral.

Fuente: Autor

### Central doble.

Esta disposición se utiliza en avenidas en donde sus carriles de circulación de ida y de venida se hallan apartados por un espacio de máximo 1.5 m de ancho. Se utiliza un mismo poste para economizar recursos, ya que cada poste sostendría dos luminarias, siendo una disposición unilateral para cada vía.

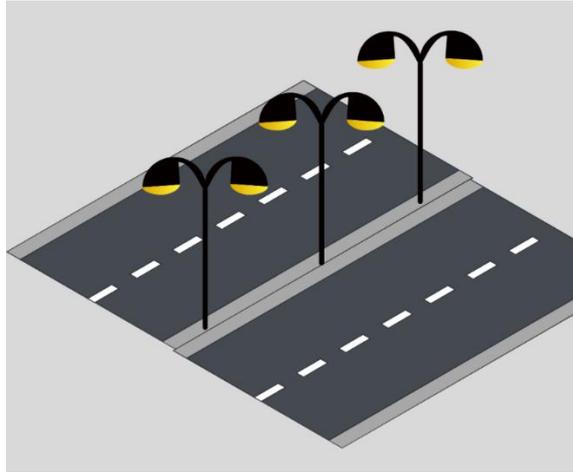


Figura 11 Alumbrado público con distribución central doble.

Fuente: Autor

### **Bilateral alternada.**

En este caso, la disposición de luminarias es de dos filas, una a cada lado de la vía y ubicadas alternadamente en cada lado de la vía. Esta disposición se usa cuando la amplitud del camino ( $w$ ) es mayor a la elevación de montaje del farol ( $hm$ ) dentro del rango  $1.0 < (W/hm) < 1.5$ . En la Figura 12 se puede ver una representación gráfica de este tipo de disposición.

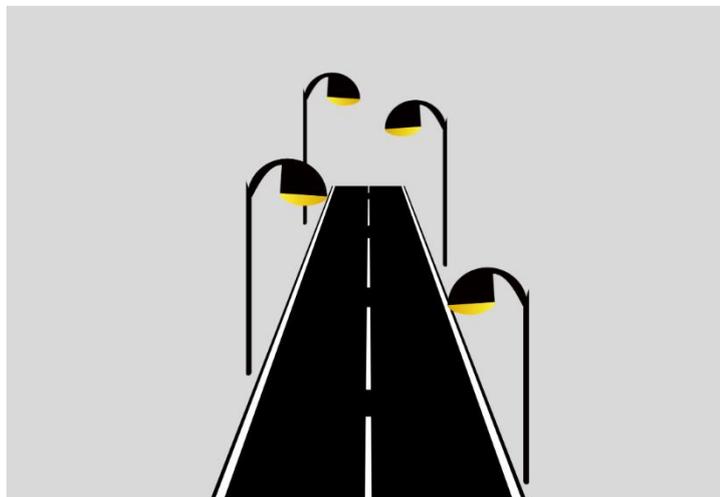


Figura 12 Alumbrado público con distribución bilateral alternada.

Fuente: Autor

### **Bilateral opuesta sin parterre.**

En este caso, la disposición de luminarias es de dos filas, ubicadas exactamente una al opuesto de la otra. Esta disposición se usa cuando la amplitud del camino es superior a la elevación del montaje del farol dentro del rango  $1.25 < (W/hm) < 1.75$ .

En la Figura 13 se puede ver una representación gráfica de este tipo de disposición.

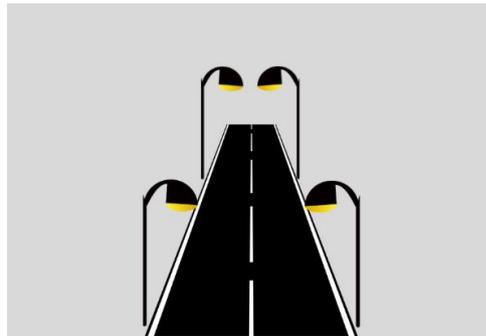


Figura 13 Alumbrado público con distribución bilateral opuesta sin parterre.

Fuente: Autor

### **Bilateral opuesta con parterre.**

En este caso, la disposición de luminarias es de dos filas, una a cada lado de la vía y ubicadas exactamente una al opuesto de la otra. Sin embargo, en el parterre se coloca una luminaria doble como se puede ver en la Figura 14.

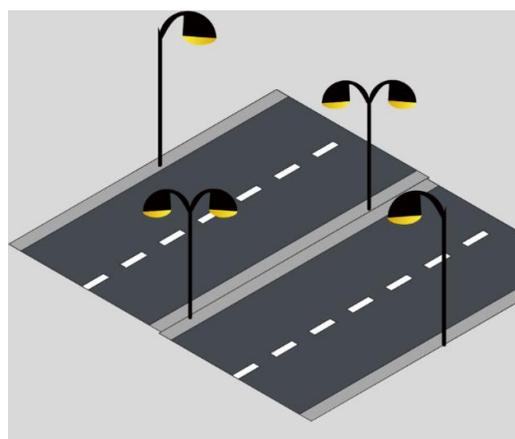


Figura 14 Alumbrado público con distribución bilateral opuesta con parterre.

Fuente: Autor

### 2.4.3 Luminarias utilizadas en alumbrado público.

El reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO” define a las luminarias como: “Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más lámparas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las lámparas, pero no las lámparas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación” (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la Calidad, 2013).

Para poder entender los conceptos que vienen a continuación se explicará los sistemas de coordenadas que tienen los sistemas de iluminación. Para lo cual se expondrá el más utilizado, que es el definido por la Comisión Internacional de Iluminación o CIE denominada así por su idioma francés Commission Internationale De L’Eclairage, el cual hace la siguiente precisión.

Este sistema denominado coordenadas esféricas del tipo  $(C, \gamma CIE)$ , el ángulo  $C$  inicia en el sentido longitudinal de la vía (ángulo  $C = 0^\circ$ ). Si se lo ve desde planta y desde arriba, podemos decir que el ángulo inicia desde la derecha y avanza en sentido anti horario. Estos ángulos distinguen un plano, por lo que ya no se hará referencia al ángulo  $C$  sino al Plano  $C$  (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la Calidad, 2013).

En cada plano  $C$  se puede distinguir como ángulo vertical a gamma ( $\gamma$ ). Este ángulo comienza en  $0^\circ$  el cual se halla ubicado en el Nadir que es la vertical en dirección hacia abajo ( $\gamma=0^\circ$ ) y avanzan en forma ascendente hasta la horizontal ( $\gamma = 90^\circ$ ). El opuesto al Nadir es la dirección vertical hacia arriba y se denomina Cenit ( $\gamma = 180^\circ$ ) (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la Calidad, 2013).

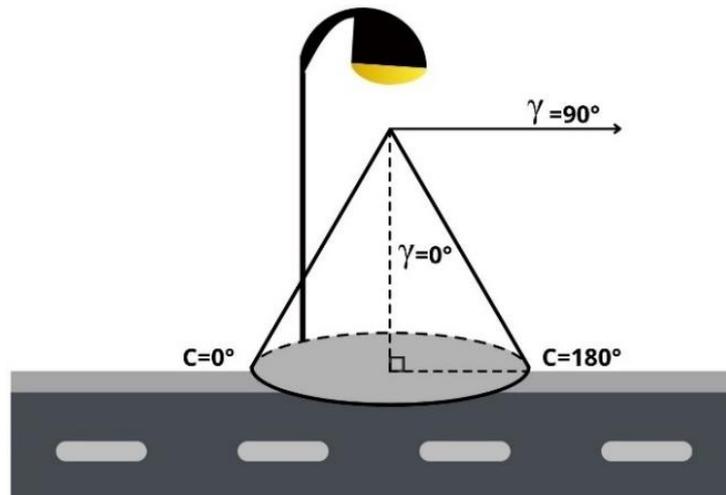


Figura 15 Proyección central del sistema de coordenadas CIE.

Fuente: Autor

Siguiendo este esquema también podemos decir que la porción simétrica de una luminaria para alumbrado público cubre los ángulos desde  $C=0^\circ$  hasta  $C=180^\circ$ .

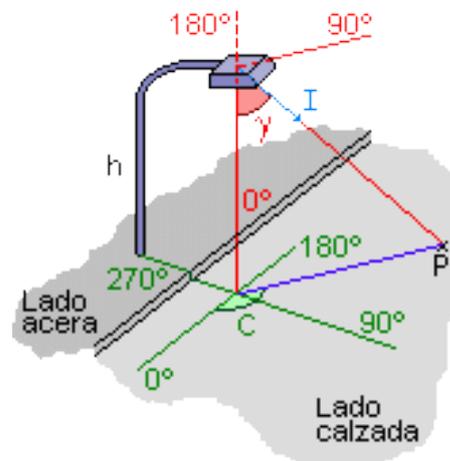


Figura 16 Proyección isométrica del sistema de coordenadas CIE.

Fuente: (García-Fernández, 2002)

### **Clasificación de luminarias utilizadas en alumbrado público.**

En la antigüedad, la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) estableció la clasificación de luminarias para el alumbrado público de la siguiente manera:

Tabla 8. Clasificación antigua de luminarias en alumbrado público.

	Máximo valor permitido de la intensidad emitida para un ángulo de elevación		Máximo valor permitido de la intensidad emitida para un ángulo de elevación
	80°	90°	
<b>Cut off de haz recortado</b>	30 cd /1000 lm	≤ 10 cd /1000 lm	≤ 65 °
<b>Semi cut off o haz semi recortado</b>	≤ 100 cd /1000 lm	≤ 50 cd /1000 lm	≤ 75 °
<b>Non cut off o de haz no recortado</b>	> 100 cd /1000 lm	> 50 cd /1000 lm	≤ 90°

Fuente: (Garcia-Fernandez, 2002)

Ahora, las luminarias se clasifican en base a parámetros que indican el recorrido de alumbrado de una luminaria en las orientaciones longitudinal y transversal también indican en cuanta proporción el deslumbramiento afecta a los ciudadanos. Estos parámetros son:

*Alcance.*

Se encuentra definida por la variable  $\gamma_{MAX}$ . Este ángulo es la dirección en que la luminaria ilumina la calzada en dirección longitudinal.

Se calcula este ángulo midiendo entre el valor medio del ángulo que corresponde al 90% de  $I_{MAX}$  y el ángulo que corresponden a  $I_{MAX}$ , como se puede ver en Figura 17 y Tabla 9.

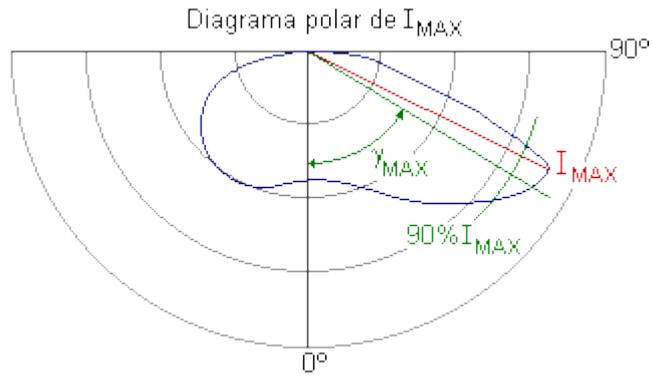


Figura 17 Alcance de una luminaria.

Fuente: (Garcia-Fernandez, 2002)

En función del ángulo  $\gamma_{MAX}$ , las luminarias se clasifican en luminarias de alcance corto, medio o largo.

Tabla 9. Alcance con respecto al ángulo  $\gamma$ .

<b>Alcance corto</b>	$\gamma_{MAX} < 60^\circ$
<b>Alcance medio</b>	$70^\circ > \gamma_{MAX} > 60^\circ$
<b>Alcance largo</b>	$\gamma_{MAX} > 70^\circ$

Fuente: (Garcia-Fernandez, 2002)

Con este criterio se establece la distancia correcta que debe haber entre postes y luminarias. Con los alcances largos se obtiene mayor separación y con los cortos se disminuye la distancia (Montserrat, 2012).

### *Dispersión.*

También conocida como apertura es la distancia del ángulo  $\gamma_{90}$  que permite la iluminación de la luminaria con orientación transversal al adoquinado (Garcia-Fernandez, 2002; Montserrat, 2012). Un ejemplo grafico se puede ver en Figura 18.

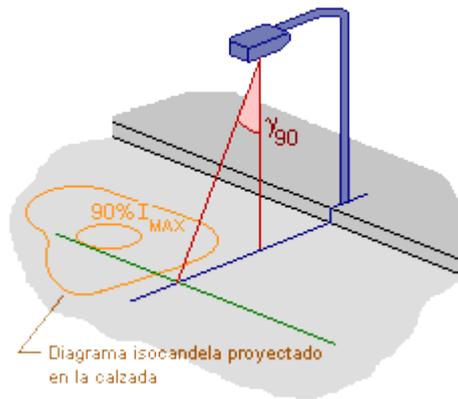


Figura 18 Dispersión de una luminaria.

Fuente: (Garcia-Fernandez, 2002)

De acuerdo con el grado de apertura las luminarias se clasifican en:

Tabla 10. Dispersión de la luminaria.

<b>Dispersión estrecha</b>	$\gamma_{90} < 45^\circ$
<b>Dispersión media</b>	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$
<b>Dispersión ancha</b>	$\gamma_{90} > 55^\circ$

Fuente: (Garcia-Fernandez, 2002)

Con este criterio se determina la elevación, el poste y la fuerza de radiación de la fuente de luz (Montserrat, 2012).

### *Control.*

Es la capacidad que tiene un alumbrado para controlar el deslumbramiento que produce. Según la opinión de (Garcia-Fernandez, 2002) se define mediante el SLI (índice específico de la luminaria) para lo cual se utiliza la siguiente fórmula que se describe a continuación.

$$SLI = 12.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 \log \left( \frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{0.5} - 0.08 \log \left( \frac{I_{80}}{I_{88}} \right) + 1.29 \log F + c \quad (2)$$

En donde:

Tabla 11. Índice específico de una luminaria.

---

$I_{80}$	Intensidad luminosa emitida por la luminaria con un ángulo de elevación $\gamma = 80$ en el plano $C = 0$ .
	Intensidad luminosa en el caso de $\gamma = 88$ .
$I_{88}$	
F	Superficie aparente de la luminaria vista bajo un ángulo de $76^\circ$
C	Factor de corrección del color que tenga la lámpara

---

Fuente: (Garcia-Fernandez, 2002)

La Tabla 12 muestra la clasificación en función del grado de control.

Tabla 12 Grado de control de la luminaria.

---

Control limitado	$SLI < 2$
Control moderado	$4 > SLI > 2$
Control estricto	$SLI > 4$

---

Fuente: (Garcia-Fernandez, 2002)

#### 2.4.4 Lámparas que contribuyen al impacto generado por contaminación lumínica.

Las lámparas utilizadas para iluminación y especialmente en el alumbrado público deben convertir la energía eléctrica en energía luminosa esta transformación debe encontrarse dentro de la categoría que es considerada perceptible para la vista del ser humano, es decir, deben estar diseñadas para radiar en el rango de 400 – 700 nanómetros, lo que se intenta es que el valor oscile al borde de los 555 nanómetros (Sacta, 2018).

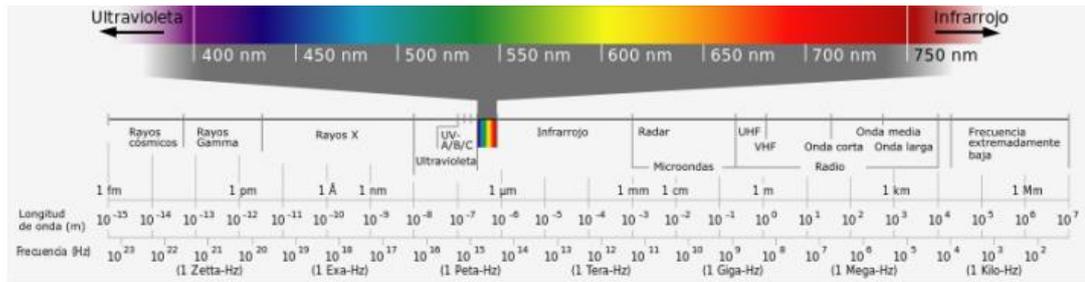


Figura 19 Espectro electromagnético.

Fuente: (Cuartos Astronomía, 2015)

El matiz de luz que reflejan las lámparas se encuentra relacionado directamente con el efecto que podría ocasionar sobre la salud de las personas, así como en el cielo nocturno (Domingo & Callado, 2002).

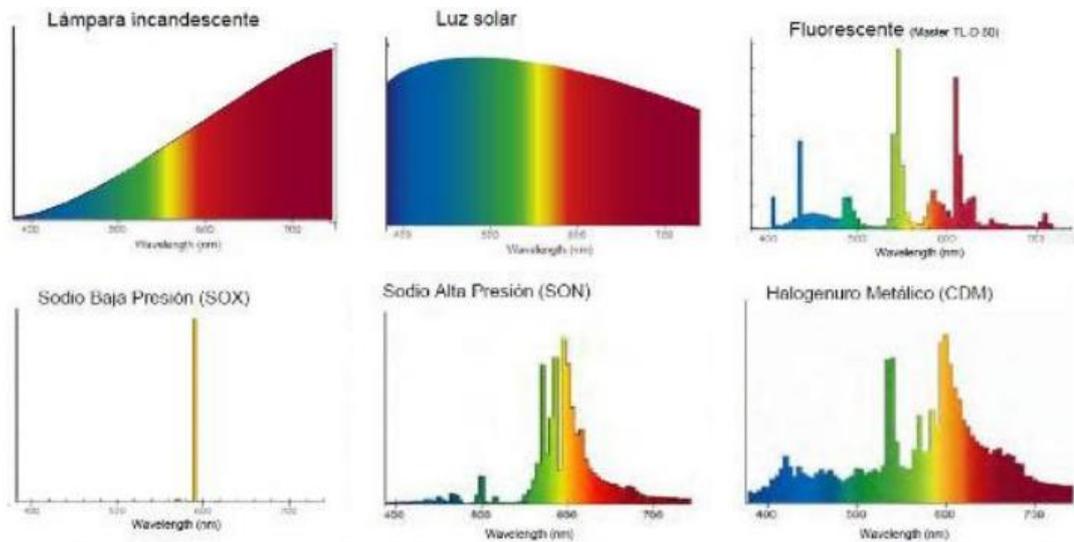


Figura 20 Espectro de lámparas

Fuente: (VP Ingenieros, 2018)

Las lámparas se clasifican según el impacto que puedan ocasionar en (Sacta, 2018):

- Bajamente contaminante.
- Moderadamente contaminante.
- Elevadamente contaminante.

En la Tabla 13 se puede ver un análisis de los niveles de contaminación de los distintos tipos de lámparas.

Tabla 13. Lámparas según su nivel de contaminante.

Nivel Contaminante	Tipo de lámpara	Característica del espectro
Bajo nivel contaminante	Vapor de sodio a Alta presión	Emiten solo dentro del espectro visible. Su luz es amarilla con rendimientos de color entre 20% y 80%. Se recomienda para alumbrado exterior, son las más eficientes del mercado.
	Vapor de sodio a Baja presión	Luz amarilla y monocromática. Se recomienda para alumbrados de seguridad y carreteras que se encuentran alejados de zonas urbanas, son las más eficaces en el comercio.
Medianamente contaminantes	Incandescente	Su espectro es continuo, luz amarilla con rendimiento de color del 100%, es recomendable solo para iluminar detalles ornamentales, son las más ineficientes del mercado.
	Incandescente Halógenas	Son algo más eficaces que las incandescentes normales.
Alto nivel contaminante	Fluorescentes en Tubos y compactas	Luz blanca, rendimientos cromáticos entre el 40% y 90%, es recomendable para alumbrados peatonales y de jardines, tienen una alta eficiencia.
	Vapor de Mercurio de Alta presión	Luz blanca, rendimiento del color del 60%, es recomendable para zonas peatonales y jardines, son las menos eficientes del mercado en lámparas de descarga.
	Halogenuros metálicos	Luz blanca azulada, rendimiento de color entre el 60% y 90%, es recomendable para eventos deportivos y grandes zonas donde se necesite un elevado rendimiento cromático, son muy eficaces.

Fuente: (Hernández, Ahorro de energía y reducción de la contaminación lumínica. (Caso de estudio: Pueblo de San Miguel Topilejo, Mexico, Distrito Federal), 2010)

## 2.5. Parámetros técnicos del sistema de alumbrado público

Los sistemas de alumbrado público deben cumplir con parámetros técnicos que garanticen un buen servicio a la ciudadanía.

### 2.5.1 Magnitudes físicas y unidades de medida.

La energía lumínica al igual que el resto de ondas electromagnéticas como las ondas de radio, los rayos X o los rayos gamma se miden en Joules (J) por definición del Sistema Internacional. Sin embargo, es necesario simplificar estos procesos con nuevas unidades para mejorar su entendimiento. La razón se basa en que no toda la energía lumínica que emite una lámpara llega al ojo, ni tampoco toda la energía que consume la lámpara se convierte en luz.

Para lograr entender de mejor manera se han detallado los siguientes conceptos.

#### **Flujo luminoso.**

El flujo luminoso es la cantidad de luz que irradia un sistema de luminiscencia en todas las orientaciones posibles en un rango de tiempo determinado. Un dato que debemos entender es que esta luminiscencia es muy perceptible ante la vista del ser humano. Su símbolo es  $\Phi$  y su unidad es el lumen (lm) (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaría de la Calidad, 2013).

A la relación entre watts y lúmenes se le llama equivalente luminoso de la energía y equivale a:  $1 \text{ watt} - \text{luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$

#### **Intensidad luminosa.**

La intensidad luminosa es la cantidad de luminosidad emitida por un ángulo en una orientación definida, se mide en candelas (cd) o en lúmenes por estereorradián (lm/sr) (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaría de la Calidad, 2013).

#### **Iluminancia.**

El concepto principal sobre el que radica esta tesis es la iluminancia, la cual no es más que la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un  $lm/m^2$ .

Una manera fácil de entender este concepto es el de utilizar una lámpara ubicada a diferentes distancias. Si iluminas algo muy cercano, podemos ver este objeto fuertemente iluminado por un círculo pequeño y si iluminamos un objeto distante como una pared el círculo es grande y la luminosidad se debilita. Si analizamos esta situación podemos comprender el concepto de iluminancia, ya que es la misma fuente de luz situada a diferentes distancias, pero debido a su posición la radiación lumínica concentra su energía en un área determinada.



Figura 21 Concepto de iluminancia

Fuente: (García-Fernández, 2002)

### **Luminancia.**

La luminancia es un concepto que causa conflicto con respecto a la iluminancia. El reglamento RTE INEN 069 (2013) la define como “relación entre la intensidad luminosa en una dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada”. Su símbolo es  $L$  y su unidad es la  $\text{cd}/\text{m}^2$ . También es posible encontrar otras unidades como el stilb ( $1 \text{ sb} = 1 \text{ cd}/\text{cm}^2$ ) o el nit ( $1 \text{ nt} = 1 \text{ cd}/\text{m}^2$ ).

Un concepto que debemos tener en cuenta es que la vista humana solo percibe luminancias y no iluminancias (García-Fernández, 2002).

## **2.6. Conclusiones y recomendaciones del capítulo**

Saber utilizar y adecuar correctamente el alumbrado público contribuye al desarrollo económico de las ciudades, cerciorando a sus habitantes de permanecer en espacios seguros y confortables, un diseño de sistema de alumbrado público de exteriores adecuado puede disminuir significativamente la contaminación ambiental lumínica, es importante tener en consideración todas las medidas antes mencionadas para evitar los efectos nocivos que el mal funcionamiento de las luminarias puede ocasionar. Como se mencionó en uno de los apartados son las luminarias de vapor

de sodio en baja presión las que forman parte del alumbrado público, los efectos de la contaminación lumínica van desde limitaciones en la vista hasta consecuencias nocivas en la salud que pueden atraer enfermedades como el cáncer, el uso de luminarias bien diseñadas puede no solo reducir la luminosidad excesiva del cielo sino que también es capaz de mejorar el rendimiento de flujo luminoso, disminuyendo la contaminación ambiental al necesitar menos energía.

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN DE ILUMINANCIA**

### **3.1 RTE INEN 069**

El reglamento esencial que rige las instalaciones de alumbrado público en el Ecuador es el Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”. Este documento publicado en el año 2013 (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la Calidad, 2013) especifica distintos conceptos de iluminación, como también la clasificación de los diferentes tipos de iluminación dependiendo los tipos de las vías.

Como esta tesis busca encontrar los niveles de polución lumínica midiendo la iluminancia, a continuación, se presentarán distintas características de las vías y los diferentes parámetros lumínicos que tienen, para finalizar con las metodologías utilizadas para encontrarlos.

### **3.2 Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público (RETILAP)**

La finalidad de el RETILAP es implantar los requerimientos adecuados que los sistemas de iluminación y alumbrado público tienen que cumplir con rigurosidad; de tal manera que se cumpla con los límites de luminosidad adecuados para una correcta visibilidad, seguridad y conservación de los ecosistemas. (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

El Reglamento rige las pautas necesarias que se deben tener en consideración para el diseño de un sistema de iluminación de alumbrado público en el territorio colombiano como también pasa a ser un referente a nivel internacional (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

### **3.3 Parámetros fotométricos**

Además de las magnitudes físicas para entender cómo funciona la energía lumínica, los Sistemas de Alumbrado Público deben cumplir parámetros para garantizar un servicio adecuado.

## Clases de iluminación según las características de las vías.

Dentro de una ciudad existen dos tipos de vías, las cuales son para uso vehicular y para uso peatonal y ciclistas. Los criterios que se consideran para cada una de ellas se basan respecto a su infraestructura, velocidad y uso.

En el caso de las vías vehiculares, las características primordiales son la velocidad de circulación y el número de vehículos. Estas dos características derivan otros aspectos a considerar como son la complicación de la circulación, alrededores visuales, controles del tráfico, tipos de usuarios de las vías y existencia de separadores. La Tabla 14 muestra una clasificación de las mismas.

Tabla 14. Clasificación de vías vehiculares.

Clase de iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación V (Km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
<b>M1</b>	Autopistas y carreteras	Extra Alta	V>80	Muy importante	T>1000
<b>M2</b>	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
<b>M3</b>	Vías principales y ejes viales	Media	30<V<60	Media	250<T<500
<b>M4</b>	Vías primarias o colectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
<b>M5</b>	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

Fuente: (Hernández, Ahorro de energía y reducción de la contaminación lumínica. (Caso de estudio: Pueblo de San Miguel Topilejo, Mexico, Distrito Federal), 2010)

En las vías peatonales y ciclo rutas debe ser primordial que los transeúntes y ciclistas diferencien las características tanto del suelo, los bordes de las aceras, graderíos u cualquier tipo de peculiaridad. Asimismo, tiene que brindar seguridad e impedir daños al circular por estas vías.

La Tabla 15 muestra una clasificación de vías peatonales y ciclistas.

Tabla 15. Clasificación de vías peatonales y ciclistas.

<b>Descripción de la calzada</b>	<b>Clase de iluminación</b>
Vías de elevado prestigio urbano	<b>P1</b>
Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas	<b>P2</b>
Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas	<b>P3</b>
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes.	<b>P4</b>
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente	<b>P5</b>
Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente	<b>P6</b>
Vías en donde únicamente se requiere una guía visual suministrada por luminarias	<b>P7</b>

Fuente: (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaría de la Calidad, 2013)

Como este estudio se basa en la determinación de la polución lumínica producida por la iluminación pública utilizando metodologías para medir la iluminancia, se presentan los valores de luminosidad solicitados para estos sistemas. La

Tabla 16 muestra los siguientes parámetros de iluminancia promedio (lx) para las rutas motorizadas.

Tabla 16. Valores mínimos de iluminancia vías motorizadas.

	Valor promedio (mínimo mantenido) de iluminancia según tipo de superficies de la vía [luxes]			Uniformidad de la Iluminancia
	R1	R2 y R3	R4	$E_{min}/E_{Prom}(\%)$
<b>M3</b>	12	17	15	34%
<b>M4</b>	8	12	10	25%
<b>M5</b>	6	9	8	18%

Fuente: (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaría de la Calidad, 2013)

Los valores R1 a R4 son las características de la superficie los cuales son detallados en la Tabla 17.

Tabla 17. Características de la superficie.

Clase	Características de la superficie
R1	<p>Superficies de asfalto con un mínimo del 15 % de materiales abrillantadores o materiales artificiales claros o al menos un 30 % de anortositas muy brillantes.</p> <p>Superficies que contienen gravas que cubre más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o de a brilladores o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes.</p> <p>Superficies de calzada de hormigón de concreto.</p> <p>Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales.</p> <p>Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contienen el 10% al 15% de a brilladores artificiales.</p>
R2	<p>Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10 mm.</p> <p>Asfalto mástico después de ser tratado. Se conoce también como asfalto mástico en estado nuevo.</p>
R3	<p>Revestimiento en Hormigón bituminoso (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm, con textura rugosa.</p> <p>Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.</p>
R4	<p>Asfalto mástico después de varios meses de uso.</p> <p>Superficies con textura bastante suave o pulimentada.</p>

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

El diseño de iluminación debe tener en consideración las calzadas vehiculares, las ciclo rutas y los andenes adyacentes por tal motivo se presenta la Tabla 18 con los valores requeridos para cada una de estas vías.

Tabla 18. Requisitos mínimos de iluminación para vías con ciclo-rutas y andenes adyacentes.

Tipo de Vía	Relación de alrededores				
	Ciclo-rutas adyacentes		En andenes adyacentes		Alrededor sin andenes
Clase de iluminación	$E_{prom}$ luxes	$U_o = E_{min}/E_{prom}$ ≥ %	$E_{prom}$ luxes	$U_o = E_{min}/E_{prom}$ ≥ %	SR %
M1	20	40	13	33	50
M2	20	40	10	33	50
M3	15	40	9	33	50
M4	10	40	6	33	No requerido
M5	7.5	40	5	33	No requerido

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

En Tabla 19 se muestran los tipos y valores de luminosidad, que deben tener las diferentes vías peatonales.

Tabla 19. Requisitos mínimos de iluminación para vías peatonales.

Clase de Iluminación	Iluminancia Horizontal (luxes)	
	Valor promedio	Valor mínimo
P1	20.0	7,5
P2	10.0	3.0
P3	7.5	1.5
P4	5.0	1.0
P5	3.0	0.6
P6	1.5	0.2
P7	No aplica	No aplica

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Y, por último, se deben evaluar las zonas de conflicto, las cuales son áreas críticas distintas a vías vehiculares. La Tabla 20 muestra su descripción y valores permitidos.

Tabla 20. Fotometría mínima en áreas críticas distintas a vías vehiculares.

<b>Clasificación</b>	<b>Clase de iluminación</b>	<b>Iluminancia promedio (luxes)</b>	<b>Uniformidad general U<sub>0</sub> ≥ %</b>
Canchas múltiples recreativas.	C0	50	40
Plazas y plazoletas	C1	30	33
Pasos peatonales subterráneos.	C1	30	33
Puentes peatonales	C2	20	33
Zonas peatonales bajas y alledaños a puentes peatonales y vehiculares	C2	20	33
Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques	C3	15	33
Ciclo-rutas en parques	C2	20	40
Ciclo-rutas, senderos, paseos, alamedas y demás áreas peatonales adyacentes a rondas de ríos, quebradas, humedales, canales y demás áreas distantes de vías vehiculares iluminadas u otro tipo de áreas iluminadas	C4	10	40

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

### 3.4. Cálculos de iluminancia para alumbrado público

Existen varias metodologías utilizadas para la medición de iluminancia tanto para una sola lámpara como también para sistemas de alumbrado público. Los sistemas de alumbrado público son sistemas complejos en los que intervienen varias fuentes de luz, por lo que su medición puede llegar a ser muy compleja. Existen metodologías que sirven para medir un solo punto, como también las utilizadas para medir vías motorizadas tales como son las mallas de medición para las vías nivel M1 y M2, o el método europeo para las vías M3, M4 y M5 (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

En esta sección profundizaremos la metodología europea de los 9 puntos, la cual fue utilizada para este trabajo.

#### 3.4.1 Medición de iluminancia por el método europeo de los nueve puntos.

Este método consiste en ubicar nueve puntos dentro de un rectángulo dentro de la vía a medir con un largo igual a  $s/2$  y un ancho igual a  $w$ . Siendo  $s$ , la distancia entre dos luminarias, y el ancho transversal de la vía es  $w$ . El rectángulo se divide en cuatro partes, dos longitudinalmente y dos transversalmente, de tal forma que los nuevos puntos a considerar son cada vértice de los nuevos rectángulos formados. La ubicación de estos nueve puntos se puede observar en la Figura 22.

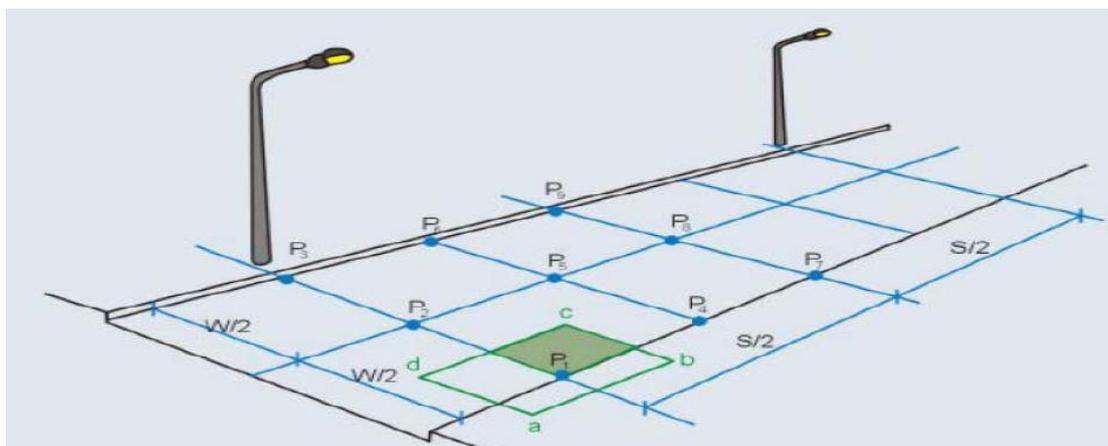


Figura 22 Cálculo de la iluminancia promedio método europeo de los 9 puntos.

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

La gráfica muestra los puntos  $P_1$ ,  $P_2$ , ...  $P_9$ , los cuales son los puntos de medición. Este método consiste en considerar la iluminancia de cada punto. Se considera la iluminancia en cada punto considerado el nivel de contribución de

iluminancia a la porción de vía. Por ejemplo, los puntos extremos P1, P3, P7, P9 tienen una contribución de 0,25; los puntos intermedios P2, P4, P6, P8 tienen una contribución de 0,5 y el punto central P5 de 1.0.

Una manera gráfica de entender esto es guiándonos en Figura 22. Si miramos el punto P1 que tiene una iluminancia E1, la cual corresponde al área a, b, c, d, solo se considera el 25%. La razón de esto es porque esta iluminancia contribuye al rectángulo mayor solo en una cuarta parte dentro del área efectiva la cual es el área sombreada en el gráfico. Esto sucede también con los puntos P3, P7 y P9. P2, P4, P6, P8 tienen una contribución de 0,5 por lo que contribuyen con dos secciones y el punto central P5 de 1.0 por lo que contribuye en su totalidad.

La iluminación promedio utilizando el método de los 9 puntos sobre la vía se calcula con la fórmula siguiente:

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2 * (E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4 * E_5] \quad (3)$$

$E_1, E_2, \dots, E_9$ , corresponde a las iluminancias de cada uno de los puntos  $P_1, \dots, P_9$  respectivamente.

La Figura 23 muestra una guía gráfica la cual permite situar a los nueve puntos, para distintos sistemas de alumbrado, según la distribución de los postes y la forma de la vía.

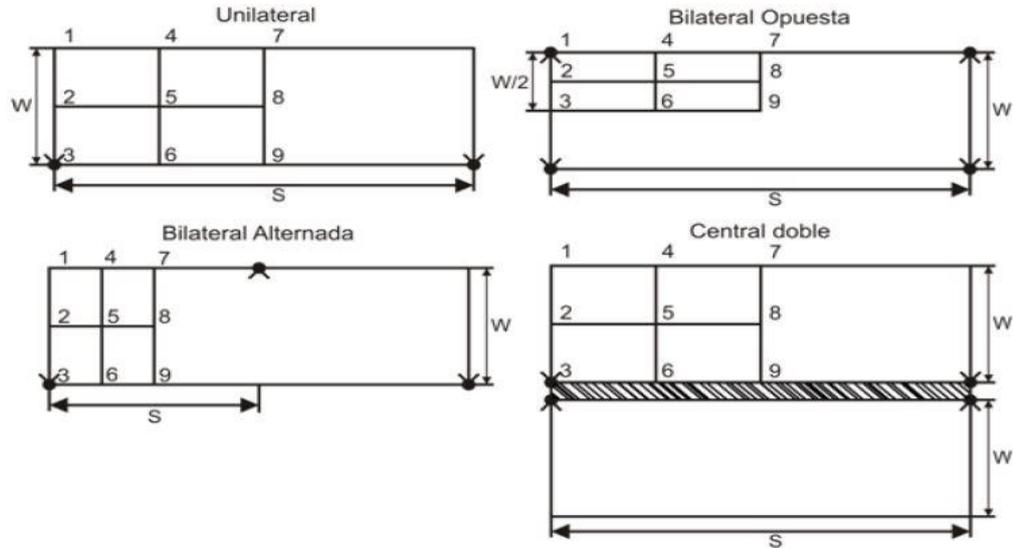


Figura 23 Selección de los 9 puntos según disposición de las luminarias.

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

### 3.4.2 Cálculo de la uniformidad general de iluminancia en alumbrado público.

El valor del coeficiente de uniformidad general de Iluminancia se calcula de acuerdo a los valores encontrados en el método de los 9 puntos (Ministerio de Minas y Energía, 2010), utilizando los dos criterios siguientes:

$$U_o = E_{min}/E_{prom} \quad (4)$$

En donde:

$U_o$  = Corresponde al coeficiente de uniformidad general de Iluminancia.

$E_{min}$  = Corresponde al punto de menor iluminancia entre todos los puntos calculados.

$E_{prom}$  = Corresponde al valor promedio calculado entre todos los n puntos considerados.

### **3.4.3 Consideraciones para las mediciones fotométricas de Alumbrado Público.**

Cuando un sistema de alumbrado público es construido y después de un tiempo de 100 horas uso se debe verificar su eficiencia lumínica mediante un procedimiento de medición de iluminancia. Este procedimiento puede ser usado nuevamente cuando se requiere medir su comportamiento en el futuro para la realización de ajustes que se acomoden a un correcto funcionamiento (Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaría de la Calidad, 2013).

La primera consideración que se requiere es la selección del vano a medir, ya que este procedimiento determina la forma de marcación del vano y los parámetros de calidad a ser evaluados.

Según el Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público. RETILAP. (Ministerio de Minas y Energía, 2010), estas consideraciones son las siguientes:

1. Los sectores en donde se encuentren construidas luminarias deben estar situados en lugares en donde no exista ningún tipo de obstáculo que pueda dificultar la emisión del flujo luminoso.
2. Las superficies de las cubiertas no tienen que tener baches pronunciados, debido a que imposibilitan la visibilidad y producen que las superficies horizontales de los instrumentos de medición sean ineficaces.
3. No realizar mediciones en lugares potencialmente peligrosos por delincuencia común.
4. La calzada debe estar seca.
5. Las fuentes de luz a ser medidas deben estar visibles y encendidas.
6. Los dispositivos de medición tienen que estar adecuadamente calibrados.
7. Se tiene que tener en consideración las medidas de diseño de la construcción de la luminaria como la altura de montaje, posición de la bombilla, ancho de la vía, distancia entre luminarias, etc.

8. A través de observación en campo se debe comprobar que los instrumentos eléctricos y la lámpara son los correctos para su implementación en el farol.
9. Los faroles deben encontrarse funcionando con normalidad.
10. El lente espectral de el farol tiene que estar sin ningún tipo de suciedad.
11. Se tiene que descartar cualquier tipo de luminosidad externa al sistema porque esto puede provocar errores de medición, como, tales como avisos luminosos, luces de vehículos, etc.
12. El equipo técnico de medición no debe provocar ningún tipo de sombra en el lugar en donde se está efectuando la medición.

#### **3.4.4 Procedimiento de la evaluación de la iluminancia.**

El Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público. RETILAP. (Ministerio de Minas y Energía, 2010) indica que, una vez obtenidos los valores de los niveles de luminancia en los 9 puntos, se procede a calcular la iluminancia promedio  $E_{prom}$  con la Ecuación 3 y el coeficiente de uniformidad general  $U_o$  con la Ecuación 4.

Tabla 21. Parámetros de evaluación.

---

<b>Área de evaluación</b>	El área de evaluación de las mediciones será el tramo o vano seleccionado de la vía, teniendo en cuenta lo especificado en esta guía.
<b>Ubicación del sensor</b>	El sensor o fotocelda del fotómetro o luxómetro será colocado a una altura máxima de quince centímetros (0,15 m), en posición horizontal.
<b>Ubicación del punto a medir</b>	El dispositivo con el sensor es colocado por el operario sobre el punto inicial marcado sobre el vano o tramo a medir. La persona encargada de realizar la medición: registrará la lectura obtenida en el luxómetro. Cada punto marcado en el vano será medido de igual forma.
<b>Cuidados en la Medición</b>	Antes de iniciarse la medición la persona encargada, debe calibrar el luxómetro de acuerdo con su manual de funcionamiento y verificar que esté funcionando correctamente. Igualmente debe verificar el estado de la luminaria, la tensión de red, inclinación de la luminaria y el brazo, fijación de la luminaria al brazo, posición de la bombilla y avance de la luminaria sobre el área considerada.  La persona encargada de colocar el dispositivo con el sensor sobre el punto a medir, debe asegurarse de retirarse a una distancia prudencial para no crear sombras sobre el sensor y obstruir la distribución luminosa. La persona encargada de la medición antes de realizar la lectura, debe esperar que ésta se estabilice en el display del luxómetro.

---

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

### 3.4.5 Selección de los medios de medición.

#### Medidores fotométricos de Iluminancia.

Los siguientes requisitos se adoptan de la norma NTC 900 (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2004).

Tabla 22. Requisitos normas NTC 900.

1	Repetitividad de las mediciones en cualquier punto de la escala utilizada.
2	Deberán tener una alta sensibilidad
3	Deberá tener una precisión no menor del $\pm 5,0\%$ .
4	Deberán tener una corrección efectiva del coseno hasta un ángulo de $85^\circ$ .
5	Deberán tener corrección de color según la curva de eficiencia espectral de la CIE $V(\lambda)$ .
6	El coeficiente de sensibilidad con la temperatura deberá ser despreciable dentro del rango normal de temperaturas.
7	Deberá tener una suspensión que permita ajustar automáticamente la horizontalidad.
8	Deberá de ser capaz de medir niveles de Iluminancia horizontal, o ubicarse en otros planos de medición requeridos.
9	El fotómetro deberá ser ubicado tal que el observador no produzca sombras, cubierto de la luz extraña que no serán medidas. (Utilización de un cable de extensión).

Fuente: (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2004)

### 3.4.6 Informe de la medición.

El Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público. RETILAP. (Ministerio de Minas y Energía, 2010) indica que en el informe se deben incluir los siguientes datos como mínimo:

Tabla 23. Datos que debe contener el informe.

1	Localización del sitio de la medición.
2	Fecha y hora de la medición.
3	Descripción detallada del sistema de iluminación en el que se incluye: tipo de luminaria, altura del montaje, interdistancia entre postes, avance, inclinación de la luminaria, disposición y condiciones de los alrededores.
4	Gráfico de la vía en planta y corte con las características de la instalación.
5	Condiciones eléctricas de operación.
6	Condiciones de operación de las luminarias.
7	Condiciones atmosféricas.
8	Tabla de datos medidos en el sitio.
9	Descripción de los instrumentos utilizados.
10	Nombre de los participantes en la medición.

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

El informe utilizado en campo se lo puede ver en el Anexo 1.

## CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

El presente capítulo exhibe la recopilación de datos obtenidos en las diferentes jornadas de medición del proyecto, mismo que pretende verificar si existe o no contaminación lumínica y como afecta en el entorno del parque Calderón de la ciudad de Cuenca – Ecuador, la recopilación de la información se hizo en los diferentes puntos planteados en el análisis, las mediciones que fueron realizadas en diferentes meses para observar los distintos escenarios posibles permitiendo la comparación de los mismos.

La metodología aplicada en este proyecto se describe en el capítulo 3, donde se desarrolla con detalle las técnicas utilizadas para el desarrollo del mismo.

### 4.1 Dispositivos de medición utilizados para el levantamiento de la información

Las mediciones fueron realizadas con ayuda del luxómetro EXTECH HD450, el cual cumple con los requerimientos indicados en la sección 3.4.5. La Figura 19 muestra el instrumento de medición, el cual fue facilitado por el Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) de la Universidad Católica de Cuenca.



Figura 24 Luxómetro EXTECH HD450

Fuente: (EXTECH, s.f)

Este equipo cuenta con las siguientes especificaciones (EXTECH Instruments, 2015):

- Almacena automáticamente hasta 16000 lecturas o almacena/recupera manualmente hasta 99 lecturas.
- Gran pantalla LCD retroiluminada con gráfico de barras de 40 segmentos.
- Correcciones de medición por coseno y color.
- Alta sensibilidad de  $\pm 5\%$ .
- Realiza la adquisición de los datos en dos unidades de medida el Lux (lx) y el Pie candela (fc).

#### 4.2 Evaluación de los vanos de medición

El sitio en donde se determina los puntos para las mediciones es el parque central de la ciudad de Cuenca – Ecuador, el cual es delimitado por las calles Benigno Malo, Mariscal Sucre, Luis Cordero y Simón Bolívar. Se puede ver una visualización del parque en la Figura 25.



Figura 25 Mapa del Parque Calderón en la ciudad de Cuenca - Ecuador

Fuente: (Google Maps, s.f)

Para la selección de los vanos evaluar se utiliza medios electrónicos tales como el Geoportal o los archivos CAD de La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.

(CENTRO SUR, s.f) y la información que brinda Google Maps (Google Maps, s.f), además de las visitas de campo que se realizan.

En la Figura 26 se puede observar la ubicación y disposición de las luminarias que están albergadas dentro del parque.



Figura 26 Ubicación y disposición de luminarias dentro del Parque Calderón de la ciudad de Cuenca.

Fuente: (Google Maps, s.f)

A pesar de tener la ubicación y la disposición de las luminarias por medios electrónicos no se puede seleccionar las zonas a evaluar, porque no se logra identificar de manera correcta que vanos cumplen con las condiciones expuestas en la Sección 3.4.3, por lo que se procede a hacer visitas de campo para entender de mejor manera el Sistema de Alumbrado Público.

En la visita de campo se logra identificar tres sectores que cumplen con vanos que pueden ser medidos mediante la metodología de medición de los nueve puntos. El método de selección trata en seleccionar vanos que cumplan con el requisito de que

existan dos luminarias consecutivas dentro de una zona para poder ser medidos con la metodología de medición mencionada.



Figura 27 Visita de campo al sitio a evaluar.

Fuente: Autor

Estos sectores a analizar pueden ser ubicados en la Figura 28 ya que se pueden identificar por los siguientes colores:

- Sector 1: Los alrededores del parque Abdón Calderón de color azul.
- Sector 2: Los pasillos que comunican al monumento Abdón Calderón de color verde.
- Sector 3: Los alrededores del monumento Abdón Calderón de color rojo.

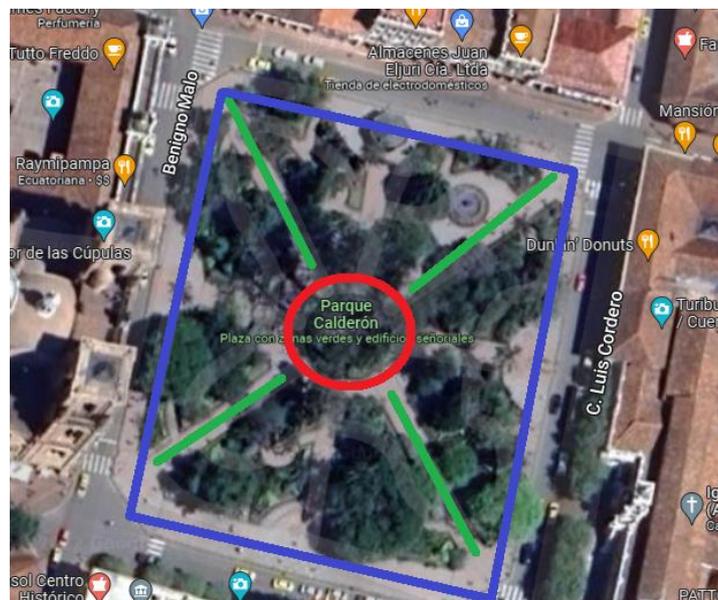


Figura 28 Zonas a evaluar dentro del Parque Calderón de la ciudad de Cuenca.

Fuente: (CENTRO SUR, s.f)

Según (CENTRO SUR, s.f) todas las luminarias dentro del Parque Abdón Calderón son de código LDPS150ACC, es decir, son luminarias cerradas de Sodio de 150 W. Sin embargo, al momento de la verificación de los vanos, se pudo observar que las luminarias en la zona 1 y la zona 2 son faroles con lámparas de sodio de 150 W que emanan luz cálida y alrededor del monumento son luminarias LED de 150 W que emanan luz fría, ambas luminarias se encuentran suspendidas en postes de 4 m de alto.



Figura 29 Luminaria LED 150 W alrededor al monumento del Parque Calderón de la ciudad de Cuenca.

Fuente: Autor



Figura 30 Luminaria tipo farol de Sodio 150 W del Parque Calderón de la ciudad de Cuenca.

Fuente: Autor

### **4.3 Ubicación de los puntos de medición**

Una vez seleccionados las zonas a evaluar se identifica la cantidad de vanos que cumplen con las mediciones dentro de estas zonas, además de la ubicación de los puntos a medir. Para esto se realizó una visita de campo en el área de evaluación para identificar los vanos que pueden ser medidos dentro de las zonas mencionadas.

Los requerimientos para la selección de los vanos en estos sectores se presentaron en las secciones 3.4.1 y 3.4.3, siendo el principal requerimiento para la ubicación de los puntos de medición que en la zona haya dos luminarias consecutivas que estén encendidas y que cumplan con la geometría del lugar.

Para poder constatar los vanos que cumplen se procedió a hacer varias visitas de campo en diferentes fechas y horarios para comprobar el funcionamiento del alumbrado público en el sector, además que se realizaron mediciones para determinar la altura de los postes, separación entre luminarias, separación de la luminaria de la calzada y verificación del sistema de alumbrado público en general como también el comercial.

El parque al estar dividido en tres zonas de intervención, se procedió a crear un plano de cada una de estas zonas, indicando los vanos que cumplen los requisitos para poder implementar la metodología de medición.

La zona 1 tiene 12 lugares de evaluación que cumplen con el requisito de tener dos o más luminarias consecutivas. En la Figura 31 se puede ver los vanos que cumplan con los requisitos en la Zona 1: Alrededores del parque Calderón.

Estas luminarias están soportadas sobre postes a una altura de 4 m. Estos postes no se encuentran separados de manera equidistante a lo largo de todo el parque. Como se puede apreciar en la Figura 32, esta luminaria de color cálido es de tipo farol con protectores que evitan la radiación lumínica superior en un ángulo de 90°, como también inferior en un ángulo de 180°. La iluminación que emanan se encuentra compartida con la iluminación que radian otras fuentes tales como la iluminación comercial del sector e iluminación de alumbrado público exterior al parque.



Figura 31 Vanos que cumplen los requisitos en la zona 1  
Fuente: Autor

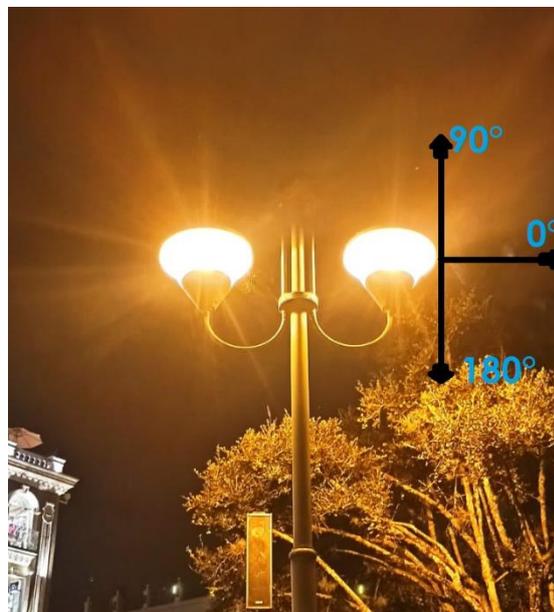


Figura 32 Luminaria tipo farol en zona 1  
Fuente: Autor

La zona 2 tiene 4 lugares de evaluación que cumplen con el requisito de tener dos o más luminarias consecutivas. En la Figura 33 se puede ver los vanos que cumplen

con los requisitos en la Zona 2: Pasillos que comunican al monumento Abdón Calderón.

Estas luminarias al igual que en la zona 1, están sostenidas sobre postes a una altura de 4 m. Los cuatro vanos de evaluación no tienen la misma separación, por lo tanto, el trazo de los 9 puntos va a diferir en cada evaluación. El tipo de luminaria es la misma que en la zona 1 y la iluminación no se encontraba compartida con otras fuentes de radiación artificial.

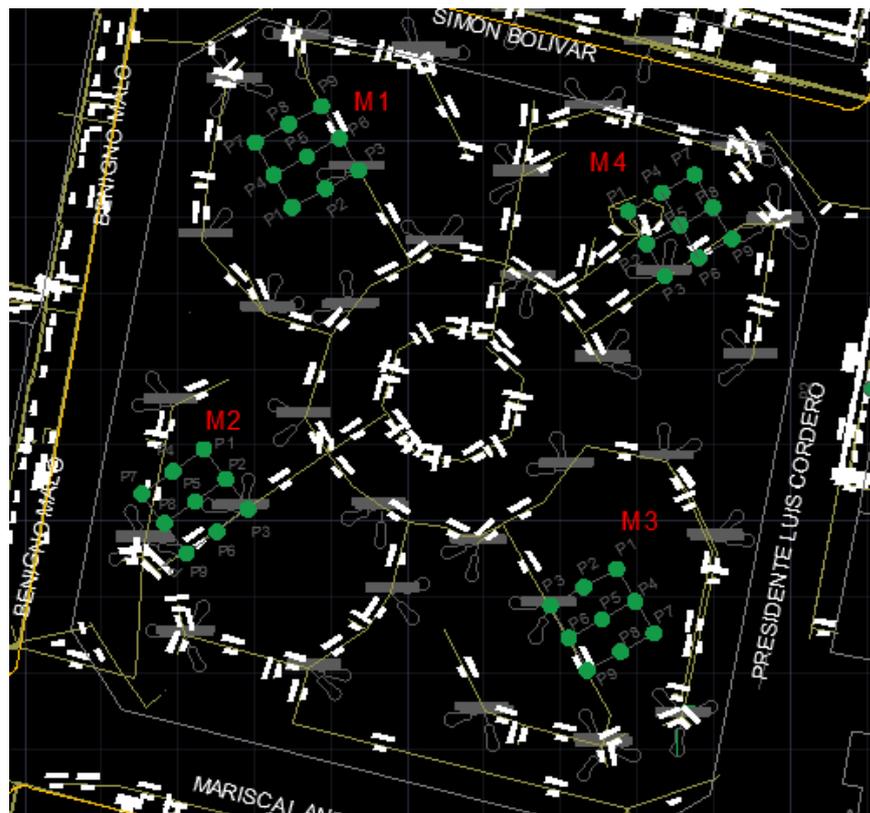


Figura 33 Vanos que cumplen los requisitos en la zona 2

Fuente: Autor

La zona 3 presenta complicaciones al momento de tomar en cuenta los vanos de medición, ya que, a pesar de que existen 8 luminarias consecutivas alrededor del monumento, solo 2 se encuentran en operación constante. Estos datos se comprobaron en varias visitas de campo que se realizaron al lugar en un rango de tiempo comprendido entre diciembre de 2021, hasta julio de 2022. La Figura 34 muestra los puntos que fueron evaluados en la zona 3.

Estas luminarias al igual que en las zonas 1 y 2, están sostenidas sobre postes a una altura de 4 m. Los dos vanos de evaluación no tienen la misma separación, por

lo tanto, el trazo de los 9 puntos va a diferir en cada evaluación. El tipo de luminaria es luz LED de color blanco con una potencia de 150 W, y la iluminación no se encontraba compartida con otras fuentes de radiación artificial.

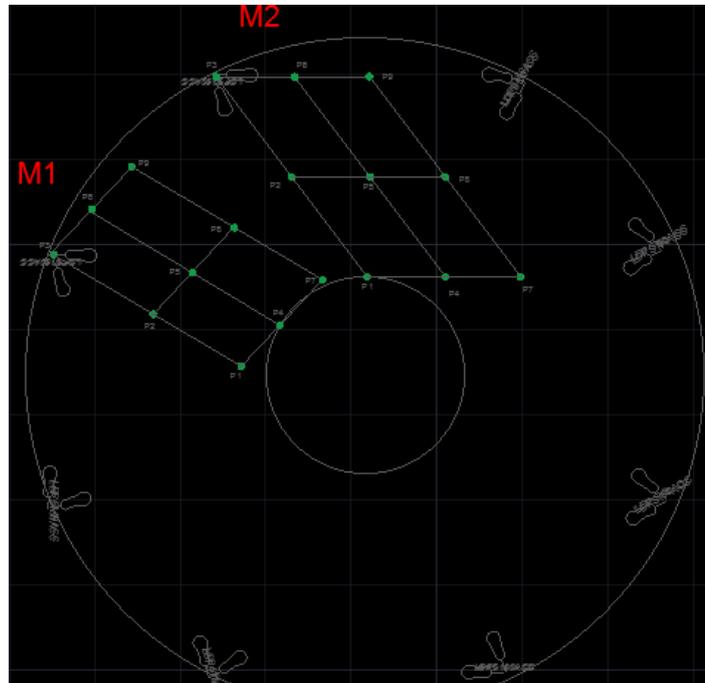


Figura 34 Vanos que cumplen los requisitos en la zona 3

Fuente: Autor

Al haber determinado los vanos a evaluar, se procedió a pintar con tiza blanca los puntos donde se debe realizar las mediciones. Para determinar la ubicación de cada uno de estos puntos, se realiza en cada zona de evaluación las distintas mediciones necesarias para la implementación de la metodología de los nueve puntos, las cuales son la separación entre las dos luminarias, separación entre la luminaria y la calzada, distancia de la calzada, altura de la luminaria. Estos datos fueron registrados en las hojas de levantamiento de información detallados en el Anexo 1.

La Figura 35 muestra el proceso de toma de mediciones de separación entre luminarias y la Figura 36 muestra la marcación con tiza de los puntos a medir.



Figura 35 Medición distancia entre luminarias

Fuente: Autor



Figura 36 Marcado de puntos con tiza

Fuente: Autor

#### 4.4 Evaluación de los vanos

Para la evaluación de los vanos se tomó en consideración el Reglamento que indica el RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2010) que están explicadas en la sección 3.4.3. Estas consideraciones indican que las mediciones no deben estar expuestas a sombras generadas por obstáculos y que deben ser tomadas a una altura de máximo 0.15 m de la altura del piso en un ambiente atmosférico seco que no genera reflexiones desde la calzada.

Para cumplir con estas consideraciones se realizaron las mediciones desde un soporte de altura 0.15 m, como se puede apreciar en la Figura 37.



Figura 37 Toma de mediciones en el sitio

Fuente: Autor

#### 4.5 Consideraciones a tomar en cuenta y problemas de medición

Durante las evaluaciones se dieron varios inconvenientes que se deben tener en cuenta, siendo el principal la geometría del lugar, los obstáculos que interfieren en la toma de mediciones y la delincuencia. Durante las distintas intervenciones que se hicieron hubo inconvenientes con la gente que transita en el sector, al ser el parque central de la ciudad es un lugar de mucha concurrencia por lo que se debe

seleccionar una hora adecuada para que no influya las luces vehiculares ni el tránsito peatonal.

Por esta razón se decidió hacer las mediciones a altas horas de la noche, sin embargo, esto ocasionó que el personal que intervino estuviera a expensas de la delincuencia común por lo que se tuvo que recurrir varias veces al apoyo policial para poder realizar las mediciones con total seguridad. Esto es de vital importancia ya que, en las consideraciones establecidas por el RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2010) que están explicadas en la sección 3.4.3, se indica que la seguridad tiene que ser un punto importante para la toma de mediciones correctas.

En la Figura 38 se puede evidenciar el apoyo policial solicitado a través de los servicios de emergencia 911.

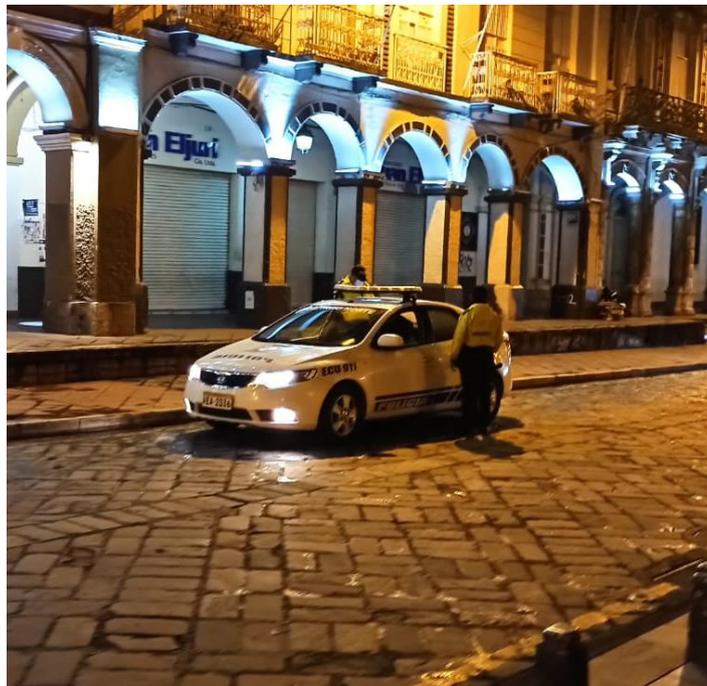


Figura 38 Asistencia policial en el sitio

Fuente: Autor

## **CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos durante la investigación y presenta un análisis de los mismos. Estos resultados son contrastados con las recomendaciones que presenta el RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2010) en su normativa según las condiciones de vía en la que se encuentra la medición.

### **5.1 Resultados obtenidos en zona 1**

Los alrededores del Parque Calderón son una combinación de varios tipos de vía que tienen diferentes características constructivas como también de uso.

En primer lugar, tenemos una vía vehicular que está compuesta de adoquín con altos porcentajes de grava (GAD Cuenca, 2022) lo que la posiciona en un tipo de vía R3 según la Tabla 17. Según la división de las vías vehiculares al ser una vía central colectora con alto nivel de congestionamiento (Moyano Tobar & Berrezueta Barnuevo, 2016) tenemos velocidades en promedio menores al 30 km/h por lo que se consideraría un tipo de vía M4 según la Tabla 14.

Esto significa que tenemos un valor de referencia de iluminancia promedio mínima mantenida equivalente a 12 lx y de uniformidad promedio de calzada equivalente al 25% según la

Tabla 16. Sin embargo, este no es el único análisis que se debe cumplir en esta zona, ya que, como segundo punto de análisis, gran porcentaje de los alrededores del parque son vías peatonales de tráfico moderado en horas de la noche, y siendo adyacentes a un parque son consideradas vías especiales tipo C3 según la Tabla 20, que requieren una iluminación promedio mínima mantenida de 15 lx y una uniformidad de calzada del 33%. La Tabla 24 muestra los valores recomendados por el RETILAP en vías motorizadas y especiales.

Tabla 24. Puntos de referencia de iluminancia para zona 1

<b>Tipo de vía</b>	<b>Iluminancia promedio mínimo mantenida (lx)</b>	<b>Uniformidad de la calzada (%)</b>
M4 (Vías primarias o colectoras)	12	25
C3 (Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques)	15	33

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Los resultados completos de la evaluación de la zona 1, la cual está situada en los alrededores del Parque “Abdón Calderón” de la ciudad de Cuenca se encuentran en el Anexo 2. La ubicación de los puntos evaluados podemos visualizar en la Figura 31 y la Tabla 25 presenta el resumen de los resultados.

Tabla 25. Resumen de resultados de la evaluación de iluminancia para zona 1.

<b>Mediciones</b>	<b>E<sub>min</sub> (lx)</b>	<b>E<sub>prom</sub> (lx)</b>	<b>U<sub>o</sub> (%)</b>	<b>Error relativo E<sub>prom</sub> vías M4 (%)</b>	<b>Error relativo E<sub>prom</sub> vías C3 (%)</b>
M1	3.15	17.71	17.79	47.56	18.05
M2	2.85	18.84	15.13	56.97	25.58
M3	4.20	18.88	22.25	57.29	25.83
M4	2.73	10.17	26.87	15.23	32.18
M5	15.9	33.08	48.27	175.63	120.51
M6	23.5	35.84	65.58	198.64	138.91
M7	24.6	62.32	39.53	419.36	315.49
M8	17.4	59.98	29.09	399.84	299.88
M9	29.9	36.60	81.84	204.97	143.98
M10	26.5	53.89	49.17	349.10	259.28
M11	23.9	64.51	37.13	437.59	330.07
M12	5.77	15.21	37.92	26.74	1.39

Fuente: Autor

Al analizar los resultados podemos comprender en primera instancia que la iluminancia promedio de cada uno de los puntos de evaluación alrededor del Parque central “Abdón Calderón” sobrepasa en exceso las recomendaciones hechas en el RETILAP. Especialmente en los vanos de medición M5, M6, M7, M8, M9, M10 Y M11. Esto se debe a que en estos sectores de evaluación el alumbrado público se encuentra contaminada con iluminación comercial y decorativa de varios locales comerciales como también de edificios de Gobierno.

Los vanos de medición más contaminados son los ubicados en la calle Simón Bolívar, lugar que alberga la Gobernación, bares, restaurantes y comercios que además de contar con iluminación decorativa, también cuenta con luminarias que emiten radiación hacia la calle. La Figura 39 muestra las luminarias que radian hacia el parque.



Figura 39 Sector de alta polución en zona 1

Fuente: Autor

Como segundo análisis podemos determinar que la uniformidad general de calzada tampoco es la adecuada en todas las mediciones y esto se debe a la contaminación generada por las luminarias externas y por el diseño del Sistema de Alumbrado Público en sí.

## 5.2 Resultados obtenidos en zona 2

Los pasillos que comunican los alrededores del parque con el monumento central son de uso exclusivamente peatonal. Por lo tanto, la única referencia que debemos considerar es que es un tipo de vía especial C3 que según la Tabla 20, requieren una iluminación promedio mínima mantenida de 15 lx y una uniformidad de calzada del 33%. La Tabla 26 muestra los valores recomendados por el RETILAP en vías especiales.

Tabla 26. Puntos de referencia de iluminancia para zona 2.

<b>Tipo de vía</b>	<b>Iluminancia promedio mínimo mantenida (lx)</b>	<b>Uniformidad de la calzada (%)</b>
C3 (Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques)	15	33

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Los resultados completos de la evaluación de la zona 2, la cual está situada en los pasillos del Parque “Abdón Calderón” de la ciudad de Cuenca se encuentran en el Anexo 3. La ubicación de los puntos evaluados podemos visualizar en la Figura 33 y la Tabla 27 presenta el resumen de los resultados.

Tabla 27. Resumen de resultados de la evaluación de iluminancia para zona 2.

<b>Mediciones</b>	<b>E<sub>min</sub> (lx)</b>	<b>E<sub>prom</sub> (lx)</b>	<b>U<sub>o</sub> (%)</b>	<b>Error relativo E<sub>prom</sub> vías C3 (%)</b>
M1	13.10	18.72	69.98	24.79
M2	11.00	16.74	65.70	11.63
M3	10.20	15.14	67.38	0.92
M4	11.00	16.46	66.82	9.75

Fuente: Autor

Al analizar los resultados podemos comprobar que la iluminancia promedio dentro de estos pasillos es muy cercana a la recomendada por el RETILAP para este tipo de vías. Un dato muy importante a considerar es que el RETILAP recomienda la iluminancia mínima promedio para este tipo de vías, por lo que podemos considerar que los niveles de iluminancia se encuentran dentro de los rangos correctos.

Sin embargo, la uniformidad de la calzada se encuentra en valores no recomendados. Esto se debe a la geometría que tiene el diseño del Sistema de Alumbrado Público.

### 5.3 Resultados obtenidos en zona 3

El pasillo que rodea el monumento de “Abdón Calderón” es de uso exclusivamente peatonal. Por lo tanto, la única referencia que debemos considerar es que es un tipo de vía especial tipo C3 que según la Tabla 20, requieren una iluminación promedio mínima mantenida de 15 lx y una uniformidad de calzada del 33%. La Tabla 28 muestra los valores recomendados por el RETILAP en vías especiales.

Tabla 28. Puntos de referencia de iluminancia para zona 3.

Tipo de vía	Iluminancia promedio mínimo mantenida (lx)	Uniformidad de la calzada (%)
C3 (Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques)	15	33

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Los resultados completos de la evaluación de la zona 3, la cual está situada en los alrededores del monumento de “Abdón Calderón” de la ciudad de Cuenca se encuentran en el Anexo 4. La ubicación de los puntos evaluados podemos visualizar en la Figura 34 y la Tabla 29 presenta el resumen de los resultados.

Tabla 29. Resumen de resultados de la evaluación de iluminancia para zona 3.

<b>Mediciones</b>	<b>E<sub>min</sub> (lx)</b>	<b>E<sub>prom</sub> (lx)</b>	<b>U<sub>o</sub> (%)</b>	<b>Error relativo E<sub>prom</sub> vías C3 (%)</b>
M1	13.60	46.84	29.04	212.25
M2	0.49	12.00	4.08	20.01

Fuente: Autor

En primer lugar, debemos mencionar que en esta zona el tipo de iluminación es diferente al de las otras zonas, ya que aquí existe luminarias de tecnología LED con luz de color blanca. Al analizar los resultados podemos comprobar que en la primera evaluación la iluminancia promedio no es la recomendada en el RETILAP, sin embargo, la uniformidad de la calzada se puede considerar mejor que en la segunda evaluación. En la segunda evaluación, la iluminancia promedio es la recomendada, pero la uniformidad de calzada no es la adecuada. Como conclusión se puede alegar que el diseño de este sector en términos de Alumbrado Público es completamente deficiente con respecto a las especificaciones de la Norma INEN 069 y el RETILAP.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Después de haber analizado los resultados podemos indicar que el Parque Central "Abdón Calderón" de la ciudad de Cuenca – Ecuador está contaminado lumínicamente. Los resultados muestran que existen vanos que cuentan con valores de iluminancia dentro de los rangos recomendados, sin embargo, existen vanos con un exceso de más del 300% a la iluminancia mínima promedio recomendada y con una uniformidad de calzada fuera de los parámetros. Estos vanos se encuentran ubicados en la zona 1 de evaluación de los alrededores del parque, específicamente en los sitios donde hay actividad comercial a altas horas de la noche como son los vanos ubicados en la calle Simón Bolívar.

A pesar de estos resultados, no se puede decir que el Sistema de Alumbrado Público esté mal diseñado en su totalidad porque los vanos que se encuentran alrededor del parque y alejados de la zona comercial presentan valores dentro de los rangos recomendados, pero su uniformidad de calzada en todos estos puntos no es similar. Esto se debe a que posiblemente las luminarias no estén operando de manera correcta, o que la vegetación esté creando obstáculos o incluso que el diseño del Sistema de Alumbrado Público inicial partió desde un punto de vista estético y no por necesidades ni siguiendo las recomendaciones de los estándares internacionales.

La zona 2 de los pasillos que conectan los alrededores con el monumento central es la zona de evaluación que mejores resultados presenta, ya que todos los vanos evaluados cumplen con las recomendaciones hechas por los estándares internacionales en términos de iluminancia. Pero de igual manera, los porcentajes de uniformidad de calzada son altos en todos los puntos, lo que indica que el diseño del Sistema no cumple con las recomendaciones.

Por otro lado, la zona 3 en donde se evaluó los alrededores del monumento central, al solo tener dos luminarias funcionando de las 8 instaladas, se recomienda que se debe hacer un mantenimiento eléctrico inmediato de este sector. Los puntos oscuros que genera esta falta de mantenimiento da a lugar a varios problemas sociales como es la delincuencia, ya que los malhechores tienen vía libre para hacer de las suyas mientras se ocultan en la oscuridad de la noche.

Este estudio muestra la necesidad de desarrollar nuevos estudios en términos de eficiencia energética, contaminación lumínica y diseños de iluminación. Ya que solo se realizaron mediciones de iluminancia sobre la horizontal, por lo que se recomienda hacer estudios de luminancia y de la cantidad de brillo en el cielo, especialmente en las zonas más contaminadas.

## **CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES**

Como recomendación final podemos indicar que la iluminación LED genera mayor iluminancia sobre la horizontal que en comparación a los faroles de sodio. Por lo que se debería hacer un nuevo diseño que englobe de manera íntegra al parque en todos sus sectores para asegurar una correcta iluminancia y uniformidad sobre la calzada.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARCONEL. (2018). *Regulación y normativa para la prestación del servicio de alumbrado público general*. Ecuador: ARCONEL.
- Babor, J. A. (1978). *Química General Moderna*. la Habana: Científico-Técnica .
- Castillo, L. (14 de Julio de 2016). *EL COMERCIO*. Obtenido de EL COMERCIO: <https://www.elcomercio.com/tendencias/sociedad/cuenca-arboles-patrimonio-proteccion-concurso.html#:~:text=All%C3%AD%2C%20sobresalen%20aliso%2C%20olivo%2C%20capul%C3%AD%2C%20%20C3%A1llamos%2C%20sauce%2C%20array%C3%A1n%2C,%C3%A1rboles%20patrimoniales%20de%20gu>
- CENTRO SUR. (s.f). *Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A*. Obtenido de <https://geoportal2.centrosur.gob.ec/geoportal/apps/webappviewer/index.html?id=72a7304acd7a4df78866e70d8efc7c80>
- Chiluisa, C. (2014). *La Contaminación Lumínica en la zona de la Mariscal Sucre de la ciudad de Quito y su falta de normativa jurídica*. Quito.
- Choco, E., & Yunga, W. (2014). Zonificación para control de la polución lumínica, aplicada a los cantones servidos por la empresa eléctrica regional Centro Sur C.A. (*Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico*). Universidad de Cuenca, Cuenca.
- CIE. (1997). *GUIDELINES FOR MINIMIZING SKY GLOW*. CIE.
- Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible. (2008). *Contaminación Lumínica*. Madrid.
- Cuartos Astronomía. (18 de Agosto de 2015). *Espectro electromagnético*. Obtenido de Cuartos Astronomía: <https://cuartosastronomia.blogspot.com/2015/08/blog-post.html>
- Demou, N. (04 de 04 de 2018). *Pexels*. Obtenido de Puente Golden Gate Bajo El Cielo Nublado: <https://www.pexels.com/es-es/foto/puente-golden-gate-bajo-el-cielo-nublado-986730/>
- Domingo, J., & Callado, F. (2002). *El tratamiento de la contaminación lumínica en un espacio natura: el caso de ecolight*. Valencia.
- EcuRed. (2019). *Cantón\_Cuenca\_(Ecuador)*. Obtenido de Cantón Cuenca (Ecuador): [https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n\\_Cuenca\\_\(Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Cant%C3%B3n_Cuenca_(Ecuador))
- EXTECH Instruments. (Abril de 2015). Luxómetro Digital Registrador para Servicio Pesado con interfase para PC Modelo HD450. *Manual de Usuario*.
- EXTECH. (s.f). *FLIR Systems*. Obtenido de <https://www.extech.com/products/HD450>
- Factor LED. (7 de Octubre de 2019). <https://www.factorled.com/blog/es/normativa-alumbrado-publico-luminarias-farolas-y-soportes-led/>. Obtenido de <https://www.factorled.com/blog/es/normativa-alumbrado-publico-luminarias-farolas-y-soportes-led/>

- GAD Cuenca. (29 de 04 de 2022). *Alcaldía de Cuenca ejecuta mantenimiento de adoquín en el Centro Histórico*. Obtenido de <https://www.cuenca.gob.ec/content/alcaldía-de-cuenca-ejecuta-mantenimiento-de-adoquín-en-el-centro-histórico>
- García-Fernández, J. (2002). *Recursos docents CITCEA coordinats per Oriol Boix*. Obtenido de Boix, Oriol: [https://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/vias\\_p.html](https://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/vias_p.html)
- González, D. (2022). *Diseño Eficiente De Un Sistema de Alumbrado Público y Ornamental Para El Parque Recreacional en la Comunidad Pindo Rumiyacu*. Quito.
- González, E., & Peñafiel, R. (2020). *Análisis de la densidad de potencia eléctrica del Alumbrado Público del casco urbano de la ciudad de Azogues*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Google Maps. (s.f). *Google Corporation*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/place/Parque+Calderón/@-2.8974118,-79.006678,17z/data=!3m1!4m5!3m4!1s0x91cd181170d314bd:0xecfe27b0240b68a718m2!3d-2.8974172!4d-79.0044893?hl=es>
- GoRaymi. (s.f). *Parque Abdón Calderón*. Obtenido de <https://www.goraymi.com/es-ec/azuay/cuenca/parques-plazas/parque-abdon-calderon-af83c043d#:~:text=El%20monumento%2C%20diseñado%20y%20fun,conocido%20como%20Plaza%20de%20Armas>.
- Gortazar, L. (2007). *Conferencia internacion en defensa de la calidad del cielo nocturno y el derecho a observar las estrellas*. Canarias.
- Hernández, J. (2010). *Ahorro de energía y reducción de la contaminación lumínica*. México.
- Hernández, J. (2010). *Ahorro de energía y reducción de la contaminación lumínica. (Caso de estudio: Pueblo de San Miguel Topilejo, Mexico, Distrito Federal). (Tesis para obtener el grado de maestría en ciencias en Ingeniería Ambiental)*. Instituto Politecnico Nacional, Mexico D.F.
- INEC. (28 de Noviembre de 2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia. (2012). *Gestión pública del alumbrado exterior para la minimización de la contaminación luminica*. Bizkhaia: Bizkaiko iraunkortasunerako institutua –Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia.
- Jefatura del Estado. (2007). *Ley 34/2007 de calidad del aire y protección de la atmósfera*. España.
- Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la calidad. (2013). *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”*. Quito: Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la calidad.
- Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la Calidad. (2013). *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”*. Quito: Ministerio de Industrias y Productividad. Subsecretaria de la Calidad.
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP*. Bogota: Ministerio de Minas y Energía.

- Montserrat, C. M. (06 de 2012). *Elaboración del material docente actualizado para curso on-line de iluminación*. Obtenido de Universitat politècnica de catalunya barcelonatech: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fotometria.php#>
- Moreno, C., & Moreno, A. (2016). La contaminación lumínica. Aproximación al problema en el barrio Sants (Barcelona). *Observatorio Medioambiental*.
- Moyano Tobar, C. M., & Berrezueta Barnuevo, P. (2016). *Índices De Tráfico; Volúmenes Vehiculares; Factores De Expansión; Tasa De Crecimiento Vehicular*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Ponce, P. (2014). Estudio de la contaminación luminica y eficiencia energética en alumbrado exterior. (*Máster Oficial en Ingeniería Ambiental y de Procesos Químicos y Biotecnológicos*). Universidad de Cartagena, Cartagena.
- Pozo, J. (2014). Análisis de eficiencia energética del alumbrado público en el sector El Girón en la ciudad de Quito. *MASKANA, I+D+ingeniería*, 1-9.
- Publisitios. (2022). *Pantallas Digitales Publicitarias en Querétaro*. Obtenido de <https://publisitios.com/pantallas-queretaro.php>
- Sacta, J. (2018). Identificación de viviendas afectadas por el alumbrado publico (polución lumínica) en la ciudad de Cuenca. (*Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico*). Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de Universidad de Cuenca, tr.
- SITORI. (2021). *HISTORIA DE LA FÍSICA*. Obtenido de Linea del tiempo sobre la historia de la física.: <https://www.sutori.com/es/historia/historia-de-la-fisica--HnYUsWACz9pqsZWMPruwzYvz>
- Tabuenca, E. (26 de octubre de 2018). *Tipos de contaminación ambiental*. Obtenido de ECO TRENDIES: <https://ecotrendies.com/tipos-de-contaminacion-ambiental.html>
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2004). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 900 (Tercera actualización)*. Bogotá: Instituto colombiano de normas técnicas y Certificación ICONTEC.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2007). *Alumbrado Público exterior. Guía didáctica para el buen uso de la energía*. Colombia: Poligrama.
- Vintimilla, C. (2007). *Análisis de los principales atractivos turísticos de la ciudad de Cuenca para la creación de paquetes turísticos*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- VP Ingenieros. (2018). *Índice de Reproducción Cromática (IRC)*. Obtenido de VP ingenieros: <http://www.vpingenieros.es/irc.html>

# ANEXOS

**Anexo 1: Tabla de medida de los niveles de iluminancia método de los nueve puntos**

MEDIDA DE LOS NIVELES DE ILUMINANCIA - MÉTODO DE LOS NUEVE PUNTOS						
RESPONSABLE				FECHA		HORA INICIO
DIRECCION DEL SITIO DE MEDICIÓN						
TRAMO DE VIA QUE TIENE CONDICIONES UNIFORMES AL SITIO DE MEDIDA						
LUXOMETRO (Marca - Referencia - Nº serie)						
CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA NOCHE						
LUMINARIA (Tipo - referencia - marca)					BOMBILLA (Potencia - Fuente)	
TIPO DE APOYO (Poste - longitud)					AVANCE LUMINARIA SOBRE LA CALZADA - A2 (m)	
ANCHO DE CALZADA - W (m)					ALTURA DE MONTAJE DE LA LUMINARIA - H (m)	
SEPARADOR	SI	NO	Nº SEPARADORES			
DISPOCISIÓN DE LAS LUMINARIAS					TENSIÓN NOMINAL DE LA LUMINARIA	
INTERDISTANCIA ENTRE LUMINARIAS CONSECUTIVAS -S (m)					DISTANCIA DEL POSTE AL BORDE DE LA CALZADA - A1 (m)	
ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA LUMINARIA					TENSIÓN MEDIDA EN LA RED	
¿EL CONJUNTO ÓPTICO DE LAS LUMINARIAS ESTA SUCIO POR LA POLUCIÓN?						
PUNTOS	1	4	7	OBSERVACIONES		
1						
2						
3						

## Anexo 2: Resultados obtenidos en Zona 1

Tabla 30. Evaluación de vano M1 Zona 1.

---

<b>Condiciones atmosféricas</b>	Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>	4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>	Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>	18.50 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>	21.70 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>
1	3.15
2	14.25
3	35.76
4	9.95
5	15.4
6	32.9
7	13.6
8	16.9
9	20.9
<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	3.15 lx
<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	17.70 lx
<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	17.78%

---

Fuente: Autor

Tabla 31. Evaluación de vano M2 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		22.80 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		21.70 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>	
1	2.85	
2	17.5	
3	25.96	
4	32.76	
5	16.9	
6	27.8	
7	14.43	
8	11.5	
9	11.4	
	<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	2.85 lx
	<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	18.83 lx
	<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	15.13%

Fuente: Autor

Tabla 32. Evaluación de vano M3 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		16.26 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		21.70 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>	
1	4.23	
2	11.75	
3	29.46	
4	24.25	
5	20.8	
6	23.05	
7	4.2	
8	18.8	
9	25.2	
	<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	4.23 lx
	<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	18.88 lx
	<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	22.25%

Fuente: Autor

Tabla 33. Evaluación de vano M4 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		25.36 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		12.24 m
<b>Punto</b>		<b>Iluminancia (lx)</b>
1		8.8
2		17.26
3		35.86
4		7.5
5		11.33
6		3
7		4.6
8		4.95
9		2.73
<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>		2.73 lx
<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>		10.17 lx
<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>		26.86%

Fuente: Autor

Tabla 34. Evaluación de vano M5 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		24.20 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		12.24 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>	
1	20.85	
2	22.8	
3	26.05	
4	26	
5	29.25	
6	20.65	
7	100.05	
8	55.2	
9	15.96	
	<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	15.96 lx
	<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	33.08 lx
	<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	48.27%

Fuente: Autor

Tabla 35. Evaluación de vano M6 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		19.50 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		12.24 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>	
<b>1</b>	24.15	
<b>2</b>	39.65	
<b>3</b>	34	
<b>4</b>	42.76	
<b>5</b>	35.4	
<b>6</b>	30	
<b>7</b>	43.5	
<b>8</b>	40.9	
<b>9</b>	23.5	
<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	23.5 lx	
<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	35.08 lx	
<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	65.57%	

Fuente: Autor

Tabla 36. Evaluación de vano M7 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		20.40 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		13.75 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>	
<b>1</b>	73.3	
<b>2</b>	48.45	
<b>3</b>	53.15	
<b>4</b>	127.9	
<b>5</b>	51.46	
<b>6</b>	48.63	
<b>7</b>	99.55	
<b>8</b>	45.35	
<b>9</b>	24.63	
	<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	24.63 lx
	<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	62.03 lx
	<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	39.52%

Fuente: Autor

Tabla 37. Evaluación de vano M8 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		24.35 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		13.75 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>	
1	121.25	
2	58.3	
3	36.9	
4	123.25	
5	53.2	
6	17.45	
7	68.95	
8	48.7	
9	24.4	
	<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	17.45 lx
	<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	59.98 lx
	<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	29.09%

Fuente: Autor

Tabla 38. Evaluación de vano M9 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>	Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>	4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>	Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>	16.20 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>	13.75 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>
1	37.7
2	33.4
3	34.5
4	35.1
5	34.15
6	34
7	63
8	39.4
9	29.95
<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	29.95 lx
<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	36.6 lx
<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	81.83%

Fuente: Autor

Tabla 39. Evaluación de vano M10 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>	Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>	4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>	Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>	23.05 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>	12.70 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>
1	58
2	51.96
3	55.75
4	58.2
5	48
6	53.4
7	94.95
8	53.96
9	26.5
<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	26.5 lx
<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	53.89 lx
<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	49.17%

Fuente: Autor

Tabla 40. Evaluación de vano M11 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		23.60 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		12.70 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>	
1	64.1	
2	47.25	
3	32.35	
4	139	
5	65.2	
6	30.85	
7	92.1	
8	62.33333333	
9	23.95	
	<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	23.95 lx
	<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	64.51 lx
	<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	37.12%

Fuente: Autor

Tabla 41. Evaluación de vano M12 Zona 1.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		21.95 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		12.70 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>	
<b>1</b>	15.43	
<b>2</b>	26.8	
<b>3</b>	29.06	
<b>4</b>	8.75	
<b>5</b>	12.2	
<b>6</b>	24.9	
<b>7</b>	5.76	
<b>8</b>	6.53	
<b>9</b>	10.3	
<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	5.76 lx	
<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	15.2 lx	
<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	37.91%	

Fuente: Autor

### Anexo 3: Resultados obtenidos en Zona 2

Tabla 42. Evaluación de vano M1 Zona 2.

---

<b>Condiciones atmosféricas</b>	Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>	4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>	Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>	16.75 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>	6 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>
1	21.9
2	18
3	21
4	15.7
5	20.9
6	13.1
7	18.6
8	23.6
9	13.6
<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	13.1 lx
<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	18.72 lx
<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	69.98%

---

Fuente: Autor

Tabla 43. Evaluación de vano M2 Zona 2.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		16.20 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		6 m
<b>Punto</b>		<b>Iluminancia (lx)</b>
1		16.3
2		20
3		13.6
4		15.7
5		18
6		13
7		15.6
8		21
9		11
	<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	11 lx
	<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	16.74 lx
	<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	65.69 %

Fuente: Autor

Tabla 44. Evaluación de vano M3 Zona 2.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		17.90 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		6 m
<b>Punto</b>		<b>Iluminancia (lx)</b>
1		18
2		16.9
3		13.6
4		14.6
5		17.2
6		11.7
7		14
8		15.6
9		10.2
	<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	10.2 lx
	<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	15.14 lx
	<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	67.38%

Fuente: Autor

Tabla 45. Evaluación de vano M4 Zona 2.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		16.56 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		6 m
<b>Punto</b>		<b>Iluminancia (lx)</b>
<b>1</b>		18
<b>2</b>		22
<b>3</b>		18.6
<b>4</b>		13.7
<b>5</b>		18.2
<b>6</b>		15
<b>7</b>		15.6
<b>8</b>		13
<b>9</b>		11
<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>		11 lx
<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>		16.46 lx
<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>		66.81%

Fuente: Autor

## Anexo 4: Resultados obtenidos en Zona 3

Tabla 46. Evaluación de vano M1 Zona 3.

---

<b>Condiciones atmosféricas</b>	Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>	4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>	Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>	15.30 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>	8.56 m
<b>Punto</b>	<b>Iluminancia (lx)</b>
1	19.8
2	54.6
3	71.9
4	19.2
5	59.5
6	74.5
7	13.6
8	32.5
9	44.5
<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	13.6 lx
<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	46.84 lx
<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	29.04%

---

Fuente: Autor

Tabla 47. Evaluación de vano M2 Zona 3.

<b>Condiciones atmosféricas</b>		Cielo abierto y ambiente seco
<b>Altura poste</b>		4 m
<b>Disposición de las luminarias</b>		Unilateral
<b>Interdistancia entre luminarias (s)</b>		11.8 m
<b>Ancho de calzada (w)</b>		8.60 m
<b>Punto</b>		<b>Iluminancia (lx)</b>
1		15.4
2		27.4
3		25.5
4		10.4
5		11.6
6		13.4
7		0.49
8		0.59
9		0.61
	<b>Iluminancia mínima (<i>E<sub>min</sub></i>)</b>	0.49 lx
	<b>Iluminancia promedio (<i>E<sub>prom</sub></i>)</b>	12 lx
	<b>Uniformidad promedio de la calzada (<i>U<sub>o</sub></i>)</b>	4.0383%

Fuente: Autor

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, PABLO ANDREE RIVERA ROMERO y ANDRES MAURICIO BERNAL VIDAL portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0750559320 y N.º 0104634621. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Eficiencia energética en alumbrado público: Polución lumínica en el parque central de la ciudad de Cuenca y afección al entorno” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 30 de agosto de 2022

F: 

Pablo Andree Rivera Romero

0750559320

F: 

Andrés Mauricio Bernal Vidal

0104634621