



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ENERGÉTICA
DE LAS LUMINARIAS LED CLASE I Y CLASE II SEGÚN LA
HOMOLOGACIÓN VIGENTE DEL MEER**

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

AUTORES: LUCAS FERNANDO PAREDES OLMEDO

FABIAN MARCELO VALDEZ ORDOÑEZ

TUTOR: ING. FREDDY FERNANDO CAMPOVERDE ARMIJOS, MSC.

Cuenca - Ecuador

2023

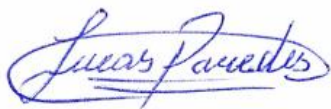
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Lucas Fernando Paredes Olmedo con documento de identificación N° 0107345399 y Fabian Marcelo Valdez Ordoñez con documento de identificación N° 0302612536; manifestamos que:

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

Cuenca, 7 de agosto del 2023

Atentamente,



Lucas Fernando Paredes Olmedo
0107345399



Fabian Marcelo Valdez Ordoñez
0302612536

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

Nosotros, Lucas Fernando Paredes Olmedo con documento de identificación N° 0107345399 y Fabian Marcelo Valdez Ordoñez con documento de identificación N° 0302612536, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Evaluación de la factibilidad técnica y energética de las luminarias LED clase I y clase II según la homologación vigente del MEER”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 7 de agosto del 2023

Atentamente,



Lucas Fernando Paredes Olmedo
0107345399



Fabian Marcelo Valdez Ordoñez
0302612536

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Freddy Fernando Campoverde Armijos con documento de identificación N° 0102339470, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ENERGÉTICA DE LAS LUMINARIAS LED CLASE I Y CLASE II SEGÚN LA HOMOLOGACIÓN VIGENTE DEL MEER, realizado por Lucas Fernando Paredes Olmedo con documento de identificación N° 0107345399 y por Fabian Marcelo Valdez Ordoñez con documento de identificación N° 0302612536, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 7 de agosto del 2023

Atentamente,



Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos, Msc.

0102339470

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi aprecio a Dios por haberme brindado la sabiduría necesaria para alcanzar mis metas y crecer tanto en mi vida personal como profesional. Además, quiero agradecer a mis padres por su incondicional apoyo y por recordarme constantemente que soy capaz de lograr cualquier cosa que me proponga sin rendirme.

También, deseo expresar mi gratitud al Ingeniero Freddy Campoverde, quien ha sido mi tutor en el proyecto de titulación, por su paciencia y dedicación al guiarme en el desarrollo de este proyecto y asegurarse de que se cumpla su objetivo principal.

Lucas Fernando Paredes Olmedo

En primer lugar, quiero mostrar mi gratitud a Dios por otorgarme la sabiduría y la determinación necesarias para lograr este objetivo. Así mismo, deseo expresar mi aprecio a mis padres, hermanos y amigos por el apoyo constante que me brindaron a lo largo de este periodo.

Por último, quiero agradecer al Ingeniero Freddy Campoverde por su ayuda en la ejecución de este proyecto y por compartir su conocimiento conmigo en el entorno educativo.

Fabian Marcelo Valdez Ordoñez

DEDICATORIA

Este proyecto es muy significativo para mí, ya que marca la finalización de una etapa importante en mi vida y me produce una gran satisfacción. Con mucho cariño dedico este trabajo en especial a mi madre, mis hermanos que siempre han estado apoyándome incondicionalmente, recordando que soy capaz de todo si de verdad nos lo proponemos. A toda mi familia que cada uno con sus consejos me han ayudado a no rendirme y creer en mí.

Lucas Fernando Paredes Olmedo

Este proyecto tiene una gran importancia personal, ya que simboliza la culminación de una etapa significativa en mi vida y me llena de alegría y satisfacción. Quiero dedicar este trabajo con profundo cariño, especialmente a mis padres y hermanos, quienes siempre me han brindado un apoyo incondicional. Su confianza en mí y su recordatorio constante de que soy capaz de lograr cualquier cosa cuando me lo propongo han sido fundamentales en mi camino.

Fabian Marcelo Valdez Ordoñez

RESUMEN

El servicio de alumbrado público es esencial para proporcionar espacios iluminados y seguros para conductores, peatones y ciclistas, lo que contribuye a la seguridad de la ciudadanía, mejora la calidad de vida y aumenta los niveles de visibilidad. Con el avance de la tecnología, se ha optado por utilizar luminarias LED en los sistemas de alumbrado público con el objetivo de lograr eficiencia energética y lumínica. Esto ha permitido obtener beneficios significativos, como ahorro de energía, durabilidad y confiabilidad de los equipos. Además, las lámparas LED ofrecen una reproducción cromática de alta calidad, similar a la luz natural, lo que resulta una representación más realista de los colores, mejorando la seguridad y condiciones de las carreteras. En este proyecto se evalúa los parámetros energéticos y lumínicos de luminarias LED disponibles en el mercado local, homologadas según las normativas vigentes en Ecuador y las normativas internacionales. Con ello, se busca determinar si las luminarias LED de clase I y clase II son una opción confiable para el sistema de alumbrado público. La validación de estas luminarias LED permitirá mejorar la eficiencia energética y la calidad de la iluminación, contribuyendo así a una mayor seguridad y bienestar en las calles de nuestra ciudad.

Palabras clave: Eficiencia Energética, Visibilidad, confiabilidad, LED, Eficiencia, Alumbrado Público.

ABSTRACT

The public lighting service is essential to provide illuminated and safe spaces for drivers, pedestrians and cyclists, which contributes to the safety of citizens, improves the quality of life and increases visibility levels. With the advancement of technology, LED luminaires have been used in public lighting systems to achieve energy and light efficiency. This has led to significant benefits, such as energy savings, durability and reliability of the equipment. In addition, LED lamps offer high quality color rendering, similar to natural light, resulting in a more realistic representation of colors. This improves traffic safety and road conditions. This project evaluates the energy and lighting parameters of LED luminaires approved according to current regulations in Ecuador and international standards available in the local market. The aim is to determine whether class I and class II LED luminaires are a reliable option for the public lighting system. The validation of these LED luminaires will improve energy efficiency and lighting quality, thus contributing to greater safety and well-being in the streets of our city.

Keywords: Energy Efficiency, Visibility, Reliability, LED, Efficiency, Street Lighting.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Justificación	1
1.2. Alcance	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos	2
2. Marco Teórico	4
2.1. Alumbrado Público	5
2.2. Luminarias tipo led clase I y II según la UNE-EN-60598-12005	7
2.2.1. Luminarias tipo led clase I	7
2.2.2. Luminarias tipo led clase II	7
2.3. Regulaciones y Normativas para el Sistema de Alumbrado Público	8
2.3.1. Regulación ARCERNNR 006-20	9
2.3.2. Reglamento técnico de iluminación Y alumbrado público (RETILAP)	10
2.3.3. Estándar IEC 60598-1	11
2.3.4. Estándar IEC 61000-3-2 (Compatibilidad electromagnética- (CEM)	11
2.3.5. Normativas para ensayos de Drivers en Luminarias LED	12
2.4. Conceptos generales sobre la luminotecnia	14
2.4.1. Luminotecnia	14
2.4.2. La luz	14

2.4.3.	Lumen(lm)	15
2.4.4.	Lux (lx)	15
2.4.5.	Absorción	15
2.4.6.	Reflexión	15
2.4.7.	Refracción	16
2.4.8.	Transmisión de luz	17
2.4.9.	Color de luz	18
2.4.10.	Temperatura del color	19
2.4.11.	Espectro electromagnético	21
2.4.12.	Índice De Reproducción Cromática (IRC)	22
2.4.13.	Fotometría (Óptica)	23
2.4.14.	Radiometría	23
2.5.	Magnitudes y unidades fundamentales luminosas	24
2.5.1.	Flujo Luminoso	24
2.5.2.	Rendimiento Luminoso	24
2.5.3.	Energía Luminosa	25
2.5.4.	Intensidad Luminosa	26
2.5.5.	Eficiencia Luminosa	26
2.5.6.	Iluminancia	27
2.5.7.	Luminancia	27
2.5.8.	Deslumbramiento	28
2.5.9.	Curva de distribución luminosa	29
2.5.10.	La Distribución Luminosa	31
2.6.	DIODO LED (Light emitting diode)	31
2.6.1.	Funcionamiento Básico LED	32

2.6.2. Vida Útil	33
2.7. Fundamentos de Magnitudes y Unidades para el Rendimiento Energético	35
2.7.1. Factor de Potencia	35
2.7.2. Armónico (componente)	35
2.7.3. Distorsión Armónica	35
2.7.4. Caída de voltaje	38
2.7.5. Regulación de corriente	38
2.7.6. Consumo Energético	38
2.7.7. Eficiencia Energética	39
3. Criterio del sistema de iluminación para la simulación en DIALux	40
3.1. Metodología	40
3.2. Normativa	41
3.2.1. Parámetros fotométricos	41
3.2.2. Alumbrado público por clases de vías	43
3.3. Características de la vía	47
3.3.1. Características viales de la Av. de Las Américas	48
3.3.2. Características viales de la Av. Turuhuaico	50
3.3.3. Características viales de la calle La Floresta.	52
3.4. Tipos de luminarias LED en el mercado	54
3.5. Simulación	56
3.5.1. Vía M1 - Av. de Las Americas	56
3.5.2. Vía M2 - Av. Turuhuaico	63
3.5.3. Vía M3 - La Floresta	67

4. Metodología (Driver)	72
4.1. Partes de las luminarias LED	74
4.2. Modelado del Driver	75
4.2.1. Características técnicas	76
4.2.2. Diagrama unifilar del modelo general	77
4.2.3. Materiales	78
4.2.4. Bloques de funcionamiento del driver	80
4.3. Simulación	82
4.3.1. Driver LED con potencia de 250W - para vía M1 (Av. de Las Américas)	82
4.3.2. Driver LED con potencia de 150W - para vía M2 (Av. Turuhuaico)	84
4.3.3. Driver LED con potencia de 100W - para vía M3 (calle La Floresta)	86
5. Análisis y Resultados	92
5.1. Resultados parámetros Técnico – Lumínicos	93
5.1.1. Alumbrado Público Av. de Las Américas vía tipo M1	94
5.1.2. Alumbrado Público Av. Turuhuaico vía tipo M2	99
5.1.3. Alumbrado Público calle La Floresta vía tipo M3	103
5.2. Resultados parámetros Energéticos	108
5.2.1. THD (Distorsión armónica total)	108
5.2.2. Factor de potencia	110
5.2.3. Flicker eléctrico	112
5.2.4. Corriente de salida	115
5.2.5. Voltaje de salida	116

6. Conclusiones y Recomendaciones	119
6.1. Conclusiones	119
6.2. Recomendaciones	122

Índice de figuras

1.	Absorción de la Luz	15
2.	Reflexión de Luz	16
3.	Refracción de la Luz	17
4.	Transmisión de la luz	18
5.	Valores de temperatura típicas	19
6.	Temperaturas de color	20
7.	Apariencia de color vs temperatura de color	21
8.	Curva de sensibilidad electromagnética	22
9.	Índice de Reproducción Cromática	23
10.	Representación de Flujo Luminoso	24
11.	Relación del flujo luminoso e iluminancia	25
12.	Ángulo sólido, representación del rendimiento luminoso.	26
13.	Nivel de Iluminancia de acuerdo a la distancia	27
14.	Representación de luminancia	28
15.	Gráfica Polar	30
16.	Distribución de flujo luminoso	31
17.	Símbolo eléctrico del LED	32
18.	Corriente alterna y Corriente directa	33
19.	Porcentaje de flujo luminoso mantenido	34
20.	Forma de onda con Distorsión Armónica	36
21.	Forma de Onda periodica utilizada para obtener porcentaje de parpadeo.	37
22.	Vía de alta capacidad inter urbana M1	47

23.	Vía de alta capacidad urbana M2	48
24.	Carretera convencional básica M3	48
25.	Características vial de la Av. de Las Américas.	49
26.	Dimensiones de la Av. de Las Américas.	50
27.	Características vial de la Av. Turuhuaico.	51
28.	Dimensiones de la Av. Turuhuaico.	52
29.	Características vial de la calle La Floresta.	53
30.	Dimensiones de la calle La Floresta.	54
31.	Disposición central doble o axial.	57
32.	Ópticas luminarias LED vía M1 – Av. de Las Américas.	59
33.	Montaje de luminaria.	60
34.	Entorno virtual basado en un tramo de la Av. de Las Américas.	61
35.	Visualización en 3D tipo de vía M1 – Av. de Las Américas.	63
36.	Disposición central doble o axial.	64
37.	Ópticas luminarias LED vía M2 – Av. Turuhuaico.	65
38.	Entorno virtual basado en un tramo de la Av. Turuhuaico.	66
39.	Visualización en 3D tipo de vía M2 – Av. Turuhuaico.	66
40.	Disposición Unilateral.	68
41.	Ópticas luminarias LED vía M3 – La Floresta.	69
42.	Entorno virtual basado en un tramo de la calle La Floresta.	70
43.	Visualización en 3D tipo de vía M3 – La Floresta.	71
44.	Partes esenciales de una luminaria LED para alumbrado público.	74
45.	Diagrama unifilar del modelo prototipo para el estudio de drivers LED.	78
46.	Diagrama eléctrico del transformador.	81

47.	Distribución de los leds en la luminaria.	83
48.	Modelamiento del driver de 250W en Simulink de Matlab. . .	84
49.	Distribución de los leds en la luminaria.	85
50.	Modelamiento del driver de 150W en Simulink de Matlab. . .	86
51.	Distribución de los leds en la luminaria.	87
52.	Modelamiento del driver de 100W en Simulink de Matlab. . .	88
53.	Algoritmo para la obtención del valor de THD	89
54.	Código para obtener la Potencia Aparente y el Factor de Po- tencia	90
55.	Código para obtener el Valor del Flicker Eléctrico	91
56.	Plano de situación de luminarias.	95
57.	Objetos de cálculo.	96
58.	Visualización en 3D tipo de vía M1 - Av. de Las Americas. . .	98
59.	Visualización en 3D tipo de vía M1 - Av. de Las Americas. . .	99
60.	Plano de situación de luminarias.	99
61.	Objetos de cálculo.	100
62.	Visualización en 3D tipo de vía M2 - Av. Turuhuaico.	102
63.	Visualización en 3D tipo de vía M2 - Av. Turuhuaico	102
64.	Plano de situación de luminarias.	103
65.	Objetos de cálculo.	104
66.	Visualización en 3D tipo de vía M3 - La Floresta.	106
67.	Visualización en 3D tipo de vía M3 - La Floresta	106
68.	Código para obtención del TDH	109
69.	Obtención de TDH, con 5 armónicos	110
70.	Potencia Reactiva y Activa de un Driver de 100W	111

71.	Código para obtener la Potencia Aparente y el Factor de Potencia	112
72.	Código para obtener el Valor del Flicker Eléctrico	113
73.	Resultado del Índice de Fluctuación de la salida de voltaje de un driver de 150W.	114
74.	Gráfica de Flicker para driver LED	115
75.	Datos obtenidos de la corriente de salida en Simulink	116
76.	Datos obtenidos del Voltaje de salida en Simulink	117

Índice de tablas

1.	Clases de AP para diferentes tipos de vías públicas	44
2.	Luminancia de calzada para tráfico motorizado.	45
3.	Iluminancia prom (lx) minima en vías motorizadas.	45
4.	Aspectos superficiales.	46
5.	Iluminación para vías peatonales y de ciclistas.	46
6.	Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal. . . .	47
7.	Luminarias seleccionadas.	56
8.	Ficha técnica luminarias LED vía M1 – Av. de Las Américas. .	58
9.	Parámetros de montaje luminarias LED vía M1 – Av. de Las Américas.	60
10.	Ficha técnica luminarias LED vía M2 – Av. Turuhuaico. . . .	64
11.	Parámetros de montaje luminarias LED vía M2 – Av. Tu- ruhuaico.	65
12.	Aspectos para colocación de luminarias.	67
13.	Ficha técnica luminarias LED vía M3 – La Floresta.	68
14.	Parámetros de montaje luminarias LED vía M3 – La Floresta.	70
15.	Características de los modelos de Drivers para una potencia de 250W.	76
16.	Características de los modelos de Drivers para una potencia de 150W.	77
17.	Características de los modelos de Drivers para una potencia de 100W.	77
18.	Lista de materiales para el modelado del driver.	79

19.	Resultados obtenidos de la simulación.	97
20.	Resultados obtenidos de la simulación.	98
21.	Resultados obtenidos de la simulación.	101
22.	Resultados obtenidos de la simulación.	101
23.	Resultados obtenidos de la simulación.	105
24.	Resultados obtenidos de la simulación.	105
25.	Resultados para luminarias de 250W.	118
26.	Resultados para luminarias de 150W.	118
27.	Resultados para luminarias de 100W.	118

CAPÍTULO 1

1. Introducción

1.1. Justificación

La implementación de luminarias LED en el alumbrado público se ha convertido en una tendencia mundial gracias a su eficiencia energética, bajo costo de mantenimiento y prolongada vida útil. En Ecuador, la normativa y homologación que rigen el uso de estas luminarias son fundamentales para garantizar su eficiencia y seguridad. La evaluación de los parámetros energéticos presentes en las normativas es importante para asegurar la eficiencia energética de las luminarias LED clase I y clase II, utilizadas en el alumbrado público. Estas evaluaciones permiten identificar el cumplimiento dentro de los parámetros establecidos en la homologación vigente y disminuyen los costos de operación y mantenimiento.[1] Asimismo, las evaluaciones energéticas pueden servir como herramientas para mejorar la eficiencia de las luminarias LED. La evaluación lumínica es esencial para asegurar la calidad de la iluminación pública. Los parámetros lumínicos incluyen el nivel de iluminación, uniformidad, distribución de la luz y la capacidad de la luminaria para controlar el deslumbramiento. Una evaluación lumínica rigurosa garantiza que las luminarias LED proporcionen la cantidad adecuada de luz en el lugar correcto y en el momento adecuado, mejorando así la seguridad y la calidad de vida de la población[2].

Los resultados de esta investigación servirán como complemento en el aprendizaje global como próximos profesionales del área y proporcionarán

información valiosa sobre los parámetros energéticos y lumínicos presentes en las normativas como la REGULACIÓN Nro. ARCERNNR 006/20 y homologaciones para luminarias LED de alumbrado público en el Ecuador. Estos resultados también podrán ser utilizados por los responsables de la toma de decisiones para mejorar la regulación y promover el uso de tecnologías más limpias y sostenibles.[3]

1.2. Alcance

El presente proyecto resultaría de gran interés para empresas distribuidoras de electricidad, autoridades locales y municipales encargadas de planificación y gestión de la iluminación en espacios públicos, fabricantes y empresas especializadas en luminarias LED. El personal autorizado deberá estar familiarizado con las normativas utilizadas para su implementación. Además, los resultados del proyecto pueden ser un recurso valioso para la creación de futuros proyectos en esta área.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Análisis de las características de las luminarias LED en base a la homologación emitida por el MEER.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Valorar el rendimiento energético y la fiabilidad en la iluminación de las lámparas LED clase I y clase II.

- Verificar el cumplimiento de las luminarias clase I Y II, especificaciones definidas en las normativas internacionales y nacionales.
- Evaluar en condiciones reales de operación el funcionamiento de las diferentes alternativas propuestas.

CAPÍTULO 2

2. Marco Teórico

El uso de luminarias LED ha sido ampliamente adoptado en los sistemas de la iluminación pública debido a su eficiencia energética y durabilidad. Sin embargo, la elección de la luminaria LED para Alumbrado Público depende de varios factores, como la homologación y clasificación según su eficiencia energética y seguridad [4].

El alumbrado público incluye varios conceptos y normas, pero su objetivo principal es garantizar una adecuada iluminación, seguridad y confort visual tanto para los conductores como para los peatones en la vía pública [5]. Es importante comprender y aplicar la normativa ecuatoriana « Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables » - ARCERNNR [6], además de conocer los aspectos técnicos y elementos necesarios para un alumbrado público eficiente. Esto está contenido en el Decreto Ministerial 029/2020, que establece el Decreto 006/20 que garantiza los niveles mínimos de iluminación requeridos para cada tipo de vía.[7]

Por lo tanto, el planteamiento del problema consiste en evaluar la factibilidad técnica y energética de las luminarias LED de clase I y clase II según la homologación vigente del MEER, con el objetivo de determinar qué tipo de luminarias son las más adecuadas para su implementación en diferentes aplicaciones, considerando aspectos como el costo, la calidad de la iluminación, la durabilidad y la eficiencia energética.

Esta evaluación permitirá a las empresas distribuidoras de electricidad seleccionar la opción más adecuada para el uso en sistemas de alumbrado

público, lo que a su vez podría contribuir a reducir el consumo energético y los costos de mantenimiento en aplicaciones de iluminación comercial [8].

2.1. Alumbrado Público

El alumbrado público es la iluminación de las calles y espacios de acceso público, esencial para facilitar las actividades diarias de las personas. Con el paso del tiempo, esta tecnología ha ganado una creciente relevancia y se ha convertido en un elemento vital para el desarrollo de la sociedad, contribuyendo significativamente al bienestar y la seguridad de la población [9].

El Alumbrado Público se divide en tres categorías: alumbrado público general, que busca proporcionar iluminación funcional; alumbrado público ornamental, que se enfoca en la decoración y estética de espacios públicos; y alumbrado público intervenido [10]. En la actualidad, el alumbrado público es fundamental para el progreso de la civilización moderna. Cumple la importante función de garantizar la seguridad y orientación de peatones y vehículos durante la noche, al tiempo que crea un ambiente adecuado en horas de oscuridad. Una iluminación adecuada conlleva beneficios como la reducción de costos indirectos, disminución de accidentes y riesgos nocturnos, así como una mejora en el clima social y cultural al incrementar la seguridad de las actividades nocturnas.

El sistema de alumbrado público presenta un desafío en los municipios que requiere la implementación de soluciones modernas, esquemas y equipos diversos con el objetivo de mejorar la calidad de la iluminación. Esto se logra adquiriendo estándares técnicos de iluminación más altos y aumentando la eficiencia energética. Para los municipios, el enfoque no solo es reducir

el consumo energético de los sistemas de iluminación, sino adoptar soluciones eficientes que garanticen una iluminación cómoda y de calidad. Por lo tanto, aunque las características energéticas (eficiencia, eficacia energética) son importantes, también se deben considerar otros criterios para evaluar el alumbrado público desde una perspectiva cualitativa.[4]

El sistema de iluminación en espacios públicos ha experimentado avances técnicos continuos y ha ido creciendo en sintonía con el desarrollo de las zonas urbanas. Para mantener un nivel óptimo de iluminación en estas áreas, es esencial llevar a cabo un mantenimiento adecuado. Además, considerando que ciertos elementos del sistema de iluminación tienen una vida útil limitada, se hacen necesarias reconstrucciones periódicas de esas partes. Este proceso es de largo plazo y requiere la colaboración de diversas personas y organizaciones.

Con el fin de mantener una calidad uniforme y evitar la heterogeneidad en el alumbrado público, es imprescindible abordar el tema de manera total, estableciendo una estructura ordenada y reglas claras. Sin una visión conceptual sólida, resulta extremadamente difícil encontrar una solución que cumpla con la función principal del alumbrado público, garantizando su eficiencia energética, creando un ambiente agradable, sin perturbar el entorno, y manteniendo una calidad acorde a las inversiones y los costos operativos. [11].

2.2. Luminarias tipo led clase I y II según la UNE-EN-60598-12005

2.2.1. Luminarias tipo led clase I

Estos dispositivos de protección están destinados a proporcionar protección adicional contra descargas eléctricas considerando el aislamiento principal. Este objetivo se alcanza mediante la realización de una conexión a tierra que proporciona un nivel de protección óptimo. Esta conexión forma parte del sistema de cableado permanente de la instalación. Esto asegura que las partes conductoras accesibles no supongan un peligro si falla el aislamiento principal.

En el caso de luminarias diseñadas para utilizar cables flexibles o cordones, se incorporan medios de protección adicionales, como un conductor de protección en el propio cable flexible. Además, las luminarias de Clase I pueden contar con partes que tienen un doble aislamiento o aislamiento reforzado para una seguridad adicional. También, es posible que algunas luminarias de Clase I utilicen el principio de funcionamiento a Muy Baja Tensión de Seguridad para garantizar una protección óptima contra choques eléctricos.[7]

2.2.2. Luminarias tipo led clase II

Una luminaria Clase II proporciona medidas de seguridad adicionales para proteger contra choques eléctricos, mediante el uso de doble aislamiento o aislamiento reforzado. Esta categoría de luminaria no requiere medios de puesta a tierra de protección y su funcionamiento no depende de las condiciones específicas de la instalación.

En el primer caso, la luminaria tiene un cuerpo fuerte y casi sólido de material aislante, que encierra todas las partes metálicas, excepto pequeños elementos como placas, tornillos y remaches, que están separados de las partes vivas. Medios de aislamiento con al menos las mismas prestaciones que el aislamiento reforzado. Esta categoría de luminarias se denomina carcasa aislante de clase II".

Por otro lado, en el segundo caso, la luminaria cuenta con una envolvente metálica prácticamente continua, que incorpora doble aislamiento en todas sus partes, excepto en áreas específicas donde se utiliza un aislamiento reforzado, ya que la aplicación del doble aislamiento en toda la luminaria no es posible. A esta luminaria se le conoce como Clase II de envolvente metálica.

2.3. Regulaciones y Normativas para el Sistema de Alumbrado Público

Las regulaciones y normativas para el sistema de alumbrado público son un conjunto de reglas y estándares establecidos por autoridades y organismos competentes, con el objetivo de asegurar el funcionamiento eficiente, seguro y sostenible de las instalaciones de iluminación utilizadas en espacios públicos. Estas regulaciones abarcan diversos aspectos, como la eficiencia energética de las luminarias, la calidad y cantidad de luz requerida para diferentes áreas, la reducción de la contaminación lumínica, la protección del medio ambiente y la seguridad de los ciudadanos. Además, se consideran aspectos técnicos, eléctricos, mecánicos y fotométricos para garantizar el cumplimiento de los estándares establecidos y promover un alumbrado público responsable que contribuya a mejorar la calidad de vida de la población y a crear entornos

urbanos más seguros y amigables. El cumplimiento de estas normativas es esencial para asegurar una planificación adecuada del alumbrado público y una gestión eficiente de los recursos energéticos, buscando siempre el beneficio de la comunidad y el respeto al entorno.

2.3.1. Regulación ARCERNNR 006-20

La Regulación ARCERNNR 006-20 tiene como objetivo proporcionar información detallada sobre las Normativas técnicas y comerciales que deben seguir las empresas eléctricas distribuidoras para ofrecer el servicio de alumbrado público general con altos estándares de calidad y eficiencia. Esta regulación busca asegurar que las empresas eléctricas cumplan con los requisitos técnicos necesarios para la instalación y operación de sistemas de alumbrado público, garantizando así la adecuada iluminación y seguridad de los espacios públicos. Asimismo, se establecen normas comerciales que promueven una gestión eficiente del servicio y una adecuada atención a los usuarios, incluyendo aspectos como facturación, atención a reclamos y mecanismos de retroalimentación. La implementación de la Regulación ARCERNNR 006-20 contribuye a una mejora significativa en la prestación del servicio de alumbrado público, asegurando una iluminación adecuada, minimizando el impacto ambiental y optimizando el uso de recursos energéticos. Al garantizar la calidad y eficiencia del alumbrado público, se promueve una mejor calidad de vida para los ciudadanos y una mayor seguridad en los espacios urbanos.

2.3.2. Reglamento técnico de iluminación Y alumbrado público (RETILAP)

Es un conjunto de normas y especificaciones técnicas establecidas en Colombia con el objetivo de regular y estandarizar aspectos relacionados con la iluminación y el alumbrado público. La RETILAP abarca diversos temas, como los requisitos de eficiencia energética para lámparas y sistemas de iluminación, los niveles de iluminación requeridos para diferentes tipos de espacios y actividades, las características de las luminarias, las medidas para la protección del medio ambiente y la prevención de la contaminación lumínica, entre otros aspectos. El cumplimiento de la RETILAP es obligatorio para las empresas y entidades que diseñan, instalan y operan sistemas de iluminación y alumbrado público en Colombia. Esta regulación busca promover el uso eficiente y sostenible de la energía eléctrica, mejorar la calidad de la iluminación y contribuir a la seguridad y bienestar de los ciudadanos. El propósito principal de este Reglamento Técnico es establecer los criterios y condiciones que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público con el objetivo de asegurar varios aspectos fundamentales: los niveles y características adecuadas de luz para una actividad visual óptima, la seguridad en el suministro de energía, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente. Esto se logra mediante la prevención, minimización o eliminación de los riesgos asociados con la instalación y uso de sistemas de iluminación.

2.3.3. Estándar IEC 60598-1

La norma IEC 60598-1, publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), se enfoca en "Luminarias: Requisitos generales y ensayos". Es una norma internacional que establece los requisitos fundamentales de seguridad y rendimiento para las luminarias, dispositivos utilizados para distribuir, controlar y proteger las fuentes de luz eléctrica.

Este conjunto de normas cubre aspectos fundamentales, que incluyen requisitos eléctricos, mecánicos y térmicos, que resultan cruciales para garantizar la seguridad y la longevidad de las luminarias. Además, se proporciona una clasificación detallada de las luminarias según su nivel de protección contra la entrada de polvo y agua (IP).

Un aspecto relevante de esta norma es el procedimiento de ensayo para drivers, que permite verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos, asegurando un funcionamiento confiable y eficiente de las luminarias. La IEC 60598-1 es una guía integral que garantiza que las luminarias cumplan con los más altos estándares de calidad y seguridad, promoviendo un uso responsable de la energía eléctrica y brindando confianza en su rendimiento en una variedad de aplicaciones de iluminación.

2.3.4. Estándar IEC 61000-3-2 (Compatibilidad electromagnética- (CEM))

Este estándar establece los límites de emisión de corrientes armónicas generadas por equipos eléctricos y electrónicos conectados a la red eléctrica. Las corrientes armónicas son componentes no lineales que pueden causar distorsiones en la forma de onda de la corriente eléctrica, afectando negativamente

la calidad de la energía y causando problemas de interferencia electromagnética en otros dispositivos conectados a la misma red. El IEC 61000-3-2 especifica los niveles máximos permisibles de corrientes armónicas en función de la potencia del equipo, lo que ayuda a reducir las perturbaciones y asegurar un funcionamiento confiable de los dispositivos eléctricos y electrónicos. También proporciona métodos de medición y pruebas para verificar el cumplimiento de los límites de emisión. El cumplimiento de este estándar es esencial para garantizar una mayor compatibilidad electromagnética entre equipos y sistemas eléctricos, evitando interferencias y asegurando un entorno eléctrico más limpio y estable. Es importante destacar que el IEC 61000-3-2 es uno de varios estándares relacionados con la compatibilidad electromagnética que buscan promover un uso más seguro y confiable de la tecnología eléctrica y electrónica en diversos sectores industriales y residenciales.

2.3.5. Normativas para ensayos de Drivers en Luminarias LED

- Estándar IEC 61347-1: Estándar publicado por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), se enfoca en "Controladores para lámparas - Parte 1: Requisitos generales". Este estándar establece los requisitos generales de seguridad, rendimiento y funcionamiento para los controladores o drivers utilizados en lámparas y luminarias. El IEC 61347-1 abarca diversos aspectos esenciales, como los requisitos eléctricos y mecánicos de los controladores, la protección contra sobretensiones y cortocircuitos, la eficiencia energética y la estabilidad de la corriente suministrada a las lámparas.
- Estándar IEC 61347-2-13: En este apartado del Estándar se indica una

amplia variedad de dispositivos de control y alimentación utilizados en sistemas de iluminación. El objetivo es garantizar que los controladores cumplan con ciertos estándares de seguridad, rendimiento y eficiencia energética, promoviendo un funcionamiento seguro y confiable de las lámparas y luminarias. Establece procedimientos de ensayo para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma, asegurando que los controladores se sometan a pruebas rigurosas antes de ser comercializados.

- Estándar IEC 62384: Este apartado de el Estandar es conocido como «Ensayos de módulos LED para iluminación general», es una norma publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) que se centra en establecer los procedimientos de ensayo y las condiciones para la realización de pruebas de módulos LED utilizados en sistemas de iluminación general.

Esta norma ofrece directrices para evaluar módulos LED con el propósito de verificar su desempeño y asegurar el cumplimiento de los requisitos establecidos en las normas correspondientes de iluminación y seguridad. Algunos ensayos comunes presentes en el Estándar IEC 62384 incluyen la medición del flujo luminoso, que permite determinar la cantidad total de luz emitida por el módulo LED, asegurando su eficiencia lumínica. También se realiza la medición de la potencia eléctrica para evaluar su eficiencia energética. Además, se evalúa la eficiencia del sistema óptico, como reflectores o lentes, para garantizar una adecuada distribución de la luz.

La medición de temperatura durante su funcionamiento verifica la capacidad del módulo LED para disipar calor y evitar daños. Asimismo, se somete al módulo a pruebas de envejecimiento acelerado en condiciones extremas para evaluar su vida útil. Por último, se realizan pruebas de resistencia al impacto y vibración para verificar su durabilidad y robustez.

2.4. Conceptos generales sobre la luminotecnia

2.4.1. Luminotecnia

La luminotecnia es el campo encargado de analizar diversas técnicas para generar luz artificial, regular su intensidad y emplearla para propósitos específicos. Su objetivo es establecer los niveles óptimos de iluminación en un espacio determinado, considerando tanto la fuente de luz como los objetos que serán iluminados.[12]

2.4.2. La luz

La luz se presenta como una energía luminosa compuesta de ondas electromagnéticas que son recibidas por los ojos, provocando el fenómeno de la visión. Estas ondas ocupan una porción específica del espectro electromagnético. La franja de radiación visible para el ojo humano abarca desde los 380 hasta los 780 nanómetros.[13]

2.4.3. Lumen(lm)

Se describe como la cantidad de luz emitida por una fuente puntual con una intensidad de una candela, que se propaga a través de un ángulo sólido de un estereorradián[7].

2.4.4. Lux (lx)

Se define como la cantidad de flujo luminoso de un lumen, que incide y se reparte uniformemente sobre una superficie de un metro cuadrado.[12]

2.4.5. Absorción

Cuando la luz llega a una superficie u objeto, éste puede absorber toda o parte de esa luz.[12]

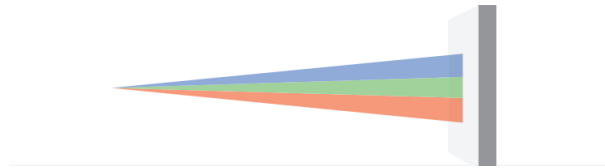


Figura 1: Absorción de la Luz
Fuente: Autores

2.4.6. Reflexión

Cuando un rayo de luz alcanza una superficie, se refleja formando un ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexión. La reflectancia, que mide la cantidad de luz reflejada en relación con la luz incidente, determina la capacidad de una superficie para reflejar luz. Existen tres tipos de reflexión:

dirigida, difusa o mixta, y este factor tiene un impacto significativo en la eficacia de una luminaria. [12]



Figura 2: Reflexión de Luz
Fuente: Autores

La luz puede ser reflejada de manera directa o difusa.

- Reflexión especular: este fenómeno se produce cuando la luz se refleja en una superficie lisa o pulida, como un espejo, en la misma dirección en que incide o llega a la superficie (según la ley de reflexión). [4]
- Reflexión difusa: se produce cuando la luz llega a una superficie con textura, como una pared con relieve. La luz se dispersa en varias direcciones, creando una iluminación más tenue que la reflexión directa. La escena muestra menos diferencias, luces más suaves y una transición suave entre las luces y las sombras. La reflexión directa brinda una luz más fuerte, mayor contraste y sombras más definidas.[7]

2.4.7. Refracción

La refracción ocurre cuando la luz cambia de dirección al pasar a través de un medio con densidad diferente. Mediante la refracción de distintas in-

tensidades de diversas zonas del espectro, como se observa en el prisma, se pueden generar espectros de colores. [8]

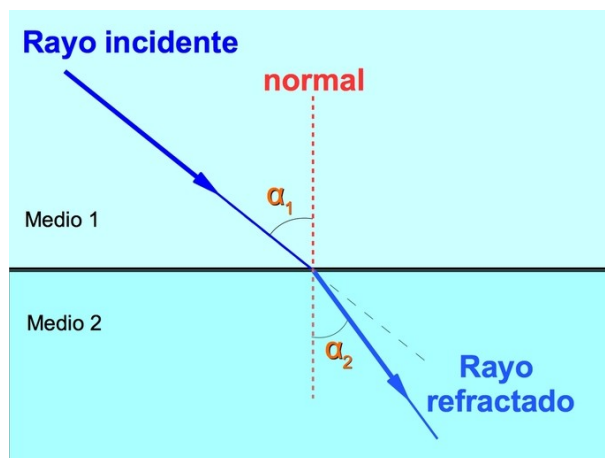


Figura 3: Refracción de la Luz
Fuente: Autores

2.4.8. Transmisión de luz

La transmisión es cuando los rayos de luz pasan a través de un objeto. Esta medida muestra la cantidad de energía lumínica que atraviesa el objeto y se obtiene al dividir el flujo de luz transmitido entre el flujo de luz incidente. La transmisión puede ser dirigida o difusa, al igual que la reflexión. Los materiales translúcidos se emplean en luminotecnia para dirigir la luz y cambiar su longitud de onda.[8]

Existen tres tipos de transmisión: directa, difusa o selectiva.

- 1. Transmisión directa: este fenómeno ocurre cuando la luz pasa por un objeto sin cambiar su dirección o calidad. Un ejemplo de esto es cuando la luz atraviesa el vidrio o el aire sin desviarse o cambiar en gran medida su trayectoria o características originales.

- 2. Transmisión difusa: es cuando la luz pasa a través de un objeto con textura que es transparente o semi-transparente. En lugar de seguir una sola dirección, la luz se desvía en muchas direcciones. La luz difusa es más suave, con menos contraste e intensidad que la luz directa. También creará sombras más suaves y una transición suave entre las zonas claras y oscuras.[14]
- 3. Transmisión selectiva: ocurre cuando la luz atraviesa un objeto de color. En esta situación, parte de la luz es absorbida por el objeto, mientras que otra parte es transmitida a través de él.[8]



Figura 4: Transmisión de la luz
Fuente: Autores

2.4.9. Color de luz

El color de la luz que una lámpara emite es afectado por la dispersión de la luz. En las lámparas incandescentes, esta dispersión se origina debido a la temperatura del filamento, lo que se conoce como "temperatura de la Luz". Por otro lado, en las lámparas de descarga, se utiliza un valor de referencia comparativo, es decir, una "temperatura de color más parecida".

En lugar de proporcionar una temperatura de color exacta, a menudo se utiliza una clasificación más sencilla que divide las luces en tonos de «blanco cálido», «blanco neutral» y «blanco luz diurna». La siguiente imagen muestra las fuentes de luz y su temperatura correspondiente. [8]

FUENTES TÍPICAS	TEMPERATURA °K
<i>Velas y Lámparas de aceite</i>	1000
<i>Lámparas de tungsteno bajo efecto</i>	2000
<i>Bombillas caseras</i>	2500
<i>Luz de día normal, Flash electrónico</i>	5000
<i>Día con sol a plenitud</i>	6000
<i>Cielo despejado sin sol</i>	11000

Figura 5: Valores de temperatura típicas
Fuente: Autores

2.4.10. Temperatura del color

La temperatura de color de una luz se determina al comparar su tono en el espectro con la luz emitida por un cuerpo negro calentado a una temperatura específica. A pesar de estar en kelvin, la temperatura de color no es una medida directa de la temperatura, sino una referencia relativa para describir el aspecto cromático de la luz.

[15]

La unidad de medida utilizada es el Kelvin (K), también conocido como grados Kelvin, y se basa en la teoría previamente descrita en la que los colores se observan al calentar un cuerpo ideal, el cual emite diferentes colores según la temperatura alcanzada. [14]

La temperatura de color de una fuente de luz se determina al comparar

su tonalidad en el espectro de luz con la luz emitida por un cuerpo negro calentado a una temperatura específica. Aunque en Kelvin, esta temperatura de color no es una medida directa de la temperatura, sino una referencia relativa. El espectro electromagnético se divide en frecuencias (o longitudes de onda) de ondas electromagnéticas.[16]

La ley de Wien asocia la longitud de onda y la temperatura. La temperatura de un cuerpo negro determina la longitud de onda en la que emite. Los organismos han ajustado su manera de vivir a la luz de diferentes maneras. La luz tiene efectos en el cuerpo a través de foto receptores y actúa a nivel físico, fisiológico y psicológico. Al implementar luz artificial en áreas donde debería haber oscuridad, se puede perturbar el ritmo circadiano de la vida silvestre debido a la duración, fuerza y tipo de luz utilizada. La temperatura de color no está vinculada directamente con el nombre de colores cálidos y fríos, aunque comúnmente se les relacione. Se dice que por encima de 5000 K son colores fríos y por debajo de 2700-3000 K son colores cálidos.[15]



Figura 6: Temperaturas de color
Fuente: Danilo Osvaldo Pérez Garrido (2009)

Las fuentes lumínicas que tienen tonos cercanos al rojo debido a su temperatura de color son llamadas cálidas, mientras que las que tienen tonos cercanos al azul son denominadas frías. Aquellas fuentes lumínicas que se encuentran en un punto intermedio entre ambas se consideran neutras.[15]

<i>Apariencia de Color</i>	<i>Temperatura de Color [°K]</i>
Cálido	< 3300
Intermedio	3300 – 5300
Frío	> 5300

Figura 7: Apariencia de color vs temperatura de color
Fuente: Danilo Osvaldo Pérez Garrido (2009)

2.4.11. Espectro electromagnético

La radiación electromagnética es una forma de energía que se propaga por el espacio en forma de ondas electromagnéticas, con variaciones en sus frecuencias y longitudes de onda.[15]

El espectro electromagnético comprende un amplio rango de ondas, desde las de menor frecuencia y mayor longitud de onda, como las ondas de radio y microondas, pasando por infrarrojos, luz visible, rayos ultravioleta y rayos X, hasta las de mayor frecuencia y menor longitud de onda, como los rayos gamma. Para lograr una reproducción estandarizada del color, es necesario seguir un procedimiento que consiste en sumar las respuestas de estímulos de diferentes colores y normalizarlos a la curva espectral de respuesta de la foto receptor sensible al color.[15]

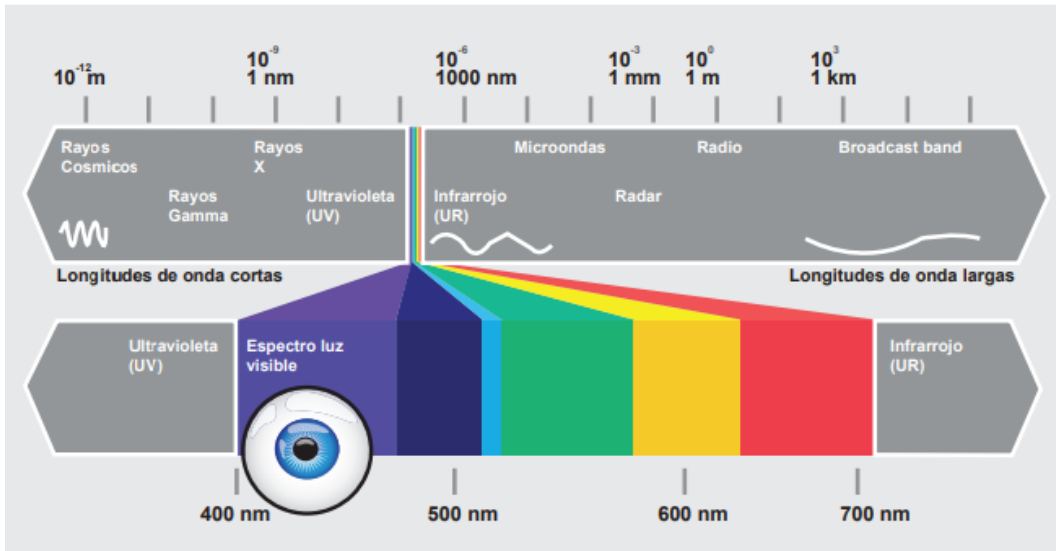


Figura 8: Curva de sensibilidad electromagnética
 Fuente: Danilo Osvaldo Pérez Garrido (2009)

2.4.12. Índice De Reproducción Cromática (IRC)

El Índice de Rendimiento Cromático (IRC) se utiliza para describir cómo una fuente de luz permite a los ojos humanos percibir los colores de un objeto, incluyendo las variaciones de tonos y sombras. Este índice se representa en una escala del 0 al 100 por ciento, que indica la precisión con la que una fuente de luz específica reproduce los colores en comparación con una fuente de luz considerada como «referencia». Un valor más alto del IRC indica una mejor capacidad de rendimiento cromático. Las bombillas incandescentes se consideran la fuente de luz de referencia y tienen un IRC de 100.[17]

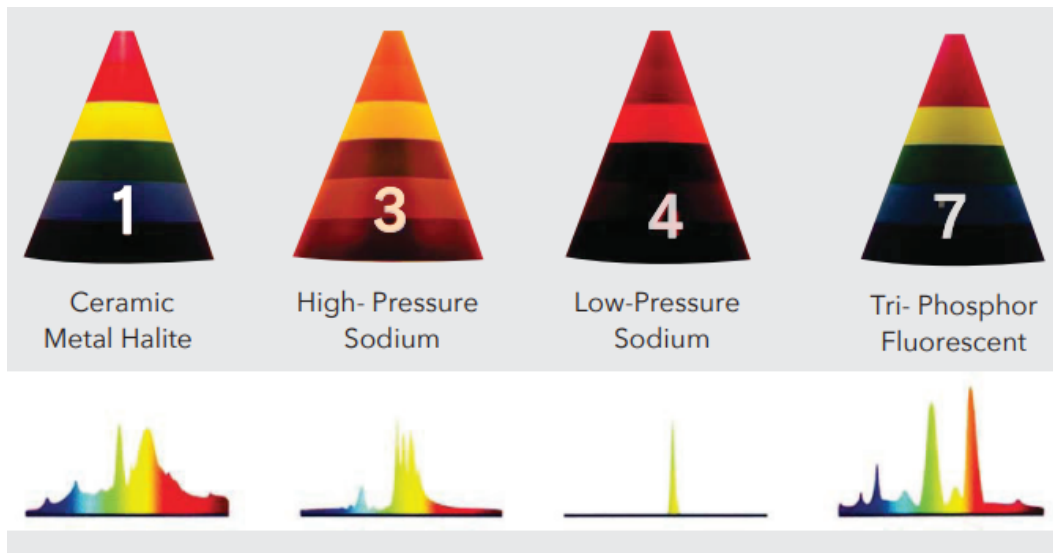


Figura 9: Índice de Reproducción Cromática
Fuente: Danilo Osvaldo Pérez Garrido (2009)

2.4.13. Fotometría (Óptica)

La Fotometría se considera a la ciencia que estudia la medida de la luz, como el brillo que puede ser visto por el ojo humano. Es decir, estudia la capacidad que tiene la radiación electromagnética de ser receptada por el sistema visual.[17]

2.4.14. Radiometría

La radiometría es una disciplina científica que se enfoca en la medición de la radiación electromagnética. Su alcance incluye todas las longitudes de onda del espectro electromagnético, que van desde frecuencias entre 3×10^{11} y 3×10^{16} Hz o longitudes de onda de 0,01 a 1000 micrómetros. En contraste,

la fotometría se limita a la parte visible del espectro que es perceptible por el ojo humano.[17]

2.5. Magnitudes y unidades fundamentales luminosas

2.5.1. Flujo Luminoso

El flujo luminoso es la cantidad de luz emitida por una fuente o recibida por una superficie, y se calcula teniendo en cuenta la sensibilidad espectral del ojo humano estándar. La unidad de medida del flujo luminoso es el Lumen (lm).[17]



Figura 10: Representación de Flujo Luminoso
Fuente: Danilo Osvaldo Pérez Garrido (2009)

2.5.2. Rendimiento Luminoso

Este concepto también se denomina «coeficiente de eficacia luminosa» de una fuente de luz, y se refiere al flujo luminoso que la fuente emite en relación con la potencia eléctrica que consume. Su unidad de medida es el

lumen por vatio (lm/W), y suele representarse con la letra griega η (eta).[18]

$$\eta = \phi / P \quad (1)$$

η = Rendimiento luminoso

ϕ =Flujo Luminoso

P= Potencia Eléctrica

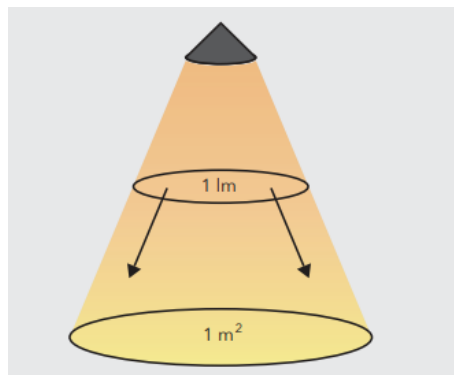


Figura 11: Relación del flujo luminoso e iluminancia
Fuente: Danilo Osvaldo Pérez Garrido (2009)

2.5.3. Energía Luminosa

La medida de la cantidad de luz o energía luminosa se obtiene a través del flujo luminoso o potencia luminosa emitida en una unidad de tiempo. Esta cantidad se suele representar con la letra Q y se mide en lumen por hora (lm*h).[18]

2.5.4. Intensidad Luminosa

Para comprender la cantidad de luz que puede ser emitida por una fuente de luz, es fundamental conocer cómo esta luz se distribuye en todas las direcciones posibles dentro de un espacio. Por lo tanto, la Intensidad Luminosa se refiere a la cantidad de flujo luminoso emitido por un ángulo sólido en una dirección específica. De esta manera, podemos obtener información detallada sobre cómo la luz se propaga en diferentes direcciones desde la fuente.[18]

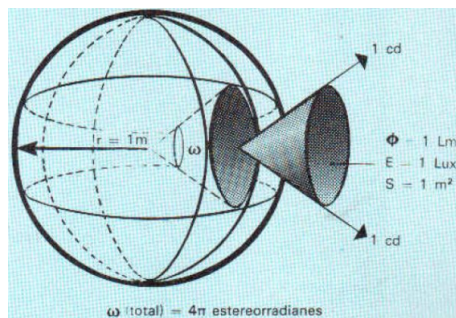


Figura 12: Ángulo sólido, representación del rendimiento luminoso.

Fuente: Danilo Osvaldo Pérez Garrido (2009)

Se representa generalmente con la letra I y su unidad es en candelas [cd]

2.5.5. Eficiencia Luminosa

Se define como la relación entre el flujo luminoso y la potencia activa consumida, expresada en lúmenes por vatio (lm/W).[14] Esta medida se utiliza para evaluar la eficiencia energética de diversas lámparas. Se representa mediante la siguiente ecuación:

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

2.5.6. Iluminancia

Se define como la cantidad de flujo luminoso en un espacio determinado, que se puede proyectar en una área específica en una dimensión de metros cuadrados. La cantidad de flujo luminoso está en función del recorrido del punto de luz al objeto que se ilumina, lo observamos en la siguiente Figura. Su unidad de medida es el *Lux* ($1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen}/\text{m}^2$). [18]

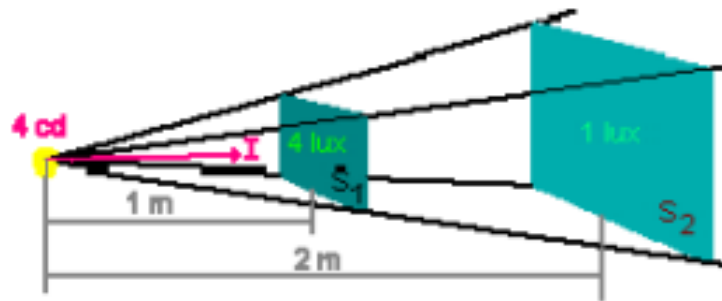


Figura 13: Nivel de Iluminancia de acuerdo a la distancia
Fuente: Energrecol (2010)

2.5.7. Luminancia

Se define como la densidad de área de la intensidad luminosa, expresada como la relación entre la intensidad luminosa y la superficie desde la que se emite la luz. Es la cantidad que determina la mayor o menor percepción de la calidad de la luz que produce una superficie y se expresa en candelas por metro cuadrado. [16]

El equivalente psicológico del brillo se puede considerar como una irradiación molesta. Por ejemplo, considerando el caso de emisión o reflexión de la luz por superficies planas y difusas, la luminancia indica la cantidad de flujo luminoso que el ojo percibe desde un ángulo de visión dado. En este caso, el ángulo sólido de interés es el ángulo subtendido por la pupila del ojo.[18]



Figura 14: Representación de luminancia
Fuente: Energreencol (2010)

2.5.8. Deslumbramiento

El deslumbramiento se refiere a la impresión que una persona percibe de la luz cuando la luminancia es mayor o menor a la que el ojo del observador está adaptado. Esto puede ocasionar molestia visual, incomodidad o incluso una pérdida temporal de la visión. En el caso del alumbrado público, el deslumbramiento se compone de dos elementos: el deslumbramiento molesto, que causa incomodidad al observador durante la conducción o al desplazarse por un área iluminada, y el deslumbramiento incapacitante, que temporalmente reduce la capacidad visual del observador.[16] El deslumbramiento de

las personas (conductores) se debe principalmente a los efectos de luz de los faros de los vehículos que se aproximan y a la publicidad demasiado iluminada en el campo de visión del conductor.[18]

- Deslumbramiento Molesto: El deslumbramiento, ya sea psicológico o molesto, provoca una sensación desagradable y, a pesar de no perderse la visión de los objetos, cansa al conductor debido a que la pupila se ve obligada a adaptarse constantemente a los cambios de luz.[19]
- Deslumbramiento Fisiológico: En la pérdida de la visión es donde se llega en el deslumbramiento de tipo fisiológico o perturbador. Deben ser evitados ambos tipos de deslumbramiento, ya que representan una agresión para el ojo del conductor y son la causa de accidentes de tráfico. En la función de este ángulo, en la siguiente gráfica, se indican los distintos deslumbramientos, habiéndose tomado un valor mínimo de 30° como admisible.[19]

2.5.9. Curva de distribución luminosa

El resultado de tomar medidas de intensidad luminosa en diversos ángulos alrededor de una luminaria y transcribirlas en forma gráfica, generalmente en coordenadas polares, es la curva de distribución luminosa. La intensidad luminosa de la fuente en esa dirección se indica por la distancia de cualquier punto de la curva al centro (mayor intensidad a mayor distancia). En distintos planos verticales de la luminaria, se efectúan estas mediciones, debido a que la emisión de luz puede variar de un plano a otro dependiendo del tipo de lámpara y difusor.[18]

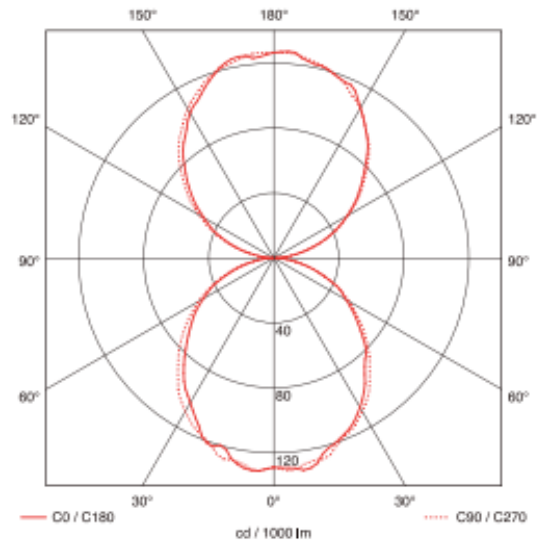


Figura 15: Gráfica Polar
Fuente: Energrencol (2010)

La curva de distribución de luz polar de una luminaria está representada por sus dos planos verticales; transversal y longitudinal (0° y 90°). Tan pronto como se ha elaborado la curva de distribución de la luz, toda la demás información fotométrica del laboratorio (propiedades de la luminaria, factor de utilización, curva de brillo, curvas de isolux, etc.) resulta de ella. [19]

La iluminancia generada por una luminaria en un punto de una superficie se puede calcular utilizando la curva de distribución de la luz. De hecho, si el tamaño de la fuente de luz y la distancia de la superficie permiten aplicar la “ley del inverso del cuadrado”, la iluminancia indicada se puede calcular tomando la iluminancia de la curva en un ángulo correspondiente a la dirección de enfocar. Aplicación de la "ley de los cosenos".[20]

2.5.10. La Distribución Luminosa

La función más importante de una luminaria es cambiar la distribución del flujo luminoso emitido por la fuente de luz que contiene. Así puede actuar como proyector, concentrando intensamente la luz, o como difusor, ocultando las lámparas del ángulo de visión para evitar deslumbramientos. [16]

Las luminarias se clasifican en seis grupos principales según la forma en que distribuyen el flujo luminoso: directa, semi-directa, general difusa, directa-indirecta, semi-indirecta e indirecta.[20]

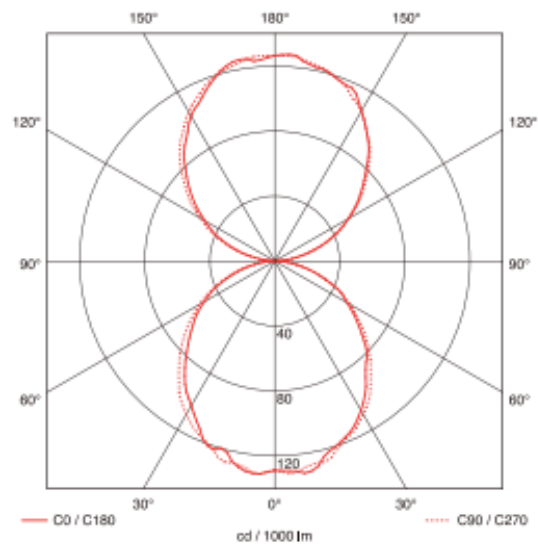


Figura 16: Distribución de flujo luminoso
Fuente: Energrencol (2010)

2.6. DIODO LED (Light emitting diode)

Un material semiconductor con dos terminales es lo que contiene un LED, que es una fuente de luz. Cuando se activa, emite luz un tipo de diodo. En

la región de la unión p-n del dispositivo, al aplicar una tensión adecuada en los terminales, los electrones y huecos se recombinan, liberando energía en forma de fotones. La electroluminiscencia es el nombre que recibe este procedimiento, en el cual el ancho de la banda prohibida del semiconductor determina el color de la luz que se emite, el cual varía según la energía de los fotones.[20]

Los LED son pequeños generalmente (menos de 1 mm²) y se combinan con componentes ópticos para crear un patrón de radiación. Ahora, las lámparas LED presentan ventajas múltiples en comparación a las tradicionales lámparas incandescentes o fluorescentes. Se resaltan entre estas ventajas un menor consumo energético, una vida útil más larga, una mayor resistencia física y un tamaño más pequeño. Además, pueden generar luz de forma más precisa y controlada en diferentes colores del espectro visible. También presentan una rápida frecuencia de conmutación, respecto a los LED multicolores. [20]



Figura 17: Símbolo eléctrico del LED
Fuente: Energreencol (2010)

2.6.1. Funcionamiento Básico LED

Cuando hay una diferencia de voltaje entre los polos de un LED, los electrones se desplazan del polo más positivo hacia el más negativo, lo cual produce la unión de electrones libres con los espacios vacíos que dejan otros

electrones libres en el material semiconductor. Como resultado, se emite energía en forma de luz, creando fotones luminosos. El color del LED depende de la banda de energía del semiconductor y está vinculado a la energía del fotón.[20]

El LED necesita corriente continua. Si se quiere usar en corriente alterna, se necesita un controlador que convierta la corriente alterna en corriente continua y reduzca el voltaje. El LED solo emite luz cuando se conecta ánodo al polo positivo y cátodo al polo negativo.[19]

Es importante destacar que los diodos LED no pueden conectarse directamente a la tensión de red, ya que debido a su baja resistencia interna, no pueden soportar tensiones altas. Si se los alimentara con tensiones elevadas, la corriente que circularía por ellos sería tan alta que los dañaría de inmediato.[16]



Figura 18: Corriente alterna y Corriente directa
Fuente: Energreencol (2010)

2.6.2. Vida Útil

La tecnología LED ha transformado la industria de la iluminación, y uno de los principales factores detrás de esta revolución es su prolongada "vida útil". Por vida útil, nos referimos al período durante el cual el LED emite un porcentaje menor de flujo luminoso (lúmenes) en comparación con su brillo

original, a lo largo de ciertas horas de funcionamiento.[12] A este proceso de reducción se le llama "depreciación de flujo luminoso". Para estandarizar esta información, se ha establecido una escala basada en el porcentaje de flujo luminoso mantenido, de la siguiente manera:

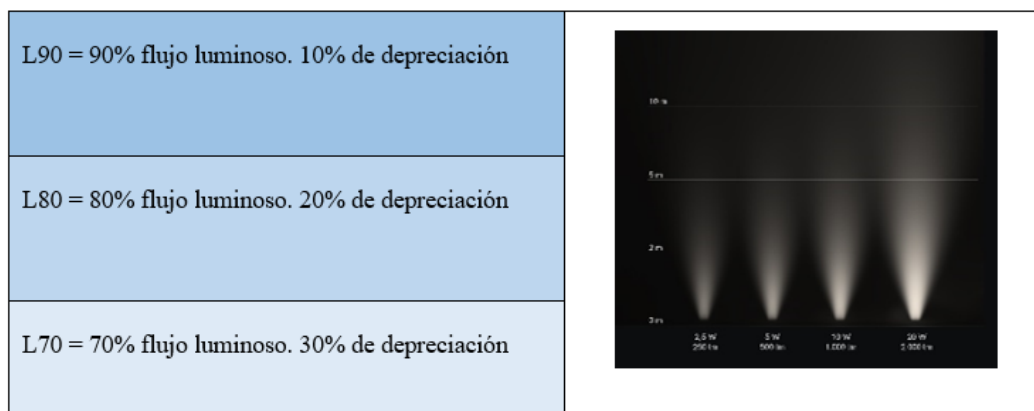


Figura 19: Porcentaje de flujo luminoso mantenido
Fuente: Energreencol (2010)

En general, se sugiere sustituir un sistema después de depreciarse un 30 %, ya que se considera que ha alcanzado el final de su vida útil. El sistema continuará funcionando, pero su desempeño será considerablemente afectado en términos de iluminación.[20]

2.7. Fundamentos de Magnitudes y Unidades para el Rendimiento Energético

2.7.1. Factor de Potencia

El factor de potencia del driver indica qué tan eficiente es en el uso de la potencia eléctrica suministrada. Un factor de potencia cuando se acerca a la unidad se considera que el driver está utilizando la potencia de la manera mas efectiva, mientras que un valor menor se considera un desperdicio de energía reactiva.[21]

Cuando el factor de potencia es más bajo, se desperdicia más energía, generalmente en forma de calor, lo que se considera que puede dañar los materiales provocando posibles problemas en el sistema. Por otro lado, una luminaria LED con un mayor factor de potencia será más eficiente y tendrá una vida útil más prolongada.[20]

2.7.2. Armónico (componente)

Un armónico de orden superior se refiere a una componente adicional en la serie de Fourier de una cantidad periódica. Por ejemplo, en un sistema eléctrico de 60 Hz, el tercer armónico, también llamado orden armónico tres, corresponde a 180 Hz.[20]

2.7.3. Distorsión Armónica

La Distorsión Armónica Total (THD) es una medida que evalúa cuánto se desvía o modifica la forma de onda habitualmente sinusoidal del voltaje o la corriente. Esta evaluación permite determinar la presencia de armónicos en

la corriente eléctrica generada por el driver.[21] Es recomendable mantener un nivel bajo de distorsión armónica para evitar complicaciones en la red eléctrica y mejorar la eficiencia energética.[20]

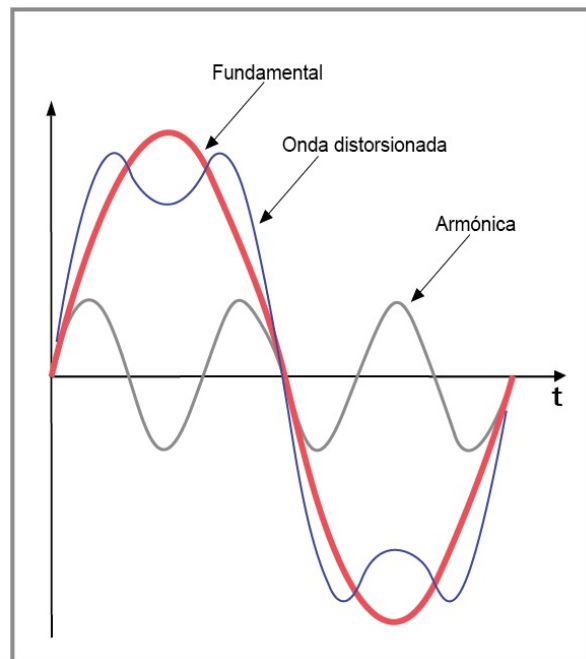


Figura 20: Forma de onda con Distorsión Armónica
Fuente: Energreencol (2010)

FLICKER: El flicker eléctrico hace referencia a variaciones rápidas e indeseables del nivel de iluminación producidas por fluctuaciones en el voltaje de la red eléctrica. Estas fluctuaciones pueden ser causadas por cambios en la demanda de carga o por la presencia de equipos eléctricos de alta potencia que generen perturbaciones en la red.[5] El flicker eléctrico puede ser perceptible por el ojo humano y puede causar molestias visuales, fatiga ocular e incluso desencadenar síntomas como dolores de cabeza en algunas personas sensibles.

Además, en entornos donde se utilizan sistemas de iluminación sensibles o dispositivos electrónicos, el flicker eléctrico puede afectar negativamente su funcionamiento y rendimiento.[10]

En la actualidad, hay varios métodos empleados para medir el parpadeo de una lámpara. Dos parámetros comúnmente utilizados para describir el parpadeo son el Porcentaje de parpadeo (también conocido como Porcentaje de modulación), que se calcula en base a las amplitudes de la onda modulada, y el Índice de parpadeo, que se calcula en áreas delimitadas por la línea de valor medio.[10]

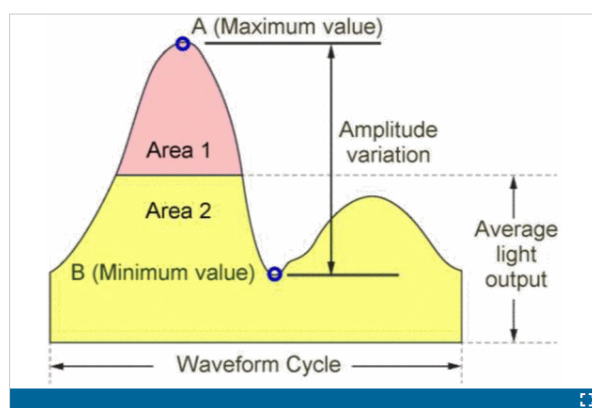


Figura 21: Forma de Onda periódica utilizada para obtener porcentaje de parpadeo.

Fuente: Autores

El parpadeo generado por fuentes de luz alimentadas eléctricamente generalmente es periódico. Una onda periódica puede describirse mediante al menos cuatro parámetros: la modulación de amplitud (que representa la diferencia entre sus niveles máximo y mínimo durante un ciclo periódico), el valor medio durante un ciclo periódico (también llamado componente de corriente continua), el ciclo de trabajo o forma (que indica el porcentaje de

tiempo que permanece en su nivel máximo en comparación con el mínimo a lo largo de un ciclo periódico, generalmente utilizado para ondas cuadradas), y la frecuencia periódica. [10]

2.7.4. Caída de voltaje

La disminución de la tensión eléctrica entre dos puntos específicos en un circuito eléctrico se conoce como caída de voltaje. Esta caída ocurre debido a la resistencia eléctrica del material conductor empleado y las particularidades del circuito en sí. Varias razones pueden causar esta caída de voltaje, como la longitud y el diámetro del conductor, la corriente eléctrica que circula a través del circuito y las características del material conductor.[10]

2.7.5. Regulación de corriente

Para asegurar un funcionamiento estable y prolongar la vida útil de las lámparas, los drivers de iluminación deben mantener una corriente constante. La regulación de corriente se encarga de asegurar que la lámpara opere dentro de los parámetros especificados.[10]

2.7.6. Consumo Energético

La «cantidad de energía eléctrica utilizada o consumida por un dispositivo, equipo, sistema o instalación eléctrica durante un período específico de tiempo» se conoce como consumo energético. Esta medida se expresa comúnmente en unidades como kilovatios-hora (kWh) o julios.[10]

El consumo energético es un factor esencial al evaluar la eficiencia y el rendimiento de equipos y sistemas eléctricos. Además, es crucial para deter-

minar los costos de operación, realizar análisis y planificación en términos de uso y ahorro de energía.[22]

2.7.7. Eficiencia Energética

La Eficiencia energética se refiere a la relación entre la energía útil obtenida en un sistema o dispositivo y la energía total que se consume o se suministra a dicho sistema. En otras palabras, es la capacidad de un sistema o equipo para producir el máximo rendimiento con el menor consumo de energía posible.[23]

Una alta eficiencia energética implica que un sistema o dispositivo puede realizar su función deseada con una menor cantidad de energía, lo que beneficia ya que se usa más eficientemente los recursos energéticos y existe una reducción de costos y emisiones que se ven relacionadas al consumo de energía.[10]

CAPÍTULO 3

3. Criterio del sistema de iluminación para la simulación en DIALux

3.1. Metodología

La metodología empleada en esta tesis se basó en un enfoque investigativo y analítico, con la intención de realizar una evaluación exhaustiva de la iluminación y eficiencia energética de las luminarias LED en el alumbrado público.[24] A continuación, se detallan las etapas principales de la metodología utilizada.

Se realizó una amplia investigación bibliográfica que abarcó estudios científicos y técnicos relacionados con el alumbrado público, tecnología LED, normativas y estándares de iluminación, así como herramientas de simulación y cálculo lumínico. Las actividades se centraron en el cumplimiento de valores de variables respaldadas por las normativas como la regulación ARCENNER 006/20, RETILAP, entre otras.[5]

Se identificaron y seleccionaron cuidadosamente diferentes vías en la ciudad de Cuenca para llevar a cabo el análisis lumínico y energético. Estas vías fueron clasificadas según la regulación ARCENNER 006/20 en categorías como M1, M2 y M3, teniendo en cuenta sus características de tráfico y uso.

Se realizaron meticulosas mediciones de campo en las vías seleccionadas para obtener datos precisos sobre la iluminancia existente, las coordenadas geográficas y otros parámetros relevantes para el diseño y simulación. Estos datos fueron fundamentales para el modelado.

Se utilizó el software DIALux Evo, una herramienta líder en el campo de la iluminación, para realizar el modelado de las luminarias LED en las vías de estudio. Se incorporaron las fichas técnicas de cada luminaria, los parámetros de montaje y se configuraron las condiciones lumínicas y de reflexión para la simulación esperando valores certeros.[25]

Se realizó evaluaciones correspondientes de los resultados logrados de la simulación, incluyendo los niveles de iluminancia, uniformidad, deslumbramiento y otros parámetros lumínicos. Asimismo, se evaluaron aspectos energéticos importantes, como el consumo que afectan el desempeño lumínico.

Se logro una detallada comparativa de las diferentes luminarias LED presentes en el mercado local, a partir de la simulación y los requisitos doctados por la normativa vigente. Esta comparación permitió identificar las luminarias más adecuadas para cada tipo de vía y necesidad específica.

3.2. Normativa

Para la evaluación técnica lumínica de las luminarias tipo LED, se procederá a analizar los resultados fotométricos obtenidos a partir de la simulación correspondiente. Estos resultados serán evaluados en base a la clase de iluminación y se ajustarán a los parámetros y aspectos técnicos establecidos en la Regulación ARCERNNR 006/20, la cual se encuentra actualmente vigente en Ecuador.

3.2.1. Parámetros fotométricos

- Luminancia promedio de la calzada (L_{av}): Aborda el nivel mínimo de luminancia, importante para garantizar el adecuado desempeño lumí-

nico a lo largo de toda la vida útil de la instalación. Este valor se ve afectado por diversos factores, incluyendo la forma en que la luz se distribuye desde la luminaria, el flujo luminoso emitido por las lámparas seleccionadas y la reflexión presentes en la calzada. Cabe destacar que, bajo ciertas circunstancias, se podrían considerar niveles de luminancia superiores si se justifican en términos económicos. Para llevar a cabo el cálculo y la medición precisa de luminancia en la calzada, se seguirán las directrices estipuladas en la norma CIE, garantizando así un enfoque riguroso y estandarizado en la evaluación técnica lumínica.[6]

- Uniformidad general (U_0): Está relacionada con la luminancia mínima y luminancia promedio en la vía, se establece considerando características similares de la luminancia promedio. Su valor queda determinado por estos factores comunes.[6]
- Uniformidad longitudinal (UL): La relación entre la luminancia mínima y máxima se determina mediante mediciones o cálculos realizados a partir del centro de la vía de manera longitudinal. Para garantizar una evaluación precisa, se emplea el mismo número de puntos y distancia para calcular la luminancia promedio en la calzada. Estos procedimientos de medición o cálculo se realizan conforme a las pautas establecidas en la norma CIE 140-2000.[6]
- Deslumbramiento (TI): La cuantificación del deslumbramiento se realiza mediante la variable TI , la cual se obtiene a partir de un cálculo aplicado al estado inicial de la instalación utilizando la siguiente fór-

mula:

$$TI = \frac{k * E_e}{Lav^{0,8} * \theta^2} (\%) \quad (3)$$

Donde:

k = Varía según la edad del observador, utilizando como referencia 650.

E_e = es la iluminancia total que generan las luminarias nueva, representado de manera perpendicular a la altura del ojo y la línea de visión referenciando al observador.

Lav = es la luminancia inicial prom.

θ = a partir del centro y visión de la luminaria esta relacionado con su grado de separación.

- Relación de Alrededores (SR): La relación que se busca establecer es entre la iluminancia prom de ancho de banda en los extremos y la luminancia prom interior. Si no se permite bandas de 5 m, se pueden utilizar bandas más estrechas.[6] En calzadas dobles se considerarán como una única unidad, solo si no existe una separación mayor a 10 m. No es necesario con la iluminación propia.

3.2.2. Alumbrado público por clases de vías

- Vías para motorizados.- la clasificación va desde vías M1 a vías M5, y su elección de- pende de diversos factores, entre ellos: su papel en la vía, la densidad del tráfico vehicular, la complejidad del tránsito, la separación entre los carriles, además de la señalética.[6]

Tabla 1: Clases de AP para diferentes tipos de vías públicas

Descripción de la vía	Tipo de iluminación
Carreteras de alta velocidad que cuentan con carriles separados, libres de cruces a nivel y con accesos completamente controlados, tales como autopistas y autovías. Estas vías tienen una alta densidad de tráfico y una complejidad de circulación significativa.	
Alta (más de 1000 vehículos/hora)	M1
Media (entre 500 y 1000 vehículos/hora)	M2
Baja (entre 150 y menos de 500 vehículos/hora)	M3
Carreteras de alta velocidad que permiten la circulación en ambos sentidos. Estas vías cuentan con un control de tráfico y separación clara entre distintos tipos de usuarios de la carretera.	
Pobre	M2
Bueno	M3
Calles urbanas con un tráfico significativo y carreteras radiales que atraviesan áreas urbanas. Estas vías cuentan con un control de tráfico y una clara separación entre los diversos usuarios de la carretera.	
Pobre	M3
Bueno	M4
Vías secundarias que sirven como conexiones, carreteras locales distribuidoras y vías de acceso principales en áreas residenciales, que proporcionan acceso a propiedades y conectan con otras carreteras. Estas vías cuentan con un control de tráfico y una separación clara entre los distintos usuarios de la carretera.	
Pobre	M4
Bueno	M5

Fuente: Regulación Nro-ARCERNNR 006/20

- **Parámetros fotométricos:** identificado las particularidades de las vías y los requisitos visuales asociados, se procederá a determinar la adecuada iluminación. Cada tipo de iluminación contendrá los valores fotométricos mínimos que deben mantenerse constantes a lo largo del tiempo.[6] Estos valores se encuentran resumidos en la Tabla 2 para luminancia, en los casos en que este criterio sea aplicado.[6]

Tabla 2: Luminancia de calzada para tráfico motorizado.

Clase de Iluminación	Campo de Aplicación				
	Todas las Vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con aceras no iluminadas para clases P1 a P4 (ver Tabla 6)
	Luminancia promedio L_{av} (cd/m ²) mínimo mantenido	Factor de uniformidad U o Mínimo	TI % Máxima inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia UL Mínimo	Relación de alrededores (SR) Mínima
M1	2.0	0.4	10	0.7	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.7	0.5
M3	1.0	0.4	10	0.7	0.5
M4	0.8	0.4	10	NR	NR
M5	0.6	0.4	10	NR	NR

Fuente: Regulación Nro-ARCERNNR 006/20

Notas: NR = No necesario

Se permitirá realizar diseños lumínicos basados en el criterio de iluminancia para vías clasificadas en las categorías M3, M4 y M5, de acuerdo con lo establecido en la Tabla.

Tabla 3: Iluminancia prom (lx) mínima en vías motorizadas.

Clase de Iluminación	Valor promedio (mínimo a mantener) de iluminancia según tipo de superficie de la vía (lx) (ver Tabla 4)			Uniformidad de la Iluminancia
	R1	R2 y R3	R4	E_{min}/E_{prom} (%)
M3	12	17	15	34%
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Fuente: Regulación Nro-ARCERNNR 006/20

Tabla 4: Aspectos superficiales.

Clase	Características de la superficie
R1	-Superficies de calzada que incorporan al menos un 15% de materiales reflectantes o materiales artificiales de tonos claros, o que contienen un mínimo del 30% de anortositas de alta reflectividad. -Calzadas que están mayormente cubiertas por gravas, con más del 80% de la superficie compuesta por gravas que contienen una gran cantidad de material claro y reflectante, o que consisten en un 100% de anortositas de alto brillo. -Calzadas construidas con hormigón de concreto.
R2	-Superficies que presentan una textura rugosa y contienen agregados normales. -Calzadas asfálticas con pavimentos bituminosos que contienen entre el 10% y el 15% de abrillantadores artificiales. -Hormigón bituminoso grueso y rugoso, compuesto principalmente por gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10 mm. -Asfalto mástico después de ser tratado, también conocido como asfalto mástico en estado nuevo.
R3	-Superficies revestidas con hormigón (como asfalto frío o asfalto cemento) que contienen grava de tamaño superior a 10 mm y presentan una textura rugosa. -Superficies que han sido tratadas para tener una textura rugosa, pero luego fueron pulimentadas.
R4	-Asfalto mástico en un estado avanzado de uso, después de varios meses de servicio. -Superficies que presentan una textura notablemente suave o pulimentada.

Fuente: Regulación Nro-ARCERNNR 006/20

- Vías peatonales:

Tabla 5: Iluminación para vías peatonales y de ciclistas.

Clase de Iluminación	Descripción del uso de la calzada
P1	Vías de gran importancia.
P2	Uso nocturno intensa por peatones y ciclistas.
P3	Uso nocturno moderada por peatones y ciclistas.
P4	Uso nocturno baja por peatones y ciclistas, solo asociada a las propiedades adyacentes.
P5	Baja actividad nocturna de peatones y ciclistas, restringida principalmente a las propiedades cercanas. Se prioriza la conservación del lugar y su carácter arquitectónico en el entorno.
P6	Escasa actividad nocturna de peatones y ciclistas, limitada principalmente a las propiedades cercanas. Se busca preservar el carácter arquitectónico del entorno.

Fuente: Regulación Nro-ARCERNNR 006/20

- Parámetros fotométricos para tráfico peatonal: Los valores fotométricos correspondientes al tráfico peatonal (P1 al P6) están especificados en

la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 6: Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal.

Clase de Iluminación	Iluminación (lx)	
	Valor Promedio (*)	Valor Mínimo (*)
P1	20	7.5
P2	10	3.0
P3	7.5	1.5
P4	5.0	1.0
P5	3.0	0.6
P6	1.5	0.2

Fuente: Regulación Nro-ARCERNNR 006/20

3.3. Características de la vía

Evaluación realizada en vías de la ciudad de Cuenca. A partir de los datos obtenidos mediante mediciones, se pudo determinar que estas vías se clasifican como vías tipo M1, M2 y M3 según lo establecido en la regulación ARCENNER 006/20. Además, se estableció una relación con las normas contenidas en la normativa vial ecuatoriana Volumen N° 2 - Libro A - Norma para Estudios y Diseños Viales.[26]



Figura 22: Vía de alta capacidad inter urbana M1
Fuente: NEVI-12- Normas para estudios y diseños viales.

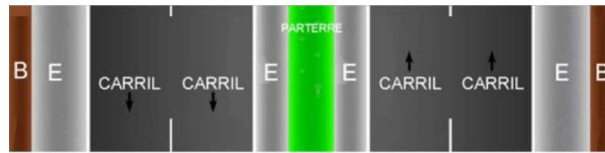


Figura 23: Vía de alta capacidad urbana M2
Fuente: NEVI-12- Normas para estudios y diseños viales.



Figura 24: Carretera convencional básica M3
Fuente: NEVI-12- Normas para estudios y diseños viales.

3.3.1. Características viales de la Av. de Las Américas

Se realizó una medición detallada del tamaño y características de la Av. de Las Américas en un tramo específico ubicado en las cercanías del parque de Miraflores. Se aseguró que este tramo cumpliera con los requisitos y dimensiones establecidos en las normativas correspondientes para que sea considerado como una vía tipo M1.



Figura 25: Características vial de la Av. de Las Américas.
Fuente: Autor

La medición exhaustiva abarcó aspectos esenciales del tramo, como el ancho de la calzada, el número de carriles, la separación entre carriles y cualquier otro elemento relevante de la infraestructura vial representada en el programa AutoCAD. Esto garantizó que el modelo a ser construido en el programa Dialux fuera una representación precisa y fiel de la vía en estudio.

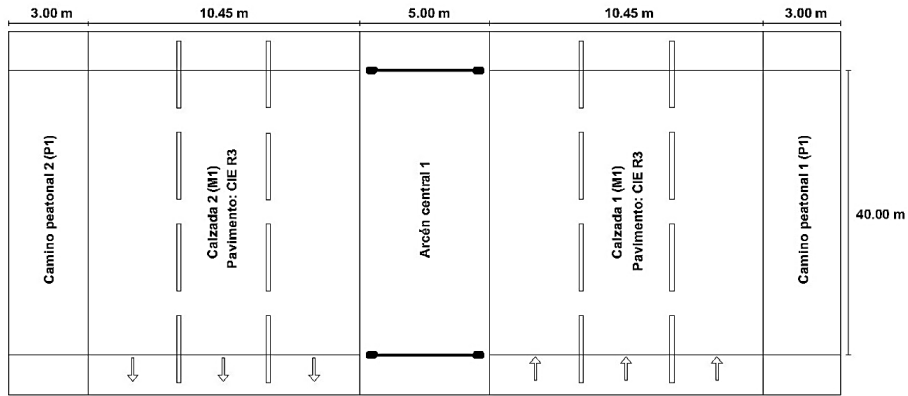


Figura 26: Dimensiones de la Av. de Las Américas.
Fuente: Autor

3.3.2. Características viales de la Av. Turuhuaico

La medición se realizó en la Av. Turuhuaico en un tramo específico ubicado por la Universidad Politécnica Salesiana, para una vía tipo M2.



Figura 27: Características vial de la Av. Turuhuaico.
Fuente: Autor

Detalles de las características y medidas de campo realizadas como las aceras, parterre central y calzadas.

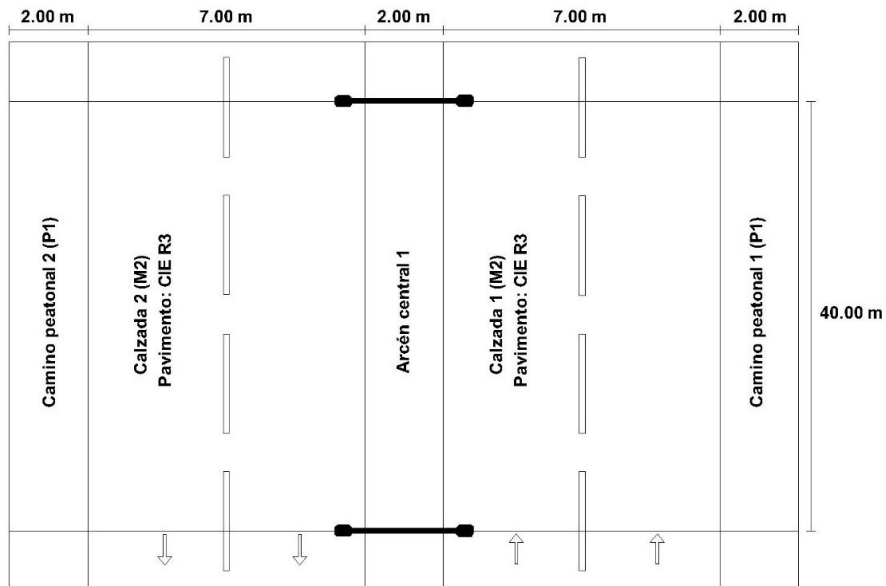


Figura 28: Dimensiones de la Av. Turuhuaico.
Fuente: Autor

3.3.3. Características viales de la calle La Floresta.

Medición detallada del tamaño y características de la calle La Floresta en un tramo específico ubicado cerca de viviendas, parque y áreas verdes para una vía tipo M3.



Figura 29: Características vial de la calle La Floresta.
Fuente: Autor

Detalles de las características y medidas de campo realizadas como las aceras y calzadas.

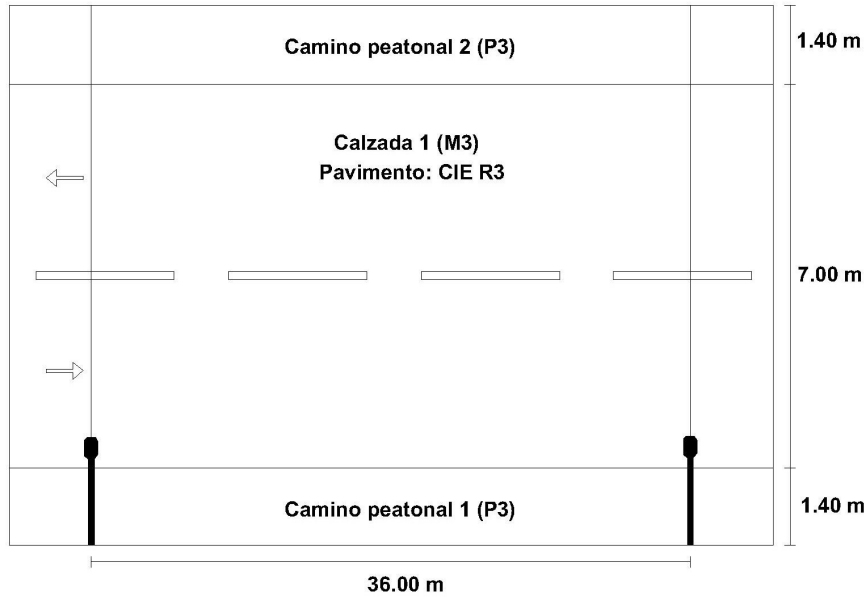


Figura 30: Dimensiones de la calle La Floresta.
Fuente: Autor

3.4. Tipos de luminarias LED en el mercado

La comparación de diferentes tipos de luminarias LED es de vital importancia en la evaluación lumínica del alumbrado público por diversas razones fundamentales, las cuales constituyen un componente esencial de esta tesis. La tecnología LED ha experimentado un rápido avance y desarrollo en los últimos años, lo que ha llevado a la disponibilidad de una amplia gama de luminarias con características y especificaciones variables.[27] Al realizar una comparativa, se tiene la oportunidad de identificar cuáles de estas luminarias ofrecen el mejor rendimiento lumínico, eficiencia energética y vida útil, lo que puede traducirse en beneficios económicos y medioambientales significativos para el área en estudio.[28]

En la medición de las características viales se observó que cada vía o espacio público posee particularidades únicas, como el tamaño, la función, la densidad de tráfico y las necesidades específicas de iluminación. Al comparar distintas luminarias LED, se puede determinar cuál se ajusta de manera óptima a las características particulares de cada lugar, asegurando una iluminación adecuada y segura para los usuarios y cumpliendo con las regulaciones y normativas vigentes. Esta comparación de luminarias LED ofrece la oportunidad de evaluar su capacidad para adaptarse a futuros cambios o expansiones de la infraestructura urbana, asegurando la escalabilidad del sistema de alumbrado a medida que las necesidades y características de la ciudad evolucionen con el tiempo.

Basándonos en los parámetros obtenidos en las diferentes vías, llevamos a cabo una minuciosa investigación para identificar empresas que ofrezcan luminarias LED para alumbrado público, las cuales cumplan con los requisitos establecidos en la regulación ARCENNER 006/20 y a su vez, demuestren una alta eficiencia para evitar el sobredimensionamiento en su uso. La búsqueda exhaustiva dio lugar a una lista detallada de diferentes tipos de luminarias y sus respectivos fabricantes disponibles en el mercado ecuatoriano que se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 7: Luminarias seleccionadas.

FABRICANTE	POTENCIA	FLUJO LUMINOSO	EFICACIA LUMINOSA	CLASE ELÉCTRICA
Luminarias para un tipo de vía M1 – AV. de Las Américas				
Modelo 1	200W	30790lm	153.4lm/W	II
Modelo 2	240W	34258lm	142.6lm/W	II
Modelo 3	250W	38842lm	155.8lm/W	II
Modelo 4	250W	33655lm	134.6lm/W	II
Modelo 5	256W	31577lm	123.3lm/W	II
Luminarias para un tipo de vía M2 – AV. Turuhuaico				
Modelo 1	150W	23155lm	153.5lm/W	II
Modelo 2	150W	21158lm	141.2lm/W	II
Modelo 3	150W	24004lm	159.1lm/W	II
Modelo 4	141W	18673lm	153.5lm/W	II
Luminarias para un tipo de vía M3 – La Floresta				
Modelo 1	100W	15416lm	152.7lm/W	II
Modelo 2	100W	13133lm	130.7lm/W	II
Modelo 3	100W	15297lm	146.8lm/W	II
Modelo 4	100W	14239lm	134.6lm/W	II
Modelo 5	109W	11642lm	106.8lm/W	II

Fuente: Autores

3.5. Simulación

3.5.1. Vía M1 - Av. de Las Americas

- Disposición: En el modelado de las luminarias tipo LED para la Av. de Las Américas, categorizada como un tipo de vía M1, se implementó una disposición central doble o axial de acuerdo con las directrices establecidas en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).[29] Esta disposición se emplea en vías de tráfico que cuentan con una mediana o arcén central que separa los dos sentidos de circulación. Los puntos de luz se ubican en columnas o postes de doble brazo, colocados en la mediana central (M). Esta configuración posibilita una eficiente economía en el proyecto, ya que los postes

pueden compartir el separador central, funcionando de manera similar a dos disposiciones unilaterales[9]. Este enfoque de agrupar las luminarias es conocido como disposición central sencilla, y garantiza una distribución óptima de la luz para iluminar adecuadamente la vía y maximizar la eficiencia lumínica en la Av. de Las Américas.

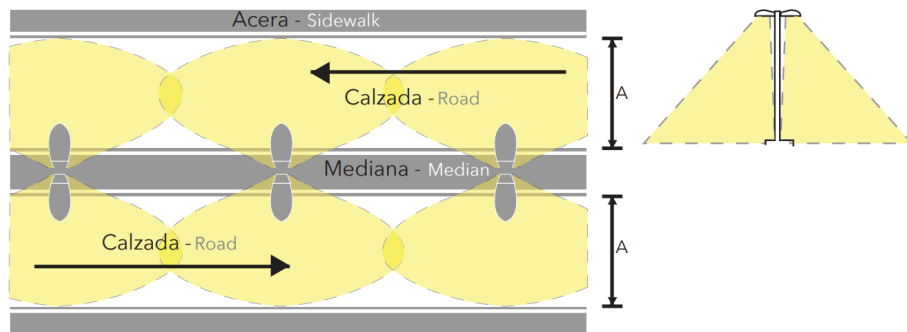


Figura 31: Disposición central doble o axial.

Fuente: NEVI-12- Normas para estudios y diseños viales.

- **Fichas de productos:** Conocer las fichas técnicas de las luminarias es de vital importancia en el contexto de la evaluación lumínica y selección de luminarias LED para el alumbrado público, especialmente en la Av. de Las Américas y otras vías similares. Relacionado con lo anterior, el acceso a esta información detallada sobre cada luminaria facilita el proceso de comparación y análisis para determinar cuáles son las más adecuadas para cumplir con los requerimientos específicos de cada vía. Al contar con las fichas técnicas de las luminarias, es posible examinar aspectos críticos como la potencia, flujo luminoso, distribución de luz, temperatura de color, índice de reproducción cromática (CRI), entre otros parámetros relevantes[22]. Esto permite identificar aquellas lumi-

narias que cumplen con las regulaciones y normativas aplicables, como la ARCERNNR-006/2020, asegurando que las seleccionadas se ajusten adecuadamente.

Tabla 8: Ficha técnica luminarias LED vía M1 – Av. de Las Américas.

TIPO DE LUMINARIA	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Flujo luminoso	30790 lm	34258 lm	38842 lm	33655 lm	31577 lm
Potencia de luminaria	200W	240W	250W	250W	256W
Temperatura de color	4000k°	4000k°	4000k°	4000k°	4000k°
Rendimiento lumínico	153.5 lm/W	155.8 lm/W	155.8 lm/W	134.6 lm/W	123.3 lm/W
η	---	100.03%	100.03 %	84.88%	88.67&%
CRI	100	100	100	70	100
Vida útil	100.000 horas	100.000 horas	100.000 horas	100.000 horas	100.000 horas

Fuente: Autores

- Ópticas: Las ópticas de las luminarias LED son componentes esenciales que determinan cómo se distribuye la luz emitida por la fuente lumínica.[30] Estas ópticas están diseñadas para controlar la dirección y el patrón de la luz, asegurando que esta se dirija hacia las áreas deseadas y se evite la dispersión innecesaria o el deslumbramiento, en la siguiente imagen se muestra las ópticas utilizadas para la simulación de la vía M1.

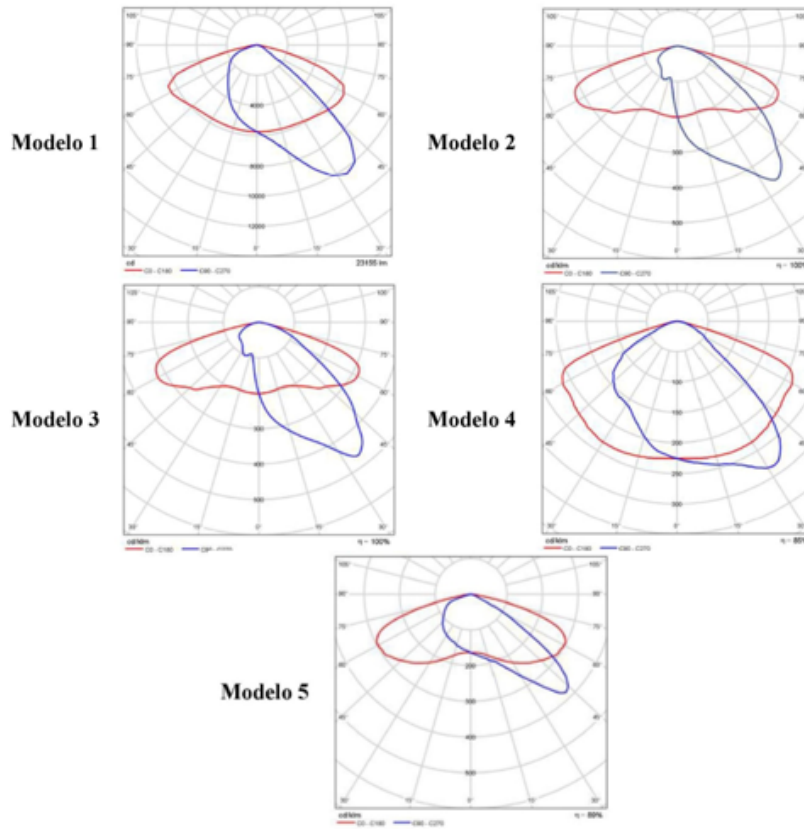


Figura 32: Ópticas luminarias LED vía M1 – Av. de Las Américas.

- **Parámetros de montaje:** Los parámetros de montaje de las luminarias LED son elementos cruciales para una instalación segura y eficiente en el alumbrado público. Estos incluyen la altura, ángulo de inclinación, orientación y distancia de montaje. Es importante seleccionar el tipo de soporte adecuado y cumplir con las normativas vigentes. Un montaje correcto garantiza una iluminación óptima y sostenible, mejorando la calidad de vida en áreas urbanas y vías públicas.[31]

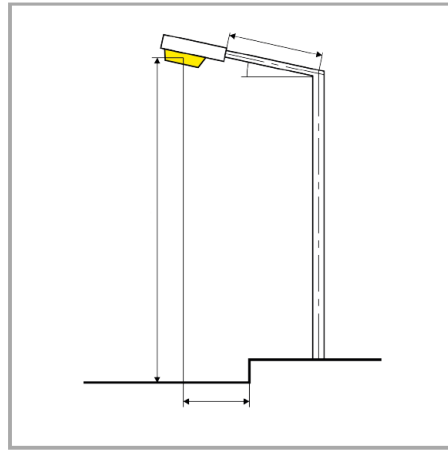


Figura 33: Montaje de luminaria.
Fuente: DIALux evo

En la siguiente tabla se detalla características de montaje de acuerdo a las normativas como la RETILAP, Regulación ARCERNNR-006/2020, para garantizar una instalación segura y eficiente en el alumbrado público. Estos parámetros incluyen diversos elementos que afectan la forma en que las luminarias son colocadas y fijadas en su ubicación, asegurando un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada.

Tabla 9: Parámetros de montaje luminarias LED vía M1 – Av. de Las Américas.

CARACTERÍSTICAS	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Distancia entre mástiles	37.000m	40.000m	40.000m	40.000m	40.000m
Altura del unto de luz	12.000m	14.000m	12.000m	12.000m	12.000m
Saliente del punto de luz	-0.500 m	-0.500 m	-0.500 m	-0.500 m	-0.500 m
Inclinación del brazo	0.0°	0.0°	0.0°	0.0°	0.0°
Longitud del brazo	2.000m	2.000m	2.000m	2.000m	2.000m
MF	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

Fuente: Autores

- Modelado en Dialux: El modelado en Dialux desempeña un papel fun-

damental en el diseño y evaluación del alumbrado público mediante luminarias LED. Este software especializado en iluminación permite simular y visualizar cómo se distribuye la luz en un espacio específico [32]. El proceso de modelado comenzó creando un entorno virtual basado en un tramo de la Av. de Las Américas, ubicado cerca del parque Miraflores. Se incorporaron las dimensiones y características del área, incluyendo las coordenadas y la ubicación de las luminarias, que se obtuvieron mediante mediciones de campo y el Geoportal de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, responsable de la concesión y distribución de energía eléctrica en la zona evaluada.

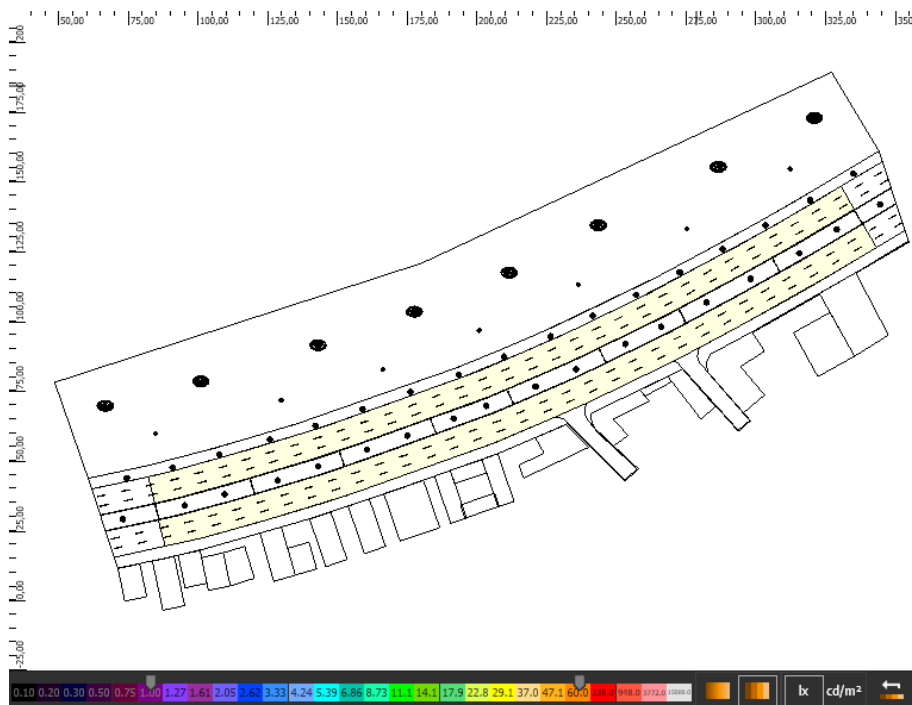


Figura 34: Entorno virtual basado en un tramo de la Av. de Las Américas.
Fuente: Autor

Luego, se selecciona las luminarias LED que se utilizaron en el proyecto, y se incorporaron al modelo. Es importante cargar las fichas técnicas de cada luminaria en Dialux para que el programa pueda calcular de manera precisa la cantidad de luz que emite cada una y su distribución lumínica. El siguiente paso fue definir los parámetros de montaje, como la altura de las luminarias, el ángulo de inclinación y la orientación. Estos parámetros afectan directamente la distribución de la luz y deben ajustarse de acuerdo con las necesidades específicas del espacio. Una vez configurado el modelo, se realizó el cálculo de iluminación en Dialux. El programa simula cómo se comportará la luz emitida por las luminarias en el espacio, considerando factores como la reflexión de la superficie del suelo y las paredes. Así, se obtienen resultados precisos sobre la intensidad lumínica, la uniformidad y otros parámetros lumínicos en diferentes puntos del área. Con los resultados del cálculo, se pudo evaluar el rendimiento del alumbrado propuesto y realizar ajustes si es necesario para lograr una distribución lumínica óptima y eficiente. Además, Dialux permite generar imágenes y visualizaciones 3D del proyecto, lo que facilita la comunicación de los resultados y la presentación del diseño.

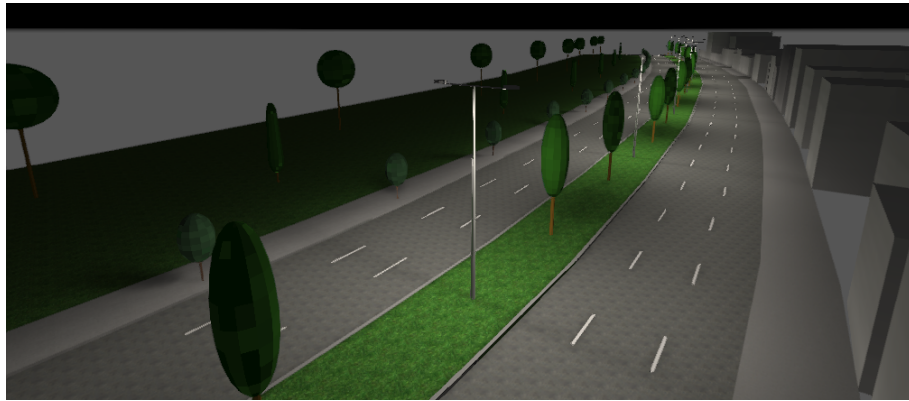


Figura 35: Visualización en 3D tipo de vía M1 – Av. de Las Américas.
Fuente: Autor

3.5.2. Vía M2 - Av. Turuhuaico

- Disposición: En el modelado de las luminarias tipo LED para la Av. Turuhuaico, categorizada como un tipo de vía M2, se implementó una disposición central doble o axial de acuerdo con las directrices establecidas en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP). Esta disposición se emplea en vías de tráfico que cuentan con una mediana o partner central que separa los dos sentidos de circulación. Los puntos de luz se ubican en columnas o postes de doble brazo, colocados en la mediana central (M). Esta configuración posibilita una eficiente economía en el proyecto, ya que los postes pueden compartir el separador central, funcionando de manera similar a dos disposiciones unilaterales. Este enfoque de agrupar las luminarias es conocido como disposición central sencilla, y garantiza una distribución óptima de la luz para iluminar adecuadamente la vía y maximizar la eficiencia lumínica.

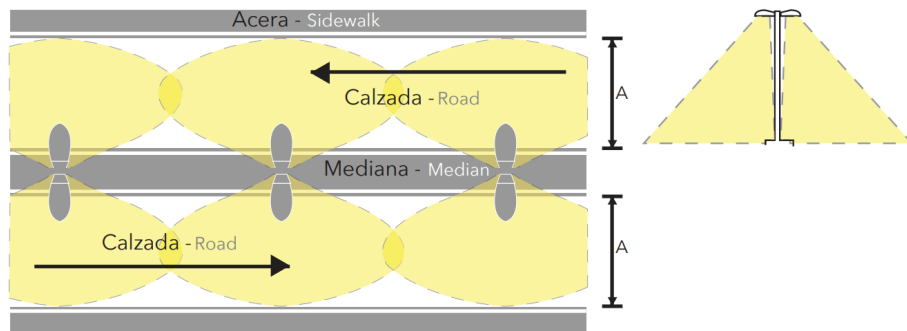


Figura 36: Disposición central doble o axial.
Fuente: NEVI-12- Normas para estudios y diseños viales.

- Fichas de productos: Fueron seleccionadas para el modelado M2 de esta vía que comparten características similares a las mencionadas anteriormente.

Tabla 10: Ficha técnica luminarias LED vía M2 – Av. Turuhuaico.

TIPO DE LUMINARIA	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Flujo luminoso	23155 lm	21158 lm	24004 lm	18673 lm
Potencia de luminaria	150W	150W	150W	141W
Temperatura de color	4000k°	4000k°	4000k°	4000k°
Rendimiento lumínico	153.5 lm/W	141.2 lm/W	159.1 lm/W	132.5 lm/W
η	--	100.00 %	99.99 %	82.42 %
CRI	100	100	100	70
Vida útil	100.000 horas	100.000 horas	100.000 horas	100.000 horas

Fuente: Autores

- Ópticas:

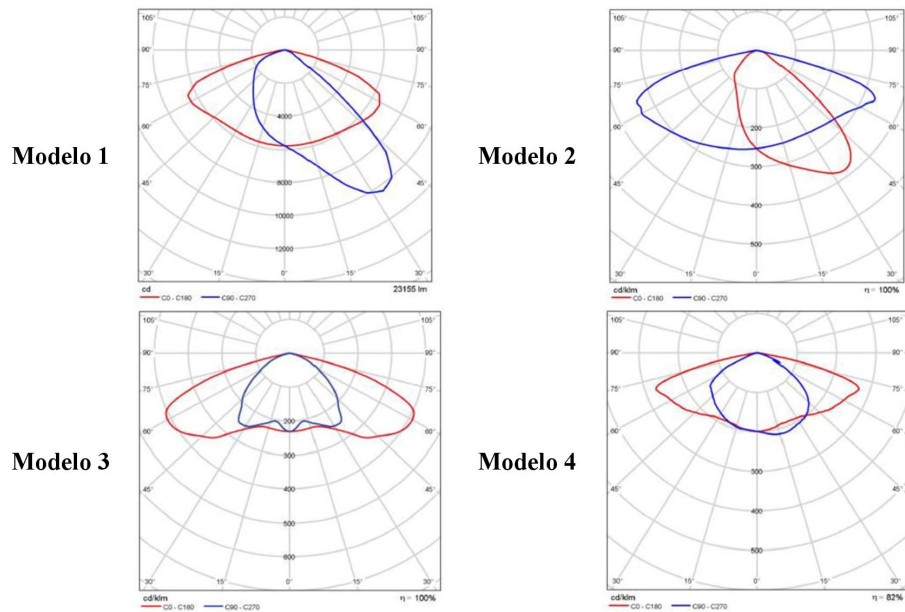


Figura 37: Ópticas luminarias LED vía M2 – Av. Turuhuaico.

- Parámetros de montaje:

Tabla 11: Parámetros de montaje luminarias LED vía M2 – Av. Turuhuaico.

CARACTERÍSTICAS	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Distancia entre mástiles	40.000m	40.000m	40.000m	40.000m
Altura del unto de luz	12.000m	12.000m	12.000m	12.000m
Saliente del punto de luz	0.500 m	0.500 m	0.500 m	0.500 m
Inclinación del brazo	15.0°	0.0°	0.0°	0.0°
Longitud del brazo	1.50 m	1.50 m	1.50 m	1.50 m
MF	0.80	0.80	0.80	0.80

Fuente: Autores

- Modelado en Dialux: Se modelo basado en un tramo de la Av. Turuhuaico, utilizando el mismo proceso para la anterior vía.

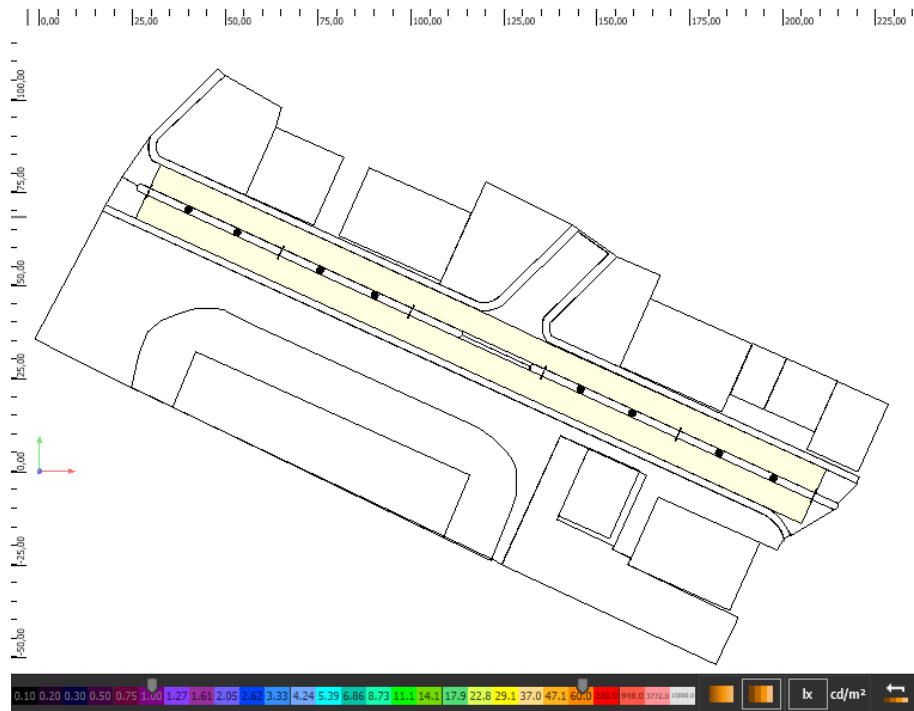


Figura 38: Entorno virtual basado en un tramo de la Av. Turuhuaico.
Fuente: Autor

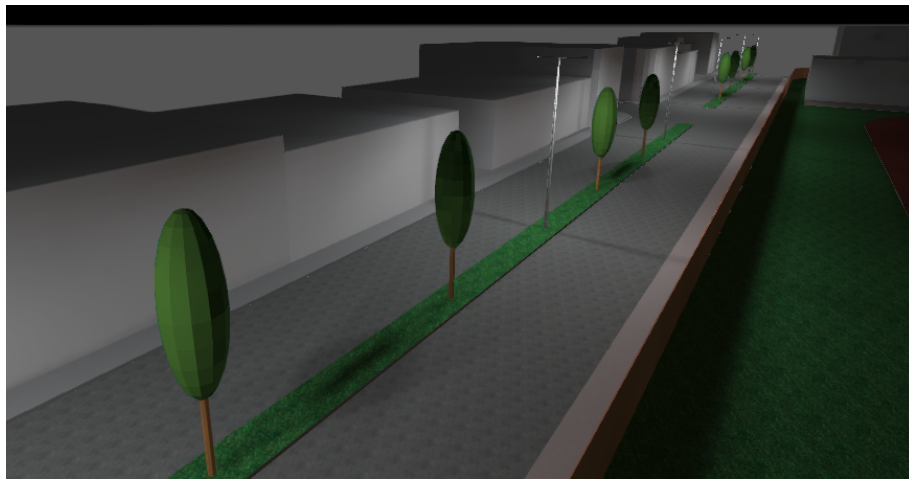


Figura 39: Visualización en 3D tipo de vía M2 – Av. Turuhuaico.
Fuente: Autor

3.5.3. Vía M3 - La Floresta

- Disposición: En el modelado de las luminarias tipo LED para la calle La Floresta, categorizada como un tipo de vía M3, se implementó una disposición unilateral de acuerdo con las directrices establecidas en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP). Esta configuración se utiliza cuando los puntos de luz se encuentran en un único lado de la vía, y es comúnmente empleada en situaciones donde el ancho de la calzada (A) es igual o inferior a la altura de montaje (H) de las luminarias.

Datos calle La Floresta: A=7m inferior a la altura de montaje H=10m
 La altura está definida a partir de la normativa colombiana RETILAP como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 12: Aspectos para colocación de luminarias.

Clase de Iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias	
			Criterio	Disposición
M1	12 - 14	3.5 - 4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M2	10 - 12	3.5 - 4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M3	8.5 - 10	3.5 - 4	Ancho de la calzada menor	Unilateral
M4	7 - 9	3.5 - 4	Unilateral	
M5	6	3.5 - 4	A criterio del diseñador	

Fuente: NEVI-12-Norma para estudios y diseños viales.

Relación S/H:

Distancia entre postes: S=36m

Altura de montaje de luminarias: H=10m

S/H=36/10

S/H=3.6

S/H esta dentro del rango de 3.5 a 4.

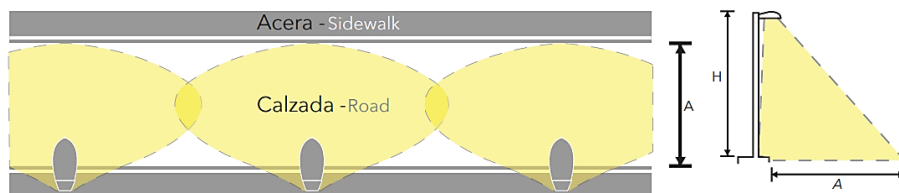


Figura 40: Disposición Unilateral.

Fuente:

- Fichas de productos: Fueron seleccionadas para el modelado M3 de esta vía que comparten características similares a las mencionadas anteriormente.

Tabla 13: Ficha técnica luminarias LED vía M3 – La Floresta.

TIPO DE LUMINARIA	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Flujo luminoso	15416 lm	13133 lm	15297 lm	14239 lm	11642 lm
Potencia de luminaria	100W	100W	100W	100W	109W
Temperatura de color	4000k°	4000k°	4000k°	4000k°	4000k°
Rendimiento lumínico	152.7 lm/W	130.7 lm/W	146.8 lm/W	134.6 lm/W	106.8 lm/W
η	100.00 %	100.00 %	99.99 %	83.80 %	82.41 %
CRI	100	100	100	70	100
Vida útil	100.000 horas	100.000 horas	100.000 horas	100.000 horas	100.000 horas

Fuente: Autores

- Ópticas:

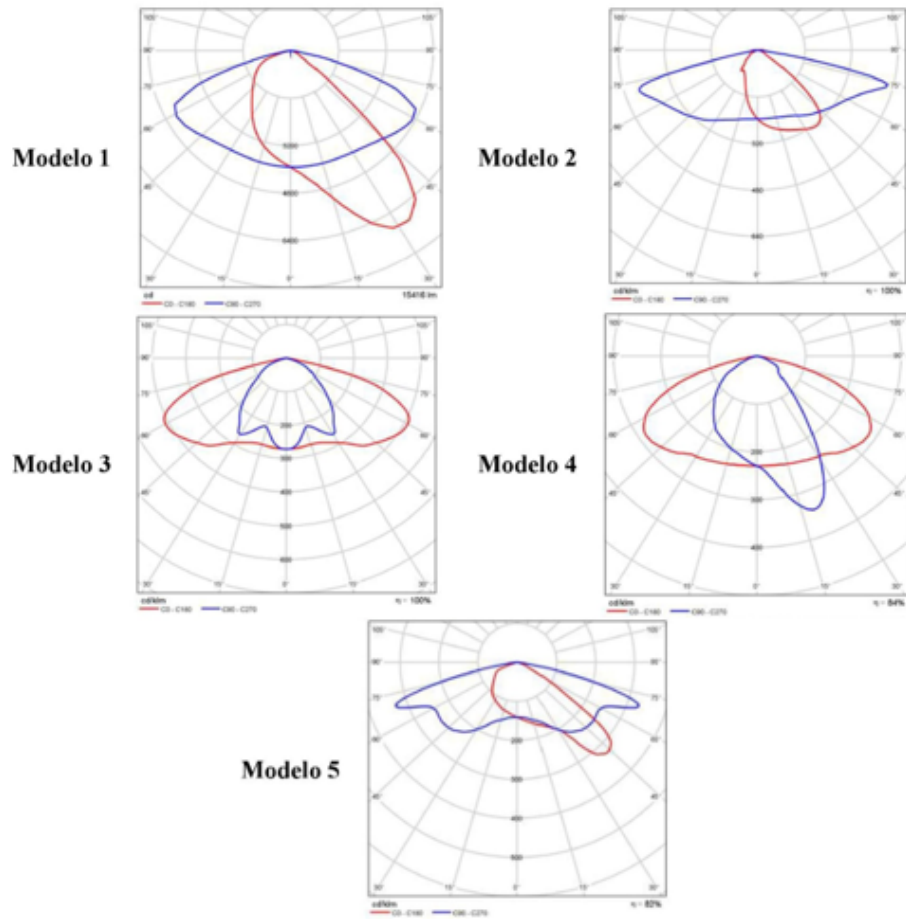


Figura 41: Ópticas luminarias LED vía M3 – La Floresta.

- Parámetros de montaje: Estos datos se consideraron para las características de este tipo de vía como es la M3 considerando datos de campo medidos.

Tabla 14: Parámetros de montaje luminarias LED vía M3 – La Floresta.

CARACTERÍSTICAS	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Distancia entre mástiles	36.000m	36.000m	36.000m	36.000m	36.000m
Altura del unto de luz	10.000m	10.000m	10.000m	10.000m	10.000m
Saliente del punto de luz	0.400 m	0.400 m	0.400 m	0.400 m	0.400 m
Inclinación del brazo	0.0°	0.0°	15.0°	0.0°	0.0°
Longitud del brazo	1.500m	1.500m	1.500m	1.500m	1.500m
MF	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

Fuente: Autores

- Modelado en Dialux: El proceso de modelado comenzó creando un entorno virtual basado en un tramo de la calle La Floresta, ubicado en una zona rural como un acceso a la ciudad de Cuenca desde la parroquia Sinincay.

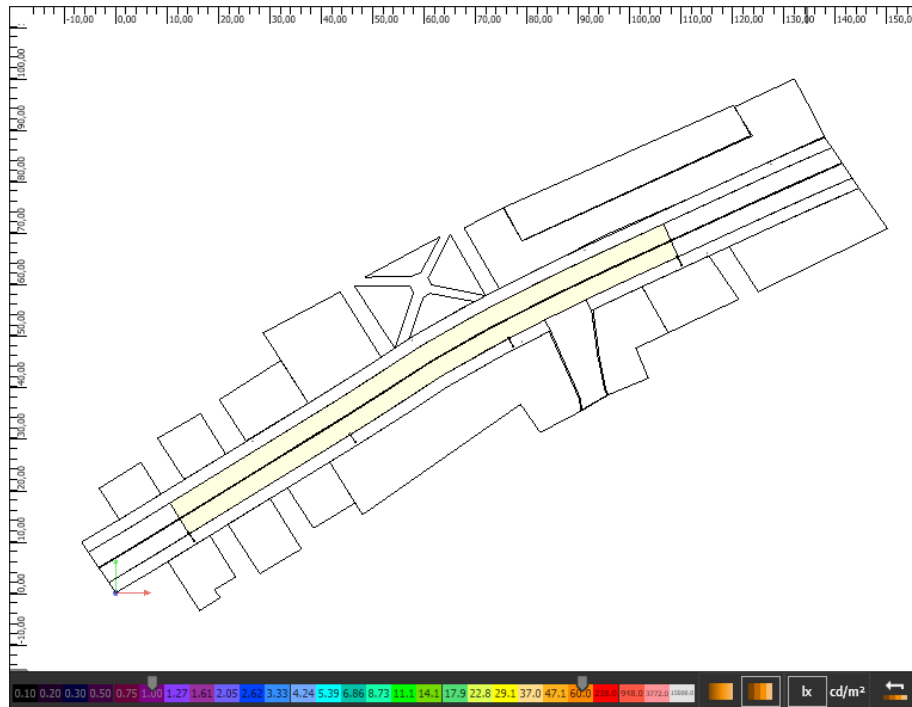


Figura 42: Entorno virtual basado en un tramo de la calle La Floresta.

Fuente: Autor

Luego, se seleccionó las luminarias LED que se utilizaron en el proyecto, y se incorporaron al modelo respetando el mismo proceso para las anteriores simulaciones.

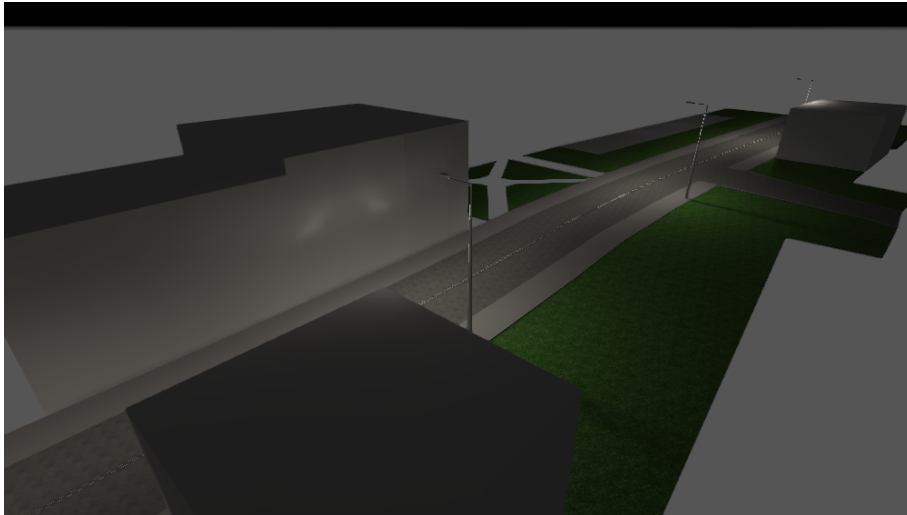


Figura 43: Visualización en 3D tipo de vía M3 – La Floresta.
Fuente: Autor

CAPÍTULO 4

CRITERIO PARA EL MODELADO DEL DRIVER PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA

4. Metodología (Driver)

Se realizará un estudio sobre drivers para alumbrado público, enfocado en analizar su eficiencia energética según las normativas IEC 60598-1 e IEC 61000-3-2, así como otros estándares relevantes. Esta revisión bibliográfica permitirá establecer una sólida base teórica para el estudio y nos ayudará a identificar los parámetros clave a analizar. Además, se diseñará un modelo general de un driver para alumbrado público, teniendo en cuenta las características comunes de estos dispositivos. La simulación se llevará a cabo utilizando el software SIMULINK de Matlab, lo que nos permitirá obtener datos precisos sobre Distorsión Armónica Total, Flicker, Factor de Potencia y Consumo de Potencia en diversas condiciones de operación. Con Estas definiciones obtendremos una comprensión mas precisa del rendimiento energético de los drivers y su efecto en la eficiencia de la iluminación pública.[33]

En base a los resultados obtenidos de la simulación del modelo del driver para alumbrado público, se realizará un análisis detallado de los valores de los parámetros energéticos, a saber, Distorsión Armónica Total, Flicker, Factor de Potencia y Consumo de Potencia. Estos datos serán registrados y organizados en un formato adecuado para su posterior análisis y comparación. El análisis comparativo se llevará a cabo en relación con los estándares establecidos por las normativas IEC 60598-1 e IEC 61000-3-2, así como otros

estándares relevantes. Se verificará si los valores obtenidos cumplen con los requisitos establecidos. En caso de que algún parámetro no cumpla con los límites especificados, se identificarán posibles deficiencias en el rendimiento energético del driver. El análisis detallado nos proporciona encontrar datos que implica que el driver diseñado se encuentra dentro de los estándares de eficiencia energética y considerando su posición en luminarias de alumbrado público. Se identificarán posibles deficiencias que puedan afectar la calidad y eficiencia de la iluminación de las lámparas de alumbrado público. Las conclusiones se centraran en los resultados obtenidos y se realizarán indicaciones para mejorar el diseño y rendimiento de los drivers.[34]

Los resultados y conclusiones de esta fase de la investigación se presentarán de manera clara y concisa en el informe de tesis. Este análisis comparativo y la verificación del cumplimiento de los estándares serán fundamentales para evaluar si el driver de la luminaria garantiza la seguridad, la eficiencia y la calidad de la iluminación en los espacios públicos, proporcionando así recomendaciones para mejorar el diseño y rendimiento de los drivers utilizados en el alumbrado público.

4.1. Partes de las luminarias LED

Para indicar un análisis de los parámetros energéticos de una luminaria LED para alumbrado público, es fundamental conocer las partes más importantes por las que está construida dicha luminaria, a continuación, se detallan las partes:

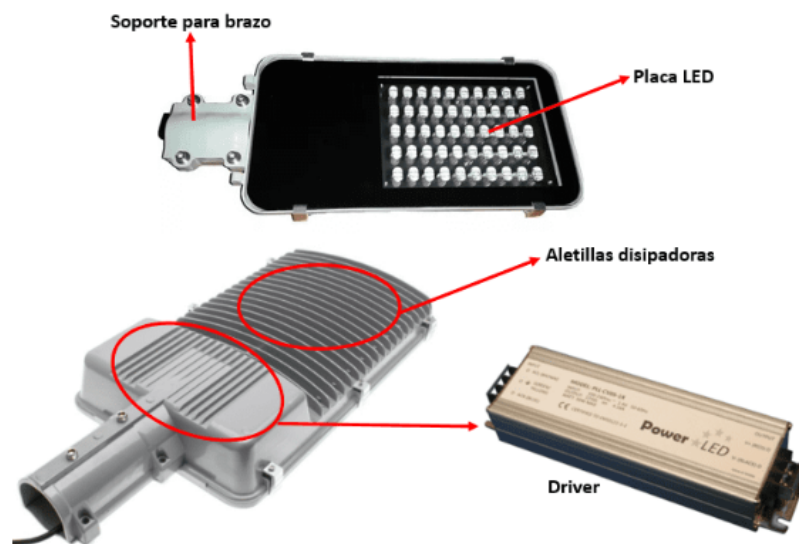


Figura 44: Partes esenciales de una luminaria LED para alumbrado público.
Fuente:

De acuerdo con las normativas y regulaciones acerca del alumbrado público, las partes principales de una luminaria LED típica son las siguientes:

- **Carcasa o Cuerpo:** Es la estructura externa de la luminaria que protege y alberga todos los componentes internos. Suele estar fabricada con materiales resistentes a la intemperie y corrosión para soportar las condiciones ambientales del alumbrado público.[15]

- **Módulo LED:** Contiene uno o varios diodos emisores de luz (LED) que son los responsables de la generación de luz. Los LEDs son dispositivos semiconductores que convierten la corriente eléctrica en luz visible.[35]
- **Disipador de Calor:** Los LEDs generan calor durante su funcionamiento, y el disipador de calor es una parte fundamental para disipar ese calor y mantener una temperatura de operación adecuada para prolongar la vida útil de los LEDs y asegurar su rendimiento óptimo.[35]
- **Driver o Controlador:** Es el componente electrónico responsable de suministrar la corriente y voltaje adecuados al módulo LED para su funcionamiento correcto. El driver convierte la corriente alterna de la red eléctrica en la corriente directa necesaria para alimentar los LEDs.[17]
- **Soporte o Montaje:** Es la estructura que permite fijar la luminaria en su ubicación en postes o brazos de alumbrado público. Las normativas y regulaciones suelen establecer requisitos técnicos y de calidad. [36]

4.2. Modelado del Driver

Durante el desarrollo de esta investigación, se ha realizado una evaluación energética de los drivers utilizados en las luminarias de alumbrado público seleccionadas. Los parámetros de calidad de energía analizados incluyen el THD (Distorsión Armónica Total), flicker, armónicos, corrientes, voltajes y factor de potencia. Esta evaluación adquiere una relevancia significativa debido al creciente avance tecnológico en la industria LED, lo que ha generado una amplia variedad de drivers con distintas características y especificaciones.

4.2.1. Características técnicas

Se ha realizado una investigación detallada de las fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes, las cuales contienen información esencial sobre las características eléctricas y parámetros de calidad de energía de los drivers. Estos datos son cruciales para el modelado de un prototipo que cumpla con los parámetros establecidos en las normativas vigentes, garantizando así la calidad lumínica y el rendimiento energético requerido para el proyecto, como se detalla en las siguientes tablas, a partir de las especificaciones técnicas de las diferentes luminarias LED utilizadas en la evaluación lumínica de la Av. de Las Américas considerada como un tipo de vía M1.

Tabla 15: Características de los modelos de Drivers para una potencia de 250W.

MARCAS	VOLTAJE DE ENTRADA	VOLTAJE DE SALIDA	CORRIENTE DE SALIDA	POTENCIA NOMINAL	FACTOR DE POTENCIA	CONSUMO PROPIO DEL DRIVER (% DE EFICIENCIA)
Modelo 1	1.8A/ 115VAC 1.2A/ 230VAC 1.0A/277VAC	42VDC	4,76ACC	200 W	PF \geq 0.97 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC PF \geq 0.92/277VAC	92.5%
Modelo 2	4A/ 115VAC 2A/ 230VAC	54VDC	5ACC	240 W	PF \geq 0.98 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC	93%
Modelo 3	2A/ 220VAC 1.8A/ 240VAC	24,2VDC	10,3ACC	250 W	PF \geq 0.97 / 220VAC PF \geq 0.95/240VAC	92%
Modelo 4	1.18A/ 198VAC 1,18A/ 264VAC	24,2VDC	10,3ACC	250 W	PF \geq 0.95 / 198VAC PF \geq 0.95/264VAC	92%
Modelo 5	3A / 115VAC 1.6A / 230VAC 1.3A/277VAC	32VDC	8 ACC	256 W	PF \geq 0.95/115VAC PF \geq 0.93/230VAC , PF \geq 0.90/277VAC	94%

Fuente: Autores

Se detalla las características de los drivers utilizadas en la evaluación lumínica de la Av. Turuhuaico considerada como un tipo de vía M2.

Tabla 16: Características de los modelos de Drivers para una potencia de 150W.

MARCAS	VOLTAJE DE ENTRADA	VOLTAJE DE SALIDA	CORRIENTE DE SALIDA	POTENCIA NOMINAL	FACTOR DE POTENCIA	CONSUMO PROPIO DEL DRIVER (% DE EFICIENCIA)
Modelo 1	1.8A/ 115VAC 1A/ 230VAC	24VDC	6.25ACC	150 W	PF \geq 0.97 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC	93%
Modelo 2	1.8A/ 115VAC 1A/ 230VAC	12VDC	12.5ACC	150 W	PF \geq 0.97 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC	93%
Modelo 3	1.7A/ 115VAC 0.75A/ 230VAC	30VDC	5ACC	150 W	PF \geq 0.98 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC	93%
Modelo 4	1.7A/ 115VAC 0.74A/ 230VAC	30VDC	4.7ACC	141 W	PF \geq 0.97 / 115VAC PF \geq 0.94/230VAC	92.2%

Fuente: Autores

A conitnuación se detalla las características de los drivers utilizadas en la calle La Floresta considerada como un tipo de vía M3.

Tabla 17: Características de los modelos de Drivers para una potencia de 100W.

MARCAS	VOLTAJE DE ENTRADA	VOLTAJE DE SALIDA	CORRIENTE DE SALIDA	POTENCIA NOMINAL	FACTOR DE POTENCIA	CONSUMO PROPIO DEL DRIVER (% DE EFICIENCIA)
Modelo 1	1.2A/ 115VAC 0.55A/ 230VAC	48VDC	2.1ACC	100 W	PF \geq 0.98 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC	93%
Modelo 2	1.2A/ 115VAC 0.55A/ 230VAC	48VDC	2.1ACC	100 W	PF \geq 0.98 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC	93%
Modelo 3	1.2A/ 115VAC 0.55A/ 230VAC 0.5A / 277VAC	42VDC	2.37ACC	100 W	PF \geq 0.98 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC PF \geq 0.93/277VAC	92%
Modelo 4	1.2A/ 115VAC 0.55A/ 230VAC	36VDC	2.76ACC	100 W	PF \geq 0.98 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC	93%
Modelo 5	1.3A/ 115VAC 0.57A/ 230VAC	47.6VDC	2.1ACC	109 W	PF \geq 0.98 / 115VAC PF \geq 0.95/230VAC	92%

Fuente: Autores

4.2.2. Diagrama unifilar del modelo general

El modelo general que se establece para llevar a cabo este análisis consiste en un prototipo diseñado con base en los elementos que componen los drivers de las luminarias LED de alumbrado público. Este enfoque nos permitirá estudiar de manera exhaustiva los parámetros energéticos involucrados en el

funcionamiento de estos drivers y, por ende, en el consumo energético global de las luminarias LED.

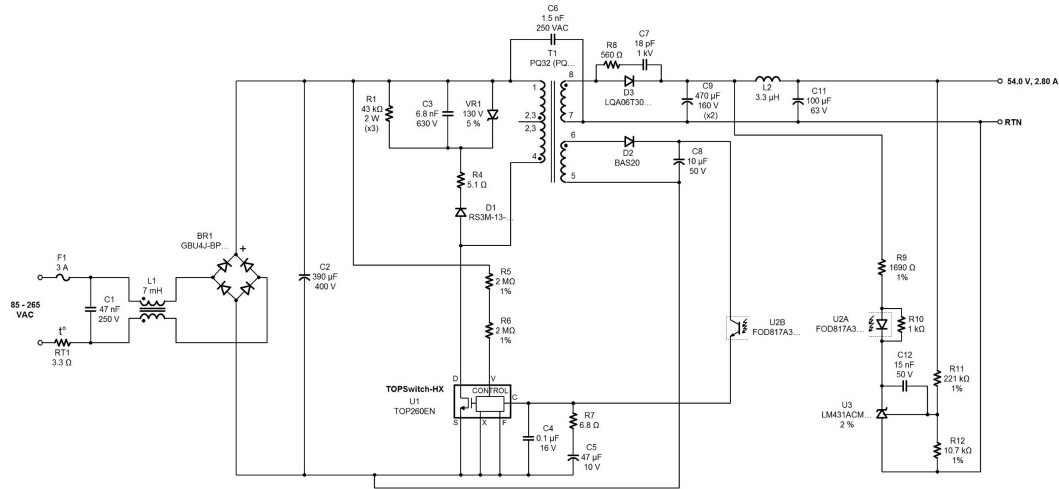


Figura 45: Diagrama unifilar del modelo prototipo para el estudio de drivers LED.

Fuente: Autor

4.2.3. Materiales

En el presente trabajo, se proporciona un listado de materiales que comprende la cantidad de piezas conforme al diagrama unifilar, así como los valores electrónicos y numéricos de cada componente, proporcionados por el fabricante. Todos los equipos utilizados poseen valores comerciales estándar, lo que asegura la disponibilidad y compatibilidad de los elementos empleados en la construcción del driver.

Tabla 18: Lista de materiales para el modelado del driver.

Nº ART	CANT	REFERENCIA DE PIEZA	VALOR	DESCRIPCION	FABRICA	NÚMERO DE PIEZADEL FABRICANTE
1	1	BR1	GBU4J-BP	600 V, 4 A, puente de recuperación estándar, GBU	MCC	GBU4J-BP
2	1	C1	47 nF	47 nF, 250 V, Película, Clase X	Murata	GA355ER7GB473KW01L
3	1	C2	390 µF	390 µF, 400 V, electrolítico de aluminio de alto voltaje, (50 mm x 25,4 mm)	United Chemi-Con	EKMQ401VSN391MQ50S
4	1	C3	6,8 nF	6,8 nF, 630 V, cerámica de alto voltaje	TDK	CGA5H4C0G2J682J115AA
5	1	C4	0,1 µF	0,1 µF, 16 V, cerámica, X7R	Corporación AVX	0603YC104K4T4A
6	1	C5	47 µF	47 µF, 10,0 V, electrolítico, uso general, 1000 mΩ, (5,2 mm x 6,3 mm)	United Chemi-Con	EMVY100ADA470MF55G
7	1	C6	1,5 nF	1,5 nF, 250 VCA, cerámica, clase Y	Murata	GA352QR7GF152KW01L
8	1	C7	18pF	18 pF, 1 kV, cerámica de alto voltaje	Murata	GRM31A7U3A180JW31D
9	1	C8	10 µF	10 µF, 50 V, electrolítico, uso general, 1000 mΩ, (6,1 mm x 6,3 mm)	rubycon	50TRV10M6.3X6.1
10	2	C9, C10	470 µF	470 µF, 160 V, electrolítico, ESR bajo, 250 mΩ, (55 mm x 16 mm)	United Chemi-Con	KMX160VB471M16X55LL
11	1	C11	100 µF	100 µF, 63 V, electrolítico, ESR bajo, 260 mΩ, (13,5 mm x 12,5 mm)	panasonic	EEE-TK1J101AQ
12	1	C12	15nF	15 nF, 50 V, cerámica, X7R	Kemet	C0805C153K5RACTU
13	1	D1	RS3M-13-F	1000 V, 3 A, recuperación rápida, 500 ns, DO-214AB	diodos inc.	RS3M-13-F
14	1	D2	BAS20	200 V, 0,2 A, recuperación rápida, 50 ns, SOT-23 (TO-236)	en semiconductores	BAS20
15	1	D3	LQA06T300	300 V, 6 A, Ultrafast Recovery, 11.5 ns, TO-220AC	Power Integrations	LQA06T300
16	1	F1	3 A	350 VAC, 3 A, Glass Cartridge, Time Lag Fuse	Bel Fuse Inc.	2JS 3-R
17	1	HS1	6400B-P2G	2.7 °C/W TO-220. Heatsink for use with Device U1.	Aavid	6400B-P2G
18	1	HS2	508222B00000G	7.4 °C/W TO-220. Heatsink for use with Rectifier D3.	Aavid	508222B00000G
19	1	L1	7 mH	7 mH, 3.5 A	Würth Elektronik	744834407
20	1	L2	3.3 µH	3.3 µH, 3.94 A	Eaton	DR74-3R3-R
21	3	R1, R2, R3	43 kΩ	43 kΩ, 5 %, 2 W, Metal Oxide Film	Generic	
22	1	R4	5.1 Ω	5.1 Ω, 5 %, 0.25 W, Thick Film	Generic	
23	2	R5, R6	2 MΩ	2 MΩ, 1 %, 0.25 W, Thick Film	Generic	
24	1	R7	6.8 Ω	6.8 Ω, 5 %, 0.125 W, Thick Film	Generic	
25	1	R8	560 Ω	560 Ω, 5 %, 0.25 W, Thick Film	Generic	
26	1	R9	1690 Ω	1690 Ω, 1 %, 0.125 W, Thick Film	Generic	
27	1	R10	1 kΩ	1 kΩ, 5 %, 0.125 W, Thick Film	Generic	
28	1	R11	221 kΩ	221 kΩ, 1 %, 0.125 W, Thick Film	Generic	
29	1	R12	10.7 kΩ	10.7 kΩ, 1 %, 0.125 W, Thick Film	Generic	

Fuente: Autores

La inclusión de esta información resulta fundamental para la adecuada documentación y trazabilidad del proyecto, otorgando una visión completa sobre la estructura del driver y obteniendo la posibilidad de replicar o mantener el equipo en otros contextos similares. De igual manera, la utilización de valores comerciales estándar garantiza el cumplimiento con las normas y

especificaciones técnicas aplicables, asegurando un diseño sólido y confiable del driver para indicar sus aplicaciones de alumbrado público y en otros ámbitos que requieran el uso de luminarias LED.

4.2.4. Bloques de funcionamiento del driver

- Transformación: En esta etapa, se lleva a cabo la conversión de la tensión de entrada a una tensión adecuada para alimentar las luminarias LED. Para lograrlo, se emplea un transformador que tiene la capacidad de aumentar o reducir la tensión según las necesidades del sistema.

El diagrama eléctrico del transformador muestra de manera clara y detallada la conexión y disposición de sus diversos componentes y bobinados. El devanado primario se compone de dos secciones distintas: la primera parte utiliza un cable 4x24AWG con 7 vueltas alrededor del núcleo (comenzando en el pin número 4 y finalizando en el pin 3), mientras que la segunda parte se construye con un cable 4x24AWG con 7 vueltas alrededor del núcleo (iniciando en el pin número 2 y terminando en el pin 1).

En cuanto al devanado secundario del transformador, también se pueden apreciar dos partes diferenciadas: el primer bobinado se realiza con un cable 2x25AWG con 3 vueltas alrededor del núcleo correspondiente (iniciando en el pin número 5 y finalizando en el pin 6), mientras que la última sección consta de un cable 3x24AWG con 24 vueltas alrededor del núcleo. Al conectar los pines 7 y 8, se obtiene un valor de 54 VCC.

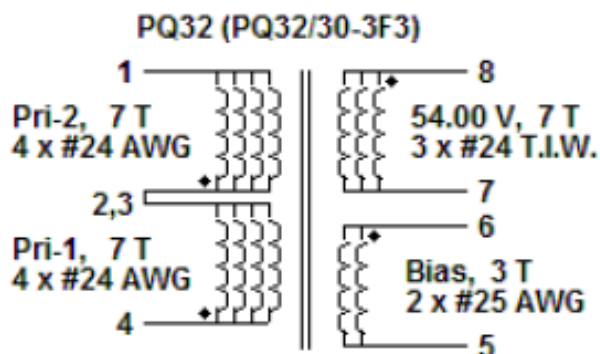


Figura 46: Diagrama eléctrico del transformador.
Fuente: Autores

Pri-1= Devanado Primario

Pri-2= Devanado Secundario

La disposición cuidadosa de los bobinados y componentes en el transformador garantiza un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de iluminación LED. La adecuada transformación de la tensión de entrada asegura que las luminarias reciban la tensión adecuada para su óptimo desempeño, evitando problemas de sobrecarga o baja potencia que podrían afectar su funcionamiento.[36]

- Regulación: La sección de regulación tiene como objetivo mantener una tensión de salida constante y estable, independientemente de las fluctuaciones en la tensión de entrada o las variaciones en la carga. Esto garantiza que las luminarias LED reciban un suministro de energía constante para un rendimiento óptimo.
- Rectificación: En esta etapa, se convierte la corriente alterna (AC) de la fuente de alimentación en corriente continua (DC). Esto es esencial

para alimentar adecuadamente los LEDs, que requieren una corriente continua para su funcionamiento. Filtrado: Después de la rectificación, se aplican filtros para suavizar la corriente continua y eliminar cualquier ruido o interferencia no deseada que pueda afectar el rendimiento de los LEDs.

- Control de voltaje: Esta sección se encarga de mantener el voltaje constante en la salida, lo que asegura que los LEDs reciban la cantidad precisa de energía para generar la intensidad lumínica deseada.
- Filtro de salida: Al final del proceso, se aplica un filtro adicional para eliminar cualquier ruido residual y garantizar una salida de corriente continua suave y estable hacia las luminarias LED.

4.3. Simulación

4.3.1. Driver LED con potencia de 250W - para vía M1 (Av. de Las Américas)

Se realizó el modelado del driver teniendo en cuenta las características proporcionadas por la ficha técnica de las luminarias seleccionadas para la Av. de Las Américas. Con esta información, se procedió a efectuar una simulación en Simulink de Matlab, considerando las diversas configuraciones de los LEDs en cada lámpara. Los resultados de esta simulación se pueden apreciar en la siguiente figura.

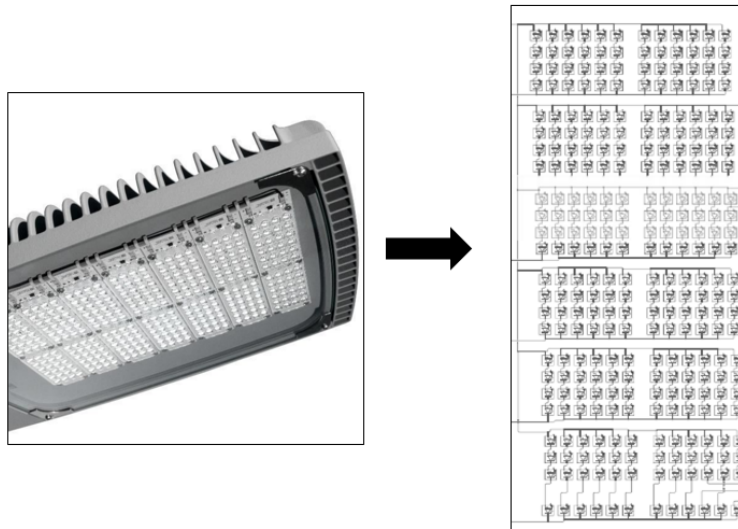


Figura 47: Distribución de los leds en la luminaria.
Fuente: Sylvania

En la siguiente figura se representa el modelado del driver con la configuración de LEDS para un modelo de luminaria de 250W, la cual tiene una configuración de 12 bloques que están constituidos por 6 grupos paralelos de 4 leds en serie. Esta configuración nos permite conectarnos a los parámetros a salida del driver 24,2VCC a 10,3 A, conectada a una red de 220VAC/2A.

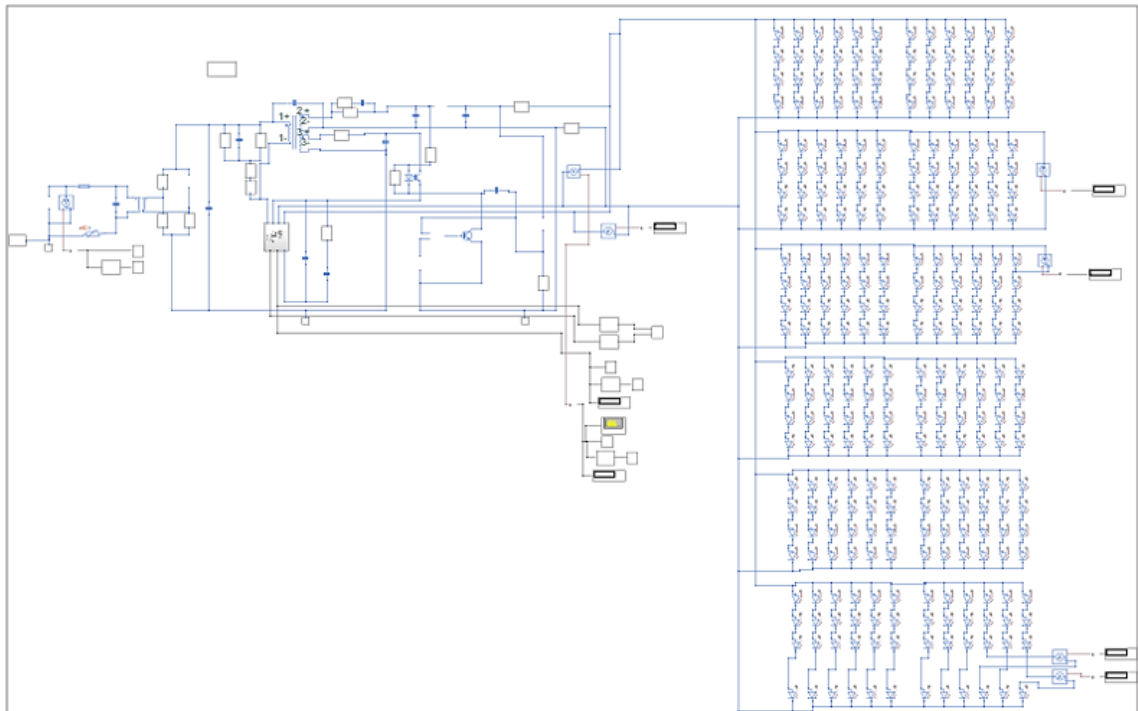


Figura 48: Modelamiento del driver de 250W en Simulink de Matlab.
Fuente: Matlab

4.3.2. Driver LED con potencia de 150W - para vía M2 (Av. Turuhuaico)

Se utilizó el modelado del driver, considerando las características proporcionadas por la ficha técnica de las luminarias seleccionadas para la Av. Turuhuaico. A partir de esta información, se llevó a cabo una simulación en Simulink de Matlab, teniendo en cuenta las distintas configuraciones de los LEDs de cada lámpara, como se muestra en la siguiente figura.

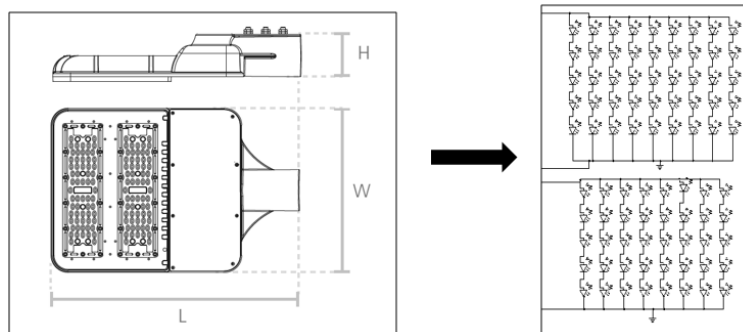


Figura 49: Distribución de los leds en la luminaria.
Fuente: Sylvania

En la siguiente figura se representa el modelado del driver con la configuración de LEDS para un modelo de luminaria de 150W, la cual tiene una configuración de 2 bloques, el primero está constituido por 9 grupos paralelos de 5 leds en serie y el segundo está constituido por 8 grupos paralelos de 5 leds en serie. Esta configuración permite conectar los parámetros a salida del driver de 30VCC a 5A, conectada a una red de 230VAC/0,55A.

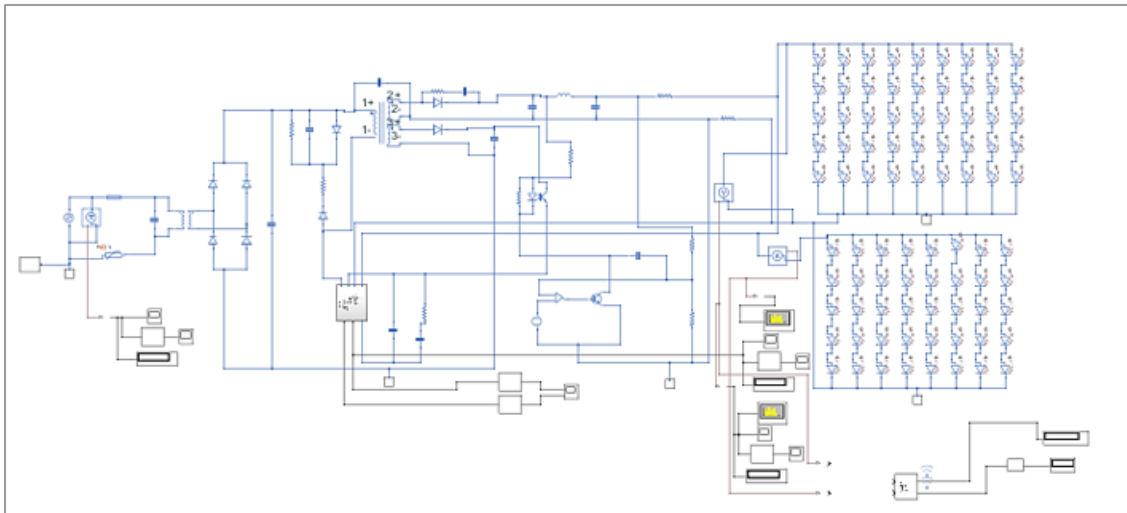


Figura 50: Modelamiento del driver de 150W en Simulink de Matlab.
Fuente: Matlab

4.3.3. Driver LED con potencia de 100W - para vía M3 (calle La Floresta)

Se utilizó el modelado del driver, considerando las características proporcionadas por la ficha técnica de las luminarias seleccionadas para la calle La Floresta. Considerando esta información, se realizó una simulación en Simulink de Matlab, considerando las distintas configuraciones de los LEDs de cada lámpara, como se muestra en la siguiente figura.

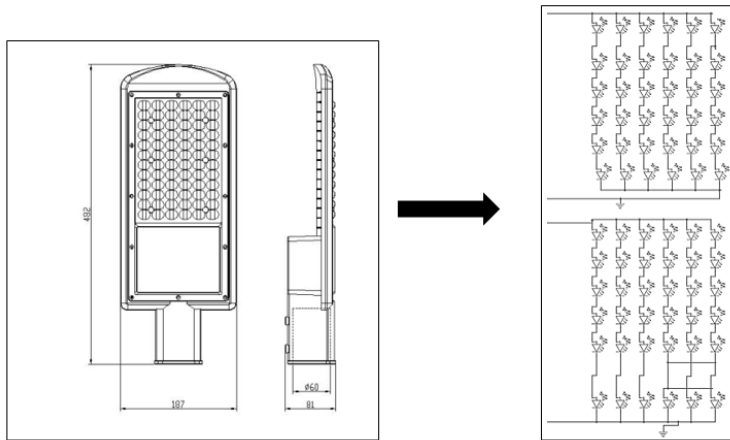


Figura 51: Distribución de los leds en la luminaria.
Fuente: Sylvania

En la siguiente figura se representa el modelado del driver con la configuración de LEDS para una marca de luminaria con una potencia de 100W, la cual tiene una configuración de 2 bloques que están constituidos por 6 grupos paralelos de 6 leds en serie. Esta configuración permite conectar los parámetros a la salida del driver de 36VCC a 2.76A, conectada a una red de 220VAC/0,75A.

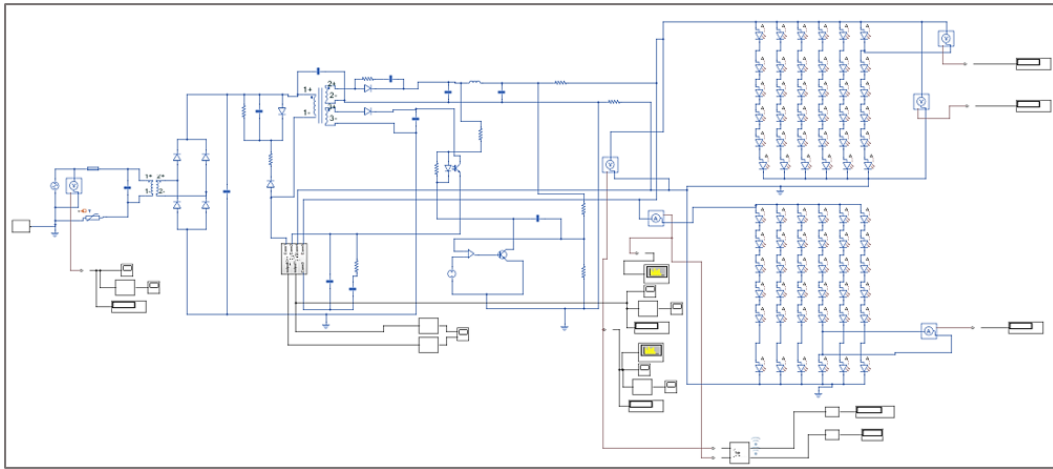


Figura 52: Modelamiento del driver de 100W en Simulink de Matlab.
Fuente: Matlab

Se creó un código para obtener el valor total de la Distorsion Armonica presente en la onda de voltaje de salida del driver. En el input del algoritmo se detallan los valores de corriente , voltaje, frecuencia y cuantos armónicos deseamos graficar.

```

aTHD.m % +
1  clc, close all, clear all;
2  syms a t n
3  A0= 1/5;
4  An= ((-1)^n-1)/(pi^2*n^2);
5  Bn= -((-1)^n)/(pi*n);
6  T=2;
7  w0=2*pi/T;
8
9  Arm=3;
10 for n=1:1:Arm
11     syms t
12     f(a)=sum((((-1)^n-1)/(pi^2*n^2))*cos(n*w0*t)+(-((-1)^n)/(pi*n))*sin(n*w0*t));
13     t=linspace(0, 5*t, 1000);
14     subplot(2, 1, 1);
15     plot(t, subs(f(a), 't', t));
16     grid on
17     xlabel('\bfTIEMPO');
18     ylabel('\bfAMPLITUD');
19     title('\bfCOMPONENTE');
20     Hold on
21     subplot(2, 1, 2);
22     plot(t, subs(sum(f), 't', t), 'r', 'linewidth', 1.5);
23     grid on
24     xlabel('\bfTIEMPO');
25     ylabel('\bfAMPLITUD');
26     title('\bfSERIE DE FOURIER');
27     pause(1)

```

Command Window

Figura 53: Algoritmo para la obtención del valor de THD
Fuente: Autor

Para el análisis del factor de potencia, se desarrolló un algoritmo que extrae los datos de potencias (activa y reactiva) en la salida del driver utilizando Simulink. Con esta información, se calcula la potencia aparente y, finalmente, se determina el valor del factor de potencia. A continuación, se presenta el algoritmo:

```
Editor - C:\Users\LUCAS\Documents\MATLAB\APARENTE.m
aTHD.m APARENTE.m
1 % Datos de entrada (potencia activa y potencia reactiva)
2 syms P Q
3 P = 100; % Potencia activa en vatios
4 Q = 42,58; % Potencia reactiva en voltio-amperios reactivos (VAR)
5
6 % Cálculo de la potencia aparente
7 S = sqrt(P^2 + Q^2);
8
9 % Mostrar resultado
10 fprintf('La potencia aparente es: %.2f VA\n', S);
11 % Datos de entrada (potencia activa y potencia aparente)
12 P % Potencia activa en vatios
13 S % Potencia aparente en voltio-amperios (VA)
14
15 % Cálculo del factor de potencia
16 FP = P / S;
17
18 % Mostrar resultado
19 fprintf('El factor de potencia es: %.2f\n', FP);

Command Window
S =
    108.4620
El factor de potencia es: 0.92
```

Figura 54: Código para obtener la Potencia Aparente y el Factor de Potencia
Fuente: Autor

Finalmente, se desarrolla un algoritmo en MATLAB para calcular el parpadeo eléctrico a partir de la forma de onda del voltaje de salida. Este algoritmo analiza las secciones que presentan fluctuaciones, generando un vector de tiempo de larga duración. Luego, se muestrean las secciones de análisis según los períodos de la onda, y se obtiene la magnitud de ese vector, lo que proporciona el valor del parpadeo eléctrico. Esta herramienta nos permite evaluar de manera efectiva la presencia y magnitud del parpadeo eléctrico.

```

3     syms voltage_values
4
5     % Parámetros para la simulación
6     frecuencia = 60; % Frecuencia de la señal en Hz
7     amplitud = 54; % Amplitud de la señal en voltios
8     tiempo_total = 1; % Tiempo total de la simulación en segundos
9     muestras_por_segundo = 1000; % Frecuencia de muestreo en Hz
10
11    % Cálculo del número total de muestras
12    num_muestras = tiempo_total * muestras_por_segundo;
13
14    % Creación del vector de tiempo
15    t = linspace(0, tiempo_total, num_muestras);
16
17    % Creación del vector de tensión simulada
18    voltage_values = amplitud * sin(2 * pi * frecuencia * t);
19
20    % Mostrar el resultado gráficamente (opcional)
21    plot(t, tension_simulada);
22    xlabel('Tiempo (segundos)');
23    ylabel('Tensión (voltios)');
24    title('Tensión simulada a lo largo del tiempo');
25    grid on;
26
27    % Datos de entrada (valores de tensión medidos a lo largo del tiempo)
28    voltage_values % Coloca tus valores de tensión en este vector
29
30    % Parámetros para el cálculo del flicker eléctrico
31    n_periods = 10; % Número de periodos de tensión (normalmente 10 para una red de 50 Hz)
32    sampling_rate = 1000; % Frecuencia de muestreo en Hz (ejemplo: 1000 Hz)
33
34    % Cálculo del flicker eléctrico (índice de flicker Pst)
35    T = 1 / (n_periods * 50); % Periodo de la señal en segundos (para una red de 50 Hz)
36    num_samples = length(voltage_values);
37    time_vector = (0:num_samples-1) / sampling_rate;
38    voltage_rms = rms(voltage_values);
39    flicker_integral = 0;
40
41    for i = 1:num_samples
42        t_i = time_vector(i);
43        v_i = voltage_values(i);
44        flicker_integral = flicker_integral + ((v_i - voltage_rms)^2 * T);
45    end
46
47    Pst = sqrt(flicker_integral / (voltage_rms^2 * num_samples));
48
49    % Mostrar resultado
50    fprintf('El flicker eléctrico (índice de flicker Pst) es: %.2f\n', Pst);

```

Figura 55: Código para obtener el Valor del Flicker Eléctrico
Fuente: Autor

CAPÍTULO 5

5. Análisis y Resultados

En este capítulo, se da un resumen de los resultados obtenidos del análisis técnico lumínico y energético de las diferentes luminarias LED disponibles en el mercado local para el alumbrado público. Se asegura el cumplimiento de las especificaciones generales de la Revisión 05, Sección 3, que abarca las Especificaciones Técnicas de Materiales y Equipos del Sistema de Distribución para luminarias LED. Además, se ha tomado en consideración el cumplimiento de la normativa vigente, como la Regulación ARCERNNR-006/2020 para los parámetros técnicos lumínicos, y las normas IEC60598-1, IEC61000-3-2 y IEC 62384 para la evaluación energética. Estos análisis proporcionarán información relevante para la selección de las luminarias más adecuadas en el contexto del alumbrado público, considerando tanto su eficiencia energética como su rendimiento lumínico.

En el mecanismo de obtención de dichos resultados, se emplearon herramientas informáticas para el diseño de iluminación. Los cálculos obtenidos son producto directo del software utilizado. En la actualidad, las entidades reguladoras exigen que los cálculos presentados sean realizados mediante el uso de software, lo que evidencia la importancia y eficacia de estas herramientas digitales en el análisis lumínico y energético de las luminarias de alumbrado público tipo LED.

Para el diseño y análisis lumínico, se empleó el software DIALux Evo utilizado a nivel mundial en proyectos de iluminación. Éste ofrece resultados precisos y confiables. Con los resultados se logró una proyección detallada

del montaje en el sistema de alumbrado público, lo que permite obtener los resultados de manera eficiente en un tiempo reducido. La utilización de esta herramienta tecnológica ha sido fundamental para garantizar la calidad y efectividad de la evaluación luminica y energética de las luminarias LED para alumbrado público.

Se empleó el software MathWorks Simulink en Matlab para la evaluación energética de las luminarias de alumbrado público. Esta herramienta tecnológica se ha destacado como una solución líder en el campo de simulación y modelado de sistemas, ofreciendo una plataforma versátil y precisa para analizar eficientemente diversos aspectos relacionados con el consumo de energía de las luminarias. Con el uso de Simulink, se pudo evaluar una amplia gama de parámetros energéticos, entre ellos el flicker, que se refiere a la variación rápida y no deseada de la intensidad luminosa que puede afectar el confort visual y la percepción. También se analizaron los armónicos, el THD (distorsión armónica total), el factor de potencia, así como los voltajes y corrientes presentes en el sistema de iluminación. Estos análisis permitieron una evaluación exhaustiva y detallada del rendimiento energético de las luminarias LED, brindando información valiosa para mejorar la eficiencia y calidad del alumbrado público.

5.1. Resultados parámetros Técnico – Lumínicos

Lo obtenido de la simulación realizada en el software libre DIALux para las vías seleccionadas en la ciudad de Cuenca, clasificadas como M1, M2 y M3, muestran el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas en la normativa vigente, en particular la Regulación ARCERNNR-006/2020.

Para lograr esto, se siguió la metodología de cálculo estipulada en la norma CIE140, asegurando así un análisis riguroso y preciso del diseño de iluminación.

La combinación de mediciones precisas y el uso del software DIALux garantiza que los resultados sean confiables y representativos de la realidad, lo que es crucial para diseñar el alumbrado público eficiente y adecuado para cada tipo de vía. Con la información detallada, se ha logrado un análisis completo de los parámetros lumínicos y energéticos, permitiendo tomar decisiones informadas en la selección y diseño de las luminarias LED para las vías de la ciudad de Cuenca.

5.1.1. Alumbrado Público Av. de Las Américas vía tipo M1

El modelado del alumbrado público en la Av. de Las Américas se realizó considerando la iluminación existente en el área. La ubicación de las luminarias se realizó en base a la misma información seleccionada para la anterior vía de estudio. Este enfoque permitió obtener un modelo virtual del sistema de iluminación existente, lo que facilitó la comparación y evaluación de diferentes luminarias LED para mejorar y optimizar la distribución lumínica en la vía.

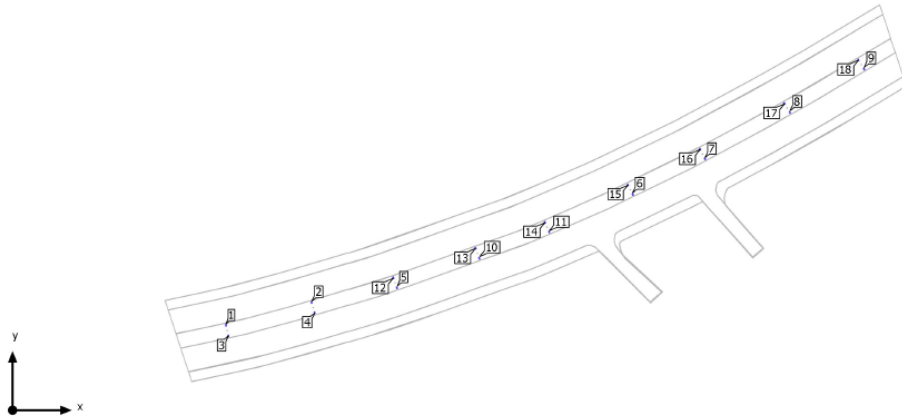


Figura 56: Plano de situación de luminarias.
Fuente: Autor

A fin de identificar las áreas que requerían iluminación, se generaron dos objetos de cálculo en Dialux, permitiendo así un análisis detallado de cada carril y sentido de la vía seleccionada. Esta estrategia garantizó la obtención de valores precisos para los parámetros lumínicos, facilitando una evaluación minuciosa de la distribución de la luz en cada parte de la vía. Al segmentar el análisis, se logró obtener una visión integral de las necesidades de iluminación en diferentes secciones de la Av. de Las Américas, lo que facilitó la selección y diseño óptimo de las luminarias LED para mejorar la calidad lumínica y la seguridad en toda la vía.

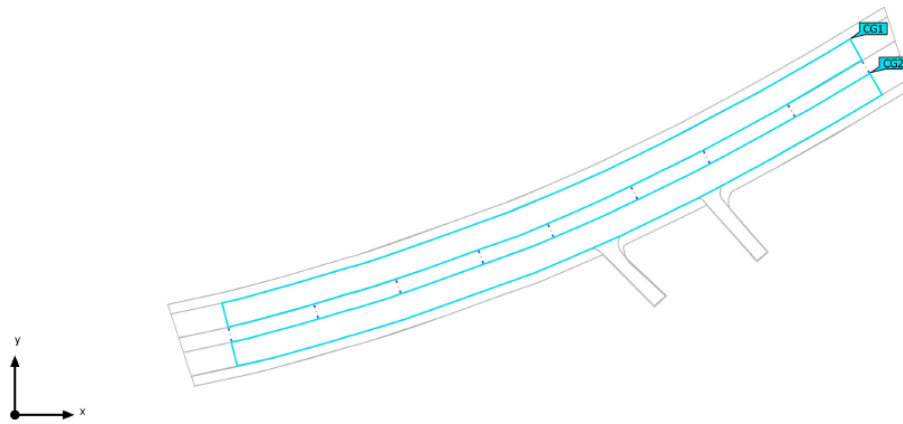


Figura 57: Objetos de cálculo.
Fuente: Autor

Los resultados obtenidos de las luminarias LED seleccionadas de cada fabricante cumplen con los valores establecidos en la normativa, que incluyen una luminancia promedio 2.00 cd/m^2 , un factor de uniformidad 0.40 , un factor de uniformidad longitudinal de luminancia 0.70 , un deslumbramiento 10 y una relación de alrededores 0.35 . Estos valores aseguran que las luminarias cumplen con los estándares requeridos para una adecuada distribución lumínica en la vía.

Tabla 19: Resultados obtenidos de la simulación.

PARÁMETROS NOMINALES		L_m	U_o	U_l	TI	R_{EI}
		$\geq 2.00 \text{ cd/m}^2$	≥ 0.40	≥ 0.70	$\leq 10 \%$	≥ 0.35
Modelo 1	Calzada 1 M1	2.05 cd/m ²	0.47	0.83	9 %	0.59
	Calzada 2 M1	2.08 cd/m ²	0.46	0.82	9 %	0.58
Modelo 2	Calzada 1 M1	2.16 cd/m ²	0.53	0.91	10 %	0.75
	Calzada 2 M1	2.17 cd/m ²	0.52	0.90	10 %	0.75
Modelo 3	Calzada 1 M1	2.39 cd/m ²	0.51	0.77	10 %	0.66
	Calzada 1 M1	2.45 cd/m ²	0.50	0.78	10 %	0.66
Modelo 4	Calzada 1 M1	2.22 cd/m ²	0.49	0.81	9 %	0.51
	Calzada 2 M1	2.22 cd/m ²	0.49	0.81	9 %	0.51
Modelo 5	Calzada 1 M1	2.02 cd/m ²	0.52	0.77	10 %	0.71
	Calzada 2 M1	2.02 cd/m ²	0.52	0.77	10 %	0.71

Fuente: Autores

En los resultados obtenidos para la evaluación de la iluminancia en caminos peatonales, se observan valores elevados, algunos superan la media establecida en el rango de [15.00 - 22.50] lx. Aunque se espera que los valores estén dentro de este rango, el uso de ópticas particulares por parte de ciertos fabricantes ha generado un mayor flujo luminoso y una distribución deficiente de la iluminancia en esta vía en particular. Es importante destacar que estas luminarias podrían ser más adecuadas para vías más amplias, donde sus características podrían ser mejor optimizadas.

Tabla 20: Resultados obtenidos de la simulación.

PARÁMETROS NOMINALES		E_m	E_{min}
		[15.00 – 22.50] lx	≥ 3.00 lx
Modelo 1	Camino peatonal 1 (P1)	19.20 lx	12.68 lx
	Camino peatonal 2 (P1)	19.20 lx	12.68 lx
Modelo 2	Camino peatonal 1 (P1)	24.41 lx	19.64 lx
	Camino peatonal 2 (P1)	24.41 lx	19.64 lx
Modelo 3	Camino peatonal 1 (P1)	26.98 lx	17.46 lx
	Camino peatonal 2 (P1)	26.98 lx	17.46 lx
Modelo 4	Camino peatonal 1 (P1)	18.61 lx	11.21 lx
	Camino peatonal 2 (P1)	18.61 lx	11.21 lx
Modelo 5	Camino peatonal 1 (P1)	22.33 lx	14.49 lx
	Camino peatonal 2 (P1)	22.33 lx	14.49 lx

Fuente: Autores

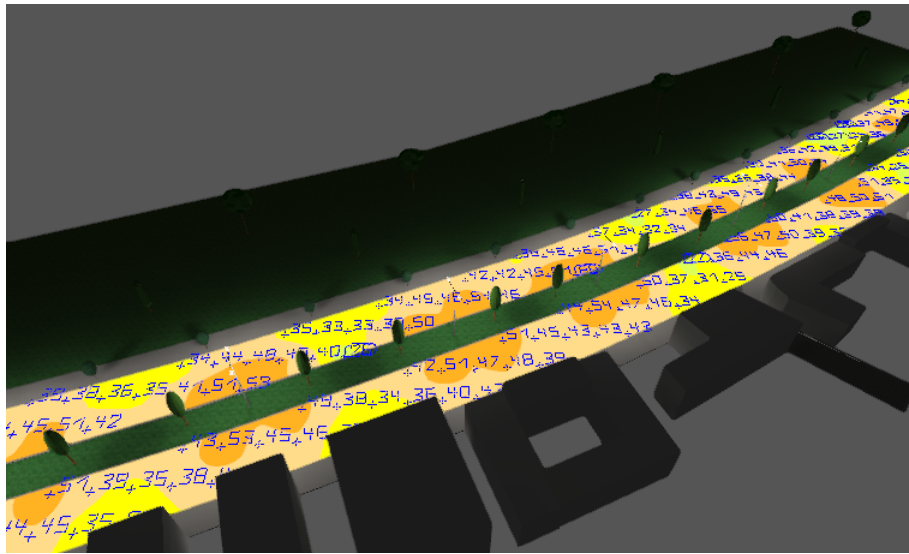


Figura 58: Visualización en 3D tipo de vía M1 - Av. de Las Americas.

Fuente: Autor

En la Figura se muestra una proyección estimada del diseño de iluminación para la calle La Floresta, considerando la ubicación y disposición de las luminarias.

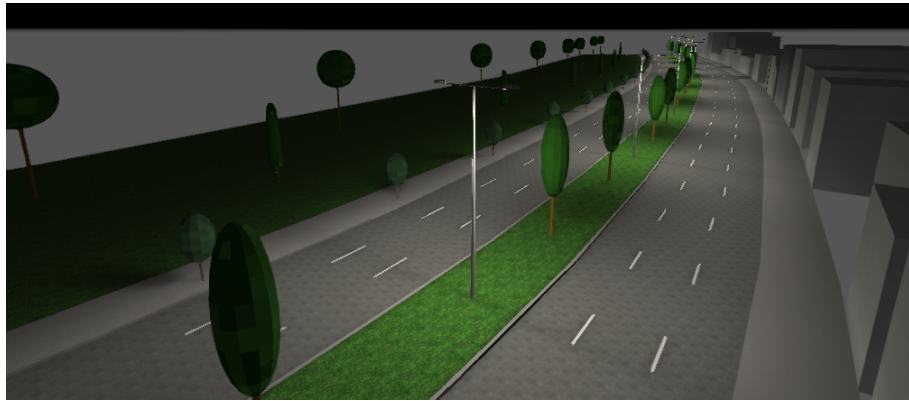


Figura 59: Visualización en 3D tipo de vía M1 - Av. de Las Americas.

Fuente: Autor

5.1.2. Alumbrado Público Av. Turuhuaico vía tipo M2

El modelado del alumbrado público en la Av. Turuhuaico se llevó a cabo considerando la iluminación existente en el área, se aplicó el mismo proceso anterior.

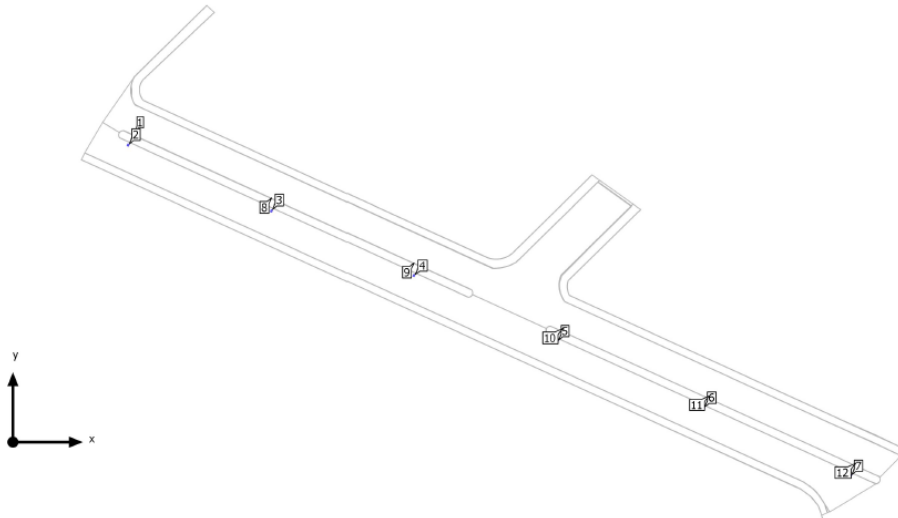


Figura 60: Plano de situación de luminarias.

Fuente: Autor

Los objetos de cálculo en Dialux, permiten un análisis de cada carril y sentido de la vía seleccionada.

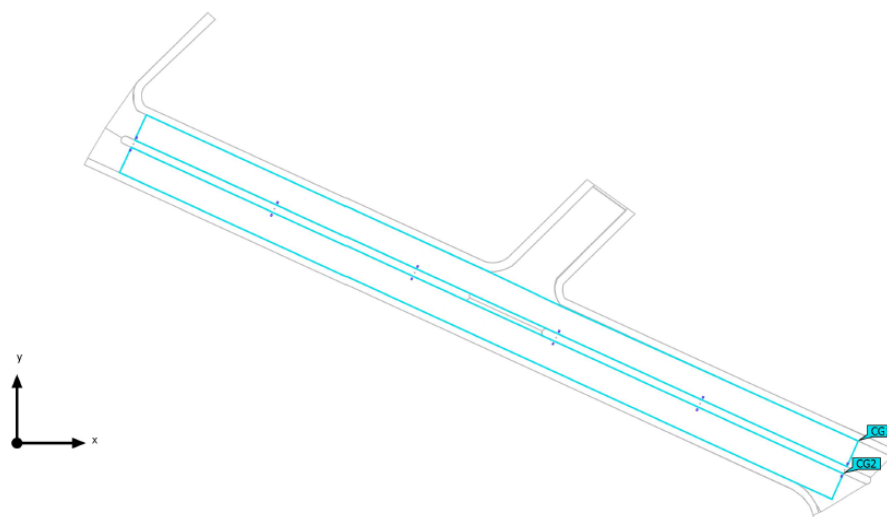


Figura 61: Objetos de cálculo.
Fuente: Autor

Los resultados obtenidos de las luminarias LED seleccionadas de cada fabricante cumplen con los valores establecidos en la normativa, que incluyen una luminancia promedio 1.50 cd/m^2 , un factor de uniformidad 0.40 , un factor de uniformidad longitudinal de luminancia 0.70 , un deslumbramiento 10 y una relación de alrededores 0.35 , los cuales se detallan en la tabla . Estos valores aseguran que las luminarias cumplen con los estándares requeridos para una adecuada distribución lumínica en la vía.

Tabla 21: Resultados obtenidos de la simulación.

PARÁMETROS NOMINALES		L_m	U_o	U_l	TI	R_{EI}
		$\geq 1.50 \text{ cd/m}^2$	≥ 0.40	≥ 0.70	$\leq 10 \%$	≥ 0.35
Modelo 1	Calzada 1 M2	1.53 cd/m ²	0.59	0.85	7 %	0.87
	Calzada 2 M2	1.55 cd/m ²	0.60	0.86	8 %	0.87
Modelo 2	Calzada 1 M2	2.03 cd/m ²	0.60	0.91	8 %	0.76
	Calzada 2 M2	2.05 cd/m ²	0.58	0.82	8 %	0.76
Modelo 3	Calzada 1 M2	2.28 cd/m ²	0.56	0.76	9 %	0.72
	Calzada 1 M2	2.28 cd/m ²	0.56	0.76	9 %	0.72
Modelo 4	Calzada 1 M2	1.73 cd/m ²	0.55	0.83	10 %	0.74
	Calzada 2 M2	1.73 cd/m ²	0.55	0.83	10 %	0.74

Fuente: Autores

En los resultados obtenidos para la evaluación de la iluminancia en los caminos peatonales se observan valores elevados, algunos de los cuales superan la media establecida en el rango de [15.00 - 22.50] lx, se espera que los valores estén dentro de este rango.

Tabla 22: Resultados obtenidos de la simulación.

PARÁMETROS NOMINALES		E_m	E_{min}
		[15.00 – 22.50] lx	$\geq 3.00 \text{ lx}$
Modelo 1	Camino peatonal 1 (P1)	21.26 lx	13.64 lx
	Camino peatonal 2 (P1)	21.26 lx	13.64 lx
Modelo 2	Camino peatonal 1 (P1)	24.09 lx	18.30 lx
	Camino peatonal 2 (P1)	24.09 lx	18.30 lx
Modelo 3	Camino peatonal 1 (P1)	25.03 lx	15.53 lx
	Camino peatonal 2 (P1)	25.03 lx	15.53 lx
Modelo 4	Camino peatonal 1 (P1)	18.56 lx	11.73 lx
	Camino peatonal 2 (P1)	18.56 lx	11.73 lx

Fuente: Autores

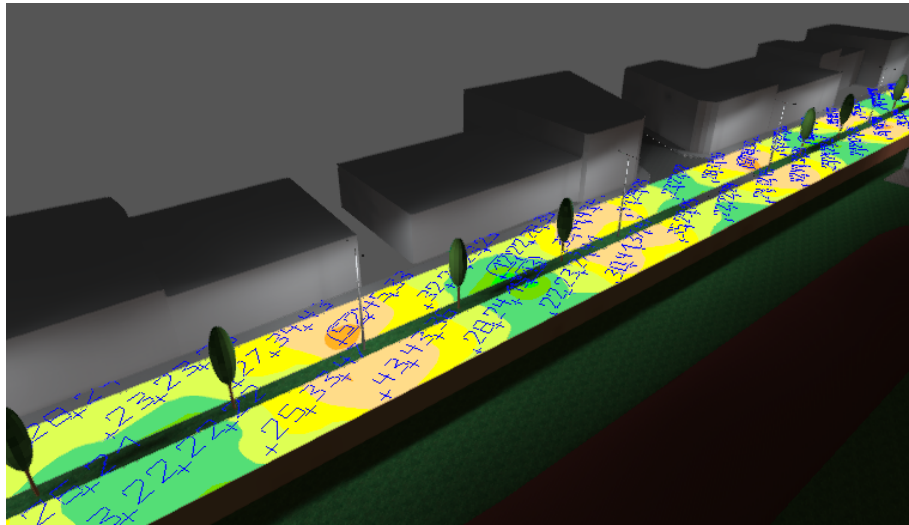


Figura 62: Visualización en 3D tipo de vía M2 - Av. Turuhuaico.
Fuente: Autor

En la Figura se muestra una proyección estimada del diseño de iluminación para la Av. Turuhuaico, considerando la ubicación y disposición de las luminarias.

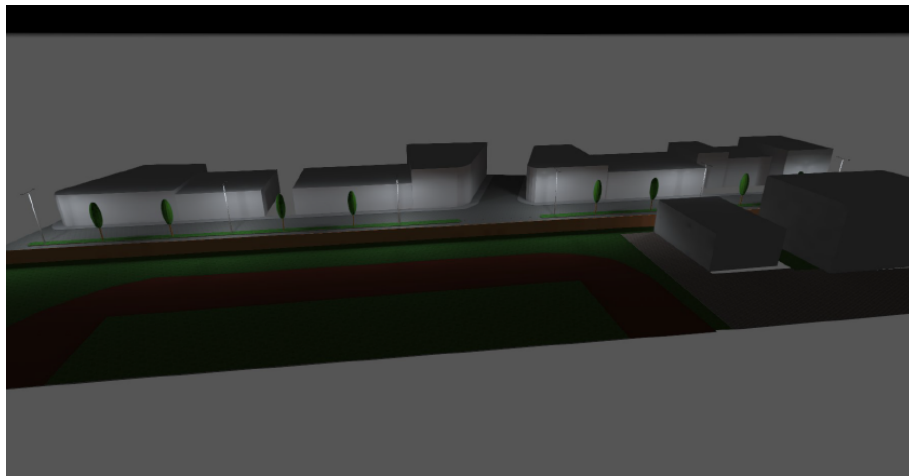


Figura 63: Visualización en 3D tipo de vía M2 - Av. Turuhuaico
Fuente: Autor

5.1.3. Alumbrado Público calle La Floresta vía tipo M3

El modelado del alumbrado público en la calle La Floresta se llevó a cabo considerando la iluminación existente en el área.

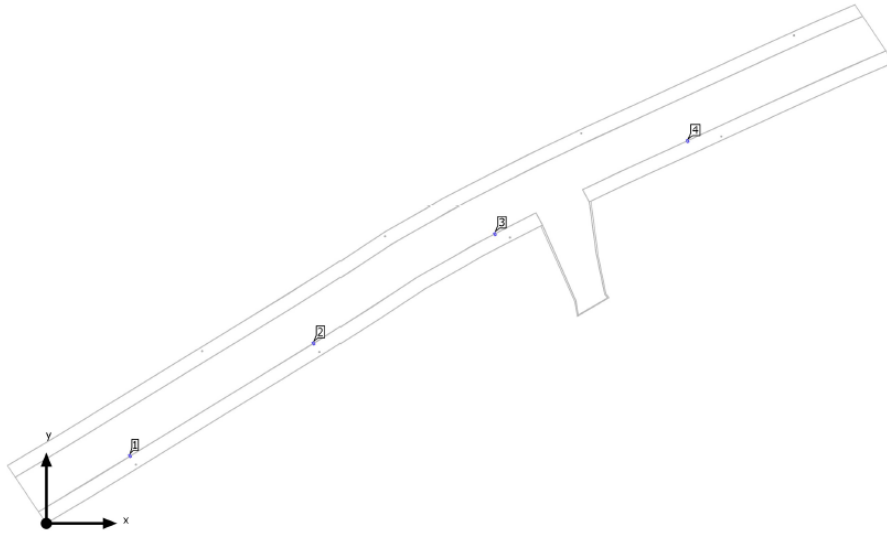


Figura 64: Plano de situación de luminarias.
Fuente: Autor

Los objetos de cálculo en Dialux, permiten un análisis de cada carril y sentido de la vía seleccionada.

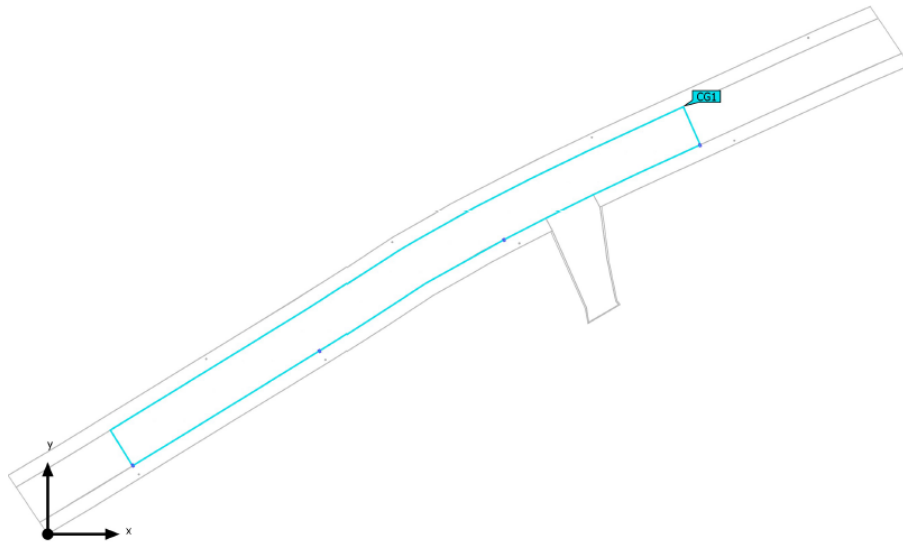


Figura 65: Objetos de cálculo.
Fuente: Autor

Los resultados obtenidos de las luminarias LED seleccionadas de cada fabricante cumplen con los valores establecidos en la normativa, que incluyen una luminancia promedio 1.00 cd/m^2 , un factor de uniformidad 0.40 , un factor de uniformidad longitudinal de luminancia 0.60 y un deslumbramiento 15 no se considera la relación de alrededores. Estos valores aseguran que las luminarias cumplen con los estándares requeridos para una adecuada distribución lumínica en la vía.

Tabla 23: Resultados obtenidos de la simulación.

PARÁMETROS NOMINALES		L_m	U_o	U_l	TI	R_{EI}
		$\geq 1.00 \text{ cd/m}^2$	≥ 0.40	≥ 0.60	$\leq 15 \%$	-
Modelo 1	Calzada 1 M3	1.16 cd/m ²	0.58	0.68	7 %	0.69
Modelo 2	Calzada 1 M3	1.23 cd/m ²	0.56	0.79	11 %	0.81
Modelo 3	Calzada 1 M3	1.17 cd/m ²	0.51	0.81	9 %	0.68
Modelo 4	Calzada 1 M3	1.21 cd/m ²	0.68	0.73	8 %	0.54
Modelo 5	Calzada 1 M3	1.05 cd/m ²	0.57	0.69	12 %	0.72

Fuente: Autores

En los resultados obtenidos para la evaluación de la iluminancia en caminos peatonales, se observan valores elevados, algunos de los cuales superan la media establecida en el rango de [7.50 – 11.25] lx, se espera que los valores estén dentro de este rango.

Tabla 24: Resultados obtenidos de la simulación.

PARÁMETROS NOMINALES		E_m	E_{min}
		[7.50 – 11.25] lx	$\geq 1.50 \text{ lx}$
Modelo 1	Camino peatonal 1 (P3)	16.29 lx	7.69 lx
	Camino peatonal 2 (P3)	17.28 lx	8.62 lx
Modelo 2	Camino peatonal 1 (P3)	15.28 lx	9.01 lx
	Camino peatonal 2 (P3)	14.03 lx	9.80 lx
Modelo 3	Camino peatonal 1 (P3)	17.31 lx	9.84 lx
	Camino peatonal 2 (P3)	11.31 lx	7.96 lx
Modelo 4	Camino peatonal 1 (P3)	15.03 lx	6.00 lx
	Camino peatonal 2 (P3)	15.02 lx	10.92 lx
Modelo 5	Camino peatonal 1 (P3)	10.94 lx	5.11 lx
	Camino peatonal 2 (P3)	14.21 lx	11.93 lx

Fuente: Autores

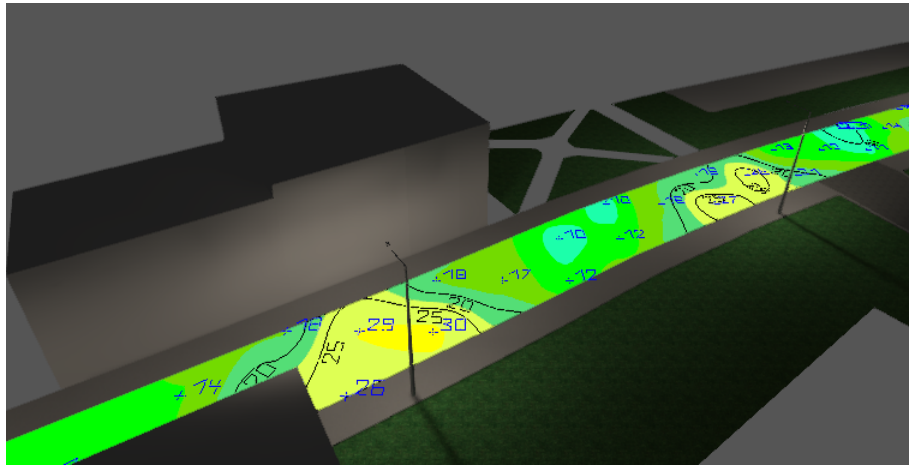


Figura 66: Visualización en 3D tipo de vía M3 - La Floresta.
Fuente: Autor

En la Figura se muestra una proyección estimada del diseño de iluminación para la calle La Floresta, considerando la ubicación y disposición de las luminarias.

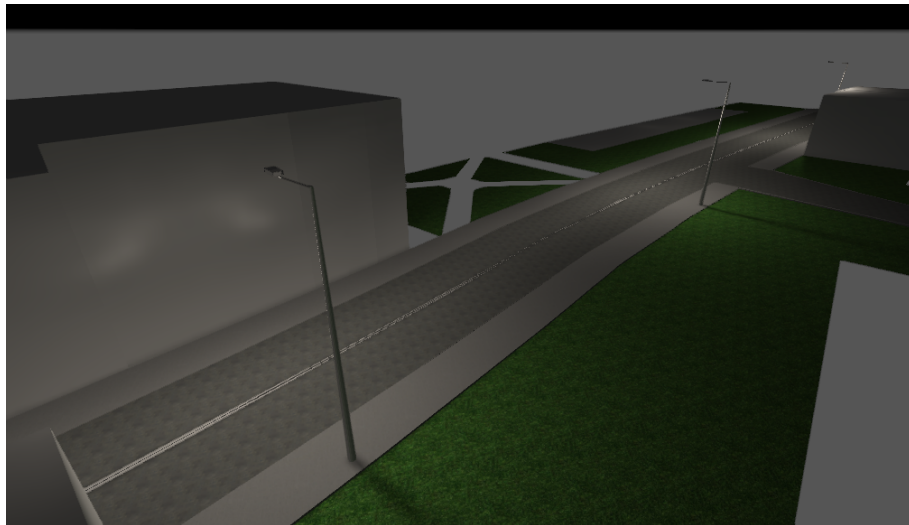


Figura 67: Visualización en 3D tipo de vía M3 - La Floresta
Fuente: Autor

Estos resultados sugieren la necesidad de seleccionar cuidadosamente las luminarias según las características específicas de cada vía y sus caminos peatonales para garantizar una distribución lumínica adecuada y evitar valores excesivamente altos que puedan generar un derroche innecesario de energía. La elección de la óptica adecuada para cada situación y vía es crucial para lograr una iluminación óptima y eficiente que cumpla con los estándares de seguridad y comodidad requeridos para los peatones. Es recomendable llevar a cabo un análisis detallado y riguroso de las luminarias disponibles en el mercado, considerando su rendimiento lumínico y su capacidad para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto de iluminación en caminos peatonales. De esta manera, se garantizará una implementación efectiva y sostenible del alumbrado público en estas áreas, brindando una mejor experiencia visual y seguridad para los peatones.

Además, al seleccionar luminarias para proyectos de iluminación de alumbrado público, es fundamental considerar no solo el cumplimiento de los valores mínimos establecidos en la normativa vigente, sino también evaluar el consumo de energía eléctrica asociado. Optar por luminarias con valores muy elevados puede resultar en un mayor consumo de energía, lo que no sería eficiente ni sostenible. Por tanto, se recomienda seleccionar luminarias que se adapten adecuadamente al tipo de vía, buscando un equilibrio entre el cumplimiento de los requisitos técnicos y la optimización de los recursos energéticos disponibles. De esta manera, se logrará un diseño de iluminación eficiente y sostenible que contribuya a mejorar la calidad lumínica y seguridad en las vías públicas.

5.2. Resultados parámetros Energéticos

5.2.1. THD (Distorsión armónica total)

Por medio del código que permite obtener el THD, ingresamos los datos de voltaje, corriente y el número de armónicos que se desean analizar. Este código es indispensable, ya que los parámetros ingresados corresponden a los parámetros de alimentación eléctrica de cualquier tipo de driver o equipo. Con este código, se puede obtener un análisis detallado de las componentes armónicas presentes en la señal eléctrica, lo que es esencial para evaluar la calidad del suministro eléctrico y asegurar un funcionamiento óptimo del equipo. Al permitir la selección del número de armónicos a analizar, el código brinda flexibilidad para adaptarse a diferentes requisitos de medición y análisis.

```

aTHD.m  x +
1      clc, close all, clear all;
2      syms a t n
3      A0= 1/5;
4      An= ((-1)^n-1)/(pi^2*n^2);
5      Bn= -((-1)^n)/(pi*n);
6      T=2;
7      w0=2*pi/T;
8
9      Arm=3;
10     for n=1:1:Arm
11         syms t
12         f(a)=sum((((-1)^n-1)/(pi^2*n^2))*cos(n*w0*t)+(-((-1)^n)/(pi*n))*sin(n*w0*t));
13         t=linspace(0, 5*t, 1000);
14         subplot (2, 1, 1);
15         plot(t, subs(f(a), 't', t));
16         grid on
17         xlabel('\bfTIEMPO');
18         ylabel('\bfAMPLITUD');
19         title('\bfCOMPONENTE');
20         Hold on
21         subplot(2, 1, 2);
22         plot (t, subs(sum(f),'t', t), 'r', 'linewidth', 1.5);
23         grid on
24         xlabel('\bfTIEMPO');
25         ylabel('\bfAMPLITUD');
26         title('\bfSERIE DE FOURIER');
27         pause(1)

```

Command Window

Figura 68: Código para obtención del TDH

Fuente: Autor

Las señales resultantes de las diferentes luminarias presentan un THD en un rango del 19% al 20%. Esta cifra indica una cantidad considerable de distorsión armónica en la señal eléctrica. A pesar de esto, se ha asegurado que se cumplan las especificaciones generales de la Revisión 05, Sección 3, que abarca los detalles Técnicos de Materiales y Equipos del Sistema de Distribución para este tipo de luminarias LED, cumpliendo con un valor menor a 20%. Si bien un valor bajo de THD es deseable, en este caso, se ha garantizado el cumplimiento de los requisitos necesarios para el sistema

de alumbrado público general, asegurando un suministro eléctrico estable y eficiente.

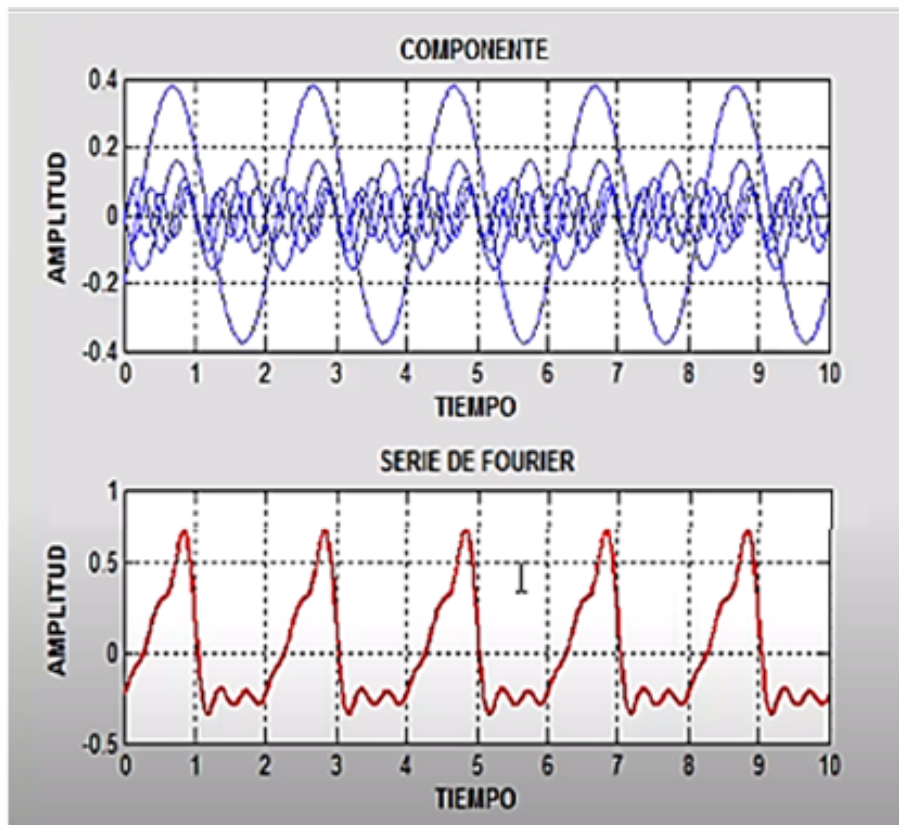


Figura 69: Obtención de TDH, con 5 armónicos
Fuente: Autor

5.2.2. Factor de potencia

Para los drivers simulados utilizados en la Av. de las Américas, Av. Turuhuaico y Calle La Floresta, se determinó el factor de potencia a considerando las potencias activas (P) que se encuentran en el rango de 100 a 250 W y las potencias reactivas (Q) que se encuentran en el rango de 42.58 VAR a 106.25 VAR. Para llevar a cabo este cálculo, se utilizó la función de bloque

"Power" de Matlab para medir estas magnitudes en la salida del controlador.

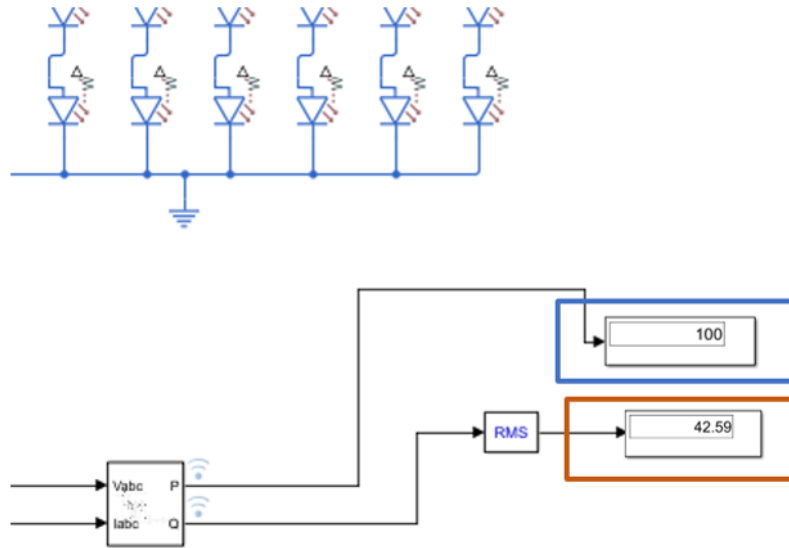


Figura 70: Potencia Reactiva y Activa de un Driver de 100W
Fuente: Autor

El factor de potencia (FP) se calculó mediante la expresión $FP = P/S$, primero se calculó $\langle\langle S \rangle\rangle$ que representa la potencia aparente que dentro del algoritmo utilizado se obtuvo valores en el rango de 108.69VA a 271.5VA.

```
Editor - C:\Users\LUCAS\Documents\MATLAB\APARENTE.m
aTHD.m x APARENTE.m x +
1 % Datos de entrada (potencia activa y potencia reactiva)
2 syms P Q
3 P = 100; % Potencia activa en vatios
4 Q = 42,58; % Potencia reactiva en voltio-amperios reactivos (VAR)
5
6 % Cálculo de la potencia aparente
7 S = sqrt(P^2 + Q^2);
8
9 % Mostrar resultado
10 fprintf('La potencia aparente es: %.2f VA\n', S);
11 % Datos de entrada (potencia activa y potencia aparente)
12 P % Potencia activa en vatios
13 S % Potencia aparente en voltio-amperios (VA)
14
15 % Cálculo del factor de potencia
16 FP = P / S;
17
18 % Mostrar resultado
19 fprintf('El factor de potencia es: %.2f\n', FP);

Command Window
S =
    108.4620
El factor de potencia es: 0.92
```

Figura 71: Código para obtener la Potencia Aparente y el Factor de Potencia
Fuente: Autor

Posteriormente, se realizó la división $FP = P/S$ en el mismo algoritmo para encontrar el factor de potencia, el cual fue comparado con el rango establecido en el estándar IEC 1000-3-2 y los valores están dentro de los límites establecidos. Se observó una pequeña discrepancia entre los valores obtenidos y los especificados en la ficha técnica del controlador bajo estudio.

5.2.3. Flicker eléctrico

Durante la simulación del flicker eléctrico para los diversos drivers, se abordó el análisis del parpadeo de la luz de larga duración, conforme al estándar IEC 61000-3-3.

Mediante el código de Matlab indicado en el Capítulo 4 para la obtención del Flicker Eléctrico, analiza la onda de voltaje de salida en el driver y luego

realiza distintos cálculos para determinar el área bajo la curva de las secciones de las ondas que fluctúan de manera brusca y realiza una comparación obteniendo el valor del Flicker .

```

3      syms voltage_values
4
5      % Parámetros para la simulación
6      frecuencia = 60; % Frecuencia de la señal en Hz
7      amplitud = 54; % Amplitud de la señal en voltios
8      tiempo_total = 1; % Tiempo total de la simulación en segundos
9      muestras_por_segundo = 1000; % Frecuencia de muestreo en Hz
10
11     % Cálculo del número total de muestras
12     num_muestras = tiempo_total * muestras_por_segundo;
13
14     % Creación del vector de tiempo
15     t = linspace(0, tiempo_total, num_muestras);
16
17     % Creación del vector de tensión simulada
18     voltage_values = amplitud * sin(2 * pi * frecuencia * t);
19
20     % Mostrar el resultado gráficamente (opcional)
21     plot(t, tension_simulada);
22     xlabel('Tiempo (segundos)');
23     ylabel('Tensión (voltios)');
24     title('Tensión simulada a lo largo del tiempo');
25     grid on;
26
27     % Datos de entrada (valores de tensión medidos a lo largo del tiempo)
28     voltage_values % Coloca tus valores de tensión en este vector
29
30
31     % Parámetros para el cálculo del flicker eléctrico
32     n_periods = 10; % Número de periodos de tensión (normalmente 10 para una red de 50 Hz)
33     sampling_rate = 1000; % Frecuencia de muestreo en Hz (ejemplo: 1000 Hz)
34
35     % Cálculo del flicker eléctrico (índice de flicker Pst)
36     T = 1 / (n_periods * 50); % Periodo de la señal en segundos (para una red de 50 Hz)
37     num_samples = length(voltage_values);
38     time_vector = (0:num_samples-1) / sampling_rate;
39     voltage_rms = rms(voltage_values);
40     flicker_integral = 0;
41
42     for i = 1:num_samples
43         t_i = time_vector(i);
44         v_i = voltage_values(i);
45         flicker_integral = flicker_integral + ((v_i - voltage_rms)^2 * T);
46     end
47
48     Pst = sqrt(flicker_integral / (voltage_rms^2 * num_samples));
49
50     % Mostrar resultado
51     fprintf('El flicker eléctrico (índice de flicker Pst) es: %.2f\n', Pst);
52

```

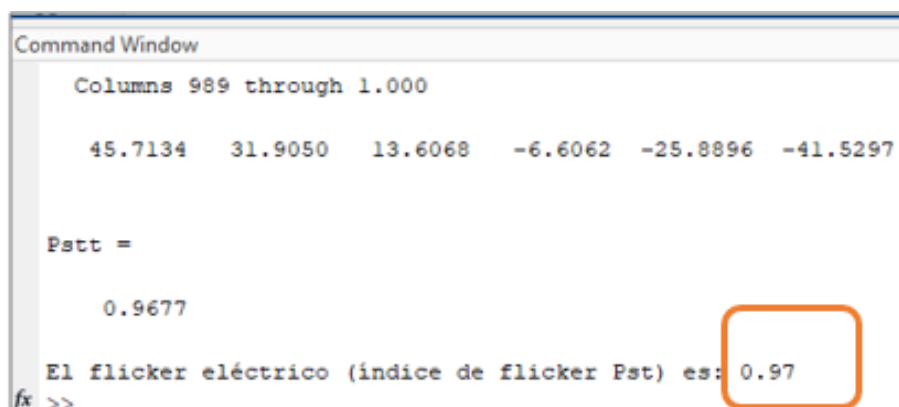
Figura 72: Código para obtener el Valor del Flicker Eléctrico
Fuente: Autor

Los resultados obtenidos se evaluó mediante el Índice de Flicker de Corta

Duración (Short Duration Flicker Severity Index - SDFSI), que Según el estándar IEC 61000-3-3, el valor máximo permisible para este índice debe ser 1,0.

A través del uso del código de Matlab, se obtuvieron valores en un rango de 0.06 a 0.98, los cuales se encuentran dentro del intervalo aceptado según el estándar IEC 61000-3-3.

El cumplimiento con este estándar garantiza que la calidad de la iluminación cumpla con los requisitos establecidos, evitando molestias visuales y asegurando un entorno seguro y cómodo para los usuarios.



```
Command Window
Columns 989 through 1.000
45.7134 31.9050 13.6068 -6.6062 -25.8896 -41.5297
Pstt =
0.9677
El flicker eléctrico (índice de flicker Pst) es: 0.97
fx >>
```

Figura 73: Resultado del Índice de Fluctuacion de la salida de voltaje de un driver de 150W.

Fuente: Autor

La figura siguiente ilustra el fenómeno de flicker eléctrico presente en la señal de voltaje emitida por el controlador. Los datos correspondientes a esta figura se han almacenado en el programa previo, listos para ser muestreados a una frecuencia de 60 Hz. Esto permite calcular el área bajo la curva de cada ciclo de onda, lo cual se logra mediante una relación de amplitudes definida en el algoritmo. Este proceso nos brinda el valor cuantitativo del

flicker presente. La curva de la gráfica inferior revela la frecuencia con la que se repiten las amplitudes en las distintas variaciones de onda.

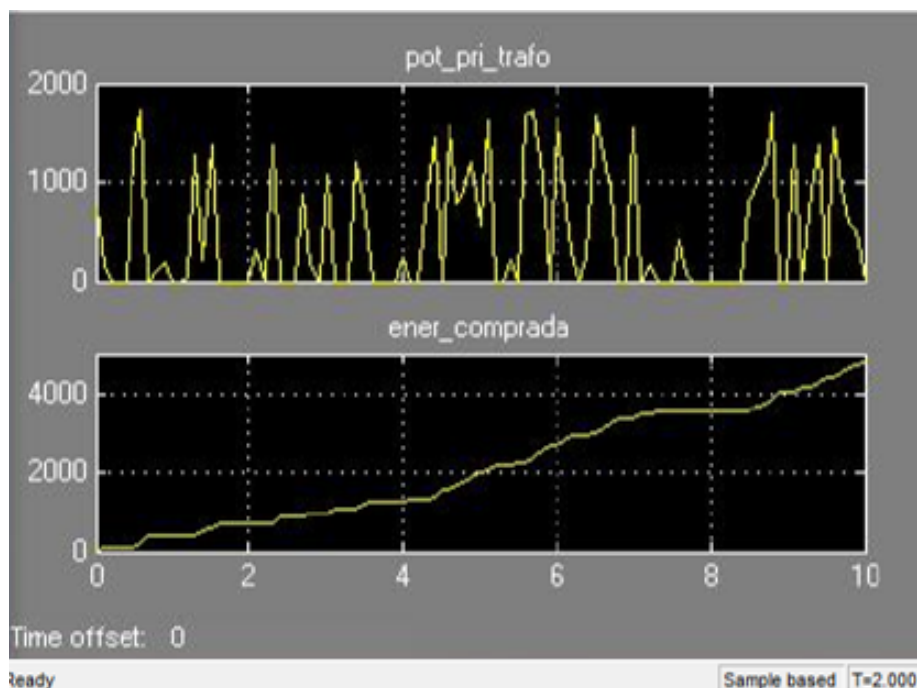


Figura 74: Gráfica de Flicker para driver LED
Fuente: Autor

5.2.4. Corriente de salida

Los valores de corriente en la salida de los drivers simulados muestran una mínima diferencia en comparación con los valores proporcionados en el datasheet de cada driver. Esta variación se encuentra en un rango estrecho, aproximadamente entre 0,1 % y 0,9 %. Esta pequeña discrepancia se debe a que cada elemento que compone el driver puede tener ciertas tolerancias, y estas pueden afectar ligeramente los resultados. El componente principal que genera pérdidas en este modelado es el transformador, ya que no es posible

llegar a obtener un simul ideal. Debido a las configuraciones de simulación en Matlab, no es posible obtener un equipo con características detalladas de su construcción. Esta limitación en la representación del transformador produce variación entre los resultados obtenidos y proporcionados por el datasheet. Destacando que la diferencia de estos valores es mínima.

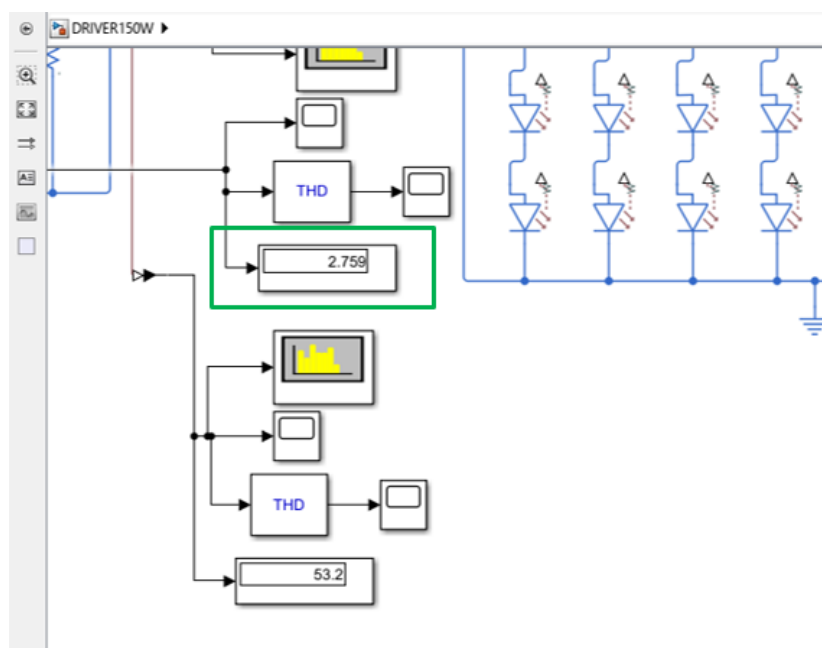


Figura 75: Datos obtenidos de la corriente de salida en Simulink
Fuente: Autor

5.2.5. Voltaje de salida

Los valores de voltaje en la salida de los drivers simulados muestran una mínima diferencia en comparación con los valores proporcionados en el datasheet de cada driver. Esta variación se encuentra en un rango estrecho, aproximadamente entre 0,1 % y 1,1 %. Esta diferencia se debe a que cada elemento que compone el driver puede tener ciertas tolerancias, y estas pueden

afectar ligeramente los resultados.

El componente principal que genera pérdidas en este circuito es el transformador. Debido a las configuraciones en Matlab, no es posible simular un equipo con características detalladas de su construcción. Esta limitación en la representación del transformador produce variación entre los resultados obtenidos y proporcionados por el datasheet. Destacando que la diferencia de estos valores es mínima.

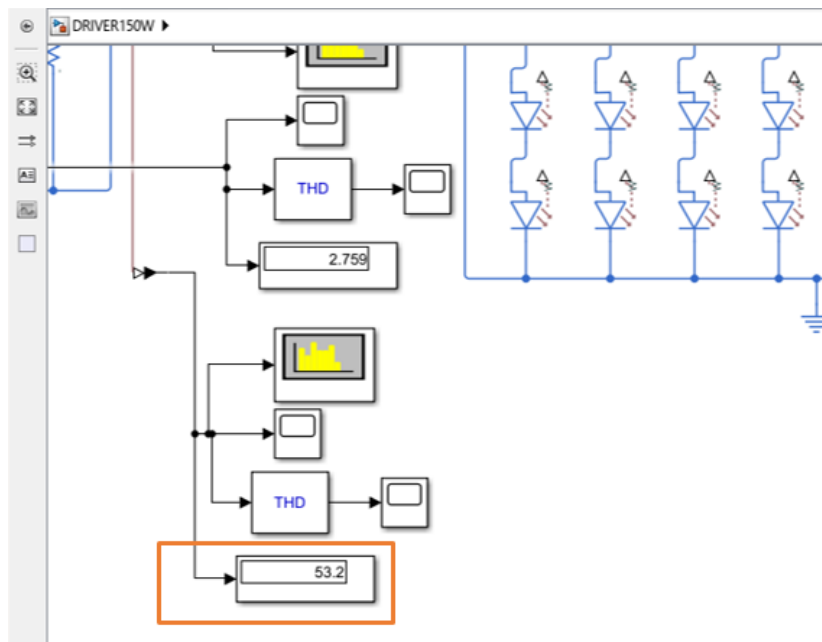


Figura 76: Datos obtenidos del Voltaje de salida en Simulink
Fuente: Autor

Los resultados obtenidos de los parámetros anteriormente descritos para los drivers en analisis se detallan en las tablas 25, 26 y 27.

Tabla 25: Resultados para luminarias de 250W.

MARCAS	DISTORCION ARMONICA TOTAL	FACTOR DE POTENCIA	FLICKER ELECTRICO	CORRIENTE DE SALIDA	VOLTAJE DE SALIDA
Modelo 1	19.20%	PF=0.94/230VAC	0.983	42.2VDC	4,73ACC
Modelo 2	19.25%	PF \geq 0.95/230VAC	0.971	53.4VDC	4.92ACC
Modelo 3	19.85%	PF \geq 0.97 / 220VAC	0.988	24.4VDC	10.1ACC
Modelo 4	19.77%	PF \geq 0.95/264VAC	0.983	23.92VDC	10,3ACC
Modelo 5	19.20%	PF \geq 0.93/230VAC	0.982	31.9VDC	8 ACC

Tabla 26: Resultados para luminarias de 150W.

MARCAS	DISTORCION ARMONICA TOTAL	FACTOR DE POTENCIA	FLICKER ELECTRICO	CORRIENTE DE SALIDA	VOLTAJE DE SALIDA
Modelo 1	19.32%	PF \geq 0.92/230VAC	0.972	23.8VDC	6.20ACC
Modelo 2	19.98%	PF \geq 0.93/230VAC	0.998	12.2VDC	12.4ACC
Modelo 3	19.85%	PF \geq 0.94/230VAC	0.988	30.1VDC	4.9ACC
Modelo 4	19.82%	PF \geq 0.94/230VAC	0.982	30.5VDC	4.7ACC

Tabla 27: Resultados para luminarias de 100W.

MARCAS	DISTORCION ARMONICA TOTAL	FACTOR DE POTENCIA	FLICKER ELECTRICO	CORRIENTE DE SALIDA	VOLTAJE DE SALIDA
Modelo 1	19.25%	PF \geq 0.95/230VAC	0.988	47.8VDC	1.99ACC
Modelo 2	19.89%	PF \geq 0.95/230VAC	0.982	47.5VDC	2ACC
Modelo 3	19.88%	PF \geq 0.95/230VAC	0.972	41.7VDC	2.32ACC
Modelo 4	19.82%	PF \geq 0.95/230VAC	0.982	36.2VDC	2.69ACC
Modelo 5	19.90%	PF \geq 0.95/230VAC	0.981	47.2VDC	1.99ACC

CAPÍTULO 6

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

En el desarrollo de este trabajo se realizó una evaluación técnica, lumínica y energética de las luminarias tipo LED utilizadas en el alumbrado público. Mediante el uso de software especializado como DIALux Evo y MathWorks Simulink en Matlab, se logró un análisis detallado y preciso de diferentes modelos de luminarias disponibles en Ecuador. Los resultados obtenidos demuestran que las luminarias LED cumplen con las especificaciones técnicas requeridas por las normativas actuales, como la Regulación ARCENNER 006/2020 para parámetros lumínicos y las normas IEC60598-1, IEC61000-3-2 e IEC 62384 para parámetros energéticos.

La tecnología LED se presenta como una alternativa altamente eficiente y sostenible para el alumbrado público, en comparación con las tecnologías tradicionales. Su mayor eficiencia energética, vida útil prolongada y capacidad de proyección de luz dirigida permiten una distribución lumínica óptima y reducen significativamente el consumo de energía y los costos de mantenimiento. Se destacan por su índice de reproducción cromática (CRI), lo que conlleva a una notable mejora en la calidad de la visibilidad. Esto representa una oportunidad para mejorar la eficiencia en el uso de la energía eléctrica y contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en línea con los objetivos de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

El cumplimiento de normativas como la Regulación ARCENNER 006/2020

y las normas IEC60598-1, IEC61000-3-2 e IEC 62384 es esencial para garantizar la calidad, seguridad y eficiencia en el diseño de las luminarias LED para el alumbrado público. Estas regulaciones establecen parámetros técnicos lumínicos y energéticos que deben ser considerados en el proceso de selección y evaluación de las luminarias, asegurando que cumplan con estándares internacionales y normativas nacionales.

La evaluación de parámetros energéticos como el flicker, armónicos, THD, factor de potencia, voltajes y corrientes en las luminarias LED permite identificar su rendimiento energético y su impacto en el consumo de energía. La selección de luminarias eficientes energéticamente puede contribuir significativamente a la reducción de los costos de operación y a la sostenibilidad del sistema de alumbrado público, beneficiando la optimización de recursos energéticos.

El uso de software especializado como DIALux Evo y MathWorks Simulink en Matlab ha demostrado ser fundamental para el análisis técnico lumínico y energético. Estas herramientas permiten simular y calcular de manera precisa la distribución de la luz y el consumo de energía de las luminarias LED, facilitando el diseño óptimo de sistemas de iluminación y proporcionando resultados confiables y detallados para la toma de decisiones.

La evaluación lumínica realizada mediante DIALux Evo ha permitido proyectar de manera eficiente la distribución de la luz en el alumbrado público. La selección adecuada de luminarias y la optimización de su disposición han contribuido a obtener una distribución lumínica óptima y uniforme, mejorando la visibilidad y seguridad de los espacios iluminados. Asimismo, el análisis energético con MathWorks Simulink en Matlab ha permitido identificar

oportunidades de ahorro de energía al controlar parámetros como armónicos, THD y factor de potencia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los parámetros energéticos, la mayoría de los controladores mostró valores cercanos al 20 % con respecto a la distorsión armónica total, tal como indica la normativa IEC (6059). Esta conformidad garantiza que los equipos operan con una mayor eficiencia en términos de transmisión, distribución y consumo de energía. Es importante destacar que los equipos se mantienen libres de sobrecalentamiento, destacando la fiabilidad en la estabilidad tanto del voltaje como de la corriente. En relación al fenómeno de flicker eléctrico, los valores obtenidos se aproximaron a 1. Esto demuestra que los dispositivos rara vez generan desequilibrios en la salida de voltaje destinada a los diodos LED. Esta característica es sumamente beneficiosa tanto para los conductores como para los peatones, ya que la fluctuación de la luz puede provocar efectos de migraña y un alto grado de deslumbramiento durante extensos períodos.

Los valores registrados para los voltajes y corrientes de salida concuerdan estrechamente con los datos proporcionados en la hoja de especificaciones. A partir de esto, se concluye que los dispositivos aseguran una estabilidad y uniformidad en su rendimiento, lo cual previene daños en las protecciones eléctricas y reduce las interferencias electromagnéticas. En síntesis, estos resultados evidencian que los controladores han demostrado un cumplimiento efectivo de las normativas y especificaciones, lo que se traduce en un desempeño confiable y constante en diversas condiciones operativas.

6.2. Recomendaciones

Como recomendación importante es aprovechar al máximo las capacidades y funcionalidades del software DIALux y Matlab para realizar un análisis completo y detallado de las luminarias LED de alumbrado público. Ambas herramientas ofrecen una gran versatilidad y precisión en el modelado y simulación de sistemas de iluminación, lo que permitirá obtener resultados confiables y representativos de la realidad.

Para ello, es fundamental asegurarte de contar con los datos técnicos y fichas de las luminarias que se desea evaluar. Cargar correctamente esta información en los respectivos programas garantizará la precisión de los cálculos y la simulación de la distribución lumínica. Asimismo, se debe realizar mediciones en campo para validar los resultados obtenidos a través del software asegurando de que se ajusten a las condiciones reales de la instalación.

Con base en los resultados obtenidos, se sugiere mantenerse actualizado con las innovaciones tecnológicas en el campo de la iluminación LED para aprovechar las mejoras en rendimiento y eficiencia que puedan surgir en el mercado. Es importante realizar mediciones y validaciones en campo para corroborar la precisión de los modelos de simulación y garantizar que los diseños lumínicos y energéticos sean óptimos y confiables.

La implementación de sistemas inteligentes de gestión y control, como sensores de presencia y sistemas de regulación, se presenta como una estrategia clave para maximizar la eficiencia energética del alumbrado público. Estos sistemas permiten adaptar la intensidad lumínica según la demanda real de iluminación, lo que contribuirá a un uso más racional de la energía y a una mayor vida útil de las luminarias.

Asimismo, se recomienda establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar el buen funcionamiento y durabilidad de las luminarias LED a lo largo del tiempo. El mantenimiento periódico permitirá detectar y corregir posibles fallos o degradación en el rendimiento lumínico, asegurando un óptimo desempeño y prolongando la vida útil de las luminarias.

Finalmente, se enfatiza en la importancia de inducir la concienciación en la ciudadanía sobre el uso responsable de la iluminación pública. Campañas de sensibilización pueden promover un uso eficiente de la luz, evitando el derroche y la contaminación lumínica innecesaria. La participación activa de la comunidad en la gestión y cuidado del alumbrado público es esencial para lograr una ciudad más sustentable y amigable con el medio ambiente.

Referencias

- [1] S. Y. Hui, S. N. Li, X. H. Tao, W. Chen, and W. M. Ng, “A novel passive offline led driver with long lifetime,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 25, no. 10, pp. 2665–2672, Oct 2010.
- [2] “Flicker fotométrico de las luminarias led según el tipo de controlador,” in *2020 XXI Simposio Internacional sobre Aparatos y Tecnologías Eléctricas (SIELA)*.
- [3] F. J. Nogueira, T. S. Gomide, E. S. Silva, M. F. Braga, and H. A. C. Braga, “Low frequency led driver based on the Ćuk converter applied to street lighting luminaires,” in *2015 IEEE 13th Brazilian Power Electro-*

- tics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (CO-BEP/SPEC)*, Nov 2015, pp. 1–6.
- [4] X. Liu, X. Li, Q. Zhou, and J. Xu, “Flicker-free single switch multi-string led driver with high power factor and current balancing,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 7, pp. 6747–6759, July 2019.
- [5] C. Aghemo, A. Pellegrino, D. Fisanotti, G. Piccablotto, R. Taraglio, A. Paruzzo, and G. Roscio, “Environmental and energy performance of public lighting installations: Results of a measurement campaign,” in *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / ICPS Europe)*, June 2018, pp. 1–6.
- [6] ARCERNNR, “Directorio de la agencia de regulaci3n y control de energa y recursos naturales no renovablesarcernnr,” in *RESOLUCI3N Nro. ARCERNNR – 029/2020*, 2020, pp. 1–28.
- [7] M. Shur and R. Zukauskas, “Solid-state lighting: Toward superior illumination,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, no. 10, pp. 1691–1703, Oct 2005.
- [8] W. Khalid, I. A. Shah, Q.-u.-A. Mehfooz, N. Irshad, and W. Mahmood, “Reduction in building energy requirements by modern energy conservation techniques,” in *2015 Power Generation System and Renewable Energy Technologies (PGSRET)*, June 2015, pp. 1–5.

- [9] A. Pachamanov, D. Pavlov, K. Kassev, and K. Nikolova, “Individual control of street luminaries by speed of change of natural light in the evening and by calendars in the morning,” in *2021 Sixth Junior Conference on Lighting (Lighting)*, Sep. 2021, pp. 1–4.
- [10] C.-M. Tsai and B.-X. Wang, “A freeform mirror design of uniform illumination in streetlight from a split light source,” *IEEE Photonics Journal*, vol. 10, no. 4, pp. 1–12, Aug 2018.
- [11] X. Wu, J. Zhang, and Z. Qian, “A simple two-channel led driver with automatic precise current sharing,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 10, pp. 4783–4788, Oct 2011.
- [12] M. Zalesinska and M. Gorczewska, “Comparative study of lighting quality and energy efficiency for various road lighting situations,” *2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4)*.
- [13] D. Gonzalez Najas *et al.*, “Análisis comparativo de los costes de instalación, mantenimiento y consumo de un alumbrado viario, realizado alternativamente con luminarias de descarga en gas, luminarias led y luminarias led alimentadas con módulo fotovoltaico,” 2017.
- [14] M. García Gil, “Eficiencia energética y aspectos medioambientales,” *Universitat Politècnica de Catalunya (BarcelonaTech)*, pp. 1–2, 2015.
- [15] G. Shahzad, H. Yang, A. W. Ahmad, and C. Lee, “Energy-efficient intelligent street lighting system using traffic-adaptive control,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 13, pp. 5397–5405, July 2016.

- [16] D. Shmilovitz, “On the definition of total harmonic distortion and its effect on measurement interpretation,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, no. 1, pp. 526–528, Jan 2005.
- [17] A. F. B. Franco, L. A. N. Vega, W. M. G. Ramírez *et al.*, “Análisis de distorsión armónica en iluminación led,” *Revista vínculos*, vol. 14, no. 2, pp. 95–107, 2017.
- [18] M. Davidovic, L. Djokic, A. Cabarkapa, A. Djuretic, V. Skerovic, and M. Kostic, “Drivers’ preference for the color of led street lighting,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 72 850–72 861, 2019.
- [19] P. Ixtaina, A. Armas, B. Bannert, and N. Bufo, “Iluminación led en autopistas argentinas,” in *Memorias del XIII Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA*, 2016, pp. 192–196.
- [20] R. M. Abdalaal and C. N. M. Ho, “Characterization of commercial led lamps for power quality studies,” in *2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, Oct 2017, pp. 1–6.
- [21] M. C. Brusil Guamán, “Análisis de perturbaciones armónicas producidas por luminarias de tecnología led en una red de alumbrado público,” B.S. thesis, Escuela Politécnica Nacional-Quito, 2020.
- [22] R. Lohote, T. Bhogle, V. Patel, and V. Shelke, “Smart street light lamps,” in *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, Jan 2018, pp. 1–5.

- [23] V. Gyurov and H. Panchev, “Experimental research on light and energy parameters of intelligent street and road lighting systems,” in *2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, Sep. 2019, pp. 1–4.
- [24] E. Anthopoulou and L. Doulos, “The effect of the continuous energy efficient upgrading of led street lighting technology: The case study of egnatia odos,” in *2019 Second Balkan Junior Conference on Lighting (Balkan Light Junior)*, Sep. 2019, pp. 1–2.
- [25] T. P. Nam and N. Van Doai, “Application of intelligent lighting control for street lighting system,” in *2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, July 2019, pp. 53–56.
- [26] M. G. L. S. L. F. NEVI, Milton Torres, “Normas para estudios y diseños viales,” *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*, vol. 2, no. 10, p. 382, Mar 2013.
- [27] M. Balsky and T. Terrich, “Light trespass in street led lighting systems,” in *2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, Oct 2020, pp. 1–4.
- [28] N. Sukhathai and T. Tayjasantant, “Smart street lighting system with networking communication,” in *2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, May 2019, pp. 2826–2831.
- [29] RETILAP, “Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público,” *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*, vol. 25, no. 10, p. 258, Mar 2010.

- [30] B. Cheng, Z. Chen, B. Yu, Q. Li, C. Wang, B. Li, B. Wu, Y. Li, and J. Wu, "Automated extraction of street lights from j11-3b nighttime light data and assessment of their solar energy potential," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 13, pp. 675–684, 2020.
- [31] B. M. Mrabet, A. Chamam, L. Canale, and G. Zissis, "Design and implementation of leds boost driver for street lighting system," in *2021 Joint Conference - 11th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting 17th International Symposium on the Science and Technology of Lighting (EEDAL/LS:17)*, June 2022, pp. 1–7.
- [32] J.-H. Park and H.-D. Yoon, "Led driver with self-optimized channel voltage: A switch-mode voltage regulator optimizes an active current regulator for a led driver," in *2009 International SoC Design Conference (ISOCC)*, Nov 2009, pp. 516–519.
- [33] Y.-J. Chen, W.-C. Yang, C.-S. Moo, and Y.-C. Hsieh, "A high efficiency driver for high-brightness white led lamp," in *TENCON 2010 - 2010 IEEE Region 10 Conference*, Nov 2010, pp. 2313–2317.
- [34] B. G. Bakshi, S. Laskar, and S. Wasif, "Dual-output flyback driver topologies for tunable white led lighting applications," in *2022 IEEE Calcutta Conference (CALCON)*, Dec 2022, pp. 55–59.
- [35] E. Anthopoulou and L. Doulos, "The effect of the continuous energy efficient upgrading of led street lighting technology: The case study of

egnatia odos,” in *2019 Second Balkan Junior Conference on Lighting (Balkan Light Junior)*, Sep. 2019, pp. 1–2.

- [36] T. Lerch, M. Rad, and I. Wojnicki, “Selected power quality issues of led street lighting,” in *2020 12th International Conference and Exhibition on Electrical Power Quality and Utilisation- (EPQU)*, Sep. 2020, pp. 1–4.