

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA DE FORMULACIÓN Y EVALUACIONES DE PROYECTO**



**ESTUDIO DEL USO DE TECNOLOGIA LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO DEL
ANILLO PERIFÉRICO, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**



LIC. MARCO TULIO VELÁSQUEZ OSORIO

Guatemala, octubre 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRIA DE FORMULACIÓN Y EVUALUCIONES DE PROYECTO



**USO DE TECNOLOGIA LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO DEL ANILLO
PERIFÉRICO, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA.**

Informe final de trabajo profesional de graduación para la obtención del Grado de Maestro en Artes, con base en el "Instructivo para elaborar el trabajo profesional de graduación", Aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, el 15 de octubre de 2015, según Numeral 7.8 Punto SÉPTIMO del Acta No. 26-2015 y ratificado por el Consejo Directivo del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, según Punto 4.2, su incisos 4.2.1 y 4.2.2 del Acta 14-2018 de fecha 14 de agosto de 2018.

DOCENTE: LIC. MSC ROSA FERNANDA SOLÍS

AUTOR: LIC. MARCO TULIO VELÁSQUEZ OSORIO

Guatemala, octubre 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Lic. Luis Antonio Suárez Roldán
Secretario: Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
Vocal Primero: Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
Vocal Segundo: Lic. Msc. Byron Giovani Mejía Victorio
Vocal Tercero: Vacante
Vocal Cuarto: P.C. Marlon Geovani Aquino Abdalla
Vocal Quinto: P.C. Carlos Roberto Turcios Pérez

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN DEL TRABAJO PROFESIONAL DE
GRADUACIÓN

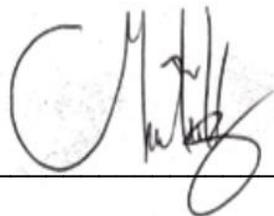
Coordinador: Lic. Msc. Carlos Valladares
Evaluador: Lic. Msc. Ricardo Giròn
Evaluador: Lic. Msc. Edgar Juárez

DECLARACIÓN JURADADA DE ORIGINALIDAD

YO: Marco Tulio Velasquez Osorio, con numero de carne: 201122286

Declaro que, como autor, soy el único responsable de la originalidad, validez científica de las doctrinas y opiniones expresadas en el presente Trabajo Profesional de Graduación, de acuerdo con el artículo 17 del Instructivo para Elaborar el Trabajo Profesional de Graduación para Optar al Grado Académico de Maestro en Artes.

Autor: _____

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marco Tulio Velasquez Osorio', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

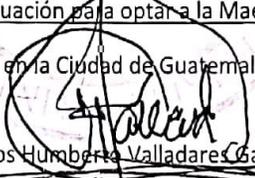


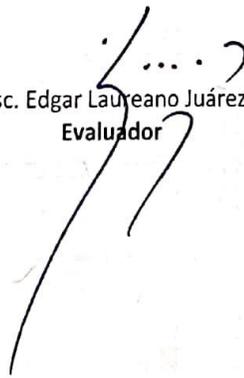
ACTA No. MFEP-019-2021

De acuerdo al Estado de Emergencia Nacional decretado por el Gobierno de la República de Guatemala y a las resoluciones del Consejo Superior Universitario, que obligaron a la suspensión de actividades académicas y administrativas presenciales en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ante tal situación, la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Económicas, debió incorporar tecnología virtual para atender la demanda de necesidades del sector estudiantil, por lo que en esta oportunidad nos reunimos de forma virtual los infrascritos integrantes de la Terna Evaluadora, el día lunes 18 de octubre de 2021, a las 20:00 horas, para evaluar la presentación del TRABAJO PROFESIONAL DE GRADUACIÓN del Licenciado **Marco Tulio Velasquez Osorio**, carné No. 201122286, estudiante de la Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos de la sección A de la Escuela de Estudios de Postgrado, como requisito para optar al grado de **Maestro en Artes** en Formulación y Evaluación de Proyectos. La presentación se realizó de acuerdo con el Instructivo, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, el 15 de octubre de 2015, según Numeral 7.8 Punto SÉPTIMO del Acta No. 26-2015 y ratificado por el Consejo Directivo del Sistema de Estudios de Postgrado -SEP- de la Universidad de San Carlos de Guatemala, según Punto 4.2, subincisos 4.2.1 y 4.2.2 del Acta 14-2018 de fecha 14 de agosto de 2018.

Cada examinador evaluó, de manera oral los elementos técnico-formales y de contenido profesional del informe final presentado por el sustentante, denominado "**ESTUDIO DEL USO DE TECNOLOGIA LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO DEL ANILLO PERIFÉRICO, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**", dejando constancia de lo actuado en las hojas de factores de evaluación proporcionadas por la Escuela. La presentación fue calificada con una nota promedio de 70 puntos, obtenida de los punteos asignados por cada integrante de la Terna Evaluadora. La Terna hace las siguientes recomendaciones: Que, de acuerdo a las observaciones realizadas por cada uno de los miembros de la Terna Evaluadora, en los documentos revisados y entregados al estudiante; éste debe de incorporarlos al documento final de Trabajo Profesional de Graduación. Para el efecto dispone de cinco (5) días hábiles de acuerdo con el Instructivo para Elaborar Trabajo Profesional de Graduación para optar a la Maestría en Artes.

En fe de lo cual firmamos la presente acta en la Ciudad de Guatemala el 18 de octubre 2021.


Msc. Carlos Humberto Valladares Gálvez
Coordinador


Msc. Edgar Laureano Juárez Sepulveda
Evaluador


Msc. Ricardo Alfredo Girón Solorzano
Evaluador


Lic. Marco Tulio Velasquez Osorio
Postulante

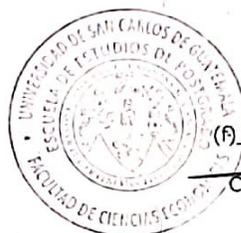


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRIA EN ARTES EN FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS

ADENDUM al ACTA No. MFEP-019-2021

El infrascrito Examinador CERTIFICA que el estudiante **Marco Tulio Velásquez Osorio**, carné No. 201122286 incorporó los cambios y enmiendas sugeridas por cada miembro de la terna evaluadora.

Guatemala, 24 de octubre de 2021.



Carlos Humberto Valladares Gálvez
Coordinador

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por estar siempre a mi lado a pesar de la dificultad y a la Virgen María por interceder por mí.

A MI PADRES:

Por su amor y apoyo incondicional. A pesar de las dificultades, siempre están ahí, los amo.

A MIS HERMANOS:

Gracias por estar siempre pendiente de mí y apoyarme en el trayecto de mi carrera.

A MI NOVIA:

Por brindarme apoyo y amor, por darme aliento para luchar por mis metas.

A MIS AMIGOS:

Por estar en todo momento, ayudarme y brindarme mucho apoyo.

A MI EQUIPO DE TRABAJO:

Los tiburones, que siempre trabajamos juntos y siempre nos apoyamos en todo momento.

A LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO:

Por darme la oportunidad de brindarme docentes de calidad y darnos siempre el apoyo y brindar su experiencia profesional.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA:

Por darme la oportunidad de ser san carlista de corazón, hoy y siempre estaré agradecido.

ÍNDICE

ACRÓNIMOS	i
RESUMEN EJECUTIVO	ii
INTRODUCCIÓN	iv
1 ANTECEDENTES.....	5
2 MARCO TEÓRICO	9
2.1 Formulación y evaluación de proyectos	9
2.2 Etapas de la formulación de proyectos	9
2.3 Operación de un proyecto	10
2.4 Evaluación con proyecto y sin proyecto	10
2.5 Beneficiarios de los proyectos.....	11
2.6 Las tarifas del servicio eléctrico en Guatemala	11
2.7 El alumbrado público.....	12
2.7.1 Lámparas	12
2.7.2 Vapor de mercurio.....	13
2.7.3 Vapor de sodio	14
2.7.4 Lámparas LED	14
2.7.5 Luminarias.....	15
2.7.6 Soportes	15
2.7.7 Equipos auxiliares	16
2.7.8 Sistemas de acondicionamientos	16
2.8 Los sistemas de iluminación	17
2.8.1 Luminotecnia	18
2.9 Sistemas de iluminación pública	19

2.10	Diseño de los sistemas de iluminación pública	19
2.11	Mantenimiento de los sistemas de iluminación pública	20
2.11.1	Mantenimiento correctivo	21
2.11.2	Mantenimiento preventivo	21
2.12	Eficiencia en la gestión pública	21
2.13	Eficiencia energética	22
2.13.1	Parámetros lumínicos de eficiencia energética	23
2.13.2	Curvas de flujo luminoso	24
2.14	Análisis financiero de proyectos	26
2.14.1	El valor actual neto	26
2.14.2	La tasa interna de retorno	26
2.14.3	La tasa de rendimiento mínima aceptada.....	26
2.14.4	Período de Recuperación de la Inversión.....	27
2.14.5	Relación beneficio/costo.....	27
2.14.6	Proyección de flujos de caja.....	27
2.15	Impacto ambiental.....	28
2.15.1	Tipos de impacto ambiental.....	28
2.15.2	Cambios climáticos.....	28
2.15.3	Efectos por generación hidroeléctrica	29
2.15.4	Efectos por otros tipos de generación	29
2.15.5	Metodología de evaluación del impacto ambiental (Matriz de Leopold)	
	29	
3	Metodología de la investigación	31
3.1	Definición del problema.....	31
3.1.1	Unidad de análisis	32

3.2	Objetivos	32
3.2.1	General.....	32
3.2.2	Específicos	32
3.3	Método Científico	33
3.3.1	Enfoque	33
3.3.2	Diseño	33
3.3.3	Alcance.....	34
3.3.4	Métodos.....	34
3.3.5	Técnicas de investigación	34
3.3.6	Técnicas de investigación documental.....	34
4	Discusión de resultados.....	36
4.1	Estudio de mercado del alumbrado público en la Ciudad de Guatemala .	36
4.1.1	Usuarios del servicio del alumbrado público en la Ciudad de Guatemala	36
4.1.2	Usuarios del servicio de alumbrado público en el Anillo Periférico.	38
4.1.3	Comportamiento del consumo de energía eléctrica en el Anillo Periférico"41	
4.2	Estudio técnico del sistema de iluminación pública del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala	41
4.2.1	Características técnicas de los sistemas de iluminación pública....	41
4.2.2	Características técnicas del sistema de iluminación pública en el Anillo Periférico.....	42
4.2.3	Los sistemas de iluminación pública convencionales.....	44
4.2.4	Los sistemas de iluminación pública con tecnologías LED	46
4.2.5	Mercado proveedor de tecnologías LED"	47

4.3	Estudio financiero para la implementación de tecnologías LED en el alumbrado público del Anillo Periférico	49
4.3.1	Flujo de caja	52
4.4	Estudio de impacto ambiental de los sistemas de iluminación pública. ...	54
4.5	Aplicación del método de matriz de Leopold.....	57
5	CONCLUSIONES	62
6	RECOMENDACIONES.....	63
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
8	EGRAFIAS.....	67
9	ANEXOS.....	69
10	ÍNDICE DE TABLAS.....	71
11	ÍNDICE DE FIGURAS	72

ACRÓNIMOS

LED: Diodo emisor de luz (Light-Emitting Diode)

EEGSA: Empresa Eléctrica

CIE: Comisión Internacional de la Iluminación (nombre en francés Commission internationale de l'éclairage)

CNEE: Comisión Nacional de Energía Eléctrica

OLED: Diodo orgánico de emisión de luz (Organic Light-Emitting Diode)

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control And Data Acquisition)

FIDE: Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

INDE: Instituto Nacional de Electrificación

TREMA: Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable

VAN: Valor Actual Neto

INE: Instituto Nacional de Estadística

EDOM: Esquema del Ordenamiento Metropolitano

HID: Lámparas de alta intensidad de descarga o lámparas de descarga de alta intensidad (High Intensity Discharge)

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio, está relacionado con la instalación de luces de tecnología LED en el sistema de alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala. El problema que se plantea se centra en el consumo de energía eléctrica en el Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala, y que dicho consumo, se traduce en un costo económico, afecta al erario municipal.

Por otro lado, en relación con el problema planteado, un aspecto que influye mucho sobre el tema a trabajar es que los sistemas de alumbrado público convencionales conllevan un impacto ambiental, que vale la pena reflexionar sobre si mejores tecnologías pudieran contribuir con la sostenibilidad ambiental del planeta.

De esto surge la pregunta principal de investigación: ¿Cuál es el impacto en el consumo de energía eléctrica al instalar luces LED en el alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala?

El método utilizado para el desarrollo del siguiente documento es el método científico, el cuál conlleva seis etapas: planteamiento del problema, planeación del trabajo, recopilación de la información, procesamiento y análisis cualitativo y cuantitativo de la información, explicación de la interpretación, comunicación de resultados y resolución del problema.

De acuerdo con los resultados de la investigación, se logró cumplir con el objetivo general, el cual consistía en identificar las ventajas y desventajas que implicaría llevar a cabo una renovación del alumbrado público a sistemas o vapor de sodio emisores de luz o luces LED, comparado con otras tecnologías de iluminación existentes. Dichos resultados podrían propiciar la adaptación de tecnologías más eficientes y sustentables.

Se concluyó que, la instalación de luces LED en el alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala, genera un impacto económico favorable en el consumo de energía eléctrica, específicamente en un 56% de ahorro en comparación con la de vapor de mercurio. En cifras monetarias, equivale a Q. 766,762.75 anuales, monto que se ahorraría hasta por 10 años seguidos, tomando en cuenta el tiempo de vida de las lámparas LED.

Si se considera que la inversión inicial del proyecto sería de Q1,197,000.00, en tan solo dos años se podría recuperar ese monto. Además, esa inversión sería menor al costo anual de Q1,369,219.20 que generan las lámparas actuales de vapor de

sodio. Entonces, como ha quedado comprobado, la implementación de tecnología LED en el alumbrado público del Anillo Periférico genera un impacto económico favorable en el consumo de energía eléctrica.

Por tanto, se recomienda a los concejos municipales, en específico a la Municipalidad de Guatemala, implementar luces LED en el alumbrado público, ya que de esa forma podrían optimizar los recursos públicos.

INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Profesional de Graduación, está relacionado con la instalación de luces de tecnología LED en el sistema de alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala para mejorar la iluminación actual. El desarrollo del documento se segmenta en cuatro capítulos principales.

El primer capítulo expone diversos estudios previos que se han realizado en relación con el tema del alumbrado público en Guatemala y a nivel internacional.

El segundo capítulo es sobre los aspectos teóricos, donde abordan y explican a profundidad conceptos y definiciones propios del tema a investigar. Tratándose de un estudio especializado, el marco teórico incluye conceptos que facilitarán al lector la comprensión del presente documento, especialmente para comprender las bases sobre la cual se asientan los diferentes análisis cualitativos y cuantitativos que fueron necesarios en el proceso de investigación.

El tercer capítulo trata sobre la metodología de estudio utilizada; principalmente se expone la pregunta generadora de investigación, la justificación, el objetivo general y los objetivos específicos de investigación. También se describen las técnicas que sirvieron de apoyo al investigador, que fueron sobre todo el análisis documental y la comparación de la información recopilada para poder concluir si es factible o no implementar nuevas tecnologías de iluminación.

Y el cuarto capítulo desarrolla el análisis y discusión de los resultados obtenidos a partir de la investigación y recolección de datos. Los principales temas que se abordaron se relacionan con los estudios de mercado, técnico, financiero y medio ambiental en la etapa de operación de un proyecto, realizando diferentes análisis comparativos de los aspectos técnicos y financieros entre las tecnologías convencionales de iluminación pública y la tecnología LED.

Finalmente se describen las conclusiones y recomendaciones suscitadas en la presente investigación acerca de la factibilidad de emprender o no proyectos de renovación tecnológica en el alumbrado público en el Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala.

1 ANTECEDENTES

Se revisaron los tesarios de las universidades del país para encontrar trabajos previos relacionados con la eficiencia energética del alumbrado público. También se hizo una búsqueda, por internet, de tesis o investigaciones del tema que se hayan elaborado en otros países latinoamericanos, los cuales servirán como base para el Trabajo Profesional de Graduación. A continuación, se presentan los antecedentes hallados.

A nivel nacional se elaboró una tesis para analizar el alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché, con base en los parámetros de luminosidad mínimos establecidos por la Comisión Internacional de Iluminación -CIE-. El autor realizó mediciones de iluminación en algunas de las vías más transitadas del municipio y un análisis matemático con ayuda del programa DIALux. Además, analizó las tecnologías más modernas para sustituir las lámparas de vapor de mercurio que abundan en el alumbrado público de Quiché Villatoro (2012).

Villatoro concluye que el sistema lumínico de Playa Grande Ixcán no cumple los parámetros mínimos de iluminación de la CIE. Asimismo, existe un alto grado de contaminación lumínica causada por el alumbrado público. Para cambiar esas situaciones, el autor propone cambiar las lámparas por unas de vapor de sodio a alta presión, ya que estas generarían un ahorro del 30% en comparación con el sistema actual.

Por su parte en el año 2013 la elaboró un informe y una propuesta de alternativas para el ahorro y la eficiencia energética en los municipios del departamento de Guatemala. El documento en cuestión contiene datos estadísticos que intentan justificar la necesidad de un cambio en el alumbrado público de dicha región, debido al alto consumo energético y sus repercusiones en el medio ambiente Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE (2013).

El informe de la CNEE expone que Energuate, una de las distribuidoras de energía eléctrica del país, utiliza un alto porcentaje de lámparas de vapor de mercurio de alta presión, con bombillas de 175 W. Según explica la Comisión Nacional, esta tecnología es de las menos eficientes, por lo que genera un alto costo.

Asimismo, Energuate utiliza luminarias tipo Canasta, las cuales no están diseñadas para las lámparas que se ubican a determinada altura, situación que repercute negativamente en la eficiencia del alumbrado. Con base en lo anterior, la CNEE

recomienda que las empresas de energía eléctrica utilicen un conjunto de lámpara y luminaria de alta eficiencia que aporte la fotometría acorde a las necesidades del alumbrado público.

Por otro lado, se elaboró una tesis relacionada con el uso de nuevas tecnologías de alta eficiencia y menor costo en el alumbrado público. Así, el objetivo general del autor fue establecer si el uso de nuevos y diferentes tipos de lámparas puede ayudar a mejorar el sistema de iluminación público del municipio de Coatepeque. Para ello, De León utilizó la técnica del censo y de la medición para conocer el tipo de lámparas y luminarias en un sector del municipio de Coatepeque, departamento de Quetzaltenango, así como la eficiencia de estas De León (2016).

Con base en los resultados, el autor concluye que las lámparas de vapor de mercurio es una tecnología obsoleta y de alto costo, a diferencia de las de sodio y las LED. Al respecto de estas últimas, son las más eficientes del mercado, pero también las más costosas y su retorno de inversión puede demorar más de 7 años si la municipalidad recurre a un préstamo bancario para el financiamiento.

Se elaboró un estudio acerca de la ineficiencia energética en el alumbrado público del municipio de San Miguel Dueñas, del departamento de Sacatepéquez. El objetivo general era verificar la factibilidad de instalar luces LED en dicho sistema de iluminación, para lo cual utilizó y método científico y la técnica de estudio de mercado Hernández (2017).

El autor concluye que para llevar a cabo su propuesta se requiere una inversión de Q2.62 millones, equivalentes al 11% del presupuesto de la Municipalidad de San Miguel Dueñas. Además, su mantenimiento rondaría los Q472.2 mil, que representan el 70.8% del costo de mantenimiento del alumbrado actual del municipio. Es decir, la implementación de tecnología LED es económicamente viable y significaría un ahorro para la municipalidad. Además, el periodo de recuperación de inversión sería de 3.78 años.

A nivel internacional, existen varias investigaciones que abordan la temática en cuestión, pero desde una perspectiva local. Es decir, los autores de esos estudios se centraron en problemas de alumbrado público de su comunidad o ciudad. No obstante, desarrollaron teoría sobre la energía eléctrica y alumbrado público que puede ser de utilidad para el presente Trabajo Profesional de Graduación.

Así pues, López, dieron su aporte al tema de alumbrado público mediante un estudio de ingeniería en iluminación. Los autores analizaron y calcularon los parámetros de

iluminación en las luminarias con tecnología LED en el complejo del Reclusorio Norte de la Ciudad de México. Su objetivo fue demostrar los beneficios técnicos de iluminación, ahorro energético y confort visual que proporciona la tecnología LED Cruz y Bautista (2009).

Para ello, utilizaron una metodología basada en cálculos de ingeniería, tales como nivel de iluminación, distancia interpostal, altura de montaje, tipo de arreglo de los postes, etc. Gracias a los datos obtenidos, los tres autores concluyen que las luminarias LED representan un ahorro de energía considerable. Además, señalan que dicho ahorro influye en el medio ambiente de forma positiva, pues disminuye el gasto de recursos energéticos no renovables.

Por su parte, elaboró una tesis de maestría titulada *Impacto del Alumbrado Público con LEDs en la Red de Distribución*. En esta, la autora se propuso determinar el impacto de las luminarias LED usadas en el alumbrado público sobre la calidad de potencia de la red de distribución de Colombia. Para ello, adoptó una metodología de modelamiento de carga no lineal que relaciona la tensión y la corriente de carga, lo que le permitió desarrollar un modelo y simulación de un circuito de distribución Acuña (2011).

Mediante la simulación de un circuito típico de alumbrado público, Acuña evaluó la tensión, corriente, potencia aparente, potencia activa, factor de potencia y distorsión armónica. Con base en los resultados obtenidos, establece que el uso de tecnología LED es favorable, pues mejora la potencia; sin embargo, señala que aún se pueden mejorar para alcanzar una mejor distribución de luz.

En Ecuador, elaboraron una tesis acerca del mejoramiento en el sistema de alumbrado público de la vía El Valle, ubicada en Cuenca. El objetivo general de los investigadores fue analizar técnica y económicamente la alternativa LED para dicho sistema, por lo que usaron una metodología basada en análisis técnico y financiero Lojano y Orellana (2014).

Con base en los resultados obtenidos, concluyen que implementar lámparas LED en el alumbrado público contribuye a la reducción del consumo de energía eléctrica, de la contaminación lumínica y sus efectos nocivos en las personas. Esto último se debe a que dicha tecnología produce tan solo el 51% de CO² que una lámpara convencional. Asimismo, las lámparas LED aumentan la visibilidad en el sector, lo cual influye positivamente en la seguridad.

También en Ecuador, Freire y Gordillo (2013) realizaron un estudio sobre el tema en cuestión. El objetivo de los investigadores fue analizar las nuevas tecnologías de iluminación, tales como LED, OLED, BIOLED y plasma; además de su uso en el alumbrado público del parque El Paraíso, en la ciudad de Cuenca. Para alcanzar su meta, los autores aplicaron un análisis técnico y financiero de cada una de las tecnologías mencionadas.

Gracias a ello, descubrieron que la iluminación en estado sólido, especialmente la LED, resulta una mejor alternativa para la iluminación, ya que resulta más eficiente. No obstante, aclaran que para mejores resultados es necesario invertir en un sistema potente, por lo que, si no se cuenta con ello, es recomendable usar tecnología LED en potencias bajas.

Finalmente, Chantera y Tobar (2013) realizaron una tesis con el objetivo de estudiar las lámparas LED para el alumbrado público y diseñar un sistema SCADA con control automático on/off en el campus Kennedy de la Universidad Politécnica Salesiana.

Los autores midieron los niveles de iluminación en sectores de flujo peatonal y vehicular. Además, revisaron las instalaciones eléctricas que conforman el alumbrado público. Con la información recabada y el uso de un software especializado, hicieron una simulación de posibles soluciones para la mejora de la iluminación.

Los investigadores concluyeron que el alumbrado del campus Kennedy necesita aumentar sus luminarias para cumplir con las normas mínimas de la Comisión Internacional de Iluminación. Asimismo, con base en las simulaciones, las luces LED serían la mejor opción, pues además de cumplir con las normas, representarían un ahorro de energía de 45% sobre el sistema actual de iluminación

2 MARCO TEÓRICO

El marco teórico, también llamado marco de referencia, es el soporte teórico, contextual de los conceptos, categorías o leyes que se utilizaron para el planteamiento del problema en la investigación. Con esta recopilación de información, también se intenta demostrar cuál es el aporte novedoso que el proyecto de investigación va a aportar a su área de conocimiento respectiva.

En ese sentido, el marco teórico se caracterizó por definir la disciplina a la cual pertenece el campo de estudio escogido, los conceptos relevantes y el fenómeno que se quiso estudiar.

2.1 Formulación y evaluación de proyectos

La formulación de un proyecto se refiere al desarrollo ordenado de las etapas de un emprendimiento y de una preinversión de las actividades a realizar. En esta parte se toman decisiones con la finalidad de que el plan aporte elementos de juicio técnico económico que permitan conocer la factibilidad de llevar a cabo un proyecto. dice que “La formulación del proyecto tiene como objetivo realizar un diagnóstico de la situación actual e identificar soluciones alternativas al problema identificado, para poder realizar una correcta definición del proyecto” El Sistema Nacional de Inversión Pública (2014, p. 35).

Paralelamente se encuentra la evaluación de proyectos que se refiere a la estimación de cada una de las etapas del proceso, el cual analiza e identifica la viabilidad de las técnicas propuestas o utilizadas en el proyecto. Por otra parte, también puede descartar las herramientas que no son factibles, técnica y económicamente.

Por lo tanto, la formulación y evaluación de proyectos es un procedimiento para recopilar, crear, analizar y sistematizar información que permite identificar ideas para realizar un trabajo, negocio o emprendimiento.

2.2 Etapas de la formulación de proyectos

La formulación de proyectos se divide en tres. Según Medina, la primera es la prefactibilidad, el cual es la que indica una idea, la visión que se tiene o el perfil de lo que el emprendedor considera realizar. Esta propuesta responde a las

necesidades del proyecto. En esta parte se elaboran estimaciones de manera subjetiva con respecto a la inversión, gastos y ganancias A. y Medina, E. (2020, págs. 43,44).

La segunda es el estudio de factibilidad o anteproyecto, en esta parte se profundiza en la información del perfil del proyecto que se desea realizar. Existe una investigación de fuentes primarias y secundarias de mercado. Se busca asesoría de personas que conozcan el negocio, esto permite determinar los recursos humanos y físico, el costo y la rentabilidad económica. Con este estudio se permite rechazar o aceptar el proyecto.

La tercera parte hace referencia al proyecto definitivo o puesto en marcha, esto quiere decir que el plan se implementa, se hacen concretos. Contiene la información, las fuentes de financiamiento, las etapas de las inversiones, la adquisición de la tecnología, mobiliario y equipo. Se realizan alianzas con los socios y se crea la estructura adecuada para realizar el proyecto.

2.3 Operación de un proyecto

La etapa de operación es la parte de mayor duración en un proyecto porque es donde se genera o realiza lo plasmado por escrito. Está genera bienes y servicios que serán provistos para solucionar un problema y, de tal manera, satisfacer una necesidad, la cual elimina o mitiga un riesgo. Esta etapa muestra una inversión ya materializada en la ejecución como lo ejemplifica Chain (2011, p. 34).

El uso de una nueva máquina que reemplazó a otra anterior, la compra a terceros de servicios antes provistos internamente, el mayor nivel de producción observado como resultado de una inversión en la ampliación de la planta o con la puesta en marcha de un nuevo negocio.

2.4 Evaluación con proyecto y sin proyecto

Debido a que el presente Trabajo Profesional de Graduación está enfocado en la tecnología led se propone un proyecto de alumbrado público en el Anillo Periférico, Ciudad de Guatemala, se considera necesario abordar el concepto de análisis de escenario con y sin proyecto.

Un escenario con proyecto se refiere a una condición hipotética que se llevará a cabo en un contexto determinado. Mientras que el escenario sin proyecto alude a la

condición actual en que se encuentra ese mismo contexto. En otras palabras, este tipo de análisis consiste en comparar una situación actual con una propuesta de trabajo que se quiera realizar o presentar Hernández (2017).

En el caso del proyecto de la instalación de tecnología LED en el Anillo Periférico, el escenario sin proyecto es la condición actual en que se encuentra el alumbrado público de dicho sector. En cambio, el escenario con proyecto se refiere a la hipotética situación de que se instalen luces LED en el mencionado sistema de iluminación.

2.5 Beneficiarios de los proyectos

El alumbrado público tiene efectos directos en la visibilidad del conductor como también la seguridad ciudadana beneficiando a un comercio nocturno sin tener que enfrentar algún riesgo que amanece su seguridad.

Adicional la evaluación de impacto que tiene en factores como el área de iluminaria respecto al costo del equipamiento y el consumo de electricidad que se puede justificar la adopción beneficiando directamente a la municipalidad de Guatemala.

2.6 Las tarifas del servicio eléctrico en Guatemala

Según lo establece la Ley de Electricidad, Decreto no. 93-96, la CNEE es el órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas encargado de definir trimestralmente la tarifa de energía eléctrica de Guatemala. Para ello, el Artículo 61 de la referida ley señala que la CNEE determinará las tarifas con base en los costos de adquisición de potencia y energía pactados entre generados y distribuidores y referidos, así como los costos eficientes de distribución.

Es importante señalar que en el país no existe una tarifa fija para todos los ciudadanos, pues la Ley General de Electricidad promueve la igualdad entre los consumidores; es decir, no sería justo que una familia de clase baja que consume muy poca electricidad deba pagar lo mismo que una empresa que tiene un consumo mucho mayor. Así pues, actualmente se pueden distinguir tres diferentes tipos de tarifa en Guatemala, las cuales son:

- Tarifa social: según La Ley de la Tarifa Social para el Suministro de Energía Eléctrica, Decreto 96-2000, la tarifa social es aquella destinada a los usuarios que consumen un máximo de 300 kWh por mes. El fin de esta tarifa es

"favorecer al usuario regulado del servicio de distribución final, más afectado por el incremento de los costos en la producción de la energía eléctrica" (Congreso de la República de Guatemala, 2000).

- Tarifa de baja tensión simple: también llamada tarifa no social, es la que deben pagar todos los usuarios que consumen más de 300 kWh al mes (Hernández, 2017). Por lo general, el valor de esta tarifa es mayor a la social, ya que se entiende que los usuarios que consumen más energía tienen más recursos económicos para cubrir el servicio de energía eléctrica.
- Tarifa de alumbrado público: tal como indica su nombre, es el costo que se aplica al sistema de alumbrado público de un municipio. A diferencia de las dos tarifas anteriores, esta varía entre municipios, pues corresponde a cada municipalidad establecer el costo de esta para los usuarios (INDE, 2019).

2.7 El alumbrado público

define el alumbrado público como un servicio, proveído normalmente por las municipalidades y que consiste en "la iluminación de vías públicas, parques, aceras y espacios de libre circulación que no se encuentran a cargo de una persona individual" Villatoro (2012).

En otras palabras, este tipo de alumbrado lo componen todos los sistemas de iluminación que se pueden apreciar en lugares públicos exteriores, desde una colonia hasta parques o toda una calzada. Asimismo, su mantenimiento para una adecuada labor corresponde a las municipalidades.

Ahora bien, según explica los sistemas de alumbrado público se componen de lámparas, luminarias, soportes y equipos auxiliares. A continuación, se explicará cada uno de ellos Villatoro (2012).

2.7.1 Lámparas

Son los dispositivos que producen la luz del alumbrado público mediante la energía eléctrica que aprovechan de la red de distribución. Si se relaciona con lo explicado en el apartado de sistemas de iluminación, las lámparas serían la fuente de luz de los alumbrados públicos (Ministerio de Desarrollo Social, 2014).

Actualmente, existen diversos tipos de lámpara dependiendo de su material o forma de generar luz. En Guatemala, según la CNEE (2013), los dos tipos más utilizados son las lámparas de vapor de mercurio y de vapor de sodio, con variaciones en sus potencias. Además, dicha institución menciona que hay registros del uso de lámparas LED.

2.7.2 Vapor de mercurio

Como su nombre sugiere, este tipo de lámparas funciona con mercurio elemental que contienen en su interior. Según explican la CNEE y el FIDE (2010), la luz se produce cuando una corriente eléctrica, proveniente del sistema de distribución, pasa a través del gas de mercurio que está dentro de la lámpara a presión de vacío. Para comprender un poco más este proceso, las dos instituciones mencionadas explican que las lámparas tienen un tubo de descarga gaseosa alojado en un bulbo protector. Dicho tubo funciona mediante presión, por lo que cuando la corriente eléctrica pasa hacia la lámpara con cierta intensidad, el tubo se activa y vaporiza el mercurio dentro de la lámpara. De esta manera, se genera la luz.

Indica que este tipo de lámparas son las más comunes en los sistemas de alumbrado público, pero no son muy eficientes porque se pierde mucha energía durante la transformación de la electricidad en luz. Además, su promedio de vida ronda entre las 16000 a 25000 horas Hernández (2017).

Las lámparas de vapor de mercurio pueden ser de alta y baja presión, dependiendo de sus condiciones de funcionamiento. En ese sentido, se les considera de baja presión cuando las radiaciones ultravioletas necesarias para su funcionamiento son de valores bajos, aproximadamente 253.7 nanómetros. Mientras que son de alta presión cuando dicha medida sobrepasa los 400 nanómetros (Villatoro, 2012).

Asimismo, este tipo de lámparas suelen emitir una luz con diferentes tonalidades o colores, que pueden ser azules, violetas, amarillos o verdes. Esto ocurre por las diferencias de presión y por otros materiales que se les añaden a las lámparas, como el argón.

En el caso de Guatemala, la CNEE (2013) indica que las lámparas de vapor de mercurio son las más utilizadas por las distribuidoras eléctricas en lo que refiere al alumbrado público. Sin embargo, son poco eficientes porque tienen un alto consumo energético.

2.7.3 Vapor de sodio

Este tipo de lámparas son muy similares a las de vapor de mercurio en lo que respecta a funcionamiento, pero varían en cuanto a componentes. Así pues, como su nombre sugiere, están compuestas de sodio, además de mercurio y de un gas noble que puede ser argón o xenón (Hernández, 2017).

También se les clasifica en lámparas de baja o alta presión, dependiendo de qué tanta presión se necesita para que el sodio genere luz. Puede verse, pues, que el sodio resulta ser el gran diferenciador entre este tipo y el anterior.

Ahora bien, es de señalar que, según Villatoro (2012) las lámparas de vapor de sodio, gracias a este elemento, generan una luz mucho más blanca, lo que permite una mayor visibilidad, eficiencia energética y retorno de inversión.

En Guatemala, son el segundo tipo de lámpara más utilizado, detrás de las de vapor de mercurio (CNEE, 2013). Pese a que su vida promedio es muy similar a las de mercurio, su eficiencia energética puede ser hasta 50% mejor.

2.7.4 Lámparas LED

Los LED son literalmente diodos de emisión de luz que "permiten el flujo de corriente en una sola dirección" Estos diodos están formados por dos materiales conductores, por lo que cuando la electricidad pasa a través de ellos, uno refleja con más intensidad la luz emitida por el otro. De esta manera, las lámparas LED resultan más brillantes que las de mercurio o sodio (CNEE y FIDE, 2010, p. 29).

Al respecto de su aplicación a sistemas de iluminación, como puede ser el alumbrado público, indica que puede ser mucho más eficientes y rentables que las lámparas convencionales, pues el promedio de vida de los LED se encuentra en 75,000 horas, el triple que los dos tipos anteriores Villatoro (2012).

Su mayor desventaja es el costo de inversión, pues al tratarse de tecnología relativamente nueva puede ser mucho más costosa que las otras lámparas. No obstante, ese detalle se ve compensado por la eficiencia y duración de los LED.

En Guatemala, las lámparas LED han empezado a tomar auge en lo que respecta al alumbrado público, pues en municipios como Santa Catarina Pinula y Villa Nueva se han instalado en dichos sistemas durante los últimos años (Hernández, 2017).

2.7.5 Luminarias

Las define como “los aparatos destinados a alojar, soportar y proteger las lámparas y sus equipos auxiliares, además de concentrar y dirigir el flujo luminoso” (p. 20). Puede verse que se trata del mismo elemento abordado en el subtema de Sistemas de Iluminación; es decir, objetos que permiten fijar y proteger las fuentes de luz para un funcionamiento adecuado Villatoro (2012).

Las luminarias se pueden montar o fijar sobre postes o columnas; también en ciertos casos pueden estar suspendidas sobre cables transversales en una calzada. Cuando se habla de alumbrado público, las luminarias también cumplen la función de proteger la lámpara de agentes atmosféricos que pueden afectarle negativamente, tales como el polvo o la lluvia.

La CNEE y el FIDE (2010) explican que al momento de elegir una luminaria se debe tomar en cuenta el uso que se le dará a la iluminación, pues existen luminarias especiales para altas concentraciones de la luz, otras para las cuales el mayor aprovechamiento luminoso se da hacia el frente de donde están colocadas. También se diseñan según la altura a la que están destinadas.

En Guatemala, la CNEE (2013) explica que las municipalidades suelen utilizar luminarias clase V, que están diseñadas para iluminaciones a una altura de 3 metros. Por ende, se pierde iluminación y eficiencia.

2.7.6 Soportes

Como su nombre indica, son las estructuras donde se colocan o fijan las lámparas. Por lo general se trata de postes o de columnas de distintos materiales, tales como concreto, madera, acero, etc.

Señala que los soportes más adecuados para el alumbrado público son los postes de concreto, ya que dicho material "presenta uniformidad dimensional en su fabricación, resistencia mecánica y elevada durabilidad" (p. 22). Además, por la gran demanda del concreto en el mercado general, su costo de adquisición, instalación y mantenimiento es menor al de otros materiales Villatoro (2012).

En el caso de los postes de madera, son opciones viables para sitios alejados de centros urbanos o de difícil acceso. No obstante, la madera se deteriora más rápido, por lo que su vida útil es menor y su mantenimiento puede alcanzar un alto costo. En cuanto a los postes de acero, indica que pueden ser tan resistentes como los de concreto, pero su costo de adquisición y mantenimiento es mucho mayor Villatoro (2012).

2.7.7 Equipos auxiliares

Son todos los dispositivos necesarios para el correcto funcionamiento de las lámparas y que ayudan en el proceso de encendido y regulación de carga para evitar daños sobre las mismas. Dichos equipos son importantes para que no se arruinen tan rápido las lámparas de alumbrado público, ya que, a diferencia de un sistema de iluminación de casa u oficina, están conectadas a una corriente más grande Villatoro (2012).

Se reconoce los siguientes elementos auxiliares que resultan de mucha importancia en el alumbrado público:

- **Balastro:** es un dispositivo que limita la intensidad en la corriente eléctrica, por lo que evita que la lámpara se sobrecargue tanto con la presión inicial (en caso de ser de vapor de mercurio o sodio) como durante el tiempo que está encendida.
- **Condensador:** este dispositivo tiene la función principal de minimizar el consumo de energía de la lámpara, con el fin de potenciar su eficiencia.
- **Arrancadores:** como su nombre sugiere, son elementos que se utilizan para encender la lámpara. Su función es la de generar impulsos que permiten la activación.
- **Reductores de flujo:** son dispositivos que permiten regular la potencia y la intensidad lumínica de la lámpara. No son indispensables para el funcionamiento del alumbrado público, pero pueden ayudar a reducir considerablemente el consumo energético anual.

2.7.8 Sistemas de acondicionamientos

Son sistemas del alumbrado público que controlan el tiempo exacto de encendido y apagado de las lámparas. De acuerdo con el Ministerio de Industria, Energía y

Turismo de España, pueden distinguirse tres tipos de accionadores que se usan comúnmente en el alumbrado público:

- Sistema de encendido con fotocélulas: consiste en un dispositivo que reacciona dependiendo del nivel de luminosidad a su alrededor. De esa manera, el alumbrado público se enciende de forma automática cuando disminuye la luz natural. Este tipo de sistema de accionamiento pueden ser costosos de mantener; además, con el paso del tiempo pueden perder precisión para su encendido y apagado.
- Sistema de encendido con reloj: tal como sugiere su nombre, consiste en programar la hora de encendido y apagado del alumbrado público. Aunque suele ser un sistema más preciso que el anterior, tiene el inconveniente de que, una vez programado, no se puede modificar; por ende, las lámparas se encenderán a la misma hora sin importar la luz natural.
- Sistema centralizado: básicamente consiste en tener un centro de control que permita encender y apagar todo el alumbrado público de un sector. Aunque puede resultar aún más preciso que el sistema de reloj también puede ser más costoso. Asimismo, si la orden de mando falla y no hay un plan de respaldo, no habrá forma de encender el alumbrado público.

2.8 Los sistemas de iluminación

Un sistema de alumbrado o de iluminación es "el conjunto de elementos que proporcionan energía luminosa en una situación determinada" Rodríguez (2016) (p. 79).

Partiendo de ello, se puede decir que se trata de cualquier sistema artificial que brinda iluminación en un espacio. Así pues, lugares cerrados como casas, empresas, fábricas y escuelas tienen un sistema de iluminación. Lo mismo ocurre con espacios exteriores como calles, parques, callejones, etc. Castro y Juzefis (2014).

Por su parte, indican que todo sistema de iluminación cuenta con tres elementos básicos, los cuales son:

- Fuentes de luz: se refiere a objetos que generan energía luminosa mediante electricidad. Por ejemplo, una lámpara de vapor, de mercurio o un foco LED.

- Luminarias: según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, son aparatos que distribuyen filtran o transforman la luz que emite una o varias lámparas. Asimismo, las luminarias permiten la fijación, protección y conexión de dicho objeto al circuito de alimentación.
- Elementos secundarios: como su nombre lo indica son otros objetos o conjuntos que se relacionan con el sistema de iluminación y contribuyen con su óptimo funcionamiento. Entre dichos elementos se encuentran las instalaciones eléctricas, soportes de luminarias, etc.

2.8.1 Luminotecnia

“La luminotecnia se encarga de determinar los niveles adecuados de iluminación para un determinado espacio. Para una correcta iluminación, hay que tener en cuenta la fuente de luz y el objeto que se desea iluminar” Este estudio se puede aplicar tanto en espacios interiores como exteriores, siendo este último el caso del presente estudio (Ingenieros Asesores,2020).

La Comisión Internacional de Iluminación se dio a la tarea de definir requisitos mínimos que deben cumplirse para satisfacer las necesidades de salud y bienestar de los individuos que se encuentran en algún lugar. Estos requisitos varían dependiendo si es un lugar cerrado o un lugar público, si es una carretera o un centro urbano, etc. (CIE, 2017).

Existen dos formas principales de hacer el estudio luminotécnico: una es manualmente utilizando equipos capaces de medir la iluminancia y la luminancia de los lugares; y la otra es utilizando un programa informático (*software*) de simulación.

El método que utiliza en este documento es la simulación por software, debido al alto costo de los instrumentos necesarios en el estudio manual, y a que el uso del *software* facilita el simular varios escenarios, que difícilmente pueden ser simulados de forma manual sin que exista una inversión antes.

El *software* por implementar se llama DIALux, es un programa gratuito que ayuda, según la página oficial de DIALux, a planear, calcular y visualizar la luz de los espacios interiores y exteriores. Pues es necesario conocer y medir que cada espacio tenga una iluminación adecuada según el uso que tenga cada lugar, que sea un punto donde no perjudique al usuario en sus actividades, pero sea suficiente para el buen funcionamiento del espacio.

2.9 Sistemas de iluminación pública

La iluminación de un sistema de alumbrado público debe ser adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehiculares como peatonales. Para lo cual se debe tener en cuenta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual, aplicando la cantidad y calidad de la luz sobre el área observada y de acuerdo con el trabajo visual requerido. Así, para cumplir esos requerimientos de luz se debe hacer una cuidadosa selección de la fuente y la luminaria apropiada teniendo en cuenta su desempeño fotométrico, de tal forma que se logre los requerimientos de iluminación con las mejores Inter distancias, las menores alturas de montaje y la menor potencia eléctrica de la fuente posible.

La seguridad se logra si el alumbrado permite a los usuarios que circulan a velocidad normal evitar un obstáculo cualquiera. La iluminación debe permitir, en particular, ver a tiempo los bordes, las aceras, separadores, encrucijadas, señalización visual y en general toda la geometría de la vía.

2.10 Diseño de los sistemas de iluminación pública

En esta sección se definirán ciertos estándares y características necesarias según el tipo de necesidad que se tengan en la vía pública, de nuevo utilizando el *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público* de la Empresa de Energía de Boyacá S.A (2010).

Sobre todo, se considerarán las clasificaciones de las vías vehiculares. Para clasificarlas existen criterios a tomar en cuenta que están relacionados con características de las vías y su uso, siendo estas la velocidad de circulación y el número de vehículos. Considerando esto propone las siguientes clases de iluminación de acuerdo con las características de las vías:

Tabla 1 Clases de iluminación según características viales

Clase de iluminación	Descripción de vía	Velocidad de circulación (km/h)	Tránsito de vehículos (Veh/h)
M1	Autopistas y carreteras	Mayor a 80	Más de 1000

M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Entre 60 y 80	Entre 500 y 1000
M3	Vías principales y ejes viales	Entre 30 y 60	Entre 250 y 500
M4	Vías primarias o colectoras	Menos a 30	Entre 100 y 250
M5	Vías secundarias	Al paso	Menos de 100

Fuente: creación propia (2021) basada en información de Empresa de Energía de Boyacá S.A (2010).

Después de establecer las características de las vías, ahora es necesario especificar las características de los tipos de iluminación que se asignan a cada vía. Los requisitos fotométricos requeridos que definen y se tomarán en cuenta son luminancia promedio mínima, el factor de uniformidad y el incremento de umbral como se especifican a continuación:

Tabla 2 Requisitos fotométricos según tipos de vías

Clase de iluminación	Luminancia promedio L(cd/m²) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad U Mínimo	Incremento de umbral TI % Máximo inicial
M1	2.0	0.4	10
M2	1.5	0.4	10
M3	1.2	0.4	10
M4	0.8	0.4	15
M5	0.6	0.4	15

Fuente: creación propia (2021) basada en información de Empresa de Energía de Boyacá S.A (2010).

Los aspectos explicados son bases que deben adaptarse y aplicarse a las necesidades del lugar específico en donde se realizará la instalación o remodelación del alumbrado público.

2.11 Mantenimiento de los sistemas de iluminación pública

A continuación, se describen dos de los tipos de mantenimiento que se gestionan en un sistema de iluminación pública.

2.11.1 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo “consiste en localizar, reparar y adecuar las instalaciones para que funcionen correctamente durante el máximo número de horas posible con el desempeño, para el que fueron diseñadas” Villatoro (2012), (p. 33).

Entonces, el mantenimiento correctivo es el proceso que ayuda a identificar fallas en el sistema durante o después de la instalación del proyecto y que permite resolver el mismo en el menor tiempo posible.

2.11.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo determina “las acciones para evitar o eliminar las causas, las fallas potenciales del sistema y prevenir su ocurrencia mediante la utilización de técnicas de diagnóstico y administrativas que permitan su identificación” Villatoro (2012) (p. 32).

Entonces, el mantenimiento preventivo es un proceso que se debe definir y ejecutar por la municipalidad, en el cual se plasmen tareas periódicas a realizar en el sistema de alumbrado público para ayudar a identificar posibles fallas en el mismo.

2.12 Eficiencia en la gestión pública

El alumbrado público representa un costo energético municipal, cualquier iniciativa de mejora en la eficiencia puede traducirse directamente en ahorros energéticos y por tanto en ahorros económicos importantes. La gestión y la explotación afectarán la calidad del servicio, el consumo energético y los efectos que puede tener en el medio ambiente posteriormente Mockey et al. (1998).

Hay tres aspectos muy importantes a considerar para que un proyecto de alumbrado público sea lo más eficiente posible:

- Condiciones y requisitos de iluminación apropiadas.
- Sistemas de iluminación e instalación eficientes.
- Dimensionamiento y depreciación.

Todas estas permitirán realizar un diseño y propuesta eficiente de un proyecto de alumbrado público, cada una será detallada a continuación.

2.13 Eficiencia energética

Para definir lo que es eficiencia energética es necesario conceptualizar cada una de las palabras que conforman este término por separado. Así pues, en primer lugar, se encuentra el concepto de “eficiencia”, que a grandes rasgos la misma Real Academia Española define como la “capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado”.

Por su parte, la División de Evaluación Social de Inversiones ofrece una definición más acorde al plano de la economía o ejecución de proyectos, pues señala que eficiencia es “el grado en que se cumplen los objetivos de una iniciativa al menor costo posible”.

Si se hace un acercamiento aún más profundo al área de la Economía, Sarmiento, Cardona, establecen que la eficiencia consiste en emplear la menor cantidad posible de recursos para obtener un beneficio o una determinada cantidad de producto Sánchez y García (2018).

Ahora bien, en lo que respecta a “energética”, se considera pertinente explicar primero que la energía eléctrica, también llamada electricidad, se define como la acción que producen los electrones al moverse de un punto a otro, Es decir, esas partículas que giran alrededor del núcleo atómico generan electricidad cuando se trasladan de un átomo a otro, debido principalmente a una fuerza externa (Saucedo y Bosques, s.f.).

Cuando ese movimiento de electrones se mueve a través de un cuerpo desde un extremo a otro, se produce lo que comúnmente se denomina “corriente eléctrica”. Así pues, en el plano del presente Trabajo Profesional de Graduación, “energético” hace referencia a la energía eléctrica.

Por tanto, al formar el concepto de “eficiencia energética” con base en lo ya expuesto se puede decir que consiste en utilizar la menor cantidad de recursos posibles para asegurar la disponibilidad de electricidad en un lugar determinado. Esta definición se acerca mucho a la de otros investigadores quien indica que esta eficiencia: “agrupa acciones que se toman tanto en el lado de la oferta como de la demanda, sin sacrificar el bienestar ni la producción, permitiendo mejorar la seguridad del suministro. Logrando, además, ahorros tanto en el consumo de energía como en la economía de la población en general” Poveda (2007) (p. 4).

Tomando en cuenta las definiciones dadas, es importante mencionar que la eficiencia energética puede aplicarse en diferentes contextos. Para los objetivos del presente estudio, se refiere a los sistemas de iluminación, especialmente al alumbrado público de un municipio en particular.

Entonces, se entiende que la eficiencia energética es el cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos en las normas definidas por organismos internacionales, como la CIE, en las calles, parques, lugares públicos, etc., consumiendo la menor cantidad de energía eléctrica posible.

2.13.1 Parámetros lumínicos de eficiencia energética

Generalmente, el condicionante principal en la selección de la lámpara es la eficiencia energética, ya que cuando mayor sea, menor será el consumo energético para lograr la misma iluminación. Existen diversos manuales y documentos que estipulan requerimientos y características específicas que son necesarias para hacer un proyecto de iluminación pública vial. Como en el reglamento técnico de antes mencionado, explica que desde el diseño “la cantidad y calidad de la iluminación debe prevalecer”, y estas deben ir en relación con las características del lugar en donde se realizará el espacio. EBSA (2010) (p. 21)

Otros manuales, como el del Comité Español de Iluminación exigen, específicamente de las lámparas, módulos y luminarias LED, datos fotométricos para la luminaria utilizada en el proyecto. Los datos fotométricos son:

- Curva fotométrica de la luminaria
- Curva del factor de utilización de la luminaria
- Flujo luminoso global emitido por la luminaria
- Consumo total del sistema
- Rendimiento de la luminaria en porcentaje
- Flujo hemisférico superior instalado (FHS_{INST})

Todas estas exigencias son necesarias para saber si el proyecto, en especial utilizando luminaria LED, es factible y eficiente.

2.13.2 Curvas de flujo luminoso

Para tener mayor claridad sobre las principales diferencias tecnológicas de los tipos de lámparas usadas es importante hacer una comparación de sus curvas de flujo luminoso a lo largo del tiempo de operación.

Figura 1 Comparación de curvas de flujo luminoso



Fuente: <http://www.econoluxindustries.com/Library/EconoLux%20Induction%20Lamps%20Vs%20LEDs.pdf>.

Para el alumbrado público de vialidades, las lámparas de vapor de sodio de alta presión dentro de luminarias con ópticas *semi-cutoff* se emplean en casos donde se requiere altos niveles de iluminación, gran agudeza visual y alta visión de contraste, sin que sea indispensable la visión de los colores. Algunos ejemplos son calles, calzadas, ejes viales, carreteras, autopistas, vías primarias y secundarias, bulevares, entre otros (Iluminet, 2008).

Por otra parte, hay ambientes que requieren de altos niveles de iluminación en el alumbrado público de vialidades, como corredores de tipo turístico y comercial. La razón de ello es que son espacios donde suele haber un flujo muy alto de circulación de personas. Entonces, para estos lugares se recomienda utilizar lámparas de aditivos metálicos. Iluminet (2008),

En el caso de vialidades de baja velocidad, como calles y vías secundarias, entre otros, que requieren de bajos niveles de iluminación, la utilización de lámparas de aditivos metálicos no es la adecuada, ya que no se requiere de una perfecta visión de los colores, sino únicamente de una buena agudeza visual y alta visión de contraste.

Por su parte, el uso de lámparas de aditivos metálicos es adecuado para el alumbrado público de áreas urbanas, como plazas, zócalos, parques, jardines, alamedas, andadores y quioscos entre otros, en donde la visión de los colores es muy importante.

Ahora bien, si se habla de vialidades de alta velocidad, como bulevares, calzadas, ejes viales, autopistas, carreteras, avenidas y vías primarias entre otros, donde también existe un tránsito constante de personas y vehículos, se requieren altos niveles de iluminación. Por ello, se deben usar lámparas de aditivos metálicos dentro de luminarias con ópticas cuto (has cortado), las cuales evitan que el flujo luminoso sea enviado hacia la parte superior de la luminaria y se tenga un alto control vertical de la intensidad luminosa, lo cual a su vez permite limitar la luminancia (brillantez) hacia al ángulo visual de los conductores.

En vialidades bajo techo o que no están al aire libre, como túneles o pasos a desnivel, se requieren altos valores de iluminación, un menor tiempo de recuperación ante el deslumbramiento, buena visión de contraste y una menor luminancia (brillantez) de la lámpara. Por ello, lo recomendable es utilizar lámparas de vapor de sodio en alta presión para el alumbrado público (Illuminet, 2008).

Por otro lado, la tecnología LED presenta una vida útil superior a las mencionadas con anterioridad. En contraposición a ello, su costo inicial resulta bastante elevado en comparación con otras lámparas; sin embargo, a largo plazo puede ser una inversión recuperable, ya que gracias a su menor consumo energético permite ahorrar en costos, es decir, las lámparas LED no necesitan ser cambiadas con tanta frecuencia como otras tecnologías. (Secue, Páez, Fonseca y Muela, 2018).

Además de este beneficio económico, la tecnología LED ofrece otras ventajas como su mayor eficacia lumínica, mejor calidad de la luz y una mayor nitidez y cobertura a cambio de menor potencia. Aplicando estas características a la vía pública, los peatones y conductores de vehículos pueden tener una mejor percepción visual, al mismo tiempo que mejora la seguridad en dichos espacios.

Se explican que, para la aplicación de la tecnología LED para proyectos de iluminación, como el alumbrado público, es necesario considerar algunos factores para evitar sorpresas desagradables. Entre las sugerencias de los autores están:

- Efectuar evaluaciones de desempeño en campo utilizando las prácticas y estándares recomendados.
- Utilizar el mejor *software* disponible para predecir el rendimiento de las luminarias en su aplicación,

- Evaluar los estudios de casos relevantes y creíbles para una mejor predicción.
- Analizar la inversión inicial frente al tiempo útil de la luminaria y considerar los beneficios del LED, como rendimiento lumínico, consumo total, mantenimiento y garantía.
- Construir la luminaria completa para que dure hasta el final de la vida útil.

2.14 Análisis financiero de proyectos

Para realizar la evaluación financiera de este Trabajo Profesional de Graduación se considera necesario definir los siguientes conceptos.

2.14.1 El valor actual neto

Es un índice financiero muy utilizado para verificar si un proyecto se ejecuta o no. También es conocido como valor presente neto y sus siglas son VAN. Este índice se calcula cuando todos los flujos de fondos se llevan al año 0, utilizando la TREMA como tasa de interés (Sapag, 2011).

2.14.2 La tasa interna de retorno

Es otro índice financiero muy utilizado y que indica el porcentaje de interés que hace un Valor Actual Neto (VAN) igual a 0. Esta tasa es muy útil cuando se tiene incertidumbre de cuanto quieren ganar los inversionistas en un proyecto, para saber cuánto es lo máximo que soporta el proyecto brindando resultados positivos (Meza, 2017).

2.14.3 La tasa de rendimiento mínima aceptada

También llamada TREMA, es el porcentaje mínimo de retorno que se desea obtener del proyecto. Se puede calcular de varias formas, pero la manera en que se realizó en esta investigación fue utilizando el índice inflacionario más una prima de riesgo (Sapag, 2011).

2.14.4 Período de Recuperación de la Inversión

El período de recuperación de una inversión se define como el tiempo en el que se espera recuperar el capital de inversión inicial que se realiza en un proyecto, ya sea de inversión privada o pública. “Muchas empresas calculan el período de recuperación tradicional (PR) del proyecto, definido como el número de años esperado que se requiere para recuperar la inversión original (el costo del activo). Es el método formal más simple y, hasta donde se sabe, el más antiguo para evaluar los proyectos de presupuesto de capital” (Besley & Brigham, 2009, pág. 365).

La toma de decisión en un indicador como este tiene relación con el tiempo mínimo aceptado en el que los inversionistas estarían dispuestos a recuperar su inversión, si el período de recuperación es igual o menor, el proyecto se acepta, si fuese lo contrario, el proyecto se rechaza.

2.14.5 Relación beneficio/costo

Es un índice financiero que resulta de dividir los ingresos netos actualizados entre los egresos netos actualizados más la inversión inicial. Si el resultado es mayor o igual a la unidad indica que los ingresos son lo suficientemente buenos para aceptar el proyecto Sapag (2011)

Análisis de sensibilidad: Este estudio permite tomar decisiones de inversión, “es una técnica que estudia el impacto que tienen sobre una variable dependiente de un modelo financiero las variaciones en una de las variables independientes que lo conforman.” Lo que hace es observar como el aumento o disminución en el valor de un factor puede afectar el resultado final de un análisis financiero. (Arias, s.f.).

2.14.6 Proyección de flujos de caja

Nassir Sapag, en su blog define se refiere al flujo de caja indicando que “Para determinar cuál es la rentabilidad que obtendría el inversionista por los recursos propios aportados para la materialización de un proyecto, se debe efectuar una corrección al flujo de caja que mide la rentabilidad del total de la inversión,” (Chain,2019).

2.15 Impacto ambiental

Impacto ambiental se refiere a aquella modificación positiva o negativa, que se observa en el medio por la intervención humana que surge de un proceso y su interacción sobre cualquier factor ambiental.

Del mismo modo, existirá impacto ambiental de algún proyecto productivo sobre el medioambiente cuando la situación natural del ambiente presente y la situación evolutiva normal del ambiente futuro, sean diferentes. Casi todos los procesos para la obtención de algún producto o servicios tienen impacto sobre el ambiente, el cual puede ocurrir en alguna o todas las etapas del ciclo de vida del proceso. Estos impactos pueden ser regionales, locales o globales y con variación de los niveles de significancia (Alvarado, 2014).

2.15.1 Tipos de impacto ambiental

La energía eléctrica, guarda una gran relación con los problemas medioambientales, sobre todo cuando es generada utilizando combustibles fósiles, pero también si se genera a través de centrales nucleares, hidroeléctricas, entre otras (producción de CO₂, efecto invernadero, disposición final de desechos, riesgos de manipulación y manejo de reactores, desplazamientos, impactos a ecosistemas, cambio de costumbres regionales y locales (Herranz, 2002).

2.15.2 Cambios climáticos.

La generación de energía eléctrica, causa unos efectos nocivos para la humanidad, sobre todo teniendo en cuenta que el 86% de la energía primaria utilizada, proviene del uso de combustibles sólidos, que causan grandes problemas ambientales asociados a su extracción, transporte y consumo. Las centrales termoeléctricas generan energía eléctrica a partir del empleo de combustibles fósiles o no, produciendo gases como el CO₂, que contribuye al efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero, son los que tienen la propiedad de permitir el paso de longitudes de onda cortas, como las que llegan del sol, y retienen las longitudes de onda largas, como la radiación terrestre, y si bien el CO₂ no es el más poderoso, si preocupa el hecho de que se emite en grandes cantidades.

2.15.3 Efectos por generación hidroeléctrica

Igualmente ocurren efectos nocivos a nivel local y regional con la generación hidroeléctrica, debido a los complejos ecosistemas que afecta y a la inundación de grandes áreas de tierras especialmente en llanuras.

Esta presa interrumpe el curso normal de los ríos y varía el volumen y caudal aguas abajo, cambia las características y la calidad del agua, debido al aquietamiento de estas, varía el nivel freático de la región, causa infinidad de problemas sobre la fauna y la flora regional, por la destrucción de su hábitat afectando todas las formas de vida, puede producir erosión en las orillas aguas abajo debido al cambio de nivel, se interrumpen las migraciones reproductivas de los peces.

2.15.4 Efectos por otros tipos de generación

A pesar de lo anterior, no se pueden negar los grandes beneficios para la humanidad de la energía eléctrica, por lo que se debe buscar eliminar o minimizar el grado de perjuicio del tipo de generación que debemos emplear, no solo entre los mencionados anteriormente sino tener en cuenta e incentivar la utilización de otras fuentes de generación eléctrica limpia, como la eólica, solar, mareomotriz entre otras.

2.15.5 Metodología de evaluación del impacto ambiental (Matriz de Leopold)

Un Estudio de Impacto Ambiental analiza un sistema complejo, con muchos factores distintos y con fenómenos que son muy difíciles de cuantificar. ¿Cómo fijar objetivamente el impacto que una presa tiene sobre las aves o sobre el paisaje? O ¿Cómo concretar en números el impacto de una carretera que pasa por un monumento histórico o por un ecosistema de especial interés? Para hacer estos estudios hay varios métodos (Godínez, 2016).

Como ejemplo de uno de los métodos que se emplean en estos trabajos analizamos la llamada "Matriz de Leopold" que fue el primer método utilizado para hacer estos estudios, en 1971, por el Servicio Geológico de los Estados Unidos.

Este sistema utiliza un cuadro de doble entrada (matriz). En las columnas pone las acciones humanas que pueden alterar el sistema y en las filas las características del medio que pueden ser alteradas.

En el original hay 100 acciones y 88 factores ambientales, aunque no todos se utilizan en todos los casos. La matriz fue diseñada para la evaluación de impactos asociados con casi cualquier tipo de proyecto.

Su utilidad principal es como lista de chequeo que incorpora información cualitativa sobre relaciones causa y efecto, pero también es de gran utilidad para la presentación ordenada de los resultados de la evaluación.

3 Metodología de la investigación

La metodología utilizada para el desarrollo del presente Trabajo Profesional de Graduación se basó directamente en la lógica, sus razonamientos son estructurados por jerarquías directas (premisa mayor, premisa menor y conclusión). En esta investigación se recolectaron y analizaron datos existentes sobre el tema y de diversas fuentes para poder probar si la propuesta que se ha planteado es factible y eficiente de realizar. El esquema general o marco estratégico dio unidad, coherencia, secuencia y sentido práctico a todas las fuentes de información y datos que se analizaron para dar respuesta al problema y objetivos planteados.

3.1 Definición del problema

Desde su descubrimiento hasta nuestros tiempos, la luz ha significado un elemento importante en la vida cotidiana del ser humano, es esencial en sus diversos usos, permitiendo así el desarrollo social y económico de las sociedades. La luz, particular o privada, es importante para las familias; en el ámbito empresarial es muy útil para el desempeño de las actividades industriales y de negocio y en el caso particular del alumbrado público, favorece el bienestar de los ciudadanos brindando seguridad y facilitando el tránsito de los peatones y vehículos.

Las tecnologías del alumbrado público han venido evolucionando y cada vez se han vuelto más eficientes en muchos de sus aspectos, no obstante, en países en vías de desarrollo, como lo es el caso de Guatemala, dichas tecnologías son difíciles de implementar, ya sea por voluntad política o de gestión de los gobiernos locales o porque resulta oneroso realizar una primera inversión para llevar a cabo proyectos de esta naturaleza.

Los sistemas de iluminación pública convencionales pueden resultar desfavorables si se analizan desde las perspectivas de eficiencia, economía e impacto medio ambiental. Algunas de las características desfavorables de estos sistemas son su alto consumo energético, lo cual provoca un alto costo financiero para los gobiernos locales, sin mencionar que esto podría repercutir de alguna manera en la tarifa de alumbrado público que pagan los guatemaltecos.

Particularmente, el sistema de iluminación pública instalado en el Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala es de tipo convencional, a decir de esto, el tipo de lámparas del alumbrado en el Anillo Periférico es de los que más gasto genera, situación que afecta directamente a la Municipalidad de Guatemala en el tema

económico. En ese sentido, en el mercado existen otras alternativas que ofrecen una mayor eficiencia energética, traducida en un ahorro económico, como es el caso de las luces LED, estas son más costosas en su adquisición, pero el beneficio ofrecido supone una mejor alternativa.

Los sistemas de iluminación pública convencionales han cumplido su propósito de servicio, pero hace falta evaluar los aspectos relacionados con la eficiencia energética, la viabilidad económica o bien, los aspectos relacionados con el medio ambiente. Dada la diversidad de opciones con que se cuenta hoy en día, los sistemas de iluminación LED parecen ser una mejor opción, por su potencial de ser eficientes, económicos y favorables para el medio ambiente.

Esta situación lleva a la siguiente pregunta de investigación: *¿Cómo realizar una operación más eficiente al instalar iluminarias LED en el alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala bajo criterios de viabilidad técnica, financiera y ambiental?*

3.1.1 Unidad de análisis

El alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala.

3.2 Objetivos

Los objetivos en esta investigación se enfocaron a poder contribuir al objetivo general para lo que se plantean cuatro objetivos específicos, se constituyeron como los propósitos y fines de la investigación.

3.2.1 General

Evaluar la viabilidad técnica, financiera y ambiental de instalar iluminarias LED en el alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala mediante la comparación con otras tecnologías de iluminación.

3.2.2 Específicos

1. Describir las características del mercado objetivo del sistema de iluminación pública en el Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala.
2. Analizar las características técnicas del sistema de iluminación pública actual en el Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala.
3. Analizar desde el punto de vista financiero la implementación de un sistema de iluminación LED comparado con la tecnología actual instalada en el Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala.
4. Identificar el impacto ambiental de los sistemas de iluminación pública.

3.3 Método Científico

A continuación, se describen aspectos relacionados con el método científico del Trabajo Profesional de Graduación.

3.3.1 Enfoque

El presente estudio tuvo un enfoque mixto. que consiste en utilizar técnicas cuantitativas u objetivas para estudiar fenómenos cualitativos o intangibles. En lo que respecta al Trabajo Profesional de Graduación, utilizó información medible (cifras) para profundizar en temas que, por su naturaleza, eran cualitativos (ventajas y desventajas de un sistema de iluminación). Hernández Sampieri (2014),

3.3.2 Diseño

Es una investigación sirve para “analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto en particular o para aportar evidencias respecto de los lineamientos de la investigación Por lo cual el diseño que se eligió para el Trabajo de Graduación fue el documental descriptivo. Este afecta al comportamiento de las variables de estudio en un momento específico, y no se realizará experimento alguno Hernández Sampieri (2014) (p. 128).

Se recolectaron datos sobre el alumbrado público en general y también de Guatemala específicamente. Luego se evaluaron los tipos de luminarias para determinar si efectivamente la luminaria LED tiene más ventajas y es más eficiente para el alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala.

3.3.3 Alcance

El alcance de la investigación fue descriptivo en su mayoría. Según dicho alcance consiste en exponer o mostrar las características del objeto de estudio. En el caso del Trabajo Profesional de Graduación, se quiso describir diferentes aspectos del alumbrado público del Anillo Periférico (económico, técnico, etc.) para determinar cuáles serían las ventajas y desventajas de cambiarlo por un sistema LED Hernández Sampieri (2014).

3.3.4 Métodos

En el presente estudio se utilizó el método deductivo, que consiste en partir de lo general a lo particular x. El motivo de esta elección fue que se partió de diferentes teorías y conceptos, desarrollados en el marco teórico, para comprender mejor los principios básicos de los sistemas de iluminación.

Esa teoría se intentó aplicar para analizar y poder describir el alumbrado público actual del Anillo Periférico. También fue útil para poder plantear una propuesta de cambio de sistema de iluminación por uno basado en tecnología LED. Así, de lo general (teoría), se pasó a un caso específico. Hernández Sampieri (2014),

3.3.5 Técnicas de investigación

Las técnicas de investigación son reglas y operaciones para el manejo de los instrumentos en la aplicación del método de investigación científica.

3.3.6 Técnicas de investigación documental

Se utilizó la técnica documental que se refiere a la recopilación de información utilizando fuentes previas, recolectando datos de diversas fuentes tanto nacionales como internacionales, sobre todo de manuales donde se explicaban tanto la luminaria y sus características en general, además del alumbrado público, sus parámetros y requisitos en Guatemala y sobre todo en otros países que ya aplican la luminaria LED en su alumbrado público. Para así comparar la eficiencia y beneficios que trae este tipo de lámparas. Luego poder aplicar esta información recolectada al contexto nacional y determinar si efectivamente utilizar este tipo de iluminación sería eficiente en Guatemala.

También se utilizó la técnica de campo de observación, pues se visitó personalmente el lugar que fue el sujeto de investigación para tener una evaluación más integral y con evidencia propia. Además, se utilizó la técnica de la entrevista para conseguir información más directa de instituciones de la Ciudad de Guatemala que estuvieran a cargo del alumbrado público, como la Municipalidad de Guatemala que brindó información para realizar ciertos análisis.

4 Discusión de resultados

En los resultados del trabajo se puede apreciar cómo el estudio favorecería a la calidad del alumbrado público de luz en el Anillo Periférico. De igual manera cumpliendo con los parámetros mínimos que requiere la iluminación de la ciudad, coincidiendo con basándose en la CIE y juntamente con los estudios de CNEE (2010). A continuación, se presenta el análisis de los principales resultados alcanzados Villatoro (2012).

4.1 Estudio de mercado del alumbrado público en la Ciudad de Guatemala

El presente capítulo describe las características del mercado objetivo del alumbrado público partiendo de características de tipo cualitativo y cuantitativo, especialmente sobre elementos como el consumo de energía eléctrica de los distintos usuarios del alumbrado y sobre el análisis de costos y precios de energía eléctrica.

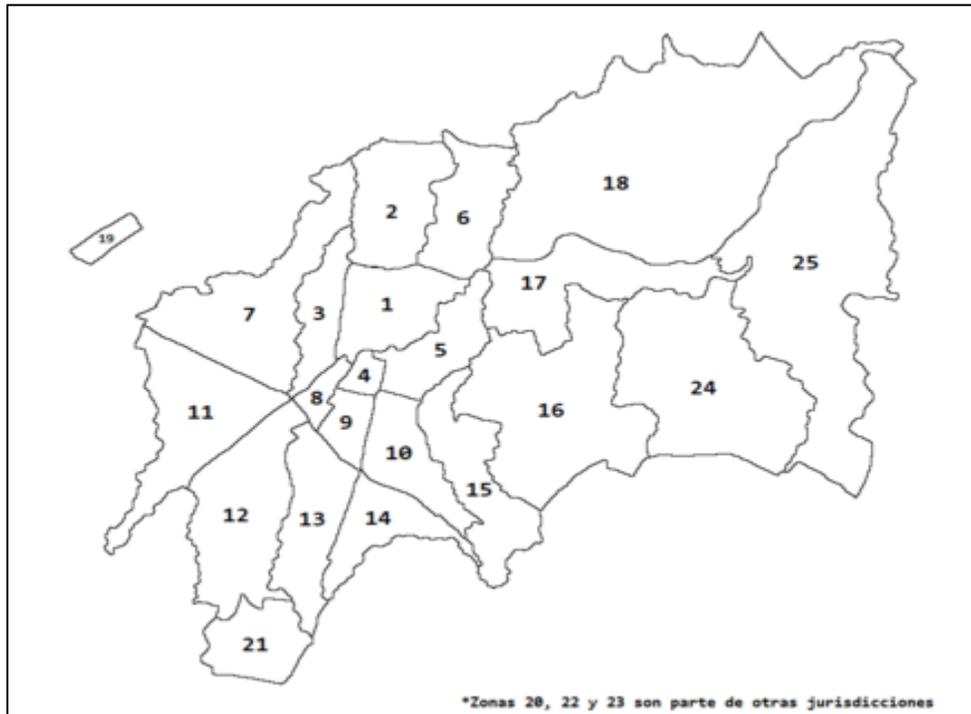
4.1.1 Usuarios del servicio del alumbrado público en la Ciudad de Guatemala

Los usuarios del servicio del alumbrado público pueden requerir o necesitar del servicio de acuerdo con su comportamiento de movilidad en el horario nocturno, regularmente cuando éstos se dirigen a sus hogares después de la jornada laboral. Dichos usuarios pueden ser segmentados en dos grandes grupos, los usuarios que transitan a pie y los usuarios que transitan en medios de transporte público o personal. En los documentos o información pública estos usuarios entran en la categoría de vecinos de la ciudad capitalina.

De acuerdo con el censo poblacional del año 2018, realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas INE, el Municipio de Guatemala contaba con una población de 1,175,737 habitantes, distribuidos en sus diferentes zonas; el 47.5% está representado por hombres y el 52.5% está representado por mujeres. De acuerdo con las proyecciones del INE, dicha población hacia el 2019 aumentó a 1,185,973.

De los 17 municipios, Guatemala es el municipio con más población, esto es normal debido a que cuenta con la ciudad más importante, económicamente hablando, en el país.

Figura 2 Mapa de la ciudad de Guatemala dividida en zonas



Fuente: Arroyo Ramírez geografía elemental de Guatemala.

El alumbrado público de la Ciudad de Guatemala, en lo que respecta a calles y avenidas principales, el servicio alcanza a cubrir en buena medida. Esto ha sido el resultado de los diferentes proyectos de mejora que se ha impulsado desde el gobierno local y que año con año, la cobertura se ha ido ampliando y cubriendo cada vez más espacios públicos. Los registros municipales de los últimos años relacionados al alumbrado público han sido más de mantenimiento que de inversión o cambios estructurales de importancia relativa.

El Anillo Periférico se caracteriza principalmente por ser una vía de circunvalación destinada al tránsito de vehículos y que rodea una parte del centro de la ciudad. Por lo tanto, el alumbrado público en dicho anillo periférico se destina más bien para la iluminación nocturna o al alba de las mañanas cuando se requiere de iluminación. En el trayecto de dicho periférico se localizan el Puente El Incienso el que se considera uno de los más antiguos, luego se encuentran los puentes gemelos ubicados a la altura la calzada Roosevelt y el de la Calzada San Juan.

4.1.2 Usuarios del servicio de alumbrado público en el Anillo Periférico

A lo largo de los años el transporte de personas en la ciudad de Guatemala del anillo periférico ha sufrido de constantes cambios. Según la historiadora, a partir del año 1932 se inicia la implementación del transporte por medio de carruajes y tranvía halados por mulas. Posterior a dicha fecha se implementan los autobuses y taxis.

La Superintendencia de Administración Tributaria SAT, señala en sus registros que en el año 1994 la cantidad de vehículos automotores terrestres registrados ascienden a 616,690 unidades y al final del año 2010 la cantidad ascendió a 2,064,035. Actualmente se estima una cantidad de 2,576,4461 (Informes estadísticos de la Superintendencia de Administración Tributaria, 2016).

La expansión urbana hacia los municipios vecinos ha dado lugar a que personas ingresen y egresen en grandes masas de vehículos diariamente, pese a ello, tanto en la capital como en las cabeceras la red vial no ha tenido cambios. Como medida para contrarrestar la saturación de vehículos, se ha implementado la restricción del transporte pesado y la reestructuración del transporte colectivo por medio del servicio colectivo denominado Transmetro y Transurbano.

Se localizan cinco principales áreas de congestionamiento, siendo estos:

- ✓ El Trébol (sitio donde se unen las zonas 12, 13, 11 y 7)
- ✓ Calle Martí / Puente Belice (Zona 6 e ingreso Norte a la ciudad).
- ✓ Calzada Aguilar Batres / Villalobos / Avenida Petapa (Zona 12 e ingreso Sur a la ciudad).
- ✓ Calzada Roosevelt / Calzada San Juan (Zonas 7 y 11 e ingreso Occidente a la ciudad).

De acuerdo con algunos estudios, la concentración de vehículos en la ciudad sobrepasa la capacidad para la cual fue diseñada. Por ejemplo, en la capital hay 850 mil automóviles y 3,500 autobuses circulando por calles y avenidas. Esto representa el 53 por ciento del total de automotores que circulan en el país. Según el departamento de Policía Municipal de Tránsito de Guatemala, las calles de la ciudad de se diseñaron para soportar de 350 a 375 mil unidades. Sin embargo, hoy

en día circulan entre 850 mil y 900 mil, y el crecimiento del parque vehicular es de un 14 por ciento anual (Informes estadísticos de la Superintendencia de Administración Tributaria, 2016).

El problema se complica aún más, pues esos 800 mil automotores solo trasladan a 23 de cada 100 capitalinos, pero ocupan el 62 por ciento del espacio de calles y avenidas, según se corrobora en el estudio Orígenes y Destinos, desarrollado en 2005 por Municipalidad capitalina.

En los registros estadísticos de la SAT, la cantidad de vehículos para el año 2014 asciende a 1,181 ,895 constituyendo el departamento que más unidades cuenta, lo que se demuestra múltiples estudios se han llevado a cabo en relación a la problemática, así como en la planificación urbana y el transporte, dentro de los cuales destaca el Estudio de Transportación Urbana MUNIGUATE.

En el cual se señalan los siguientes aspectos: a) Puntos de mayor circulación vehicular. b) Propietarios y cantidad de buses. c) Edad o antigüedad de los buses. d) Viajes personales en la ciudad de Guatemala y su área periférica. e) Contaminación del aire y f) Contaminación asociada a la calidad del aire.

En la tabla a continuación, se ilustra el número de vehículos registrados clasificados por tipo, en la cual se puede apreciar claramente el elevado número de vehículos tipo automóvil, pick-up y motocicletas.

Tabla 3 Parque vehicular, clasificado por tipo de vehículo

TIPOS DE VEHICULO	AÑO 2014
Autobuses, buses, Microbuses	101,937
Automoviles	603,801
Camiones, Cabezales, y trasporte de carga	136,392
Camionetas , camionetillas y panles.	278,918
Carretas, Carrotenos, Remolques	7,528
Furgones y plataformas	22,486
Gruas	782
Jeep	20,848
Motocicleta	870,727
Pick-up	523,158
Tractores y minitractores	996
Otros	8,873
Total	<u>2,576,446</u>

Fuente: propia con cifras de la Base de Datos del Sistema de Registro (SAT)

Aunque un bus genera más congestión vial que un automóvil, transporta generalmente a más personas. En promedio un bus transporta a 50 personas, mientras que un auto 1.5 personas, entonces cada ocupante de automóvil produce más congestión atribuible a cada pasajero de un bus. En otras palabras, la congestión se reduce si aumenta la participación de los buses en la partición modal de los viajes, sin embargo, el excesivo número de vehículos de transporte público no regulado, contribuye a agravar la problemática.

Estimando el aumento de la población urbana, la necesidad de un transporte masivo de pasajeros en la ciudad capital circula un promedio de 600,000 automotores y cada año se incrementan más.

Tabla 4 Parque Vehicular, Clasificado Por Departamento

DEPARTAMENTO	dic-05	dic-06	dic-07	dic-08	dic-09	dic-10	dic-11	dic-12	dic-13	ene-14
GUATEMALA	608.961	708.267	817.175	893.097	949.693	1.005.095	1.055.939	1.110.913	1.176.512	1.181.895
EL PROGRESO	9.710	12.113	15.083	17.754	19.875	22.016	24.344	26.498	28.496	28.680
SACATEPEQUEZ	18.205	22.075	26.435	29.966	32.244	34.609	37.302	40.304	43.546	43.793
CHIMALTENANGO	21.815	27.691	35.151	41.613	46.655	51.967	58.031	63.729	70.202	70.738
ESCUINTLA	50.464	67.886	85.563	99.265	108.840	119.885	131.079	143.336	157.340	158.263
SANTA ROSA	18.657	23.339	29.362	35.019	39.111	43.154	48.011	53.056	57.122	57.451
SOLOLA	6.332	7.833	9.726	11.077	12.104	13.325	14.615	16.025	17.606	17.747
TOTONICAPAN	13.394	15.225	17.910	20.129	21.921	23.727	25.506	27.282	28.895	29.052
QUETZALTENANGO	75.774	90.969	109.737	124.892	135.701	145.871	156.400	166.349	176.159	177.149
SUCHITEPEQUEZ	22.049	27.350	34.351	40.277	44.786	49.380	54.878	61.265	66.995	67.498
RETALHULEU	18.078	22.834	29.007	34.756	38.771	42.380	46.663	51.508	55.838	56.250
SAN MARCOS	34.617	43.599	55.646	66.585	75.957	84.480	93.329	102.017	109.271	109.871
HUEHUETENANGO	28.683	37.270	46.626	54.237	60.082	65.078	70.985	76.537	81.719	82.096
QUICHE	13.982	18.123	23.573	28.067	31.731	35.759	39.892	44.236	48.234	48.485
BAJA VERAPAZ	6.958	9.176	12.022	14.683	16.799	18.858	21.573	24.413	27.177	27.412
ALTA VERAPAZ	12.276	14.872	17.935	20.779	23.219	26.595	30.229	33.960	37.646	37.905
PETEN	15.005	21.103	28.246	35.089	40.433	45.780	52.569	61.488	70.831	71.254
IZABAL	23.804	30.349	37.581	44.177	49.329	54.962	61.025	68.048	74.983	75.372
ZACAPA	22.165	27.937	34.476	40.439	44.941	48.789	52.965	57.340	61.598	61.885
CHIQUIMULA	20.799	25.730	31.474	36.363	40.317	44.370	49.680	54.735	58.875	59.186
JALAPA	12.994	16.195	20.311	23.436	25.733	28.241	31.355	34.522	37.033	37.195
JUTIAPA	25.346	32.336	40.755	48.313	54.227	59.714	65.812	71.679	76.847	77.269
TOTAL	1.080.068	1.302.272	1.558.145	1.760.013	1.912.469	2.064.035	2.222.182	2.389.240	2.562.925	2.576.446

Fuente: Elaboración propia con cifras de la base de datos (SAT).

Derivado de lo anterior surge la necesidad de indagar en otras formas de transporte para los habitantes de la ciudad de Guatemala y de municipios aledaños.

4.1.3 Comportamiento del consumo de energía eléctrica en el Anillo Periférico"

En el ejercicio de la presente investigación, se solicitó a través de oficio y amparado con lo dispuesto en la Ley de Acceso a la Información Pública, Decreto Número 57-2008 del Congreso de la República, la información sobre el consumo de energía eléctrica del sistema de alumbrado público del Anillo Periférico, de la cual no se obtuvo información muy limitada ya que sólo fue proporcionada la información sobre el último mes a la fecha de la solicitud.

Tabla 5 Alumbrado público del anillo periférico de la ciudad de Guatemala

Tipo	Capacidad instalada	Consumo promedio mensual	Consumo promedio anual
Vapor de sodio	798 postes	Q114,101.60	Q1,369,219.20

Fuente: elaboración propia con información obtenida de la Municipalidad de Guatemala

De acuerdo con la información obtenida de la Municipalidad de Guatemala, según consta en expediente No. 728-2020 de fecha 10 de agosto de 2020, la capacidad instalada del Anillo Periférico consta de 798 postes de luminarias, la cual reflejó un consumo en energía eléctrica de Q.114,101.60 en el mes de julio 2020. Dada la información limitada, este dato se consideró como el valor promedio mensual para obtener un estimado anual, el cual asciende a Q.1,369,219.20. Se tomaron como base los valores de Q0.08 y Q0.13 por kWh precio común de la energía eléctrica, según EEGSA y Energuate.

4.2 Estudio técnico del sistema de iluminación pública del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala

Para la implementación de un sistema de alumbrado público basado en tecnología LED, se hace necesario estudiar y determinar cuáles son las características técnicas que posee el sistema de alumbrado público actual del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala, para ello se debe considerar la ubicación y extensión del lugar y de la capacidad instalada con que se cuenta actualmente.

4.2.1 Características técnicas de los sistemas de iluminación pública

Antes de enumerar las características del alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala, es importante definir algunos conceptos:

- **Poste:** Elemento cilíndrico, metálico o de concreto, colocado verticalmente para servir de soporte al alumbrado público.
- **Lámpara:** Elemento que proporciona la iluminación por fluido eléctrico en áreas públicas.
- **Luminaria:** Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica de las lámparas.

Otros elementos que también pueden relacionarse con las características del alumbrado público son las antenas de telecomunicaciones, los pararrayos, las luces de navegación, letreros luminosos o pantallas, no obstante, estas características son elementos adicionales que robustecen el servicio que provee el alumbrado público.

4.2.2 Características técnicas del sistema de iluminación pública en el Anillo Periférico

La iluminación en el Anillo Periférico se encuentra dispuesta, en casi todo su recorrido, de manera bilateral, esto debido a que dicho anillo cuenta con dos vías de tránsito, de sur a norte y de norte a sur, lo que permite utilizar el arriate central para colocar los postes del alumbrado; y en algunos sectores del trayecto pueden encontrarse dispuestos de manera unilateral.

Al 2015 el tipo de iluminación instalada se dividía en cuatro sectores: Universidad de San Carlos, la 12 avenida y 27 calle de la zona 11, Puente del CEJUSA y el punto de intersección del Puente del Incienso finalizando calle Martí. Se instalaron 24 luminarias de 250 vatios, 29 luminarias de 400 watts, 4 luminarias de 400 vatios; seis de 1000 y 35 focos de 400 vatios en cada área respectivamente. Lo cual entre todas estas instalaciones tuvo un costo total de Q274,752.23, aunque también debe considerarse más adelante los costos de mantenimiento y sobre todo la vida útil de estas luminarias que se instalaron, porque eso determina cada cuánto tiempo se deben reemplazar y volver a instalar unas nuevas.

Figura 3 Sistema bilateral del alumbrado público del anillo periférico



Fuente: elaboración propia.

Actualmente en el Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala se utilizan dos tipos principales de postes para el alumbrado público: poste de alumbrado público con antena y poste de alumbrado público con antena y pantalla en banderola. El primero, con respecto a las luminarias, posee máximo 12 y mínimo 4, además de luces de navegación/baliza. El segundo tiene máximo 6 luminarias y mínimo 2, y luces de navegación/baliza, son menos las luminarias en esta ya que también tiene una pantalla LED. Las luminarias de los postes son fabricadas con una barra circular de acero según norma ASTM A-56 9 y galvanizado según norma ASTM A-123; todas deben contar con el número apropiado de brazos de soporte para luminarias, los

cuales deben estar precableados y debidamente sellados para soportar los efectos nocivos del ambiente (polvo, agua, viento, humedad, luz ultravioleta, entre otros).

En la investigación de campo se logró constatar que el sistema de iluminación que existe en el Anillo Periférico es el de vapor de sodio de alta presión de 100W. Las características generales sobre dicho sistema son:

- Luminario con fotometría Tipo III.
- Tonalidad amarilla la cual permite una mayor penetración de luz en lugares más oscuros.
- Poseen una vida útil de hasta 24 mil horas.
- Mayor rendimiento comparado con las lámparas de mercurio.

Lo anterior permite demostrar que las autoridades municipales han aceptado la implementación de mejores tecnologías de iluminación, esto es porque los sistemas de vapor de sodio son de mejor calidad comparado con los sistemas de iluminación a base de vapor de mercurio, lo cual también resulta más contaminante.

Se ha podido constatar que se cuenta con una muy buena infraestructura en el Anillo Periférico, en lo referente a postes, tendido eléctrico, extensiones o brazos y luminarias, lo que podría dar pie a considerar una implementación de nuevas tecnologías de iluminación más económicas como las LED puesto que la inversión sería menor.

4.2.3 Los sistemas de iluminación pública convencionales

El presente estudio no pretende restar mérito a los sistemas de iluminación convencionales, como lo han sido los sistemas de vapor de mercurio o el de vapor de sodio, al contrario, dichos sistemas, los cuales se describen como convencionales, han brindado beneficios a la sociedad, puesto que han contribuido de sobre manera desde que se descubrió la energía eléctrica y desde que se inventó el bombillo. Lo cierto es que, a medida que pasa el tiempo, los avances tecnológicos han permitido descubrir nuevas formas de generar iluminación, más eficientes y sustentables cada vez.

Tabla 6 Comparativo de vida útil de los sistemas de iluminación

Tipo	Tiempo de vida promedio	Uso diario promedio	Vida útil
Vapor de mercurio	16,000 a 25,000 horas	12 horas	3.6 a 5.7 años
Vapor de sodio	16,000 a 25,000 horas	12 horas	3.6 a 5.7 años
LED	40,000 a 50,000 horas	12 horas	9.1 a 11.4 años

Fuente: elaboración propia con información de bibliografía.

El cuadro anterior muestra el tiempo de vida útil que cada sistema es capaz de rendir. Basado en los rendimientos en horas de cada sistema y haciendo una proyección de uso de 12 horas diarias en un año calendario de 365 días, se observa que los sistemas de vapor de mercurio y de vapor de sodio podrían tener una vida útil muy similar. Si bien es cierto, los sistemas de vapor de sodio suelen brindar una vida útil superior al de vapor de mercurio, al final pueden tener rendimientos similares. La única diferencia que cabe destacar entre los dos primeros sistemas es que, las luces de vapor de sodio son menos contaminantes que las de vapor de mercurio.

Ahora bien, en cuanto al rendimiento en el consumo de energía eléctrica, es interesante medir algunos indicadores.

Tabla 7 Comparativo consumo energético de los sistemas de iluminación

Tipo	Potencia	Uso	Energía total anual	Ahorro en consumo
Vapor de mercurio	175 W	12 h / 365 días	434,700 kWh	
Vapor de sodio	100 W	12 h / 365 días	248,400 kWh	42.9%
LED	60 W	12 h / 365 días	109,296 kWh	56.0%

Fuente: elaboración propia con información de bibliografía.

De acuerdo con la información del cuadro anterior, al comparar el consumo de energía de cada sistema de iluminación, los sistemas convencionales muestran un alto consumo. Por supuesto, al pasar de sistemas de vapor de mercurio a sistemas de vapor de sodio ya se observa una mejora en el rendimiento, puesto que los sistemas de vapor de sodio consumen un 42.9% menos que los sistemas de vapor de mercurio, es decir, más eficientes.

No obstante, al comparar con los sistemas LED el rendimiento mejora aún más, ya que los sistemas LED consumen 56% menos que los sistemas de vapor de sodio, es más, si se quisiera comparar el ahorro entre los sistemas LED y el de vapor de mercurio, podríamos obtener un indicador de ahorro del 74.9%, lo que resultaría ser más significativo si se estuviera pensando en cambiar de un sistema de vapor de mercurio a un sistema de luces LED.

4.2.4 Los sistemas de iluminación pública con tecnologías LED

La tecnología de iluminación LED ha dado un giro sorprendente en los últimos años, lo cual ha permitido llegar a rincones que hace poco uno no se imaginaba, un ejemplo es el alumbrado público donde por la eficiencia de las lámparas HID parecía imposible que lograran tomar este nicho de mercado, no obstante las lámparas LED para iluminación en el servicio público compiten ahora con los sistemas de alta luminosidad, pues en la actualidad pueden otorgar hasta 150Lm/W en un LED a un watt y más de 240 lúmenes a 2 watts, permitiendo que por costos y retorno de inversión sea posible utilizar esta tecnología para alumbrado público.

Lo anterior podría explicarse mejor analizando el siguiente cuadro:

Tabla 8 Comparativo consumo de energía eléctrica en quetzales

Tipo	Capacidad instalada	Consumo promedio mensual	Consumo promedio anual
Vapor de sodio	798	Q114,101.60	Q1,369,219.20
LED	798	Q50,204.70	Q602,456.45

Fuente: elaboración propia con información de la Municipalidad de Guatemala.

Los datos en el cuadro comparativo anterior están basados en la información recibida por parte de la Municipalidad de Guatemala, el cual informa sobre el consumo de energía eléctrica en el Anillo Periférico al corte del mes de julio del año 2020, el cual asciende a Q.114,101.60. Al aplicar el factor de ahorro obtenido en el cuadro anterior, el cual es del 56%, puede estimarse que el consumo promedio mensual de energía eléctrica sería de Q.50,204.70. Esto suscita un ahorro anual de aproximadamente Q.766,762.75 por año.

Tabla 9 Estimación de ahorro en sistema de iluminación LED

Tipo	Capacidad instalada	Consumo promedio mensual	Consumo promedio anual
Vapor de sodio	798	Q114,101.60	Q1,369,219.20
LED	798	Q50,204.70	Q602,456.45
Ahorro anual			Q766,762.75
Ahorro total en 10 años			Q7,667,627.52

Fuente: elaboración propia con información de la Municipalidad de Guatemala.

Al considerar que la vida útil de una lámpara tipo LED es en promedio de hasta 10 años, el ahorro que se proyecta a ese tiempo es de 7.67 millones de quetzales. Dicho ahorro serviría justamente para realizar la renovación de los equipos y todavía alcanzaría a invertir en renovación o mantenimiento de la infraestructura del alumbrado público.

Tabla 10 Estimación de inversión en sistemas de iluminación LED

Tipo	Capacidad instalada	Precio por lámpara	Total inversión
LED	798	Q1,500.00	Q1,197,000.00
Total, ahorro en consumo (10 años)			Q7,667,627.52
Total, ahorro en inversión			Q6,470,627.52

Fuente: elaboración propia con información de la Municipalidad de Guatemala.

Por supuesto, cabe mencionar que la adopción de tecnologías LED podría suponer una alta inversión puesto que los costos de comprar luces LED comparado con las luces de vapor de sodio llega a superar el 328%. Una lámpara de tipo LED eficiente puede costar en promedio Q.1,500.00 mientras que las lámparas de tipo vapor de sodio promedian un costo de Q.350.00. No obstante, la diferencia estriba radicalmente en el consumo energético.

4.2.5 Mercado proveedor de tecnologías LED"

En cuanto al mercado proveedor, en el país existen varias empresas que distribuyen dispositivos eléctricos de diferentes marcas y se dedican directamente a la venta de estos dispositivos. Adicional a estas empresas, también existen otras dedicadas a vender servicios y que para algunos casos específicos se encargan de proveer

incluso los materiales que utilizarán para el proyecto, esto dependiendo de la solicitud del cliente.

En las siguientes secciones se indicará el nombre de las empresas y los costos de las luces LED, así como las características que ofrecen.

En Guatemala existen empresas privadas que se dedican a la venta de insumos y aparatos para electrificación y entre su portafolio de productos cuentan con lámparas de alumbrado público LED, de las que se pueden enumerar: están: CELASA S.A., Antillon S.A., Electroma S.A. y Grupo Diosa Led. Estas empresas distribuyen lámparas de diferentes marcas como: LuxLite, RoHS y LighTec, así como otras marcas de reconocido prestigio. Algunas de las empresas que ofrecen servicios de instalación son Agrocentro y Servicios de Ingeniería Eléctrica.

De acuerdo con la información recolectada de las empresas mencionadas anteriormente, se construye la siguiente tabla de información de precios por lámparas:

Tabla 11 Precios en Quetzales de lámparas LED para alumbrado publico

Proveedor	60W	80W	120W	150W	200W
CELASA	Q.1,523.93		Q.2,195.76	Q.2,785.76	Q.4,200.00
Antillón		Q.2,670.00		Q.4,153.00	
Electroma		Q.2,116.84		Q.3,186.18	
Grupo Diosa	Q.4,554.38		Q.5,061.75	Q.5,133.42	

Fuente: elaboración propia con base a información obtenida de proveedores.

Antillon S.A., Electroma S.A. y Grupo Diosa ofrecen productos con similares características técnicas, las cuales incluyen diferentes potencias de lámparas como 60W,80W, 120W y 150W con un tiempo de vida de hasta 50,000 horas por cada lámpara.

Celasa cuenta con productos que tienen características distintas a las de las otras tres empresas, especialmente relacionados con la vida útil de las lámparas, las cuales oscilan entre 16,000 y 25,000 horas, lo que las hace muy parecidas a las de vapor de sodio. Únicamente la empresa Grupo Diosa ofrece cinco años de garantía de las lámparas, mientras que las otras empresas, ofrecen únicamente un año de garantía.

Algunas de las premisas comerciales de estos proveedores, respecto a los sistemas de alumbrado público con tecnología LED es que, esta tecnología puede sin ningún problema sustituir el uso y características de luminosidad de tecnologías de tipo convencional existentes en el alumbrado público del Anillo Periférico.

Los proveedores que ofrecen lámparas LED de 70W u 80W indican que puede cubrir las necesidades de iluminación de una de vapor de sodio de alta presión de 100W, mientras que una de 120W o de 150W puede cubrir las necesidades de una lámpara de vapor de sodio de hasta 250W, finalmente, una de 200W puede cubrir las necesidades de una de 400W de vapor de sodio.

Con respecto a la disponibilidad de las lámparas LED de alumbrado público, las empresas indicaron que, para proyectos muy grandes, tendrían antes que estimar los costos y el precio de venta y establecer un tiempo de respuesta en el cual podría cumplir luego de que reciban una orden de compra formal.

4.3 Estudio financiero para la implementación de tecnologías LED en el alumbrado público del Anillo Periférico

En el presente estudio, se ha podido constatar que existe un ahorro importante en el consumo de energía eléctrica, al implementar tecnologías de iluminación más eficientes, tal como lo es la tecnología LED. Este tipo de luminarias tienen varias ventajas como menor consumo de energía, mayor tiempo de vida y, entre otros aspectos, no requieren de demasiado mantenimiento mientras están instaladas, todo esto significa un menor costo de consumos, reemplazos y mantenimiento. Además, cumple con los requisitos lumínicos necesarios para el alumbrado público consumiendo menos energía eléctrica. Esto significa que se puede utilizar por la misma cantidad de tiempo por un menor consumo, cumpliendo con las horas diarias necesarias de uso y por un período de tiempo más largo debido a que tienen una vida útil más larga.

Ciertamente, las luminarias LED tienen muchas ventajas con respecto a su uso y funcionamiento en el alumbrado público, representando un menor consumo por mayor tiempo de vida útil. Si bien las luminarias de vapor de sodio que se utilizan en la actualidad cumplen con lo necesario e incluso son más eficientes que otro tipo de luminarias, como las de vapor de mercurio antes mencionadas, también es importante considerar un cambio que sea beneficioso económicamente para la ciudad en general. Pues como se pudo observar en apartados anteriores, las

luminarias LED sí representan una reducción de costos de consumo significativa en comparación de las tecnologías que se usan actualmente.

Esto se puede evidenciar por los resultados obtenidos según la información recopilada con respecto al consumo energético y cuánto representaría eso en costo, al utilizar lámparas de vapor de sodio como las que hay actualmente, estas gastan en promedio 248,400 kWh al año y esto en promedio representaría un gasto anual de Q1,369,219.20, lo que se paga actualmente por el servicio de la red de electricidad. En cambio, las lámparas LED utilizan 109,296 kWh en promedio anualmente, con la misma potencia necesaria según los ambientes que se encuentran en el anillo periférico. Al ser un consumo mucho menor al anterior, esto representa un menor costo, con aproximadamente Q602,456.45 anuales. Eso sería un ahorro de aproximadamente Q766,762.75 que es una cantidad significativa. Estos costos representan un 56% de ahorro en comparación con los gastos actuales. Entonces se ve que este sistema al estar instalado tendría un impacto financiero positivo.

Sin embargo, también es importante resaltar la etapa más importante de realizar este cambio y es la instalación de los nuevos tipos de luminarias, lo cual implica desinstalar las que se encuentran actualmente y luego colocar las nuevas. En el anillo periférico hay una capacidad instalada de 798 lámparas, entonces se debe considerar la desinstalación, la compra de las nuevas lámparas y su respectiva instalación de esta cantidad de luminarias y el costo que esto implicaría. Por lo cual, es evidente que la inversión inicial para cambiar e instalar luminarias de tipo LED es bastante alta.

Aunque, también se debe considerar que esto tendrá un retorno de inversión que provendrá del ahorro anual que representaría el tener tecnología LED, aunque sea un aproximado teórico según los costos estimados, sí es posible que a partir de este ahorro se logre recuperar lo invertido. Pues, a diferencia de la tecnología que se utilizan en la actualidad, debido al bajo consumo energético que tienen este tipo de luminarias, sería un costo menor para la institución encargada del financiamiento de la red de electricidad. Entonces, la instalación traería un ahorro y beneficio a largo plazo en el ámbito financiero con respecto a la inversión inicial realizada, porque en cuanto a consumo energético y los costos de este, se evidenciaría la reducción y el ahorro desde un principio.

Sin embargo, estos beneficios a corto plazo en cuanto al ahorro de consumo de energía no tendrían un efecto inmediato en lo financiero porque aún se debe recuperar lo que se invirtió y hasta que esa inversión se logre recuperar es cuando

el ahorro realmente tendrá un impacto más notable. Porque en cierta forma, esta inversión se vuelve una deuda, la cual debe pagarse con el proyecto en el cual se invirtió, cuando esa deuda esté pagada es cuando realmente se podrá aprovechar la ganancia obtenida. Entonces, la inversión a realizar traería beneficios a corto y largo plazo, pues desde un año ya se verían reflejados los ahorros que se realizan a diferencia de lo que se gasta actualmente, pero el retorno de la inversión se verá a largo plazo.

Como se mencionó antes, la inversión efectivamente tiene un costo alto, realizó anteriormente un cálculo que, si cada lámpara cuesta en promedio Q1,500.00 y se requiere una capacidad instalada de 798, se debería invertir Q1,197,000.00 para realizar este cambio. Sin embargo, como se acaba de evaluar, solo en un año habría un ahorro total de Q766,762.75, lo cual ya representaría un 64% de la inversión total. Esto quiere decir que, en teoría en dos años, considerando el ahorro en consumo que se daría, se lograría tener un retorno de la inversión y luego ese mismo ahorro se puede redistribuir para utilizar en otras áreas de la ciudad, ya sea en su alumbrado público o en otra necesidad que tengan.

Aunque, esto solo es una estimación en promedio de acuerdo con los datos recopilados, y en teoría se entiende esta manera el retorno de inversión, en realidad puede haber variaciones. El consumo puede ser mayor o menor en ciertos meses, es posible que las lámparas sean más costosas, que haya un menor ahorro, entre otros aspectos. Considerando los datos obtenidos y las posibles variaciones, se puede estimar que, si hay un ahorro de al menos un 50%, que el costo por consumo anual sea de Q684,609.60, con este ahorro en un período aproximado de 2 a 4 años, se cubriría la inversión realizada.

Ahora bien, también surge una pregunta interesante y muy importante de plantear: ¿estos beneficios también aplicarán a los usuarios finales del servicio del alumbrado público? Pues existe una tarifa mínima estándar que se le cobra a todos los usuarios de la red eléctrica, la cual siempre se mantiene independientemente del consumo de cada usuario. Pero si el consumo en general de la red eléctrica se redujera, lo cual sucedería si se diera este cambio en el alumbrado público, ¿también se reduciría esta tarifa fija? Hasta ahora, no se ha podido demostrar si es que las autoridades municipales, al percatarse del ahorro que obtienen en el consumo de energía eléctrica, lo transfieren hacia los vecinos a través de la reducción de la Tasa Municipal de Alumbrado Público. Esta ya sería una decisión institucional y el cambio solo se podría realizar con la autorización de la Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, y esta debería llegar a un acuerdo con la empresa que se encarga del servicio de la red eléctrica en el sector pertinente.

Se espera entonces que el presente estudio logre generar conciencia a las autoridades municipales, no sólo en la aceptación de que una mejora en el sistema del alumbrado público puede significar beneficios económicos y ambientales, son que tales beneficios sean trasladados a los ciudadanos quienes financian parte de lo que se consume en energía eléctrica en el alumbrado público. Adicional que pueda ser posible implementar estas tecnologías LED en más sectores de la ciudad capitalina, sobre todo considerando el ahorro que existiría y esto podría permitir utilizar esos recursos en más proyectos de inversión para mejorar otros aspectos de la ciudad.

4.3.1 Flujo de caja

En esta investigación el flujo de caja se utilizó para evaluar si la inversión en la implementación de un nuevo sistema de alumbrado público basado en luces LED es viable.

Como en todo análisis de flujo, se requiere establecer una tasa de descuento razonable. Para fines de la presente investigación, la tasa de descuento de referencia será la del 12%. Dicha tasa tiene una consideración sobre las tasas de descuento social que el Banco Mundial y el Banco de Desarrollo Social proponen para la evaluación de proyectos de inversión pública.

Tabla 12 Estimación de la tasa social de descuento en el mundo

Institución	Estimación
Banco Mundial	10% a 12%
Banco Interamericano de Desarrollo	10% a 12%

Fuente: elaboración propia con información obtenida de Castillo J. G. & Zhangallimbay D. *La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: una aplicación para el Ecuador*. Revista de la CEPAL N° 134 • agosto de 2021.

Tomando en cuenta que el proyecto, por su naturaleza, no genera ingresos financieros o flujos de caja positivos, se consideró la proporción del ahorro como un flujo de ingresos, esto es, un flujo positivo anual de Q.766,762.75.

Por otro lado, el proyecto, en caso de implementarse, sí generará algunos gastos, sobre todo, en la fase de implementación, por lo tanto, se ha estimado que la mano

de obra alcanzará un máximo del 10% sobre el costo total de la inversión del nuevo sistema de alumbrado público y un 30% para gastos logísticos.

Tabla 13 Estimación de gastos de implementación de luces LED

Rubro	Base de cálculo	Estimación	Total Gasto
Mano de obra	Q.1,197,000.00	10%	Q.119,700.00
Gastos logísticos		30%	Q.359,100.00

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la información proporcionada por la Municipalidad de Guatemala, el anillo periférico cuenta con un total de 798 postes para alumbrado público, se estima que la implementación del nuevo sistema de alumbrado público basado en tecnología LED, requerirá la sustitución del sistema en los 798 postes, esto implicaría una inversión de capital de Q.1,197,000.00, dicho monto, se ha incluido como una salida de flujo de caja en el año cero.

Por lo tanto, se estima que la inversión total de capital ascenderá a Q.1,675,800.00, los cuales podrán recuperarse con los ahorros que se proyectan a 10 años según el siguiente flujo de caja:

Tabla 14 Flujo De Caja Del Nuevo Alumbrado Público

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
INGRESOS											
Ahorro en consumo de energía eléctrica (56% sobre el consumo promedio estimado de Q.114,160.60)	0.00	766,762.75	766,762.75	766,762.75	766,762.75	766,762.75	766,762.75	766,762.75	766,762.75	766,762.75	766,762.75
Total Ingresos	0.00	766,762.75									
EGRESOS											
Mano de obra (10% sobre inversión)	119,700.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gastos de implementación (30% sobre inversión)	359,100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mantenimiento preventivo (5% sobre inversión)		59,850.00	59,850.00	59,850.00	59,850.00	59,850.00	59,850.00	59,850.00	59,850.00	59,850.00	59,850.00
INVERSIONES											
798 sistemas de iluminación LED Q.1,500.00 por sistema	1,197,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Egresos e Inversiones	1,675,800.00	59,850.00									
Flujo de Caja	-1,675,800.00	706,912.75	706,912.75	706,912.75	706,912.75	706,912.75	706,912.75	706,912.75	706,912.75	706,912.75	706,912.75
Flujo de Caja Acumulado	-1,675,800.00	-968,887.25	-261,974.50	444,938.25	1,151,851.00	1,858,763.75	2,565,676.50	3,272,589.25	3,979,502.00	4,686,414.75	5,393,327.50
Valor Actual (TSD = 12%)	-1,675,800.00	631,172.10	563,546.52	503,166.53	449,255.83	401,121.28	358,144.00	319,771.43	285,510.20	254,919.82	227,606.99
Flujo de Caja Acumulado a Valor Actual	-1,675,800.00	-1,044,627.90	-481,081.39	22,085.15	471,340.98	872,462.26	1,230,606.26	1,550,377.69	1,835,887.89	2,090,807.71	2,318,414.70
Valor Actual Neto (VAN)	2,318,414.70										
Tasa Interna de Retorno (TIR)	40.8%										
Período de Recuperación de la Inversión (PRI)	3.12										

Fuente: elaboración propia.

En términos financieros, la toma de decisión, sobre si implementar o no un nuevo sistema de alumbrado público en el Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala, supone comparar la rentabilidad del proyecto con relación a la rentabilidad mínima

aceptable. Para ello es necesario evaluar, mediante el análisis del VAN y la TIR si los flujos de fondo proyectados motivan una decisión de viabilidad del proyecto en cuestión.

Tabla 15 Indicadores Financieros

INDICADORES DE INVERSIÓN	
Valor Actual Neto (VAN)	Q2,318,414.70
Tasa Interna de Retorno (TIR)	40.8%
Período de Recuperación de la Inversión (PRI)	3.12

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en el cuadro anterior, al actualizar los flujos negativos y positivos, es decir, traer a valor presente la totalidad de los flujos de caja mediante la utilización de la fórmula del Valor Actual Neto, resulta en un VAN positivo. Desde el punto de vista del VAN, el proyecto es viable emprenderlo.

Por otro lado, siendo que la tasa de retorno mínima aceptada se consideró que fuese del 12%, comparado con la Tasa Interna de Retorno, se demuestra que este indicador supera las expectativas de rendimiento del proyecto, ya que este último resultó en un 40.8%, lo cual se considera como una tasa de rendimiento muy superior al esperado.

Así también, cómo se observa en el cuadro de indicadores, el período de recuperación de la inversión resultó en un 3.12 años, es decir, que los ahorros estimados, permitirán una recuperación de la inversión en tres años y dos meses aproximadamente.

4.4 Estudio de impacto ambiental de los sistemas de iluminación pública.

Desde el punto de vista energético, una instalación de alumbrado es una importante fuente de consumo de energía, que se produce en la fase de explotación y se ve afectado por factores tales como: la propia instalación, maniobra, regulación, mantenimiento, entre otros. Si bien las características técnicas de la instalación de alumbrado es un primer determinante de la eficiencia energética, la verdadera racionalización del consumo solo puede conseguirse con una gestión eficaz de la explotación.

La explotación de instalaciones de alumbrado presenta características singulares las cuales junto a la descentralización geográfica del alumbrado público dificultan la

correcta gestión. Por lo tanto, existe un elevado potencial de ahorro energético en el diseño de las políticas de gestión de la explotación de instalaciones. Porque realizar políticas que promuevan el ahorro energético en ámbitos como el alumbrado público representará un gran impacto ambiental en la ciudad en general o en los sectores en los que se aplique y se realice un cambio significativo. Una forma de que se den estos cambios es implementando tecnología LED, porque esta tiene aspectos que reducen el impacto ambiental y la contaminación lumínica.

Como se pudo observar en tablas antes presentadas, en comparación con las luminarias de vapor de sodio que se utilizan actualmente, las luminarias de tipo LED consumen un 56% menos de energía eléctrica al año, y con una potencia mucho menor, lo que es más beneficioso también para las plantas generadoras. En otras palabras, se requeriría la mitad de energía eléctrica para producir la misma cantidad de luz requerida para el alumbrado público. Esto, al también beneficiar a las plantas generadoras, tiene un impacto positivo en estas y en su funcionamiento, e incluso en el propio impacto ambiental que estas tenían. Pues si se requiere de menos energía para producir la misma cantidad de luz, las generadoras pueden reducir su propia generación de energía dirigida hacia el alumbrado público, según los horarios de mayor o menor consumo en el transcurso del día.

Es importante mencionar este ahorro en el consumo de energía eléctrica, y por ende de generación de electricidad, porque la generación de energía también está asociada a la emisión de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles para lograrlo. Pues entre más energía se consume, más se debe generar y esto se ve reflejado en mayor cantidad de combustibles fósiles utilizados para lograr generar lo necesario. En otras palabras, entre más electricidad se genere, más gases de efecto invernadero se producen. Por lo tanto, la reducción en el consumo energético a partir de la sustitución de alumbrado público que tenga un menor consumo de energía eléctrica también está asociado a una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Al respecto, el ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala emitió un balance energético en 2017, en el cual muestra el factor de Emisión (Red) por energía consumida, a Kg CO₂e/ KWh a 0.3671. En ese sentido, en promedio anual con la luminaria de mercurio de 175 W 12h/365 días se emiten 71,810.2665 Kg CO₂e/ KWh. Con la luminaria de sodio 100 W 12h/365 días se emiten 41,034.438 Kg CO₂e/ KWh anual. Y con la luminaria 60 W 12h/365 días se emiten 18,055.0713 Kg CO₂e/ KWh. Con ello se puede ver que de la luminaria de mercurio que es la más común a la luminaria LED se evitan 55,755.1952 Kg CO₂e/ KWh anuales.

El mayor efecto negativo ambiental de las instalaciones de alumbrado en el impacto ambiental se produce en la utilización inadecuada de energía y nivel de iluminación durante su vida útil. Porque varias luminarias, incluida la de vapor de sodio que se usa actualmente, tienen una potencia muy alta que no es tan necesaria para una correcta iluminación de los ambientes. Esto provoca que el consumo aumente innecesariamente y que exista mayor contaminación lumínica, porque la potencia y el consumo podrían ser más eficientes y que sean exactamente lo que se requiere según las necesidades de los espacios alumbrados. Pues las luminarias de vapor de sodio tienen una potencia de 100W mientras que las LED de 60W, y ambas logran cumplir con los niveles adecuados de iluminación, pero la tecnología LED lo hace de forma más moderada para que sea la cantidad más adecuada.

En general, las consecuencias en el impacto ambiental por las luminarias del alumbrado público más importantes son:

- a) Producción de dióxido de carbono (efecto invernadero) y otros elementos por generación de energía eléctrica que afectan el ambiente y que pueden minimizarse con un consumo eficiente, anteriormente se cifra el CO₂e evitado anualmente en un promedio de 55,755.1952 Kg CO₂e/ KWh. Además, por la fabricación y el uso de ciertas luminarias que contienen materiales tóxicos, como mercurio, que se manipulan al momento de fabricarlas, durante su uso y también al momento de desecharlas. En este sentido, las luminarias LED pueden ser beneficiosas pues estas no contienen ninguno de estos materiales.
- b) Contaminación lumínica, visible como brillo nocturno, producido por la dispersión de la luz en la atmósfera lo que impide la visión directa o astronómica de las estrellas. De nuevo la tecnología LED ayuda en este sentido porque debido a que permiten una mejor regulación de la potencia de iluminación, ayuda a tener un menor impacto en este tipo de contaminación.

Una de las características y ventajas ambientales más importantes de las luminarias LED es que producen menos calor que las bombillas tradicionales porque estas no contienen materiales contaminantes como mercurio, plomo o tungsteno, o algún otro tipo de material tóxico que se encuentran en otras lámparas. Lo cual provoca que emitan una menor cantidad de dióxido de carbono, evitando así el incremento de concentración de gases de efecto invernadero. Esto es beneficioso porque la emisión de estos gases nocivos era perjudicial tanto para el ambiente como para la salud de la población. Asimismo, están formados a partir de materiales reciclables

que permiten un método de desecho mucho más seguro y adecuado que no tenga efectos negativos en el ambiente por generar más desechos, aunque se deben llevar a un lugar especial para que puedan ser recicladas adecuadamente.

Además, como se pudo observar en tablas anteriores, las luminarias LED tienen una mayor vida útil que no requiere mucho mantenimiento, produciendo un ahorro de materias primas tanto para su fabricación como otros materiales que se requerirían para algún tipo de mantenimiento, como es el caso de otros tipos de luminarias. Esto representaría un ahorro económico y menor contaminación por el menor uso de recursos desde su producción, por no utilizar materiales que pueden ser dañinos. Su tiempo de vida, al ser más largo y con menos o casi nada de mantenimiento, las luminarias LED no requieren de material; e incluso al terminar su vida útil y desecharse, porque al no contener ningún tipo de material tóxico, estas podrían reciclarse más que otras lámparas y así evitar contaminar con la generación de más desechos.

4.5 Aplicación del método de matriz de Leopold.

Para finalizar este estudio se utilizó material visual contemplado en la técnica de investigación de la observación donde para valorar los siguientes elementos se tuvo que ir de visita para ver los factores que afecta.

Como primer paso se identificó los factores ambientales en el anillo periférico de la ciudad de Guatemala.

Tabla 16 Factores Ambientales

Factor ambiental	Factor Abiótico	Aire	Olor/ruido
		Agua	Drenajes
		Suelo	Residuos solidos
	Factor Biótico	Fauna	Roedores
	Factores Estéticos	Estético	Paisaje urbanísticos

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se identifican todas las acciones que se desarrollan en el anillo periférico de la ciudad de Guatemala, en relación de manejo de residuos sólidos que impacta uno o más de los componentes ambientales listados anteriormente.

Tabla 17 Acciones en el proceso de manejo de residuos

ACCIONES					
MANTENIMIENTO			SERVICIOS	INFLUENCIA	
Pintura y estética de instalación	Limpieza	Contenedores de basura	Servicio sanitarios	Ventas informarles	Presencia de despensa y abarrotes

Fuente: Elaboración propia

Sobre la base de asignar valores a los respectivos “puntajes”, se elaboró una matriz que determina la importancia y la jerarquización de los diferentes impactos. Mediante una fórmula se incluyeron todos los atributos, de manera de obtener un valor numérico que permite realizar comparaciones.

La calificación ambiental para cada impacto, es una expresión numérica que se determina para cada uno de ellos y es el resultado de la interacción de cada atributo.

- a) Intensidad del impacto:** Hace referencia al grado de incidencia de la acción sobre el factor considerado en una escala de 1 a 10, analizando los resultados de la siguiente manera:

Baja = 1 - 3
 Media = 4 - 6
 Alta = 7 - 9
 Muy alta = 10

- b) Extensión del impacto:** Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación al entorno de la actividad (se puede representar por el % de área del ámbito considerado en la que se manifiesta el efecto). Se presenta en una escala de 1 a 4, analizando los resultados así:

Puntual = 1
 Parcial = 2
 Extenso = 4

- c) Momento o plazo de manifestación del impacto:** Se refiere al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción el comienzo del efecto sobre el

factor del medio ambiente considerado. Se presenta en una escala de 1 a 4, analizando los resultados así:

Inmediato= 4
Corto plazo= 3
Mediano Plazo= 2
Largo Plazo= 1

d) Reversibilidad del impacto: Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado como consecuencia de la acción acometida, esto es, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez a acción deja de actuar sobre el medio. Se presenta en una escala de 1 a 4, analizando los resultados así:

Corto plazo= 1
Mediano Plazo= 2
Irreversible= 4

Teniendo ya los resultados dados a partir de la solución de la matriz de importancia se procede a la calificación de los impactos altos, medios y bajos, de acuerdo con los siguientes puntajes:

Tabla 18 Niveles de Significancia

Significación de impacto	Punteo obtenido	Color
Alta	100-51	Rojo
Media	50-33	Amarillo
Baja	32-0	Verde

Fuente : Elaboración propia.

Finalmente se realizó el análisis de resultados

Tabla 19 Matriz de Leopold de determinación de impacto

				ACCIONES						Punteo	Significación	Color
				MANTENIMIENTO			SERVICIOS	INFLUENCIA				
				Pintura y estética d	Limpieza	Contenedores de b	Servicio sanitarios	Ventas informarles	Presencia de despe			
Factor ambiental	Factor Abiotico	Aire	Olor/ruido	4	4	3	4	4	2	21	ALTO	ROJO
		Agua	Drenajes	3	1	4	2	0	0	10	BAJO	VERDE
		Suelo	Residuos solidos	3	4	2	2	3	4	18	MEDIO	AMARILLO
	Factor Biotico	Fauna	Roedores	3	2	3	4	4	3	19	MEDIO	AMARILLO
	Factores Esteticos	Estetico	Paisaje urbanisticos	2	1	2	1	2	2	10	BAJO	VERDE

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, se organizó la información y se hizo el análisis de los resultados

a) Factor abiótico Componente: Atmósfera Subcomponente:

Olor Se verificó que no existen olores fétidos producidos por la pronta descomposición de algunos residuos sólidos orgánicos. El problema se agudiza en época de invierno cuando las calles y avenidas se inundan por las corrientes de agua provocan charcos.

b) Factor abiótico Componente: Suelo Subcomponente: Residuos orgánicos

Los residuos sólidos tienen más presencia por zona 7 ya que ahí si presenta basureros clandestinos. Pero se tiene un tratamiento ya que la municipalidad todo los viernes llega a limpiar el lugar.

c) Factor abiótico Componente: Suelo Subcomponente: Residuos inorgánicos

Las bolsas plásticas encabezan el listado de productos de desecho que se generan, ya que son utilizadas en el almacenamiento de residuos, también se pueden observar botellas de vidrios y plástica, platos y vasos desechables, entre otros residuos.

d) Factor Estético Componente: Estético Subcomponente: Paisaje urbanístico

La estética del paisaje urbanístico se ve afectada con la generación de residuos sólidos que se produce, ya que la gran cantidad de basura se acumula en las calles y avenidas.

5 CONCLUSIONES

1. Las nuevas tecnologías basadas en iluminación LED, son más eficientes que las tecnologías basadas en vapor de mercurio o vapor de sodio. El ahorro energético de la tecnología LED respecto a la de vapor de sodio, representa un 56% de ahorro en consumo y comparado con la de vapor de mercurio alcanza hasta un 76% de ahorro, lo que coloca a las tecnologías LED en una mejor posición a la hora de tomar una decisión basada en rendimiento y consumo para su utilización en el alumbrado del Anillo Periférico.
2. La vida útil de las luces de tipo LED es mucho más extendida que las basadas en vapor de mercurio o vapor de sodio. Las luces de tipo LED pueden alcanzar una duración de 9 a 11 años de vida útil, con una explotación de iluminación de 12 horas diarias durante los 365 días del año, mientras que las tecnologías convencionales no alcanzan ni siquiera los seis años. Este aspecto de la vida útil es importante porque significa que, en primer lugar, durante todo ese tiempo no habrá necesidad de cambiar las luces LED y eso significa un ahorro económico, y también habrá menos consumo de energía por más tiempo de utilidad.
3. La instalación de luces LED en el alumbrado público del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala genera un impacto económico favorable en el consumo de energía eléctrica, en comparación con tecnologías de iluminación convencionales. Existiría un ahorro financiero al implementar tecnología LED en el alumbrado público del Anillo Periférico por medio de un análisis comparativo donde se determinó que habría un ahorro del 56% comparado con la tecnología actual de vapor de sodio, este 56% equivale a Q. 766,762.75 de ahorro anual. Y considerando que la vida útil de una lámpara LED es en promedio de hasta 10 años y las de vapor de mercurio o sodio que tiene un promedio de 5 años de vida útil, el ahorro proyectado durante ese período es de 7.67 millones de quetzales que podrían utilizarse para las renovaciones de los equipos y para el mantenimiento de la infraestructura del alumbrado público.
4. Existen ventajas muy beneficiosas sobre la instalación de tecnología LED en el alumbrado público del Anillo Periférico, aunque es cierto que la inversión inicial de realizar este cambio de tecnologías, considerando los costos de comprar luces LED, que son más caras (lámparas tipo LED = Q.1500.00 en promedio y las de vapor de sodio = Q.350.00), sin embargo, sería una inversión que traería beneficios a largo plazo.

6 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Municipalidad de Guatemala evaluar la instalación de luces basadas en tecnologías LED ya que a través del presente estudio se ha mostrado la eficiencia de estas en comparación a las utilizadas actualmente a base de vapor de sodio. Las luces LED, en efecto, generan un impacto económico favorable en el consumo de energía eléctrica, con lo cual se incrementa un margen de ahorro en su utilización y consumo de energía.
2. Se recomienda en particular a la Municipalidad de Guatemala, quien tiene la jurisdicción del Anillo Periférico, tomar en cuenta la gran necesidad que existe de optimizar los recursos públicos y realizar una mejora en los sistemas de alumbrado público puede beneficiar tanto al erario municipal como a los usuarios, en ahorro de consumo de energía eléctrica a corto, mediano y largo plazo, mejor alumbrado público, menos contaminación ambiental.
3. Se recomienda al Congreso de la República que ayude a regular el establecimiento y cobro de las tarifas municipales por concepto de alumbrado público. En la actualidad, los consejos municipales son los encargados de fijar dicha tasa, pero no existe una medida para evitar un cobro excesivo para la población. Entonces, si se pudiese crear o modificar una ley, sin que se entre en conflicto con la Constitución o la autonomía de los consejos municipales, sería de beneficio para la población, no solo por un cobro directo, sino que se vería mejor reflejado en su bolsillo el ahorro de la iluminación LED.
4. Se recomienda a las municipalidades en general que creen programas o proyectos que ayuden a fomentar el uso de luces LED en la población en general. Como se ha demostrado en el Trabajo Profesional de Graduación, esta tecnología puede representar un ahorro económico, mayor eficiencia energética y menos contaminación ambiental. Por ende, los ciudadanos pueden beneficiarse y ayudar al planeta si pueden costearse estas luces para sus hogares.
5. Se recomienda a las distribuidoras de energía eléctrica de Guatemala que apoyen el uso de la tecnología LED no solo en el alumbrado público, sino también en cada hogar u oficina del país. Esto pueden hacerlo mediante información que indique los beneficios de este tipo de luces, además de que dentro de dichas entidades se empiece a optar por un cambio paulatino en los tipos de lámparas con las que se trabaja.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (EBSA), E. d. (2010). *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público "RETILAP"*.
- Acuña, P. (2011). *Impacto del Alumbrado Público con LEDs en la Red de Distribución*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Asesores, I. (2020). *Luminotecnia: la importancia de una adecuada iluminación. Ingenieros Asesores*.
- Besley, S., & Brigham, E. (2009). *Fundamentos de administración financiera* (14a. ed.). México: Cengage Learning.
- Betancourt, D. (2016). *Cómo usar la suavización exponencial simple para pronosticar la demanda. Ingenio Empresa*.
- Castillo, J. G., & Zhangallimbay, D. (2021). *La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: una aplicación en Ecuador. Revista de la CEPAL*(134), 22.
- Chantera, P., & Tobar, D. (2013). *Estudio de Lámparas LED para alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con control automático on/off*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- CNEE y FIDE. (2010). *Ahorro y eficiencia energética en iluminación*. Guatemala.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2013). *Alumbrado Público de Guatemala, alternativas para el ahorro y la eficiencia energética*. Guatemala.
- Congreso de la República de Guatemala. (13 de Noviembre de 1996). *Ley de Electricidad. Decreto No. 93-96* . Guatemala.
- Congreso de la República de Guatemala. (26 de Diciembre de 2000). *La Ley de la Tarifa Social para el Suministro de Energía Eléctrica. Decreto 96-2000*. Guatemala.
- Congreso de la República de Guatemala. (5 de Marzo de 2012). *Reforma a la Ley de Impuesto sobre la Renta. Decreto 10-2012*. Guatemala.
- De León, J. (2016). *Uso de nuevas tecnologías de alta eficiencia y menor costo, como alternativa de cambio al uso de lámparas de vapor de mercurio en el alumbrado público*. Quetzaltenango: Universidad de San Carlos.

- Flores, L. (2014). Aproximación por Mínimos Cuadrados. *Tecnohobby*.
- Freire, M., & Gordillo, M. (2013). *Alternativas de iluminación para el parque El Paraíso de la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Guatemala, B. d. (5 de 5 de 2017). *Tasa de inflación intermensual recuperado*.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill Education.
- Hernández, K. (2017). *Estudio sobre la factibilidad de la instalación de luces LED en el alumbrado público del municipio de San Miguel Dueñas, del departamento de Sacatepéquez como alternativa de eficiencia energética*. Guatemala: Universidad de San Carlos.
- Iluminación, C. E. (2018). *Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología led de alumbrado exterior*. Madrid: MIC.
- Instituto Nacional de Estadística Guatemala. (2019). *Principales Resultados Censo 2018*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística Guatemala.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación*. Madrid: IDAE.
- Lara, E., Mondragón, J., & Bautista, D. (2009). *Estudio y análisis de ingeniería en alumbrado público con luminarios de LED en la periferia del Reclusorio Norte*. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional.
- Lojano, L., & Orellana, F. (2014). *Mejoramiento del Sistema del Alumbrado Público de una Arteria de Circulación Vehicular de la Ciudad de Cuenca, mediante la sustitución por tecnología LED*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Meza, J. (2017). *Evaluación financiera de proyectos*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Ministerio de Desarrollo Social. (2014). *Metodología para la formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de reemplazo de alumbrado público en la vía pública*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
- Municipalidad de Guatemala. (2010). *Especificaciones Técnicas del poste de alumbrado público con antenas para el servicio de telecomunicaciones, y su instalación*. Guatemala: Dirección de Control Territorial.

- Poveda, M. (2007). *Eficiencia Energética, recurso no Aprovechado. Propuesta para avanzar de las palabras a la acción*. Quito: Organización Latinoamericana de Energía.
- Rodríguez, C. (2016). *Escaparatismo en el pequeño comercio*. Madrid: Editorial CEP.
- Sapag, N. (2011). *Proyectos de inversión, formulación y evaluación*. Chile: Pearson Educación.
- Sarmiento, M., Cardona, G., Sánchez, R., & García, J. (2018). *Elementos de Economía, apuntes de clase*. Santiago del Estero: Universidad Nacional Santiago del Estero.
- Saucedo, L., & Bosques, J. (s.f.). *Electricidad básica*. Ternium.
- Secue, J., Páez, O., Fonseca, J., & Muela, E. (2018). *Análisis de tecnologías y normatividad de iluminación eficiente en alumbrado público*. Organización Latinoamericana de Energía.
- Strack, J. (2013). *Lámparas bajo consumo: análisis armónico en los sistemas eléctricos de potencia*.
- Tutoriales, G. (2013). Método de Descomposición aplicado para un Pronóstico de Demanda. *Gestión de Operaciones*.
- Vásquez, J. (2017). *Amortizaciones, depreciaciones y provisiones*. Santiago de Chile: INCAP.
- Villatoro, D. (2012). *Estudio de eficiencia energética en el sistema de alumbrado público del poblado de Playa Grande Ixcán, Quiché, implementando tecnologías de ahorro y calidad de iluminación*. Guatemala: Universidad de San Carlos.

8 EGRAFIAS

Gil, R., Ianelli, L., & Gil, S. (2015). Ahorro de 1,5 GW en los picos de consumo eléctrico- Iluminación LED.

Guatemala, B. d. (s.f.). Obtenido de <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/sr/sr005>.

Iluminet. (26 de Agosto de 2008). ¿Aditivos metálicos o vapor de sodio en alta presión para el alumbrado público en México? Obtenido de Revista de Iluminación: <https://www.iluminet.com/aditivos-metalicos-o-vapor-de-sodio-en-alta-presion-para-el-alumbrado-publico-en-mexico/>

Instituto Nacional de Electrificación. (22 de Mayo de 2019). ¿Cómo se aplica el aporte a la tarifa social? Obtenido de INDE: <http://www.inde.gob.gt/blogs/como-se-aplica-el-aporte-a-la-tarifa-social/>

Mockey, I., & Manzano, E. (2013). Tendencias en la consideración de la depreciación luminosa de las lámparas empleadas en alumbrado viario. *Energética* [online], 34(1), 21-32. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012013000100003&lng=es&nrm=iso

Ordoñez, B. (s.f.). Origen y desarrollo del Anillo Periférico de la Ciudad de Guatemala 1949-2018. Obtenido de Centro de Estudios Urbanos y Regionales de la Usac: <http://ceur.usac.edu.gt/publicaciones/2015/genesis-y-desarrollo-del-anillo-periferico-en-la-ciudad-de-guatemala.html>

Real Academia Española. (s.f.). Eficiencia. Obtenido de Diccionario de la lengua española: <https://dle.rae.es/eficiencia?m=form>

San Martín, R., Manzano, E., & Albert, V. (1998). Gestión y explotación eficiente. 2s Jornades Tècniques sobre energia Barcelona 19, (págs. 919-925). Obtenido de

<https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/790/792/795/796/4667.pdf>

9 ANEXOS

ANEXO 1- Resolución de expediente de la municipalidad de Guatemala expediente número 728-20202

 **Muni Guate**

Unidad de Alumbrado Público
21 calle 6-77 zona 1, Palacio Municipal - centro cívico, cuarta nivel
T. 1553 - Teléfono: 2285 8018

No. de expediente: 728-2020
Solicitante: Marco Tulio Velásquez Osorio
Fecha: 10 de agosto 2020

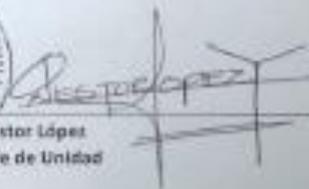
I. En respuesta a la solicitud: El requerente solicita: Cantidad de postes luces cableado; Cantidad de consumo del alumbrado público del Periférico; Costos del sistema de luces del LED que se han implementado en el Periférico.

II. La Unidad de Alumbrado Público de la Municipalidad de Guatemala, expone:

1. Según el recuento de activos efectuado la Municipalidad de Guatemala posee setecientos (798) postes con luminarias de alumbrado público y consecuentemente es el mismo número de vanos de cableado, todo esto en el área del Anillo Periférico.
2. El consumo de alumbrado público en el Anillo Periférico es de: Q.114,101.16
3. Los costos del sistema LED en el Anillo Periférico son cero, porque no se ha implementado iluminación pública municipal con tecnología LED; las únicas luminarias de tecnología LED se encuentran instaladas en el puente El Incenso y responde a una prueba realizada por la entidad privada TRELEC, perteneciente a Grupo EMP, por lo que los costos son privados.

Atentamente,

Jose Monterroso
Enlace



Nestor López
Jefe de Unidad

CUENTA CONMIGO #JuntosLogramosMás

municipalidaddeguatemala.com.gt



**Muni
Guate**

Unidad de Alumbrado Público
23 calle 5-77 zona 1, Palacio Municipal – centro cívico, cuarta nivel
T. 1551 - Teléfono: 2285 0028

Ref. No. de Expediente: 728-2020

Para: Daniel Oswaldo Gálvez García
Unidad de Información

De: Nestor López
Unidad de Alumbrado Público,

Fecha: Guatemala, 10 de agosto del 2020

Asunto: Envío de respuesta a expediente No. 728-2020

Adjunto información de respuesta a solicitud recibida, de acuerdo al número de expediente 728-2020, el cual contiene la solicitud presentada por Marco Talio Velásquez Osorio, de fecha veintiocho (28) de julio del año dos mil veinte (2020).

Atentamente,



Jose Monterroso
Enlace

10 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clases de iluminación según características viales	19
Tabla 2	Requisitos fotométricos según tipos de vías	20
Tabla 3	Parque vehicular, clasificado por tipo de vehículo	39
Tabla 4	Parque Vehicular, Clasificado Por Departamento	40
Tabla 5	Alumbrado público del anillo periférico de la ciudad de Guatemala..	41
Tabla 6	Comparativo de vida útil de los sistemas de iluminación	45
Tabla 7	Comparativo consumo energético de los sistemas de iluminación..	45
Tabla 8	Comparativo consumo de energía eléctrica en quetzales	46
Tabla 9	Estimación de ahorro en sistema de iluminación LED	47
Tabla 10	Estimación de inversión en sistemas de iluminación LED	47
Tabla 11	Precios en Quetzales de lámparas LED para alumbrado publico ...	48
Tabla 12	Estimación de la tasa social de descuento en el mundo	52
Tabla 13	Estimación de gastos de implementación de luces LED	53
Tabla 14	Flujo De Caja Del Nuevo Alumbrado Público	53
Tabla 15	Indicadores Financieros	54
Tabla 16	Factores Ambientales	57
Tabla 17	Acciones en el proceso de manejo de residuos	57
Tabla 18	Niveles de Significancia	59
Tabla 19	Matriz de Leopold de determinación de impacto	60

11 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comparación de curvas de flujo luminoso	24
Figura 2 Mapa de la ciudad de Guatemala dividida en zonas	37
Figura 3 Sistema bilateral del alumbrado público del anillo periférico	43