



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE TAURAMENA-
CASANARE**

**CAMILO ANDRES PARRA MONTAÑA
AUTOR**

Msc.Ing. ANTONIO GAN ACOSTA
Máster en ciencia de la Ingeniería
Máster en ciencia de la educación superior
Ingeniero Electricista
DIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA
21/06/2022**

**SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE TAURAMENA-
CASANARE**

**CAMILO ANDRES PARRA MONTAÑA
AUTOR**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO**

**Msc.Ing. ANTONIO GAN ACOSTA
Máster en ciencia de la Ingeniería
Máster en ciencia de la educación superior
Ingeniero Electricista
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA N. DE S. – COLOMBIA
21/06/2022**

DEDICATORIA

Dedico especialmente este trabajo integral de grado a mis padres Martha Judith Montaña Álvarez y Olmedo Parra Roa, que siempre me apoyaron de manera moral y financiera para llegar a ser un profesional.

A mis amistades y familiares en general por el apoyo que me han ofrecido durante el transcurso de mi vida y toda mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS

A todos los docentes que me ayudaron a formarme como profesional y en especial a mi tutor por su colaboración, paciencia y dedicación brindados durante todo este proceso.

A mis padres por confiar en mí, por los valores y principios que me han inculcado desde la niñez hasta la actualidad.

A mis amigos por apoyarme y acompañarme en este proceso.

RESUMEN

El trabajo integral de grado consiste en diseñar el sistema de iluminación y estudios fotométricos de las vías seleccionadas durante los estudios del municipio de Tauramena-Casanare, estas vías son de suma importancia para la movilidad nocturna del municipio, en donde se determinaran los parámetros de este diseño de acuerdo al Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), teniendo en cuenta los parámetros obtenidos se realiza los estudios que nos llevaran al diseño del sistema de iluminación, por otra parte; se analiza el estado financiero con el motivo de mejorar la rentabilidad para la modernización a tecnologías LED y la organización del diseño. El desarrollo de este trabajo integral de grado se limita a los estudios, diseño y análisis de las principales calles del municipio de Tauramena, los cuales se hizo la respectiva selección mediante las quejas y peticiones que ha realizado la comunidad.

.

Palabras clave: Modernización, luminosidad, RETILAP, alumbrado público, iluminación LED, confiabilidad, viabilidad.

ABSTRACT

The comprehensive degree work consists of designing the lighting system and photometric studies of the roads selected during the studies of the municipality of Tauramena-Casanare, these roads are of the utmost importance for the nocturnal mobility of the municipality, where the parameters of this will be determined. design according to the Technical Regulation of Lighting and Public Lighting (RETILAP), taking into account the parameters obtained, the studies that will lead us to the design of the lighting system are carried out, on the other hand; the financial statement is analyzed with the purpose of improving the profitability for the modernization to LED technologies and the organization of the design. The development of this comprehensive degree work is limited to the studies, design and analysis of the main streets of the municipality of Tauramena, which the respective selection was made through the complaints and requests made by the community.

Keywords: Modernization, luminosity, RETILAP, street lighting, LED lighting, reliability, feasibility.

CONTENIDO

Contenido

Introducción	14
1. Normativas para el diseño del AP.....	14
1.1 Antecedentes	16
1.2 Problema.....	18
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 Acotaciones	19
1.5 Justificación	20
1.6 Definición de términos	21
1.7 Legislación.....	22
1.7.1 Leyes	22
1.7.2 Regulación del alumbrado público	23
2. Marco teórico.....	25
2.1 Sistema de alumbrado público (AP).	25
2.2 Estudio fotométrico.....	25
2.3 Flujo luminoso (Φ).	26
2.4. Iluminancia (E).	26
2.5 Luminancia (L).....	27
2.6 Energía lumínica (Qv).....	28
2.7 Intensidad luminosa (I).	28
2.8 Lumen (lm).	29
2.9 Lux (lx).	29
2.10 Luz.	29
2.11 Eficiencia luminosa.....	30
2.12 Deslumbramiento.	31
2.13 Ángulo sólido (W).	32
2.14 Carga instalada	32
2.15 Consumo energético	32

3. Diseño del sistema de alumbrado público	33
3.1 Metodología.	34
3.1.1 Estudio lumínico inicial de la calle 15 y la carrera 12 del municipio.	34
3.1.2 Análisis actual de la instalación y mantenimiento de las vías a estudiar.	35
3.1.3 Evaluación del proyecto.....	35
3.1.4 Planimetría del diseño	36
3.1.5 Valoración de costos de los estudios realizados.....	37
3.1.6 Parámetros técnicos del AP. Sistema de iluminación convencional Vs Sistema de iluminación con tecnologías tipo LED.	38
3.1.7 Parámetros técnicos existentes mediante la tecnología LED.	39
3.2 Resultados de los análisis realizados para el diseño.	40
3.2.1 Revisión del sistema AP de la calle 15 y la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare.....	40
3.2.2 Parámetros generales de iluminación según la normativa RETILAP, para el diseño de AP de los tramos (Carrera 12 y Calle 15).	44
3.2.3 Diseño de AP de los tramos (Calle 15 y Carrera 12) de Tauramena-Casanare con bombilla LED ...	50
3.2.4 Evaluación económica y financiera.....	56
3.3 Análisis del impacto ambiental	62
3.4 Análisis Social	64
Conclusiones	65
BIBLIOGRAFÍA	67
Anexos.....	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores típicos de la eficiencia luminosa. [21].....	31
Tabla 2. Clases de iluminación vía vehicular. [8]	45
Tabla 3. Clase de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y de ciclistas.	46
Tabla 4. Valores mínimos fotométricos requeridos por la clase de iluminación para tráfico vehicular. [8].....	47
Tabla 5. Valores mínimos de iluminación para circulación peatonal y de ciclistas. [8].....	48
Tabla 6. Valores mínimos de iluminación para Calles con circulación (ciclorrutas y peatones). [8].....	49
Tabla 7. Distancia recomendada para la altura de luminarias. [8]	49
Tabla 8. Comparación de Resultados (calle 15)	52
Tabla 9. Especificaciones técnicas de la luminaria tipo LED para la calle 15.....	52
Tabla 10. Comparación de resultados del Diseño (carrera 12).....	55
Tabla 11. Especificaciones técnicas de la tecnología LED para carrera 12.	55
Tabla 12. Costos de Instalación.	56
Tabla 13. Consumo de energía de cada tipo de luminaria para el respectivo diseño.....	59
Tabla 14. Costo del sistema de alumbrado público de la calle 15 y la carrera 12.....	59
Tabla 15. Costo de mantenimiento anual.....	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Ilustración 1. Iluminancia. Fuente propia.	26
Ilustración 2. Luminancia.....	27
Ilustración 3. Intensidad luminosa.....	29
Ilustración 4. Espectro visible por el ojo humano (Luz).	30
Ilustración 5. Ejemplo de Deslumbramiento. [22]	31
Ilustración 6. Defecto Luminaria	34
Ilustración 7. Fallas del sistema de AP	35
Ilustración 8. Tramo 1 – Calle 15.....	36
Ilustración 9. Tramo 2 – Carrera 12.....	36
Ilustración 10. Tramo 1 y Tramo 2 de las vías a estudiar.....	37
Ilustración 11. Evaluación de costos. [23].....	38
Ilustración 12. Ejemplo distintas luminarias.....	41
Ilustración 13. Diferencia de altura de las luminarias. [24]	41
Ilustración 14. Diferencia de ángulos. [25].....	42
Ilustración 15. Deficiencia luminosa	43
Ilustración 16. Ejemplo bloqueo óptico.....	44
Ilustración 17. Modelo 3D Diseño de iluminación para la calle 15.....	50
Ilustración 18. Vista superior del diseño de iluminación (Líneas Isolux) para la calle 15.....	51
Ilustración 19. Vista superior del diseño de iluminación (Sistema de valores) la calle 15	51
Ilustración 20. Vista 3D diseño de iluminación para la carrera 12	53
Ilustración 21. Vista superior del diseño de iluminación (Líneas Isolux) para la carrera 12	53
Ilustración 22. Vista superior del diseño de iluminación (Sistema de Valores) para la carrera 12...54	54
Ilustración 23. ¿Qué es URE? [22].....	62
Ilustración 24. Eficiencia energética. [26].....	63

Introducción

El alumbrado público en el transcurso de su historia se ha enmarcado la importancia de este, en cuanto hablamos de la seguridad local en las zonas comunes y vías públicas en horarios nocturnos dando como finalidad el iluminar las vías de mayor circulación, además la mayoría de espacios que hay entre los edificios y las viviendas del municipio. En donde el actual sistema AP de Tauramena – Casanare no está cumpliendo con las necesidades mínimas por parte de la población, provocando un número significativo para el mejoramiento de este servicio.

El sistema de alumbrado público son circuitos que se es necesario tener gran atención porque este funcionamiento tiene que estar en óptimas condiciones durante su funcionamiento, en donde la mala prestación de este servicio genera inconformismo he inseguridad en las calles en todo el municipio siendo este una gran motivación para realizar este trabajo para la solución de este problema.

1. Normativas para el diseño del AP.

En el primer capítulo se exponen las generalidades del proyecto, en pocas palabras, el problema que se desea resolver, proporcionando la solución de los problemas del sistema de AP que se aprecia en Tauramena-Casanare los cuales se pueden apreciar en las principales calles, por ende, para mayor claridad sobre los aspectos relacionados con la problemática a solucionar, el actual capítulo está dividido por ciertos apartados. El primer apartado nos da a conocer los antecedentes del proyecto, donde se muestra los estudios y resultados anteriormente realizados sobre los diseños de alumbrado público, esta puede ser: municipal, nacional o internacional; nuestro segundo apartado hace énfasis en el planteamiento del problema, donde se dará a conocer el origen y la importancia del proyecto; el tercer apartado contiene el objetivo general y los específicos; el cuarto la justificación, en este apartado sostendremos la necesidad y la relevancia de diseñar el sistema de AP del municipio; en el quinto se evidencia la terminología utilizada durante el desarrollo del trabajo integral de grado y por último tenemos la legislación necesaria para el desarrollo de cualquier actividad que se realice hoy en día. Así, con los avances de este proyecto y la metodología utilizada se cumplen debidamente los objetivos evidenciando los resultados plasmados en el trabajo integral de grado.

1.1 Antecedentes

En la actualidad los sistemas de AP requieren de gran atención, ya que a medida que transcurre los años se vuelve más indispensable para un municipio o ciudad de cualquier parte del país y del mundo. A fin de que su funcionamiento sea óptimo y garanticen la prestación del servicio en todo momento a los usuarios en la totalidad de las calles. Realizar los estudios pertinentes para proveer un diseño del sistema de alumbrado público, incluyendo los estudios fotométricos teniendo en cuenta el cumplimiento de las respectivas normativas para dar su mejor calidad y confiabilidad en los alumbrados del municipio.

El alumbrado público como servicio, tiene sus antecedentes legislativos en la ley 97 del 24 de noviembre de 1913, se creó libremente el impuesto sobre el servicio de alumbrado público. Después de dos años, en la ley 84 del 30 de noviembre de 1915, se extendió la atribución otorgada al concejo de Bogotá, a los demás concejos municipales del país. [1]

Después de las guerras de independencia (1810-1821) continuó el proyecto del alumbrado público, ciertamente para el embellecimiento del cuadro urbano, pero también para disipar la amenaza que los sectores más desprovistos de la sociedad representaban para los grupos de poder. Desde tiempo atrás se ha utilizado el alumbrado público para mitigar el problema de la seguridad de las calles, mejorando la seguridad en las calles a parte del motivo de mejorar la visibilidad y embellecimiento de los sectores. [2]

Las relaciones entre alumbrado público y seguridad y bienestar, a fin de obtener beneficios que permitan aumentar o mejorar la calidad de vida, la sobre iluminación afecta a la sensación de seguridad y bienestar de los ciudadanos. [3] Según Hurtado

González, en su proyecto titulado influencia del alumbrado público sobre la seguridad y la conducta nos dice muchos factores donde da a entender que un buen sistema de alumbrado público influye de gran medida seguridad, calidad de vida, confianza tanto en sus viviendas como en las principales calles.

En grandes ciudades he incluso en los municipios es válido dar la viabilidad a una renovación y mejoramiento del sistema de AP, utilizando las nuevas tecnologías se va a considerar una idea particular de un sistema de iluminación con tecnología de sodio de alta tensión. [4] Laban Hjar en su proyecto titulado Análisis, diseño y selección de alternativas de iluminación para alumbrado público con nuevas tecnologías nos muestra comparaciones de consumo y confiabilidad respecto a las iluminarias de sodio con las nuevas tecnologías led, donde se lleva a una conclusión donde a mediano y largo plazo, las tecnologías Led supera en confiabilidad, mejor iluminación, también a destacar el bajo consumo que ellas poseen a diferencia a las iluminarias de sodio.

Cualquier salida nocturna, ya sea, ir hasta la tienda de la esquina o la casa de un vecino genera sensación de inseguridad, las comunidades se sienten vulnerables por ladrones, carteristas y atracadores. Todo esto puede cambiar con un buen alumbrado público, así mismo reducir de manera significativa la delincuencia, este experimento fue realizado en Nueva York en 2016, donde se redujo el crimen por lo menos un 36%, lo que ha impulsado esta reducción del crimen es la instalación de focos LED permanentes alrededor de conjuntos habitacionales en diferentes partes de la ciudad [5].

1.2 Problema

El sistema de AP es un servicio público que se da a disposición con la necesidad de iluminar lugares de libre circulación, los cuales hacen parte de las vías públicas, los parques y demás espacios que se encuentran a disposición del municipio, con propósito de acceder actividades en horas nocturnas dentro del sector urbano y rural. Donde la prioridad es brindar condiciones de iluminación que forje seguridad, visibilidad adecuada en zonas con alta circulación en horas nocturnas.

Actualmente se visualizan fallas en la presentación del servicio de AP, la causa de estas fallas se pueden evidenciar en la falta de mantenimiento de estas luminarias, estas causan deterioro generando en las principales calles quedar a oscuras en varios sectores, siendo esto la motivación para realizar los respectivos estudios fotométricos para la realización de un nuevo diseño del sistema de iluminación y así mismo analizar el estado financiero para mejorar la economía y la confiabilidad del pueblo.

El presente trabajo integral de grado permitirá realizarse el cambio de tecnología con la viabilidad de un modelo económico para un sistema de AP con tecnologías LED dando beneficios de los criterios de seguridad a la población, confiabilidad en el sistema, sostenibilidad con el tiempo y eficiencia energética.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar el sistema de alumbrado público de la calle 15 y la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño de acuerdo con las normativas respectivas (RETIE Y RETILAP).
- Diseñar el sistema de iluminación y estudios fotométricos del alumbrado público del municipio utilizando el software DIALux.
- Analizar el estado financiero para mejorar la rentabilidad y la gestión del diseño para el alumbrado público del municipio.

1.4 Acotaciones

- El objeto del proyecto se limita en entregar el diseño del sistema de iluminación, con sus respectivos estudios fotométricos dando viabilidad para la modernización a tecnologías LED.
- La población objeto de los estudios se limita al sistema de AP de la calle 15 y la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare.

- Para el desarrollo del sistema de iluminación se utilizará respectivamente el software DIALux, también se manipulará ofimáticas como lo son: Excel y Word, para la realización de diversas actividades diarias en el transcurso del proyecto, adicional se utilizará Google maps y Google Eearth para la visualización del municipio de mejor manera.

1.5 Justificación

El sistema de AP son sistemas que con el paso del tiempo presentan un funcionamiento defectuoso por falta de mantenimiento como el daño de los componentes de las iluminarias, ya sean: el balasto, el arrancador, la foto celda o incluso el mismo bombillo. Estos pueden obtener daños por estar a la intemperie, descargas atmosféricas, o incluso fuerzas externas causando el deterioro de los componentes provocando que en horarios nocturnos sean inseguras las calles para la población.

Por esta razón es importante realizar la pregunta ¿realizar los estudios fotométricos para el diseño del sistema de iluminación mejora la seguridad y traerá beneficios a corto, mediano y largo plazo?

La ejecución de este trabajo nace en mejorar la confiabilidad en el sistema, eficiencia energética, seguridad, confianza y sostenibilidad del sistema de AP gracias a los estudios realizados en este trabajo integral de grado.

1.6 Definición de términos

Alumbrado público: “Es un servicio público no domiciliario el cual proporciona iluminación a espacios públicos, bienes de uso público y de circulación, de tránsito vehicular o peatonal; dentro de un perímetro, ya sea, urbano y rural de un municipio o un distrito”. [6]

RETIE: En el reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas se establecen el cumplimiento de los objetivos legítimos de protección contra los riesgos de origen eléctrico, garantizando la seguridad de las personas, vida animal, vegetal y la preservación del medio ambiente.[7]

RETILAP: Reglamento Técnico de iluminación y Alumbrado Público establece los requisitos y las medidas necesarias para el cumplimiento de los sistemas de iluminación y alumbrado público. El respectivo reglamento garantiza los niveles y calidez de la energía lumínica requerida en la actividad visual, seguridad en el abastecimiento energético, protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; minimizando o eliminando los riesgos originados por la instalación y uso de sistemas de iluminación. [8]

DIALux: Software desarrollado con el propósito de proyectos de iluminación. Permitiendo documentar de forma adecuada los resultados obtenidos por medio de visualizaciones fotorrealistas, este incluye librerías de todos los fabricantes líderes a nivel mundial facilitando los diseños. Posee la herramienta para la utilización de modelos en 3D obtenidos en internet. Ofrece resultados del cálculo energético de los sistemas de iluminación para asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes a nivel nacional e internacional. [9]

CREG: La comisión de Regulación de Energía y Gas creada en 1994, cuando fue creada las leyes 142 y 143 por el congreso de la república, en donde salió a relucir las comisiones de regulación, con el fin de regular las actividades de los servicios domiciliarios. [10]

URE: Uso racional y eficiente de energía eléctrica, es el aprovechamiento máximo de la energía, sin disminuir la calidad de vida que recibimos de estos servicios.

1.7 Legislación

A continuación, se nombran las leyes y regulaciones que están relacionadas con el sistema de alumbrado público.

1.7.1 Leyes

Ley 136 de 1994. “Establece la constitución dando la responsabilidad al municipio de prestar los servicios que determina la ley”. [11]

Ley 697 de 2001. “Declara el uso racional y eficiente de la energía URE instaurando el interés social, público e interés nacional el establecimiento energético, por lo tanto, se empieza a promover la utilización de nuevas tecnologías en la infraestructura del sector energético”. [12]

Ley 1672 de 2013, Establece los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. [13]

1.7.2 Regulación del alumbrado público

La Comisión de Regulación de Energía y Gas “CREG”, por medio de las facultades emanadas en las Leyes 142 y 143 de 1994 y los decretos 1525 y 2253 de 1994, ha expedido las siguientes resoluciones con el tema de alumbrado público:

- Resolución 043 de 1995 "Por la cual se regula de manera general el suministro y el cobro que efectúen las empresas de servicios públicos domiciliarios a municipios por el servicio de energía eléctrica que se destine para alumbrado público" [14]
- Resolución 043 de 1996. "Por la cual se dictan normas sobre alumbrado público" [15]
- Resolución 089 de 1996. "Por la cual se establece el régimen de libertad de tarifas para la venta de energía eléctrica a los municipios y distritos, con destino al alumbrado público". [16]
- Resolución 076 de 1997. "Por medio de la cual se complementan las normas contenidas en las resoluciones 043 de 1995, 043 y 089 de 1996 sobre el suministro y cobro que efectúen las empresas de energía eléctrica a los municipios, por el servicio de electricidad que destinan para alumbrado público". [8]

- Resolución 070 de 1998. "Por la cual se establece el reglamento de distribución de energía eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional".
- Resolución 101 de 2001. "Por medio de la cual se aclaran las normas técnicas aplicables al Alumbrado público establecidas en la Resolución CREG-070 de 1998". [17]
- Resolución 082 de 2002. "Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos para uso de los sistemas de transmisión regional y distribución local". [18]
- Resolución 1511 de 2010 Gestión de Bombillas y Luminarias. "Establece los Sistema de recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas". [19]

2. Marco teórico

La razón fundamental del marco teórico en este trabajo integral de grado resolverá las ideas dejando claro la temática a desarrollar, se brindará conceptos específicos a comprender los contenidos asociados al diseño de un sistema de AP con la finalidad del cumplimiento del desarrollo de los objetivos planteados.

2.1 Sistema de alumbrado público (AP).

Según la definición del (Ministerio de Minas y Energía 2013) el sistema de AP “comprende el conjunto de luminarias, redes, transformadores de uso exclusivo y en general, todos los equipos necesarios para la prestación del servicio de alumbrado público, que no formen parte del sistema de distribución”. [20]

2.2 Estudio fotométrico.

Son estudios realizados durante la fase de planeación y diseño de cualquier proyecto de construcción, el cual apoya al diseño del proyecto de instalaciones eléctricas con el propósito de detectar de manera adelantada toda necesidad lumínica en cada espacio de trabajo que lo requiera, esto depende al tipo de tarea visual o área de trabajo, teniendo los parámetros mínimos de iluminación establecidos en la normatividad vigente como lo es el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) evaluando la cantidad de Lux (unidad de medida en iluminación) que se requiera.

2.3 Flujo luminoso (Φ).

Es definido como la potencia emitida en forma de radiación luminosa en donde el ojo humano es sensible. Su unidad es el lumen (Lm), su símbolo es FI “ Φ ”. El flujo luminoso es la relación entre el watts y lúmenes.

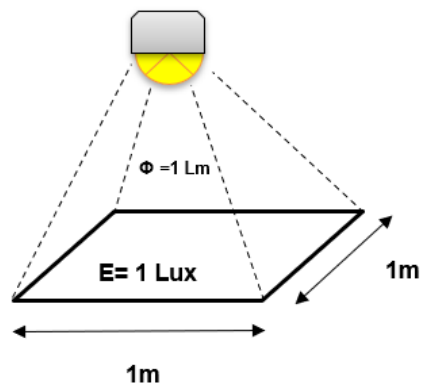
Ecuación 1: Ecuación del flujo luminoso.

$$\Phi = \frac{W}{lm} \quad (1)$$

2.4. Iluminancia (E).

Es definido como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su unidad es el Lux (Lx), donde es la relación entre el flujo luminoso y el metro cuadrado.

Ilustración 1. Iluminancia. Fuente propia.



(Fuente propia)

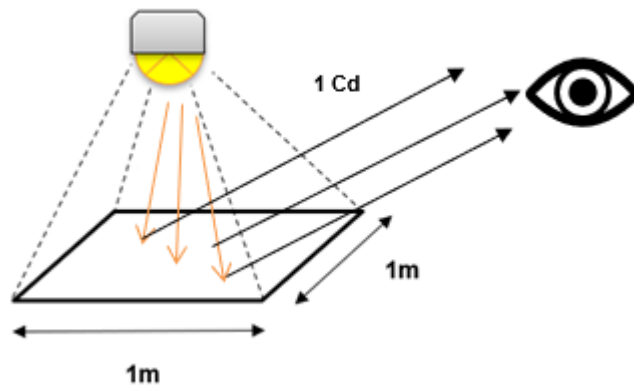
Ecuación 2: Ecuación de iluminancia.

$$E = \frac{\Phi}{m^2} \quad (2)$$

2.5 Luminancia (L).

La luminancia determina la emoción de calidad generada por una superficie, ya sea mayor o menor. La expresión de esta magnitud es en candela por metro cuadrado.

Ilustración 2. Luminancia.



(Fuente propia)

Ecuación 3: Ecuación de luminancia.

$$L = cd * m^2 \quad (3)$$

2.6 Energía lumínica (Qv).

Es conocido como el flujo lumínico que es emitido en una unidad de tiempo. La unidad en la que se mide en el sistema internacional es el lumen por segundo.

Ecuación 4: Ecuación de la energía lumínica.

$$Q_v = \text{lm} * s \quad (4)$$

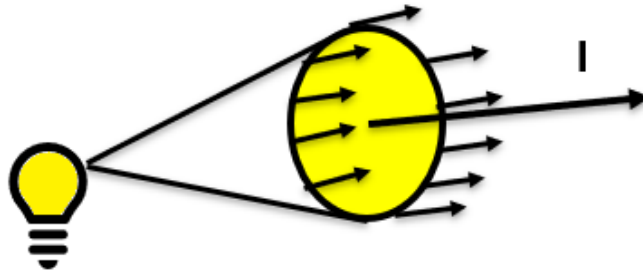
2.7 Intensidad luminosa (I).

Es la propiedad de una emisión de radiación por cualquier fuente, es concertada por el flujo luminoso multiplicada por unidad de ángulo solido en una dirección estimada y su unidad de medida es la candela (cd).

Ecuación 5: Ecuación de intensidad luminosa.

$$I = \frac{\Phi}{W} \left[\frac{\text{lm}}{\text{sr}} \right] \quad (5)$$

Ilustración 3. Intensidad luminosa.



(Fuente propia)

2.8 Lumen (lm).

Es el flujo luminoso que es iniciado por un punto de origen, donde la intensidad es de una candela, el flujo luminoso atraviesa un Angulo sólido.

.

2.9 Lux (lx).

A diferencia del lumen, es el flujo luminoso de un lumen que cae y se distribuye idénticamente sobre un área de un metro cuadrado.

2.10 Luz.

Esta es definida como la energía luminosa que es creada por ondas electromagnéticas que son visibles ante la vista humana, de esta manera causa el efecto de la visión, estas ondas utilizan un segmento del espectro electromagnético. La radiación necesaria para que el ser humano pueda ver se encuentra en un rango de los 380 y 780 nanómetros.

Espectro visible por el ojo humano (Luz)

Ultravioleta Infrarrojo

400 nm 450 nm 500 nm 550 nm 600 nm 650 nm 700 nm 750 nm

Rayos cósmicos Rayos gamma Rayos X Rayos UV Infrarrojo Radio Microondas UHF VHF Onda corta Onda media Onda larga Frecuencia extremadamente baja

1 m 1 μm 1 Å 1 nm 1 μm 1 mm 1 cm 1 m 1 km 1 Mm

Longitud de onda (m) 10⁻¹⁵ 10⁻¹⁴ 10⁻¹³ 10⁻¹² 10⁻¹¹ 10⁻¹⁰ 10⁻⁹ 10⁻⁸ 10⁻⁷ 10⁻⁶ 10⁻⁵ 10⁻⁴ 10⁻³ 10⁻² 10⁻¹ 10⁰ 10¹ 10² 10³ 10⁴ 10⁵ 10⁶ 10⁷ 10⁸ 10⁹ 10¹⁰ 10¹¹ 10¹² 10¹³ 10¹⁴ 10¹⁵

Frecuencia (Hz) 10⁻¹⁵ 10⁻¹⁴ 10⁻¹³ 10⁻¹² 10⁻¹¹ 10⁻¹⁰ 10⁻⁹ 10⁻⁸ 10⁻⁷ 10⁻⁶ 10⁻⁵ 10⁻⁴ 10⁻³ 10⁻² 10⁻¹ 10⁰ 10¹ 10² 10³ 10⁴ 10⁵ 10⁶ 10⁷ 10⁸ 10⁹ 10¹⁰ 10¹¹ 10¹² 10¹³ 10¹⁴ 10¹⁵

(1 Zetta-Hz) (1 Exa-Hz) (1 Peta-Hz) (1 Tera-Hz) (1 Giga-Hz) (1 Mega-Hz) (1 Kilo-Hz)

$$n = \frac{\Phi}{W} \left[\frac{lm}{W} \right] \quad (6)$$

La magnitud de la eficiencia luminosa nos muestra el rendimiento con la que se convierte la energía consumida por un tipo de luminaria en luz. Observaremos unos valores típicos:

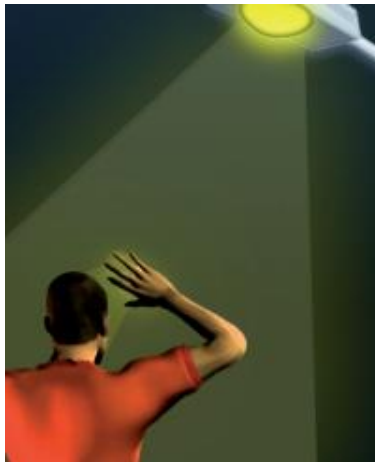
Tabla 1. Valores típicos de la eficiencia luminosa. [21]

Tipo de lampara	Potencia Nominal (W)	Rendimiento luminoso (Lm/W)
Incandescente común 40 W/ 220	40	11
Fluorescente L 40 W/20	40	80
Mercurio de alta presión 400 W	400	58
Halogenuros metálicos 400 W	360	78
Sodio de alta presión 400 W	400	120
Sodio de baja presión 180 W	180	183

2.12 Deslumbramiento.

Es el límite mayor y menor de la percepción de la luz el cual el ojo humano empieza a adaptarse, la consecuencia de esta sería: irritación visual, molestia o pérdida temporal de la visión.

Ilustración 5. Ejemplo de Deslumbramiento. [22]



2.13 Ángulo sólido (W).

Es definido como el cono de luz que se visualiza por un origen concéntrica a una esfera de radio r, su unidad de medida es el estereorradián (sr).

Ecuación 7: Ecuación del ángulo sólido.

$$W = \frac{S}{R^2} [sr] \quad (7)$$

2.14 Carga instalada

Es definido como la suma de las potencias nominales de las cargas conectados a un sistema o parte de él, normalmente se expresa den KVA, MVA, KW o MW.

Ecuación 8: Ecuación de la carga instalada.

$$Q = \Sigma KW \quad (8)$$

2.15 Consumo energético

Es el consumo total de energía, este incluye más de una fuente energética. Además, el consumo energético está relacionado a la eficiencia energética, de esta manera se puede deducir que, a mayor consumo de energía, menor es la eficiencia, por lo tanto, menos es también el ahorro de las facturas.

Ecuación 9: Ecuación consumo energético

$$C = \frac{Q * N_d * F_m * F_u * 24}{1 - P_r} \quad (9)$$

C = Consumo mensual

Q = Carga instalada

N_d = Numero de dias del mes

F_m = Factor de mantenimiento

F_u = Factor de utilizacion

1 - P_r = Eficiencia

3. Diseño del sistema de alumbrado público

El enfoque de este presente trabajo es de tipo cualitativo-descriptivo, el objetivo es la descripción de algo, específicamente de los estudios propuestos, características, entre otros. En este sentido, se pretende realizar los estudios lumínicos y fotométricos con la intención de analizar las interacciones entre las variables ya mencionadas en el capítulo anterior en un respectivo momento, esto con el fin de mejorar el servicio de AP de las principales calles del municipio de Tauramena-Casanare, y dando como viabilidad la modernización a las tecnologías LED.

3.1 Metodología.

3.1.1 Estudio lumínico inicial de la calle 15 y la carrera 12 del municipio.

Se realizó un respectivo control con el propósito de establecer el estado actual del funcionamiento del sistema de AP existente en las vías (Calle 15 y Carrera 12) determinando todas las características importantes en cuanto a diseño, instalación y mantenimiento dándonos a conocer la calidad en la prestación del servicio del AP del municipio.

Ilustración 6. Defecto Luminaria



(Fuente propia)

3.1.2 Análisis actual de la instalación y mantenimiento de las vías a estudiar.

Al realizar un sondeo visual en todo el trayecto de la calle 15 y la carretera 12 del municipio se pudo observar tanto fallas y aciertos que tienen el actual sistema de AP, con respecto al reglamento técnico RETILAP.

Ilustración 7. Fallas del sistema de AP



(Fuente propia)

3.1.3 Evaluación del proyecto

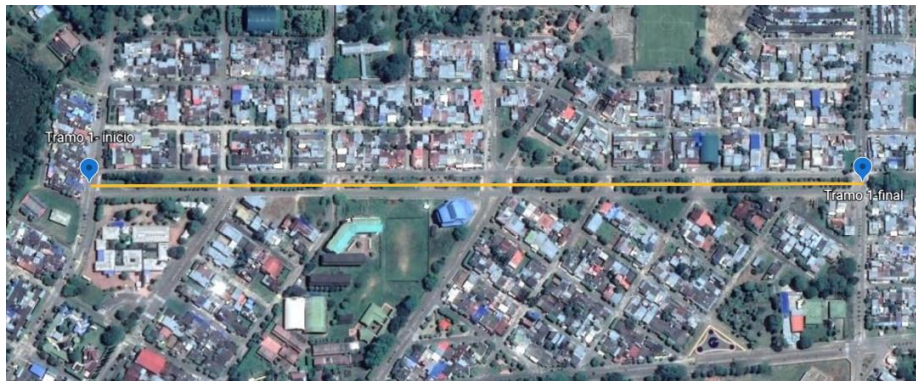
Se establecen especificaciones técnicas en el RETILAP, donde se ara cumplimiento a cada una de ellas en este proyecto, siendo las siguientes [8]:

- Las clases de iluminación según las características de la vía, el uso y tipo de vía.
- Los niveles exigidos de luminancia e iluminancia en alumbrado público.
- Localización de luminarias
- Las configuraciones básicas de localización de puntos de iluminación

3.1.4 Planimetría del diseño

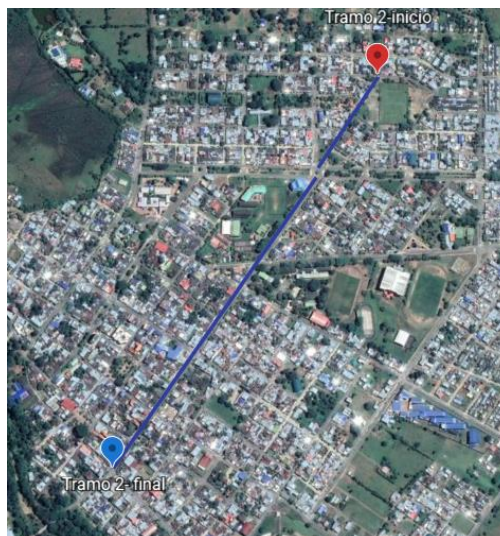
Para empezar estos planteamientos se obtuvo la topografía de las (calle 15 y la carrera 12), es de suma importancia recalcar que se realizaron dos diseños diferentes para dos tramos diferentes (estos diseños se realizaron en el software DIALUX). Los tramos de las calles fueron escogidos y separados de acuerdo a sus características especiales, los cuales son los siguientes:

Ilustración 8. Tramo 1 – Calle 15.



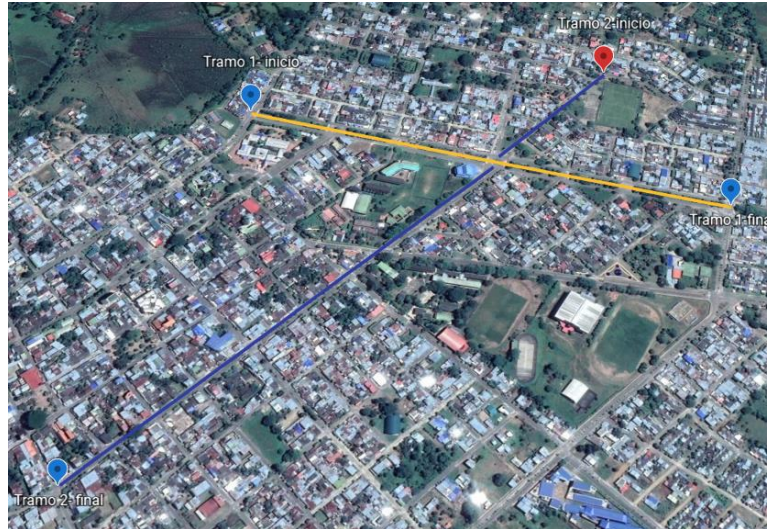
(Google Eearth, modificado por el autor)

Ilustración 9. Tramo 2 – Carrera 12



(Google Eearth, modificado por el autor)

Ilustración 10. Tramo 1 y Tramo 2 de las vías a estudiar



(Google Eearth, modificado por el autor)

Para la elaboración del diseño detallado fue considerado varios aspectos específicos del proyecto los cuales están plasmados en RETILAP, donde se realizó la siguiente evaluación documentada para los tramos a estudiar.

- Distribución de luminarias mediante el software DIALUX.
- Cálculos fotométricos.

3.1.5 Valoración de costos de los estudios realizados.

En el presente trabajo se realizó según las consideraciones del RETILAP una eficiente evaluación económica y financiera en donde se siguió los siguientes aspectos: costos de inversión, costos de operación, costos de mantenimiento y el costo anual.

Ilustración 11. Evaluación de costos. [23]



3.1.6 Parámetros técnicos del AP. Sistema de iluminación convencional Vs Sistema de iluminación con tecnologías tipo LED.

Se elaboro el diseño de AP con tecnología convencional con luminarias de sodio de alta presión en el software DIALUX para los dos tramos que tenemos, el primero en la calle 15 y el segundo en la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare, se compararon especificaciones técnicas entre las nuevas tecnologías tipo LED y la luminaria convencional de sodio.

Se compara las especificaciones técnicas principales de cada luminaria, las cuales son las siguientes:

- Fabricante luminaria
- Referencia luminaria
- Flujo ofrecido
- Consumo teórico

- Vida útil

3.1.7 Parámetros técnicos existentes mediante la tecnología LED.

Durante el proceso del trabajo se determinaron los parámetros técnicos necesarios para aplicar para las nuevas tecnologías tipo LED el cual se realizó en cada uno de los tramos del diseño.

- Referencia y modelo.
- Vida útil.
- Dimensiones y descripciones físicas.
- Potencias, consumo del sistema.
- Flujo luminoso total emitido.
- Flujo lumínico.

3.2 Resultados de los análisis realizados para el diseño.

3.2.1 Revisión del sistema AP de la calle 15 y la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare.

Se evidencio de manera contundente en todo el trayecto de los dos tramos, tramo 1(Calle 15) y tramo 2 (Carrera 12), diversos fallos del sistema AP donde se tiene que tener iniciativa para obtener el mejor funcionamiento para ofrecer un buen servicio de este servicio según (RETILAP).

3.2.1.1 Diferentes tipos de luminarias.

Con el tiempo se ha hecho varios mantenimientos a diversas luminarias provocando el cambio de estas, el encargado de mantenimiento no visualiza el tipo de marca, la potencia necesaria para la bombilla provocando el cambio a las medidas de iluminación (líneas Isolux, sistemas de valores) estas varían para cada fabricante de bombillas, esta produce la alteración de la distribución de la luz sobre las calles. Estos parámetros de iluminación tienen que ser iguales para cada tramo y en especial para todo el diseño del sistema de AP por cada una de las vías. En consecuencia, se debe sugerir a la persona encargada que en este caso es el operador de red realizar su respectivo bosquejo de mantenimiento del sistema de AP.

Ilustración 12. Ejemplo distintas luminarias



(Fuente propia)

3.2.1.2 Diferencia de medidas de los postes

En unos sectores se puede apreciar diferencias de altura en los postes en el mismo tramo, no son tan evidentes en el tramo 1 (Calle 15), pero en el caso del tramo 2 (Carrera 12) si se puede notar, esta falla es importante para determinar el buen servicio de este sistema (AP). puesto que esto altera significativamente la distribución fotométrica generando disminución en la uniformidad del alumbrado.

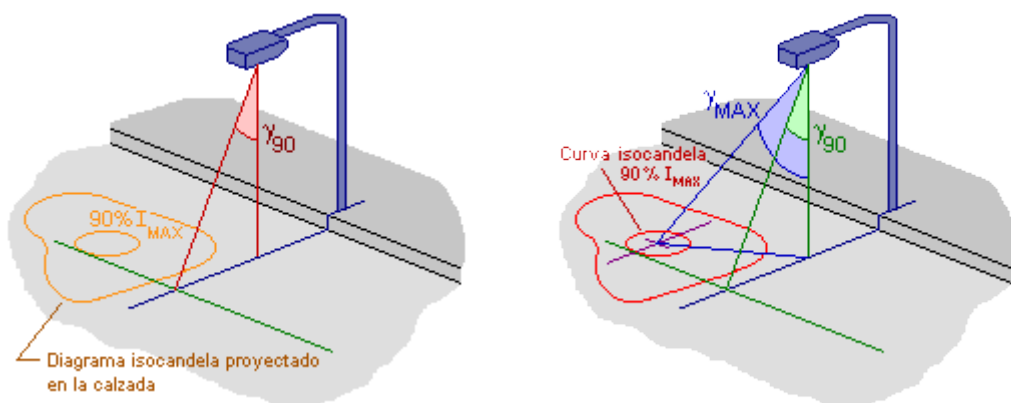
Ilustración 13. Diferencia de altura de las luminarias. [24]



3.2.1.3 Desviación de los brazos de las luminarias

Se pierde el ángulo de inclinación normalmente cuando se procede al respectivo mantenimiento de la luminaria, al realizar un cambio de las bombillas, fotoceldas, también se puede apreciar cuando se desplaza el brazo de la luminaria, puede perderse el ángulo de inclinación que se contemplaba en el diseño original, ya que esto determinaba un buen nivel de uniformidad de la iluminación; este puede ser uno de los principales motivos donde se podía observar sobre las calles unos sectores muy iluminados y por otra parte sectores en donde se observan zonas oscuras.

Ilustración 14. Diferencia de ángulos. [25]



3.2.1.4 Flujo luminoso en las bombillas.

La vida útil de las luminarias puede cambiar por varios factores, incluyendo las condiciones climáticas o por fallas de las componentes, a la hora de realizar mantenimiento solo se les realiza a las luminarias apagadas, esto produce un cambio en el flujo luminoso ya que, las luminarias cambiadas tendrán un flujo de iluminación mayor a las que no fueron cambiadas provocando un mal nivel de uniformidad de la iluminación sobre las vías. Se mejoraría la uniformidad de la iluminación a la hora de hacer un mantenimiento no solo hacerlo a ciertas luminarias específicas, por el contrario, hacer el respectivo mantenimiento a todas

las luminarias del tramo, así mismo mejorando la uniformidad de todo el tramo mejorando la operación del sistema de alumbrado.

Ilustración 15. Deficiencia luminosa



(Fuente propia)

3.2.1.5 Periodos de limpieza en las luminarias.

En toda ciudad o municipio relativamente grande se puede obtener niveles de polución altos, afectando a las luminarias con cantidades de polvo, también teniendo en cuenta que las luminarias se encuentran en la intemperie, hacen que haya un bloqueo óptico de las luminarias provocando suciedad y por consecuencia perturbe de manera significativa el nivel de iluminación que es capaz de realizar el bombillo, por lo mencionado anteriormente se puede observar que los ciclos de limpieza no se efectúa en los ciclos de tiempo que establece el factor de mantenimiento y esto hace que la eficiencia de cada iluminaria afectado la operación del servicio de AP.

Ilustración 16. Ejemplo bloqueo óptico



(Fuente propia)

En conclusión, se pueden apreciar fallas en (Carrera 12 y Calle 15), fallas en los cuales afectan de manera significativa el servicio, en donde los principales fallos son provenientes de los diseños, en las operaciones y el respectivo mantenimiento del servicio de AP, afectando los estudios fotométricos que se realizaron para el AP, los principales afectados es la población en general que son beneficiarios de este servicio, ocasionando inseguridad, accidentes, atracos, etc.; en horas nocturnas los conductores pueden ser afectados por los niveles de iluminación provocando deslumbramiento estimulando fatiga visual molestando al conductor.

ENERCA, siendo esta la operadora de red, tiene como obligación realizar períodos de mantenimiento, para garantizar el buen servicio del sistema de AP para el municipio del departamento de Casanare.

3.2.2 Parámetros generales de iluminación según la normativa RETILAP, para el diseño de AP de los tramos (Carrera 12 y Calle 15).

Se tuvo en cuenta la normativa (RETILAP) para obtener los parámetros de diseño, todo esto con el fin de ofrecer la mejora calidad del servicio de AP del municipio de Tauramena-Casanare. [8]

3.2.2.1 Clases de iluminación dependiendo de las especificaciones de las vías.

3.2.2.1.1 Calle (circulación de vehículos).

El tramo 1 (Calle 15), donde empieza en la entrada principal de acceso para (ESE Hospital Local de Tauramena) y concluye para la vía de salida del municipio, siendo una vía principal y eje de viajes con una velocidad de circulación media dando una transición de vehículos aproximado entre 250-500 por hora.

El tramo 2 (Carrera 12), es una vía que transcurre por todo el municipio siendo primordial para la movilidad a cualquier punto, inicia desde el barrio Libertadore Bajo ubicado en uno de las limitaciones del pueblo hasta el otro extremo del pueblo llegando a la salida vía Monterrey, este trayecto tiene como características ser la principal vía de acceso y ejes viales del pueblo, teniendo una velocidad de circulación media con un tránsito de vehículos calculado entre 250-500 por hora.

Según los análisis que fueron nombradas con anterioridad, estableciendo las velocidades en la movilidad vehicular y la cantidad de vehículos que circulan en esas vías cumpliendo el RETILAP, (ver Tabla 2).

Tabla 2. Clases de iluminación vía vehicular. [8]

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

Se concluyo que M3 es la clasificación de iluminación apropiada para la vía vehicular de los tramos de la calle 15 y de la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare.

3.2.2.1.2 Calle (Circulación de peatones y ciclistas)

En estas áreas donde los peatones y los ciclistas transitan se debe garantizar de buena iluminación con el propósito de poder visualizar el terreno, escalones, marcas, señales y de forma primordial se busca que los usuarios de estas vías no sean afectados por la delincuencia, según la normativa RETILAP.

Tabla 3. Clase de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y de ciclistas.

DESCRIPCIÓN DE LA CALZADA	CLASE DE ILUMINACIÓN
Vías de muy elevado prestigio urbano	P1
Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas	P2
Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas	P3
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes	P4
Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. <i>Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente.</i>	P5
Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. <i>Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente</i>	P6
Vías en donde únicamente se requiere una guía visual suministrada por la luz directa de las luminarias	P7

(El Ministerio de Minas y Energía. modificado por el autor, 2013)

En las calles peatonales y de ciclistas de estas vías de la calle 15 y la carrera 12 se les asigno la clasificación P2 (ver Tabla 3), esto es debido a la circulación intensa de peatones y de ciclistas, ya que, estas vías son primordiales para la movilidad del municipio.

3.2.2.2 Clase de iluminación dependiendo del uso y del tipo de la calle (Vehicular, peatonal, ciclistas)

3.2.2.2.1 Valores mínimos requeridos de iluminación para calles (vehiculares).

Teniendo en cuenta que ya tenemos las características conocidas de las vías y sus respectivos requerimientos visuales, de acuerdo con los datos suministrados se comprobó la clase de iluminación para vía vehicular M3, las necesidades fotométricas mínimas mantenidos a través del tiempo y visualizadas por la siguiente tabla (Tabla 4).

Tabla 4. Valores mínimos fotométricos requeridos por la clase de iluminación para tráfico vehicular. [8]

Clase de iluminación	Zona de aplicación				
	Todas las vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia promedio L_{prom} (cd/m ²) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad U_o Mínimo	Incremento de umbral TI % Máximo inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U_l Mínimo	Relación de alrededores SR Mínimo
M1	2,0	0,4	10	0,5	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,5	0,5
M3	1,2	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,8	0,4	15	N.R	N.R
M5	0,6	0,4	15	N.R	N.R

Es de importancia aclarar para este numeral una nota que nos proporciona la normativa RETILAP, donde se mostrara a continuación:

“Es necesario resaltar que los valores anteriores se calculan para condiciones estables de funcionamiento a través del tiempo de vigencia del proyecto, con excepción del TI que solamente se calcula y verifica para la condición inicial del proyecto.

Es por tanto necesario considerar en el diseño de iluminación los factores de depreciación luminosa incidentes en los parámetros anteriores, los cuales se condensan en un solo resultado final conocido como el Factor de Mantenimiento (FM).” [8]

3.2.2.2.2 Valores mínimos requeridos de iluminación para calles (peatonales y ciclistas).

Para esta clase de iluminación seleccionada (P4), el cual se determinó en las áreas peatonales de los tramos de las vías (Calle 15 y Carrera 12) del municipio de Tauramena-Casanare, los valores de iluminancia adecuados y exigidos por la normativa RETILAP son los que se pueden apreciar en la siguiente tabla (Tabla 5).

Tabla 5. Valores mínimos de iluminación para circulación peatonal y de ciclistas.

[8]

Clase de iluminación	Iluminancia Horizontal (luxes)	
	Valor promedio	Valor mínimo
P1	20,0	7,5
P2	10,0	3,0
P3	7,5	1,5
P4	5,0	1,0
P5	3,0	0,6
P6	1,5	0,2
P7	No aplica	No aplica

3.2.2.3 Valores necesarios de iluminancia y luminancia para el AP.

Teniendo en cuenta las vías de los tramos estudiados de este trabajo integral de grado, los sistemas de AP se diseñarán y se construirán con los requisitos mínimos fotométricos que se pueden observar en la tabla (Tabla 6). Se tendrá en cuenta para los diseños de iluminación las calzadas vehiculares, ciclorrutas y los andenes.

Tabla 6. Valores mínimos de iluminación para Calles con circulación (ciclorrutas y peatones). [8]

Tipo de vía	Calzadas vehiculares				Ciclo-rutas adyacentes		Relación de alrededores		
							En andenes adyacentes		Alrededor sin andenes
	L_{prom} cd/m ²	U_o ≥ %	U_l ≥ %	TI ≤ %	E_{prom} luxes	U_o ≥ %	E_{prom} luxes	U_o ≥ %	SR %
M1	2,0	40	50	10	20	40	13	33	50
M2	1,5	40	50	10	20	40	10	33	50
M3	1,2	40	50	10	15	40	9	33	50
M4	0,8	40	N.R.	15	10	40	6	33	N.R.
M5	0,6	40	N.R.	15	7.5	40	5	33	N.R.

3.2.2.4 Planimetría de luminarias.

3.8.2.4.1 Distribución de las luminarias para los tramos estudiados.

Según la normativa RETILAP, la altura que deberá tener el montaje y la disposición de las luminarias se obtendrá con la siguiente tabla (Tabla 7).

Tabla 7. Distancia recomendada para la altura de luminarias. [8]

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	

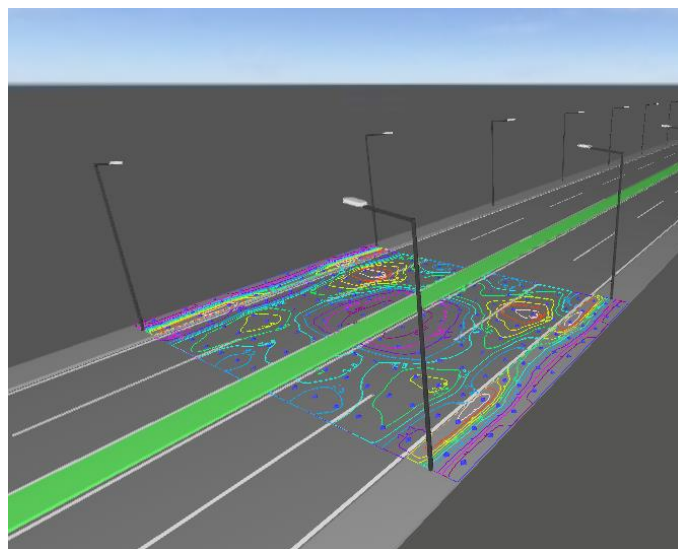
Con la recomendación dada por RETILAP y la clase de iluminación seleccionada con anterioridad (M3) entendemos que tenemos como disposición de las luminarias Unilateral, el cual todas las luminarias se instalan respectivamente en un solo lado de la vía, en donde se debe seleccionar una luminaria el cual cumpla los requisitos mínimos fotométricos exigidos para la altura de los postes. No es recomendable para esta disposición de luminarias una elevación por encima de 20 grados, porque pueden terminar generando polución luminosa.

3.2.3 Diseño de AP de los tramos (Calle 15 y Carrera 12) de Tauramena-Casanare con bombilla LED

3.2.3.1 Tramo 1 (Calle 15).

La ilustración 9 se visualiza en un modelo 3D la disposición de las luminarias con las curvas Isolux para el tramo 1 que se encuentra entre la calle 15 entre las carreras 4 a la 16, es una disposición bilateral, también se resaltan las líneas Isolux y los sistemas de valores de evaluación que el software DIALUX evo analizo.

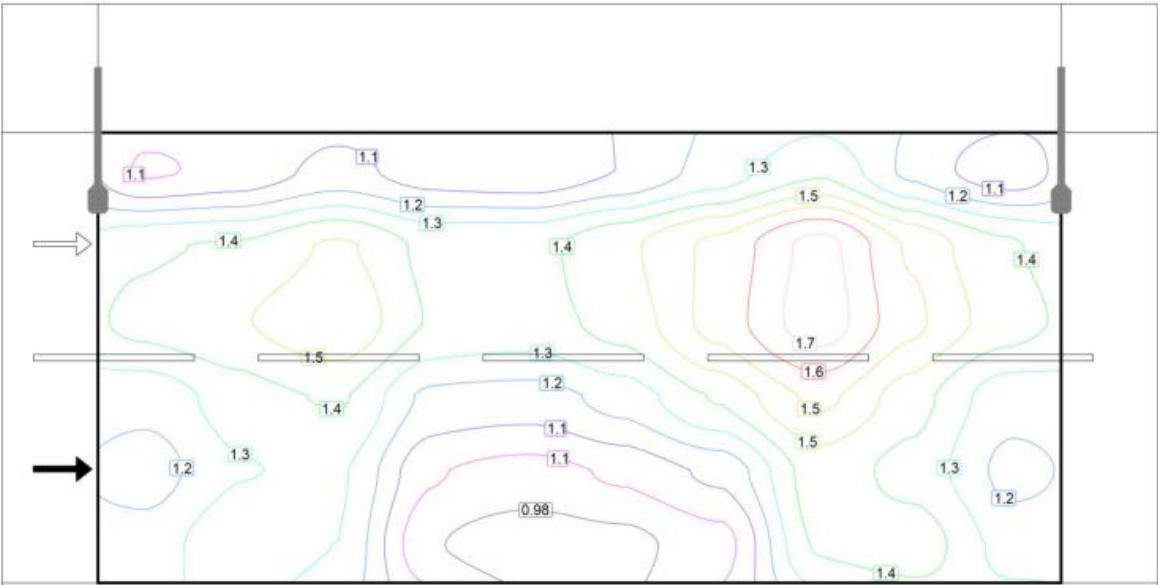
Ilustración 17. Modelo 3D Diseño de iluminación para la calle 15.



(Fuente propia)

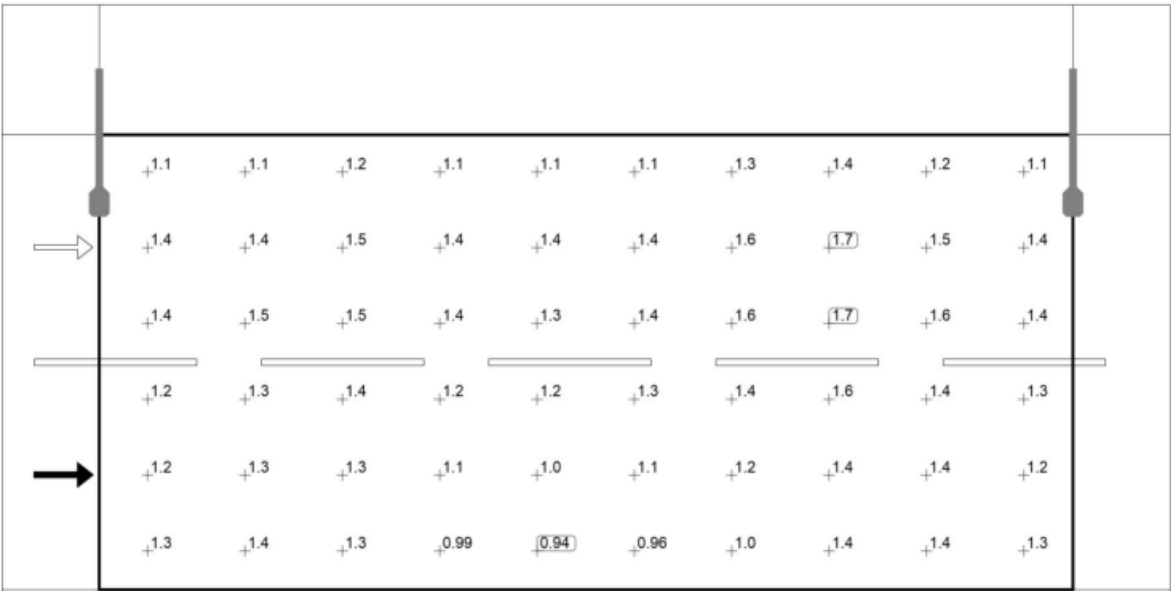
En la tabla 8 se puede observar los resultados del diseño de iluminación con las nuevas tecnologías tipo LED, estos resultados fueron comparados para indicar el cumplimiento o no del reglamento RETILAP. Esta tabla se alcanza con el proceso de datos que se realizó en los anexos 1 y 2 que son respectivamente los resultados del software DIALUX evo.

Ilustración 18. Vista superior del diseño de iluminación (Líneas Isolux) para la calle 15



(Fuente propia en DIALux evo, 2022)

Ilustración 19. Vista superior del diseño de iluminación (Sistema de valores) la calle 15



(Fuente propia en DIALux evo, 2022)

El diseño de AP para la calle 15 de Tauramena-Casanare se ejecutó con la luminaria que se muestra en la Tabla 9, así mismo los parámetros técnicos que se le aplicaron a esta luminaria. El Data Sheet correspondiente a esta luminaria se puede observar en el Anexo 3.

Tabla 8. Comparación de Resultados (calle 15)

Clase de iluminación	Tipo de vía	Parámetros	Valores del Diseño	Valores mínimos RETILAP	Cumplimiento normativa RETILAP
M3	Calzadas Vehiculares	Luminancia promedio	1.28	≥ 1.2	SI
		Factor de Uniformidad mínimo	0.72	≥ 0.4	SI
		Incremento de umbral	2	≤ 10	SI
		Relación de alrededor mínimo	0.62	$\geq 0,5$	SI
	Relación de Alrededores en Andenes	Iluminancia promedio	13.21	$10 \geq X \leq 15$	SI
		Iluminancia mínima	8.77	≥ 3	SI

(Fuente propia)

Tabla 9. Especificaciones técnicas de la luminaria tipo LED para la calle 15.

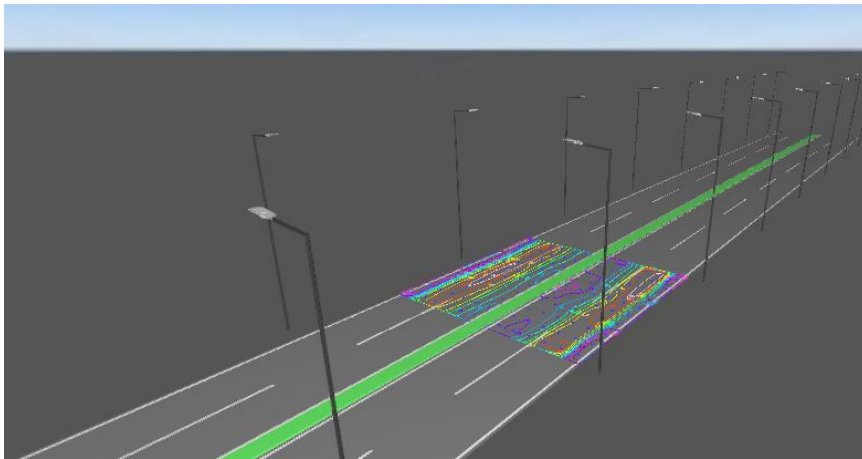
Especificaciones Técnicas	Tecnología LED
Fabricante Luminaria	CU Phosco Lighting
Referencia Luminaria	P863-16
Clase de Iluminación	M3
Disposición Luminarias	Bilateral doble
Altura Montaje	8 m
Grado de Inclinación	5
Avance de la Luminaria	1 m
Potencia Luminaria	253 W

(Fuente del autor, 2022)

3.2.3.2 Tramo 2 (Carrera 12).

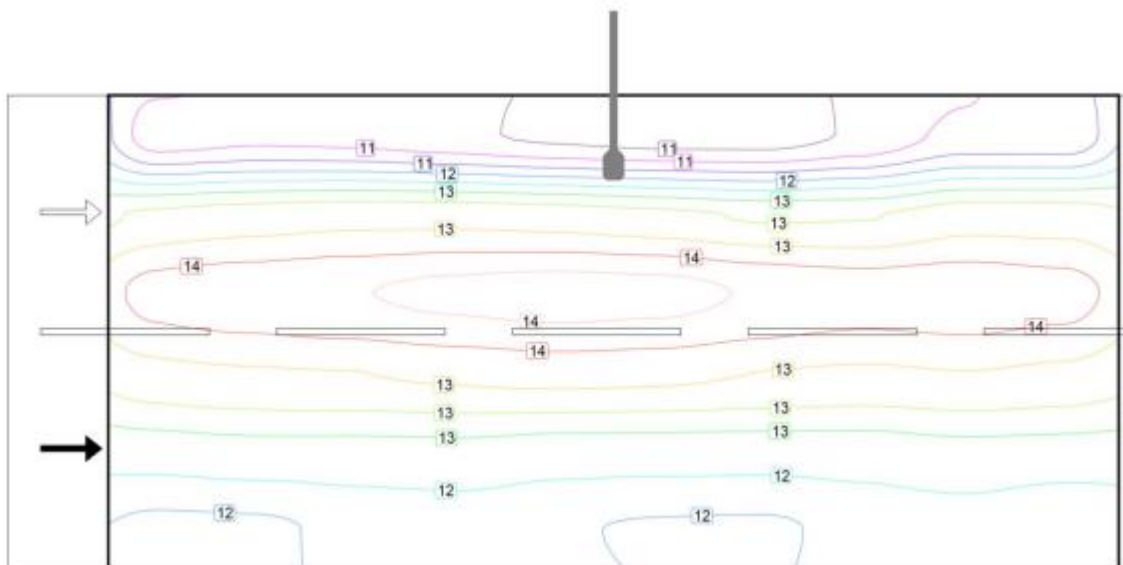
(La ilustración 20) que se observa a continuación es un modelo en 3D de la disposición de las luminarias que para la carrera 12, es bilateral, también se resalta en la carrera 12 las líneas Isolux y los sistemas de valores de evaluación que el software DIALUX evo analizo.

Ilustración 20. Vista 3D diseño de iluminación para la carrera 12



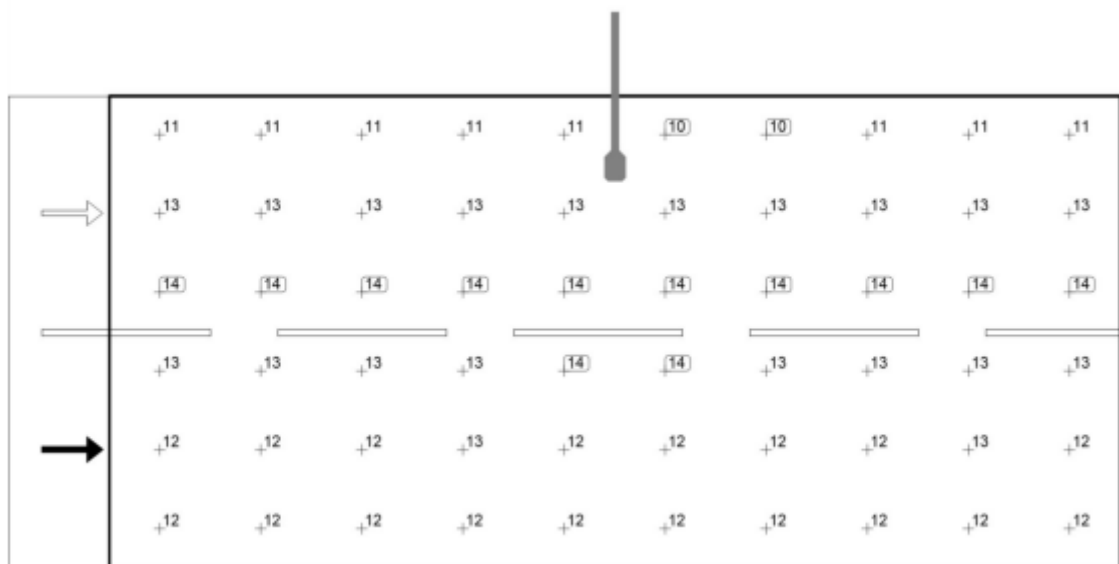
(Fuente propia en DIALux evo, 2022)

Ilustración 21. Vista superior del diseño de iluminación (Líneas Isolux) para la carrera 12



(DIALux evo, modificado por el autor)

Ilustración 22. Vista superior del diseño de iluminación (Sistema de Valores) para la carrera 12.



(DIALux evo, modificado por el autor)

La siguiente tabla muestra los valores mínimos de los parámetros lumínicos derivados del diseño de AP con las nuevas de tecnologías tipo LED para el tramo 2, donde fueron comparados para indicar si da el cumplimiento a la RETILAP. La respectiva tabla es obtenida por los datos que se evidencia en el anexo 4 el cual se contempla los resultados del software DIALUX evo.

Tabla 10. Comparación de resultados del Diseño (carrera 12).

Clase de iluminación	Tipo de vía	Parámetros	Valores del Diseño	Valores mínimos RETILAP	Cumplimiento normativa RETILAP
M3	Calzadas Vehiculares	Luminancia promedio	12.5 6	≥ 1.2	SI
		Factor de Uniformidad mínimo	0.81	≥ 0.4	SI
		Incremento de umbral	2	≤ 10	SI
		Relación de alrededor mínimo	0.62	$\geq 0,5$	SI

(Fuente propia)

Tabla 11. Especificaciones técnicas de la tecnología LED para carrera 12.

Especificaciones Técnicas	Tecnología LED
Fabricante Luminaria	LUG
Referencia Luminaria	Urbano LED Plus
Clase de Iluminación	M3
Disposición Luminarias	Bilateral en alternancia
Altura Montaje	12 m
Grado de Inclinación	5
Avance de la Luminaria	1 m
Potencia Luminaria	253 W

(Fuente propia)

Las especificaciones técnicas que se visualizan en la Tabla 11 es la que se utilizó para el diseño de iluminación de AP para la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare, de misma manera se muestran los parámetros que ese utilizaron en estas luminarias. el Data Shett de esta luminaria se puede observar en el anexo 5.

3.2.4 Evaluación económica y financiera.

3.2.4.1 Costos de la instalación.

En la tabla 12 (Costos de instalación) indica los costos de las luminarias con las nuevas tecnologías LED en un sistema de AP. Cabe destacar que con este diseño con las luminarias LED se aprovechó en su totalidad la infraestructura ya existente del sistema de AP actual del municipio.

Tabla 12. Costos de Instalación.

Descripción	Luminaria de Sodio			Luminaria LED		
	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Costo instalación luminaria	137	240.000	32.880.000	137	240.000	32.880.000
Costo de luminaria	137	1.050.000	143.850.000	137	5.601.200	767.364.400
Costo bombilla	137	84.000	11.508.000	*	*	**
Costo de postes de red aérea	137	1.600.000	219.200.000	**	**	**
Costo de accesorios (Foto celdas)	137	56.000	7.672.000	137	56.000	7.672.000
Total, de instalación	*	3.047.000	417.439.000	*	5.897.200	807.916.400

(Fuente propia)

3.2.4.2 Costos de Operación.

Para el cálculo del consumo total de energía se inició con determinar la carga del sistema de los dos tipos de luminarias.

Para determinar la carga útil se hará uso de la ecuación número (8) mencionado anteriormente, con el fin de hallar el parámetro de la carga útil de las luminarias tipo LED.

Carga útil para luminarias LED

$$\begin{aligned}Q &= \text{Carga Instalada} \\N_L &= \text{Numero de luminarias} = 137 \\P &= \text{Potencia real de las lamparas} = 253 \text{ W} \\Q &= N_L * P = 137 * 253 \text{ W} = 34,661 \text{ KW}\end{aligned}$$

Para hallar la variable del consumo total de la energía es necesario utilizar la ecuación (9), con el propósito de conocer el valor del consumo mensual de energía para las luminarias tipo LED.

Consumo total de energía para luminarias LED

$$\begin{aligned}C &= \text{Consumo mensual} \\Q &= \text{Carga instalada} = 34,661 \text{ KW} \\N_d &= \text{Numero de dias del mes} = 30 \\F_m &= \text{Factor de mantenimiento} = 0,91 \\F_u &= \text{Factor de utilizacion} = 0,5 \\1 - P_R &= \text{Eficiencia} = 0,92 \\C &= \frac{Q * N_d * F_m * F_u * 24}{1 - P_r} \\C &= \frac{(34,661 \text{ KW}) * (30) * (0,91) * (0,5) * (24)}{0,92} \\C &= 12342.33 \text{ KWh}\end{aligned}$$

Consumo mensual de la energía para las luminarias LED.

$$\begin{aligned} \text{Precio KWh} &= 715,03 \\ (\$) &= 12342,33 * (715,03) \end{aligned}$$

$$(\$) = 8825132,22$$

Para determinar la carga útil se hará uso de la ecuación número (8) mencionado anteriormente, con el fin de hallar el parámetro de la carga útil de las luminarias convencionales de Sodio.

Carga útil para luminarias de sodio

$$\begin{aligned} Q &= \text{Carga Instalada} \\ N_L &= \text{Numero de luminarias} = 137 \\ P &= \text{Potencia real de las lamparas} = 440 \text{ W} \end{aligned}$$

$$Q = N_L * P = 137 * 440 \text{ W} = 58,960 \text{ KW}$$

Para hallar la variable del consumo total de la energía es necesario utilizar la ecuación (9), con el propósito de conocer el valor del consumo mensual de energía para las luminarias convencionales de Sodio.

Consumo total de energía para luminarias de sodio

$$\begin{aligned} C &= \text{Consumo mensual} \\ Q &= \text{Carga instalada} = 58,960 \text{ KW} \\ N_d &= \text{Numero de dias del mes} = 30 \\ F_m &= \text{Factor de mantenimiento} = 0,91 \\ F_u &= \text{Factor de utilizacion} = 0,5 \\ 1 - P_R &= \text{Eficiencia} = 0,92 \end{aligned}$$
$$C = \frac{Q * N_d * F_m * F_u * 24}{1 - P_r}$$
$$C = \frac{(58,960 \text{ KW}) * (30) * (0,91) * (0,5) * (24)}{0,92}$$
$$C = 41989.774 \text{ KWh}$$

Consumo mensual de la energía para las luminarias sodio

$$\text{Precio KWh} = 715,03$$
$$(\$) = 41989.774 * (715,03)$$

$$(\$) = 30023948.04$$

Con los datos obtenidos del consumo de energía se calculó el costo mensual para cada tipo de luminaria:

Tabla 13. Consumo de energía de cada tipo de luminaria para el respectivo diseño

Tipo de Luminaria	Consumo (W)	Carga Instalada (KW)	Consumo Mensual (KWh)
Tecnologías tipo LED	253	34,661	24.783,65
Tecnologías convencionales.	440	58,96	42.158,17

(Fuente propia)

Tabla 14. Costo del sistema de alumbrado público de la calle 15 y la carrera 12.

Descripción	Tecnologías convencionales		Tecnologías tipo LED	
	Costo Mensual	Costo anual	Costo Mensual	Costo Anual
Gasto de energía	30.023.948	360.287.376	8.825.132	105.901.587

(Fuente propia)

De la tabla 13 se puede concluir que el sistema de AP con tecnologías tipo LED está teniendo una reducción apreciable al consumo de energía mensual en comparación con el uso de luminarias de Sodio, un equivalente a una reducción de 17.374,5 KWh por mes, teniendo una disminución del 41.22% de consumo mensual de las tecnologías convencionales (Sodio) a las tecnologías LED.

En cuanto a los costos del sistema de AP que se puede evidenciar en la Tabla 14, se deduce que estos disminuyen en \$ 254.385.789 pesos anuales, de misma forma se aprecia una disminución mensual de \$ 21.198816. al implementar las tecnologías LED en el diseño de AP para la calle 15 y la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare se puede notar una muy apreciable disminución en los costos de operación que es importante para la situación económica del municipio.

3.2.4.3 Costos de Mantenimiento.

En la realización de los costos de mantenimiento, se realizó para un año, aclarando que la vida útil de las luminarias con tecnologías LED son de 100.000 horas, por otro lado, las tecnologías con luminarias de sodio son de 30.000 horas. En el actual diseño se tienen en cuenta 137 luminarias de sodio para el respectivo cambio a las luminarias de tecnologías LED. El mantenimiento se realizará cada dos años, asumiendo que una persona se demora 2 horas por punto de luz.

Tabla 15. Costo de mantenimiento anual

Descripción		Luminaria Sodio			Luminaria LED		
		Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Reemplazo de Bombillas	Valor bombilla	100	84.000	8.400.000	NA	NA	NA
	Costo mano de obra	360	80.000	28.800.000	NA	NA	NA
Reemplazo de Luminarias	Valor luminaria	10	1.067.000	146.179.000	10	5.601.200	56.012.000
	Costo mano de obra	360	80.000	28.800.000	360	80.000	28.800.000
Mantenimiento	Costo mano de obra	137	80.000	10.960.000	137	80.000	10.960.000
Total, de costos de mantenimiento anual		-	1.391.000	223.139.000	-	5.761.200	95.772.000

(Fuente propia)

De los análisis realizados anteriormente se procedió a una evaluación:

- De la evaluación de costo se determinó la instalación inicial del cambio de las luminarias de la calle 15 y carrera 12 del AP tipo Sodio: \$ 417.439.000 pesos colombianos.
- De la evaluación de costo se determinó la instalación inicial del cambio de las luminarias de la calle 15 y carrera 12 del AP tipo LED: \$ 807.916.400 pesos colombianos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con anterioridad, los costos de instalación de la totalidad de luminarias de tecnología LED de la calle 15 y la carrera 12 equivale a 1.93 veces el costo total de la instalación de las luminarias tipo Sodio, esto sucede al elevado costo de las luminarias tipo LED, el costo de

solo las luminarias de tecnologías tipo LED equivale al 94.98% de los costos de instalación.

3.3 Análisis del impacto ambiental

Cuando hablamos de uso racional de energía en el AP esta es desempeñada cuando se utilizan las potencias nominales de las luminarias con la distribución necesaria para obtener los niveles de iluminación adecuados. Este aspecto es URE cuando el sistema de AP se mantiene en óptimas condiciones, cuidan a la población y principalmente si se cumple los ciclos de limpieza para prevenir las capas de suciedad del lente óptico para evitar ser ineficiente el uso de la energía. [22]

Ilustración 23. ¿Qué es URE? [22]



La alcaldía del municipio de Tauramena-Casanare tiene el conocimiento del impacto ambiental que se ve reflejado con los cambios de luminarias de las convencionales a las luminarias tipo LED con su respectivo mantenimiento. Con lo anterior se considera implementar el Manejo Ambiental (PMA), donde este tiene todos los parámetros por parte del Ministerio del Medio Ambiente.

No se genera impacto ambiental negativo, debido que el alumbrado público con luminarias con las nuevas tecnologías representa un gran ahorro a su bajo consumo, larga duración, otro beneficio es el ser más ecológico, por su poco consumo energético, disminuyendo de tal forma la contaminación a la atmosfera.

La eficiencia de este servicio AP aplica con la implementación de las medidas URE, claro ejemplo de estas medidas es la sustitución de bombillas de mercurio por sodio de alta intensidad o con las nuevas tecnologías tipo LED; claramente con el cumplimiento de los niveles mínimos de iluminación según el RETILAP, así mismo, dando prioridad la eficiencia energética y económica.

Ilustración 24. Eficiencia energética. [26]



3.4 Análisis Social

Durante el proceso de desarrollo de este trabajo integral de grado a buscado adquirir que el estudiante en formación profesional adquiriera en su vida diaria como ingeniero valores que integren las partes económicas, ambientales y sociales en cada una de las actuaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior se a presentado dentro del municipio problemas de seguridad, confiabilidad en las vías causando robos, accidentes, entre otros, por el mal funcionamiento del sistema AP provocando quejas públicas de los habitantes dándonos a conocer la importancia del problema.

El impacto social de este trabajo integral de grado generara un cambio significativo de la población gracias a la confiabilidad y seguridad de las principales calles del municipio producido por la modernización a tecnologías LED, esto es posible por diversos factores incluyendo el económico, teniendo una disminución importante del 41.22% del consumo mensual, dando la reducción en las tarifas de AP provenientes del recibo que llega a cada una de las casas del municipio.

Además, existe una preocupación considerable por el cuidado y la preservación del medio ambiente producto de los niveles altos de contaminación que el hombre ha causado por satisfacer sus insuficiencias físicas, sociales, económicas y políticas. Siendo este el caso, la modernización a las tecnologías LED al ser más ecológico, por el consumo energético tan bajo a comparación de sus competencias, disminuyendo la contaminación a la atmosfera.

Conclusiones

Al realizar de manera oportuna y correcta un sondeo del estado actual del AP de la calle 15 y de la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare, donde se evidencio diversas fallas al cumplimiento al reglamento RETILAP como diferencias de alturas de los postes en la misma vía, deficiencias en el flujo de iluminación debido a las referencias de los bombillos, diferencias de ángulos de los brazos por manipulación durante mantenimientos o por causas climáticas, todo lo mencionado anteriormente es de gran importancia para la prestación de un buen servicio del sistema de AP en las dos vías de este municipio.

Comprobando los parámetros de la Calle 15 y la Carrera 12 de Tauramena-Casanare, en cuanto a las calles para la movilización de los vehículos se determinó que es una vía principal y de ejes viales del municipio, según RETILAP, esta se precisa como una clase de iluminación tipo M3, así mismo se estableció para el área peatonal una clasificación P2 por su utilización en horas nocturnas intensa por peatones y ciclistas.

Se identificaron 2 tramos para los estudios debido a la gran cantidad de peticiones respecto a inseguridades respecto al alumbrado público; el tramo 1 corresponde a la calle 15 entre las carreras 4 a la 16, para la calle 15 se utilizó la luminaria CU Phosco Lighting de referencia P863-16 con una distancia entre mástiles de 15 m y una altura del punto de luz de 8 m con una configuración bilateral, teniendo una inclinación del brazo de 5 grados; el tramo 2 corresponde la carrera 12 entre las calles 2 y la 19, se utilizó una luminaria diferente por la diferencia de altura que posee los mástiles, por lo tanto se utilizó de la marca LUG Light Factory de referencia URBANO LED PLUS con una distancia entre mástiles de 15 m con una altura del punto de luz de 12 m, en este caso se utiliza una disposición bilateral en

alternancia teniendo una inclinación en el brazo de 5 grados al igual que el tramo 1.

Las exigencias mínimas de los niveles de iluminación estipulados por el RETILAP para alumbrado público en su totalidad son cumplidos para el diseño de la calle 15 y la carrera 12 del municipio de Tauramena-Casanare con bombillos tipo LED, siendo este diseño de referencia para nuevos proyectos para la ampliación de las nuevas tecnologías tipo LED mejorando el servicio del sistema AP del municipio.

El sistema de AP con luminarias LED tiene una reducción apreciable al consumo de energía mensual en comparación con el uso de luminarias de Sodio, un equivalente a una reducción de 17.374,5 KWh por mes, teniendo una disminución del 41.22% de consumo mensual de las tecnologías convencionales (Sodio) a las tecnologías LED.

Se aprecia gracias a las comparaciones que estas dos tecnologías tienen un desempeño similar para el cumplimiento de la normativa RETILAP, las diferencias que se puede observar de estas luminarias son el consumo energético y la vida útil.

Los fabricantes de las luminarias tienen la obligación de publicar los parámetros generales para poder obtener un mejor resultado para el diseño de AP y ofrecer una relación entre los diseños y los resultados obtenidos para poder dar cumplimiento a las estipulaciones del RETILAP y así mismo ofrecer la mejor calidad de este servicio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Estudios Técnicos Contrato 374 de 2020 Tomo 1.pdf”.
- [2] J. J. Juárez Flores, “Alumbrado público en Puebla y Tlaxcala y deterioro ambiental en los bosques de La Malintzi, 1820-1870”, *Hist. Crítica*, núm. 30, pp. 13–38, 2005, doi: 10.7440/histcrit30.2005.01.
- [3] I. D. E. L. Alumbrado, *Influencia del alumbrado público sobre la seguridad y la conducta*. 2015.
- [4] J. H. Labán, “Análisis, Diseño Y Selección De Alternativas De Iluminación Para Alumbrado Público Con Nuevas Tecnologías”, *Tesis de Grado*, p. 98, 2018.
- [5] “Cómo un mejor alumbrado público puede reducir la delincuencia - Ideas que Cuentan”.
<https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/como-un-mejor-alumbrado-publico-puede-reducir-la-delincuencia/> (consultado el 22 de junio de 2022).
- [6] CREG, “CARTILLA Ministerio de Minas y Energía”, 2020.
- [7] RETIE, “RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes”, *Resoluc. 90708*, p. 127, 2013.
- [8] “Energía Eléctrica - Ministerio de Minas y Energía GM”. <https://www.minenergia.gov.co/retilap> (consultado el 22 de junio de 2022).
- [9] “DIALux es el estándar mundial en software de diseño de iluminación”. <https://www.dialux.com/es-ES/> (consultado el 22 de junio de 2022).
- [10] “Nuestra Historia | CREG”. <https://www.creg.gov.co/creg/quienes-somos/nuestra-historia-0/nuestra-historia> (consultado el 22 de junio de 2022).
- [11] “de la Ley 136 de 1994”, núm. 008, pp. 1–116, 2020.
- [12] Colombia Congreso, “Ley 697 de 2001”, *D. Of.*, vol. CXXXVII, núm. 44573, pp. 5–8, 2001, [En línea].
Disponible en:
http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley_697_de_2001.pdf
- [13] Minambiente, “Ley 1672 de 2013”, *Compil. en el Título 7A “Residuos Apar. Eléctricos y Electrónicos” del Dec. 1076 2015 “Decreto Único Reglam. del Sect. Ambient. y Desarro. Sostenible”*, p. 13, 2013, [En línea]. Disponible en: https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1686057%0Ahttp://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2013/ley_1672_2013.pdf
- [14] CREG, “Resolución Numero 043 de 1995”, 1995.

- [15] L. A. Comision y D. E. R. D. E. Energia, “2w un1996 >”, pp. 1995–1996, 1997.
- [16] E. Afaj, “Resolucion numero 089 de 1996”.
- [17] “Alejandría - Resolución 101 de 2001 CREG”.
https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0101_2001.htm
 (consultado el 22 de junio de 2022).
- [18] Comisión de regulación de Energía y Gas, “Resolución CREG 082 de 2002”, *Resolución CREG-082*. p. 135, 2002. [En línea]. Disponible en:
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/d651c206e178624b0525785a007a646c/\\$FILE/ATT5O817/Creg082-2002.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/d651c206e178624b0525785a007a646c/$FILE/ATT5O817/Creg082-2002.pdf)
- [19] D. T. Fecha y D. Oficial, “9/15/13”, pp. 1–8, 2015.
- [20] C. Municipio de Riosucio, “Estudio técnico de referencia servicio de alumbrado público municipio de Riosucio - Caldas.”, 2018.
- [21] “Luminotecnia Curso Basico y Facil”. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/luminotecnia.html>
 (consultado el 23 de junio de 2022).
- [22] H. Martínez, “Alumbrado público exterior - Guía didáctica para el buen uso de la energía”, *Alumbrado Público Exter.*, p. 28, 2007.
- [23] “Estudios económicos y financieros”. <https://www.efectodigital.online/single-post/2019/03/07/estudios-economicos-y-financieros> (consultado el 23 de junio de 2022).
- [24] “Postes y soportes Faro | JGP700 | Iluminación Philips”.
<https://www.lighting.philips.es/prof/luminarias-de-exterior/columnas-y-brazos/postes-y-soportes-faro>
 (consultado el 23 de junio de 2022).
- [25] “Alumbrado de vías públicas”. https://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/vias_p.html (consultado el 23 de junio de 2022).
- [26] “5 de marzo Dia Mundial de la Eficiencia Energetica”. <https://www.hidronor.cl/5-de-marzo-dia-mundial-de-la-eficiencia-energetica-2/> (consultado el 23 de junio de 2022).

LUG. (2021). *LUZ DESING, Luminaria Led Luz Calle 200w Jupiter Alumbrado Público*. <https://www.luzdesing.com.ar/productos/luminaria-led-luz-calle-200w-jupiter-alumbrado-publico-/8831#gallery-4>

Anexos

Anexo 1. Tabla comparativa de los valores obtenidos en el software DIALUX de luminancia e iluminancia para la vía vehicular en el tramo 1.

TRAMO 1	Calzada mixta	
Especificaciones Técnicas	Tecnología LED	Tecnología Sodio
Fabricante Luminaria	CU Phosco	INGENIERIA eB
Clase de Iluminación	M3	M3
Disposición de Luminarias	Bilateral	Bilateral

Altura de montaje (m)	8 m	8 m
Inter distancia (m)	15 m	15 m
Inclinación	5°	0°
Avance de la Luminaria	1 m	1m
Potencia Luminaria	253 W	440 W
Luminaria Promedio	1,28	1,93
Factor de Uniformidad mínimo	0,72	0,85
Incremento de umbral	2	2
Relación de alrededor mínimo	1,033	0,86

(Fuente propia)

Anexo 2. Tabla comparativa de los valores obtenidos en el software DIALUX para la vía peatonal en el tramo 1.

TRAMO 1	Vía peatonal	
Especificaciones Técnicas	Tecnología LED	Tecnología Sodio
Fabricante Luminaria	CU Phosco	INGENIERIA eB
Clase de Iluminación	P2	P2

Disposición de Luminarias	Bilateral	Bilateral
Altura de montaje (m)	8 m	8 m
Inter distancia (m)	15 m	15 m
Inclinación	5°	0°
Avance de la Luminaria	-1	-1
Potencia Luminaria	253 W	440 W
Luminaria Promedio	13,21	18,66
Factor de Uniformidad mínimo	0,64	0,3
Incremento de umbral	2	2
Relación de alrededor mínimo	1,033	0,86

(Fuente propia)

Anexo 3. Data Sheet luminaria utilizada para el tramo 1.(CU Phosco LIGHTING, 2020)

Anexo 4. Tabla comparativa de los valores obtenidos en el software DIALUX de luminanciae iluminancia para la vía vehicular en el tramo 2.

TRAMO 2	Vía peatonal	
Especificaciones Técnicas	Tecnología LED	Tecnología Sodio
Fabricante Luminaria	Urbano LED PLUS	INGENIERIA Eb
Clase de Iluminación	M3	M3
Disposición de Luminarias	Bilateral	Bilateral

Altura de montaje (m)	12 m	12 m
Inter distancia (m)	15 m	15 m
Inclinación	5°	0°
Avance de la Luminaria	-1	-1
Potencia Luminaria	253 W	440 W
Luminaria Promedio	13,21	18,66
Factor de Uniformidad mínimo	0,81	0,3
Incremento de umbral	9	2
Relación de alrededor mínimo	0,62	0,86

(Fuente propia)

Anexo 5. Data Sheet luminaria utilizada para el tramo 2(LUG, 2021).