



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Energía y Ambiente

**SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DEL PARQUE DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO
PÚBLICO PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL USO DE LA ENERGÍA EN EL ÁREA URBANA
DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA**

Arq. Glenda Virginia Guerrero Milián

Asesorado por el Mtro. Benedicto Estuardo Martínez

Guatemala, agosto de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DEL PARQUE DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO
PÚBLICO PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL USO DE LA ENERGÍA EN EL ÁREA URBANA
DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ARQ. GLENDA VIRGINIA GUERRERO MILIÁN
ASESORADO POR EL MTRO. BENEDICTO ESTUARDO MARTÍNEZ
GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRA EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, AGOSTO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. Benedicto Estuardo Martínez Guerra
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DEL PARQUE DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO
PÚBLICO PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL USO DE LA ENERGÍA EN EL ÁREA URBANA
DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 26 de julio de 2021.

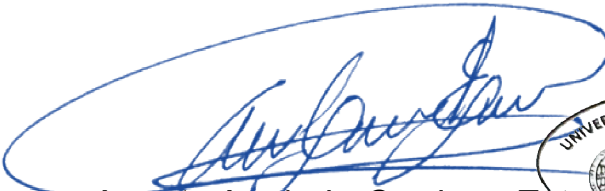
Arq. Glenda Virginia Guerrero Milián

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.564.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DEL PARQUE DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL USO DE LA ENERGÍA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA**, presentado por: **Glenda Virginia Guerrero Milián**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Ariabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, agosto de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, 09 de febrero 2022

Profesional

Glenda Virginia Guerrero Milián

Carné: 200615625

Maestría en Energía y Ambiente

Distinguida Profesional Guerrero Milián:

De manera atenta hago constar que de acuerdo con la aprobación del coordinador de maestría y docente-revisor doy el aval a su **Informe Final y Artículo Científico** titulado: **"SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DEL PARQUE DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA"** para que pueda continuar con su proceso de graduación.

Con base en la evaluación realizada hago constar la originalidad, calidad, coherencia según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobados por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Cumpliendo tanto en su estructura como en su contenido, por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


M.A Edgar Darío Álvarez Cotí
Director



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 24 de noviembre 2021

Como coordinador de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DEL PARQUE DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA”** presentado por la Arquitecta Glenda Virginia Guerrero Milián, quien se identifica con carné 200615625.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, octubre de 2021.

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Director

Escuela de Estudios de Postgrado

Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DEL PARQUE DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL USO DE LA ENERGÍA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA"** de la estudiante **GLENDA VIRGINIA GUERRERO MILIAN** del programa de Maestría en **Energía y Ambiente**, identificada con número de carné: **200615625**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Ing. Benedicto Estuardo Martínez
Maestro en Energía y Ambiente
Col. 4157

M.A. Ing. Estuardo Benedicto Martínez

Colegiado No. 4157

Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Adolfo Guerrero y Virginia Milián, quienes me han apoyado a lo largo de mi vida, me enseñaron que con esfuerzo, disciplina y dedicación se logran las metas.

Mi esposo

Allan Buechsel, con todo mi amor para mi compañero de vida y cómplice de aventuras.

Mi familia

Por su cariño.

Mis amigos

Por acompañarme en el camino de la vida.

AGRADECIMIENTO A:

Dios	Por sus bendiciones, por proveerme fortaleza y esperanza.
Mis padres	Gracias por darme su amor y apoyo incondicional, por llenarme de fuerza en los momentos más difíciles, por ser el equilibrio en mi vida. Mis logros se los debo a ustedes.
Mi esposo	Gracias, amor por motivarme para alcanzar mis metas, gracias por su apoyo para realizar el presente trabajo de graduación.
Mi familia	Como muestra de mi afecto y agradecimiento por su cariño.
Ing. Estuardo Martínez	Por compartir sus conocimientos en la elaboración de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XV
OBJETIVOS	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXIII

1.	MARCO REFERENCIAL	1
2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.	Información general del municipio de Santa Cruz Verapaz	5
2.2.	Ubicación del municipio de Santa Cruz Verapaz	6
2.3.	Delimitación del área de estudio	7
2.4.	Categorías de uso del territorio	7
2.5.	Energía	10
2.6.	Energía eléctrica	10
2.7.	Sistema de gestión energética.....	11
2.7.1.	Eficiencia energética.....	13
2.7.2.	Optimización en el uso de la energía.....	13
2.7.2.1.	Eficiencia energética de una instalación de alumbrado público	14
2.8.	Servicio de alumbrado público	16
2.9.	Sistema de alumbrado público.....	17

2.9.1.	Luminaria.....	17
2.9.2.	Balasto	17
2.9.3.	Arrancador.....	18
2.9.4.	Fusible.....	18
2.9.5.	Fotocelda.....	18
2.9.6.	Bombilla o lámpara.....	18
2.9.6.1.	Lámparas de vapor de mercurio de alta presión	19
2.9.6.2.	Lámparas de vapor de sodio de alta presión	19
2.9.6.3.	Lámparas led	20
2.10.	Parámetros lumínicos.....	21
2.10.1.	Intensidad luminosa.....	21
2.10.2.	Flujo luminoso	21
2.10.3.	Luminancia	21
2.10.4.	Factor de uniformidad general de la luminancia (Uo)	22
2.10.5.	Rendimiento de una luminaria.....	22
2.10.6.	Iluminancia	22
2.10.7.	Eficacia luminosa de una lámpara.....	23
2.11.	Instalaciones de alumbrado vial ambiental.....	23
2.12.	Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado.....	24
2.13.	Calificación energética de las instalaciones de alumbrado	27
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	29
3.1.	Tecnología y capacidad instalada	29
3.1.1.	Análisis lumínico del parque de lámparas	30
3.1.1.1.	Número de puntos de luz	32

3.1.1.2.	Superficie por punto de luz	32
3.1.1.3.	Valores luminotécnicos de campo	33
3.1.2.	Análisis del consumo eléctrico de la instalación	34
3.1.2.1.	Análisis del consumo eléctrico por metro cuadrado	34
3.1.2.2.	Cálculo del consumo eléctrico mensual.....	35
3.1.3.	Cálculo de la potencia instalada y costo del alumbrado público.....	36
3.2.	Propuesta para mejorar la eficiencia energética del parque de lámparas de alumbrado público	37
3.2.1.	Línea base	37
3.2.2.	Indicadores de desempeño energético	37
3.2.3.	Identificación de oportunidades para mejorar el desempeño energético	38
3.2.4.	Plan de acción del sistema de gestión energética ...	38
3.2.4.1.	Análisis de clasificación de las vías....	39
3.2.4.2.	Propuesta de mejora del parque de lámparas.....	41
3.2.4.3.	Estudio lumínico	42
3.2.4.4.	Análisis energético de la propuesta....	48
3.3.	Procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados del sistema de gestión energética	49
3.3.1.	Mantenimiento de las luminarias y equipos auxiliares.....	50
3.3.2.	Registro de mediciones y elaboración de reportes ..	52
3.3.3.	Revisión de avances del plan	52
3.3.4.	Revisión de los consumos de energía, variables y registro histórico del consumo eléctrico.	53

3.4.	Sistema de gestión energética	53
3.4.1.	Actividades previas.....	54
3.4.1.1.	Política energética.....	55
3.4.1.2.	Organigrama del sistema de gestión energética	57
3.4.2.	Planificación energética.....	58
3.4.3.	Operación del sistema de gestión energética.....	59
3.4.4.	Verificación del sistema de gestión energética.....	59
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
4.1.	Análisis interno	61
4.1.1.	Análisis de la propuesta para calles de clasificación S1	63
4.1.2.	Análisis de la propuesta para calles de clasificación S2	66
4.1.3.	Eficiencia energética de la propuesta.....	68
4.1.4.	Análisis económico de la propuesta	70
4.2.	Análisis externo	73
	CONCLUSIONES.....	75
	RECOMENDACIONES	77
	REFERENCIAS	79
	APÉNDICES	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz	6
2.	Delimitación del área urbana del municipio	7
3.	Categoría del suelo de uso urbano, Santa Cruz Verapaz	8
4.	Aplicación de un sistema de gestión de energía	12
5.	Composición del parque de alumbrado público	30
6.	Ubicación de las calles del área urbana del municipio	31
7.	Clasificación de vías del área urbana del municipio	40
8.	Propuesta 1. Configuración de calle S1	43
9.	Propuesta 2. Configuración de calle S1	44
10.	Propuesta 1. Configuración de calle S2	46
11.	Propuesta 2. Configuración de calle S2	47
12.	Modelo de política energética	57
13.	Organigrama del sistema de gestión energética	58
14.	Camino peatonal 1, iluminancia horizontal S1	64
15.	Camino peatonal 2, iluminancia horizontal S1	64
16.	Calzada, iluminancia horizontal S1	65
17.	Camino peatonal 1, iluminancia horizontal S2	66
18.	Camino peatonal 2, iluminancia horizontal S2	67
19.	Calzada, iluminancia horizontal S2	67

TABLAS

I.	Operacionalización de variables	XX
II.	Categoría y subcategorías del suelo urbano de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz	9
III.	Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial ambiental	24
IV.	Valores de eficiencia energética de referencia	25
V.	Clases de alumbrado para vías tipo A	25
VI.	Clases de alumbrado para vías tipo B	26
VII.	Clases de alumbrado para vías tipos C y D	26
VIII.	Clases de alumbrado para vías tipo E	27
IX.	Valores de eficiencia energética de referencia	28
X.	Categorización de las calles del área urbana	32
XI.	Cálculo de la superficie cubierta por punto de luz.....	32
XII.	Valores luminotécnicos en calles del área urbana	33
XIII.	Cálculo del consumo eléctrico por metro cuadrado	34
XIV.	Cálculo del consumo eléctrico mensual del parque de lámparas del área urbana	35
XV.	Cálculo de la potencia instalada y costo mensual del alumbrado público.....	36
XVI.	Clasificación de vías y clase de alumbrado	39
XVII.	Nivel de iluminación de las vías	41
XVIII.	Propuesta 1. Calle S1	43
XIX.	Propuesta 2. Calle S1	45
XX.	Propuesta 1. Calle S2	46
XXI.	Propuesta 2. Calle S2	47
XXII.	Resultados para indicadores de eficiencia energética calle S1	48
XXIII.	Resultados para indicadores de eficiencia energética calle S2	48

XXIV.	Actividades para realizar control, seguimiento y medición de resultados del sistema de gestión energética	50
XXV.	Proceso de planificación energética.....	58
XXVI.	Análisis comparativo del nivel de iluminación de las vías	62
XXVII.	Eficiencia energética de la propuesta.....	69
XXVIII.	Análisis del consumo energético de la propuesta	70
XXIX.	Inversión inicial de la propuesta	71
XXX.	Análisis comparativo del costo por consumo eléctrico anual	71
XXXI.	Análisis comparativo del gasto anual por concepto de consumo eléctrico y mantenimiento.....	72
XXXII.	Análisis comparativo del consumo eléctrico mensual y ahorro económico anual	72
XXXIII.	Proyección anual y ahorro acumulado	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AP	Alumbrado público
cd/m ²	Candela entre metro cuadrado
U _o	Coeficiente de uniformidad global de iluminancia
U _i	Coeficiente de uniformidad longitudinal
E	Eficiencia energética
ε _R	Eficiencia energética de referencia
pf	Factor de potencia
E _m	Iluminancia media horizontal
E _{min}	Iluminancia mínima horizontal
TI	Incremento de umbral en deslumbramiento
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
Lm	Lumen
Lm/W	Lumen por vatio
L	Luminancia expresada en cd/m ²
L _m	Luminancia media de la superficie expresada en cd/m ²
Lx	Lux
%	Porcentaje
P	Potencia
SGE	Sistema de gestión de energía
W	Vatio
v	Voltio

GLOSARIO

Alumbrado público	Es un servicio público que consiste en proveer iluminación en los espacios públicos como vías, parques y demás espacios de libre circulación de forma que garantice la visibilidad adecuada para peatones y vehículos.
Balasto	Equipo que sirve para mantener estable y limitar un flujo de corriente para lámparas.
Coeficiente de uniformidad	Relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio sobre la superficie de una calzada.
Energía	Es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Su unidad de medida es el Joule.
Eficacia luminosa	Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar.
Eficiencia energética	Razón u otra relación cuantitativa entre un resultado de desempeño, servicio bien o energía y una entrada de energía.

Energía eléctrica	Es la energía que se origina al momento en el que dos puntos tienen una diferencia de potencial y se conectan a través de un conductor eléctrico.
Flujo luminoso	Medida de la potencia luminosa percibida.
Iluminancia	Cociente entre el flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto y el área de ese elemento.
Iluminancia media	Valor medio de la iluminancia horizontal en la superficie considerada, se expresa en lux.
Intensidad luminosa	Flujo luminoso por unidad de ángulo sólido.
Led	<i>Light emitting diode</i> (diodo emisor de luz)
Luminancia	Intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma superficie en la dirección del ojo del observador.

RESUMEN

El propósito de la investigación fue definir un sistema de gestión energética para el parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, con la finalidad de optimizar el uso de la energía y mejorar los parámetros mínimos de iluminación de las vías y la eficiencia energética del sistema.

El objetivo del presente estudio fue en primera instancia, determinar el consumo, capacidad instalada y valores luminotécnicos de campo del sistema, para posteriormente plantear un diseño para mejorar los parámetros mínimos de iluminación de las vías y la eficiencia energética del parque de lámparas.

La primera etapa del estudio comprende un diseño de investigación diagnóstica, en el cual se evaluó el funcionamiento y servicio del parque de lámparas de alumbrado público, posteriormente se trabajó un diseño de investigación cuasiexperimental, en donde se buscó la optimización del uso de la energía por medio del planteamiento de un sistema eficiente de iluminación.

La investigación tiene un enfoque mixto, con variables cualitativas y cuantitativas; el análisis de datos se efectuó con el software DIALux, se realizó un diseño cuasiexperimental, en donde se cuantificaron y describieron correlaciones entre variables, lo que permitió realizar predicciones a propuestas de mejora al parque de lámparas de alumbrado público.

En el análisis de resultados se determinó que el parque de lámparas de alumbrado público no brinda un servicio de iluminación de calidad debido a que

los valores de iluminancia mínima y media están por debajo de los valores nominales requeridos, y para mejorarlos es necesario implementar un sistema de gestión de energía.

El diseño de sistema de gestión energética planteado para el parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, obtuvo alta eficiencia del sistema, se toma como referencia la iluminancia media de cada clasificación de calle. Con la implementación de la propuesta el costo del consumo eléctrico y del mantenimiento anual tendrá un ahorro económico anual aproximado de Q 474,992 (ver tabla XXXI).

Se sugiere a la Municipalidad de Santa Cruz Verapaz adoptar el estudio propuesto, ya que obtendrían valores altos de eficiencia energética y calidad lumínica, así mismo, reducirían en un 59 % el consumo eléctrico respecto al sistema existente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Descripción general del problema

El área urbana de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz cuenta con un parque de lámparas de alumbrado público de 695 luminarias instaladas, la tecnología en un alto porcentaje es de baja eficiencia energética, compuesta principalmente por lámparas de vapor de mercurio y lámparas fluorescentes (Municipalidad de Santa Cruz Verapaz, 2021), lo que hace que el sistema sea ineficiente y genera alto consumo de energía; además, el servicio de mantenimiento es muy alto por la antigüedad del sistema. El parque de lámparas no cuenta con un diseño de iluminación vial que permita proporcionar al transeúnte de los parámetros de iluminación adecuados para cada tipo de calle, de acuerdo con su morfología y a las condiciones de tráfico que posee cada calle.

- Definición del problema

La municipalidad, al no contar con un plan integral que concatene la tecnología apropiada con los mecanismos administrativos pertinentes para monitorear los consumos, la calidad de la iluminación y la eficiencia del sistema de alumbrado público gasta mensualmente un costo elevado en la factura eléctrica por concepto de alumbrado público y brinda un servicio que no cumple con los estándares internacionales mínimos de iluminación.

Se determina que el problema a resolver es el alto consumo de energía eléctrica, la falta de un diseño de iluminación vial adecuado a cada tipo de vía

existente y la poca eficiencia del sistema de la red de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz

- Pregunta central de investigación

¿Cómo puede definirse un sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público para la optimización en el uso de la energía en el área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, ¿Guatemala?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es el nivel de conocimiento del uso, consumo y desempeño energético del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala?
- ¿Como elaborar el diseño de un sistema que permita mejorar los parámetros mínimos de iluminación de las vías y la eficiencia energética del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz, Guatemala?
- ¿Qué procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados pueden utilizarse para el sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz, Guatemala?

OBJETIVOS

General

Definir un sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público para la optimización en el uso de la energía en el área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.

Específicos

1. Determinar el consumo, la capacidad instalada, los valores luminotécnicos de campo y el desempeño energético del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.
2. Diseñar un plan de gestión de la energía que permita mejorar los parámetros de iluminación de las vías y la eficiencia energética del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz.
3. Establecer procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados para el sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Para la investigación se utilizó un enfoque mixto, con enfoque cuantitativo ya que se analizó datos numéricos de valores luminotécnicos, número de puntos de luz y superficie por punto de luz, también se tuvo un enfoque cualitativo porque se realizaron observaciones en campo y entrevistas.

- Tipo de investigación

En la primera fase del estudio se realiza un diseño descriptivo, en donde se analiza y presenta el estado del parque de lámparas de alumbrado público, en la siguiente fase del estudio se realiza un diseño cuasiexperimental, para cuyo desarrollo se requirió examinar el comportamiento de los fenómenos a partir de la operación de cambios intencionados en las variables identificadas, con la finalidad de mejorar el servicio de iluminación y la eficiencia energética del parque de lámparas de alumbrado público.

- Alcance de la investigación

La investigación tiene un alcance correlacional, se orientó hacia el estudio de relaciones de causalidad entre las variables independientes y dependientes, en donde se evaluó la situación del parque de lámparas del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz y se cuantificó y describió correlaciones entre variables, lo que permitió realizar predicciones a propuestas de mejora al sistema.

- Unidad de análisis

La población en estudio fue en conjunto de luminarias que conforman el parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.

- Variables

Las variables estudiadas durante el proceso de esta investigación fueron: tipo, altura y distancia de luminarias, eficacia luminosa, iluminancia, consumo energético del parque de lámparas y eficiencia energética, con el fin de obtener resultados para el análisis de la investigación.

- Operacionalización de variables

Para poder describir como se operan las variables estudiadas en el trabajo de investigación se presenta la operacionalización de las variables.

Tabla I. **Operacionalización de variables**

Problema	Variable	Definición	Dimensión	Indicador
No está definido un sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público para la optimización en el uso de la energía en el área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, A.V.	Tipo de luminaria Altura y distancia del punto de luz	Objeto que proporciona luz artificialmente para el alumbrado público	Nivel de iluminación	Lm/m ²

Continuación de la tabla I.

Falta de un diseño para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía mediante el uso eficiente del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de A.V.	Eficacia luminosa	Relación existente entre el flujo lumínico emitido por una fuente de luz y la potencia	Energía usada para iluminar	Lm/W
Desconocimiento del uso, consumo y desempeño energético del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, A.V.	Consumo energético	Energía empleada para servicio	Potencia consumida	kWh
	Illuminancia	Nivel de luz que se expande en una superficie	Nivel de iluminación	Lux
Desconocimiento de qué procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados para el sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, A.V.	Eficiencia energética del sistema	Optimización de la energía consumida	Producto de la superficie iluminada por la iluminancia media entre la potencia activa total	Lm/W

Fuente: elaboración propia.

- Fases del estudio

El estudio se ejecutó en tres fases, en la primera se realizó una revisión de campo y documental, en donde se analizó la calidad del servicio de iluminación del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio y el cálculo del consumo eléctrico del servicio.

En la segunda fase se realizó una propuesta para mejorar los parámetros de iluminancia y consumo energético adecuado a cada tipo de vía, por medio de un diseño cuasiexperimental y correlacional, se realizó el análisis del consumo energético mensual y se evaluó la eficiencia energética de la propuesta, además se propuso procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados para el sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz, Guatemala.

En la tercera fase se plantea el sistema de gestión energética como un ciclo de mejora continua para el parque de lámparas de alumbrado público del municipio.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio expone el diseño de un sistema de gestión de energía para el parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala, se constituye como un proyecto de sistematización que busca mejorar el sistema de iluminación del área urbana del municipio y su eficiencia energética.

El problema identificado en el parque de lámparas de alumbrado público es de baja eficiencia energética, lo que hace que el sistema genere un alto consumo de energía; además, no se cuenta con un diseño de iluminación adecuado a cada tipo de vía que asegure su adecuada iluminación.

La importancia del presente estudio radica en que la propuesta busca mejorar los parámetros de luminancia e iluminancia de las calles, además de promover la eficiencia del sistema por medio de la optimización de la energía.

Con el diseño planteado se obtuvo una eficiencia del sistema que supera la eficiencia mínima requerida, con la implementación de la propuesta el costo del consumo eléctrico y mantenimiento se reduciría en un 59 %, se obtuvo un ahorro económico anual de Q 474,992. (Ver tabla XXXI).

La investigación tiene un enfoque mixto, con variables cualitativas y cuantitativas, presenta un diseño transversal correlacional. La primera etapa del estudio comprende un diseño de investigación diagnóstica, en el cual se evalúa el funcionamiento y servicio del sistema existente, seguidamente se presenta un

diseño de investigación cuasiexperimental, en donde se optimiza el uso de la energía por medio del planteamiento de un sistema eficiente de iluminación.

El capítulo uno comprende el marco referencial, en el cual se presenta información de diversos autores han realizado en el tema de sistemas de gestión de la energía y alumbrado público.

En el capítulo dos, marco teórico, se presenta la base teórica para dar a conocer el fundamento del conocimiento en materia de alumbrado público y sistemas de gestión de la energía.

El capítulo tres corresponde a la presentación de resultados, en donde se realiza un análisis de la tecnología del parque de lámparas de alumbrado público y su capacidad instalada, seguidamente se plantea la propuesta para mejorar la eficiencia energética del parque de lámparas, posteriormente se proponen procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados del sistema de gestión energética.

En el capítulo cuatro se realiza la discusión de resultados, para lo cual se realiza un análisis interno y externo de la investigación. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio

1. MARCO REFERENCIAL

El abastecimiento y regulación del alumbrado público son competencia propia de las municipalidades, los municipios deben regular y prestar los servicios públicos municipales de su circunscripción territorial y, por tanto, tiene como competencia para establecerlos, mantenerlos, ampliarlos y mejorarlos, garantizando un funcionamiento eficaz, seguro y continuo. (Congreso de la República de Guatemala, 2002, p. 21)

Esta ley establece que el servicio de alumbrado público es una competencia municipal, por lo que las recomendaciones y procedimientos propuestos en el presente estudio son dirigidos hacia la municipalidad de Santa Cruz Verapaz.

Para diseñar correctamente un sistema de gestión energética de una instalación es necesario efectuar un estudio previo, para conocer el lugar de implantación, tipo, tamaño de instalaciones, equipamientos adaptados, conocer sus procesos, modo de operación, consumos realizados, tarifas contratadas, entre otros. (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, 2012).

El aporte del documento incidió en la fase uno del estudio, sirvió de base para reunir la información del consumo de energía para poder evaluar usos significativos, modos de operación y variables que lo afectan.

La Agencia de Sostenibilidad Energética (2018) presenta que el primer elemento esencial en un sistema de gestión de energía corresponde

a la planificación energética y que de su resultado se definen los controles operacionales y las actividades de seguimiento, medición y análisis de la organización. El aporte del estudio radicó en conocer los procedimientos para realizar actividades de monitoreo del plan para asegurar el éxito del proyecto.

La Municipalidad de Tactic, departamento de Alta Verapaz, Guatemala, implementó en el año 2018 un proyecto para mejorar la red de alumbrado público del área urbana del municipio, la cual, en el año 2017, contaba con un parque de lámparas de 1457 unidades, en su mayoría, conformadas por lámparas de mercurio de 175 W y ahorrativas de 65 W. (Municipalidad de Tactic, 2017) Con la puesta en marcha del proyecto y la sustitución de las lámparas por tecnología led el consumo eléctrico por concepto de alumbrado público fue de 21,204 kW, con un costo promedio mensual de Q 42,154.00. (Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A., 2018) La importancia del estudio analizado radica en visualizar que implementando propuestas de eficiencia energética se pueden obtener significativos ahorros económicos para las municipalidades del país por concepto de alumbrado público.

De León (2016) analiza:

Las lámparas de vapor de mercurio y tecnologías de alta eficiencia en el alumbrado público, concluye que las lámparas de vapor de mercurio cuentan con una tecnología obsoleta, ineficiente y de alto costo, se encuentra disponible en el mercado tecnologías de alta eficiencia y menor costo como alternativa al uso de lámparas de vapor de mercurio en el alumbrado público. (p. 110)

Este estudio fue relevante ya que en el análisis que realiza el autor demuestra que las lámparas de vapor de mercurio son de tecnología ineficiente,

de alto consumo de energía y obsoletas y plantea propuestas para mejorar el sistema.

El Departamento de Eficiencia Energética de la División de Proyectos Estratégicos de la CNEE ha realizado investigación acerca de alternativas para el ahorro y la eficiencia energética para el alumbrado público de Guatemala, en donde ha analizado la demanda y consumo de la electricidad de lámparas de vapor de mercurio de 175 W y una serie de alternativas tecnológicas de alta eficiencia. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2013). El documento fue una herramienta útil para el análisis de los beneficios energéticos y económicos al realizar la sustitución de tecnologías tradicionales del alumbrado público, por luminarias de alta eficiencia.

En la publicación realizada por Cartero y García (2012) se presenta los conocimientos necesarios para aplicar e implementar los sistemas de gestión de energía y auditorías energéticas.

Se incide en las definiciones de línea base energética, desempeño energético, indicador de desempeño energético, revisión energética o tecnologías horizontales, entre otras, y se profundiza en la interpretación de los requisitos y en la aplicación práctica de las normas que son el origen y finalidad de estos principios. (p. 14)

El estudio fue relevante para comprender los procedimientos para implementar sistemas de gestión y auditorías energéticas, orientadas en normas internacionales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Información general del municipio de Santa Cruz Verapaz

Santa Cruz Verapaz colinda al norte con Cobán, Alta Verapaz, al sur con San Miguel Chicaj del departamento de Baja Verapaz; al este con los municipios de Tactic y Cobán, Alta Verapaz, y al oeste con el municipio de San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz. La topografía es ondulada, quebrada y escarpada, con alturas que varían entre los 1,000 a 1,900 msnm, condiciones que dan posibilidad a otros microclimas que favorecen el desarrollo de actividades agrícolas, forestales (por el tipo de suelo) y turísticas.

Según la clasificación de Zonas de Vida, del Dr. LR Holdridge, el municipio se encuentra, en su mayoría, el bosque muy húmedo subtropical (frio) y, en menor área el bosque húmedo subtropical (templado con presencia de coníferas y Quercus) hacia el sur del territorio. Según proyecciones del Instituto Nacional de Estadística INE al año 2017, la población es de 47,808 habitantes siendo 24,234 mujeres y 23,574 hombres (con una mayor proporción de mujeres 50.69 % que hombres 49.31 %), la densidad poblacional para ese año fue de 996 personas por km² con un incremento de 342 hab/km² con relación al 2009 en un período aproximado de 8 años.

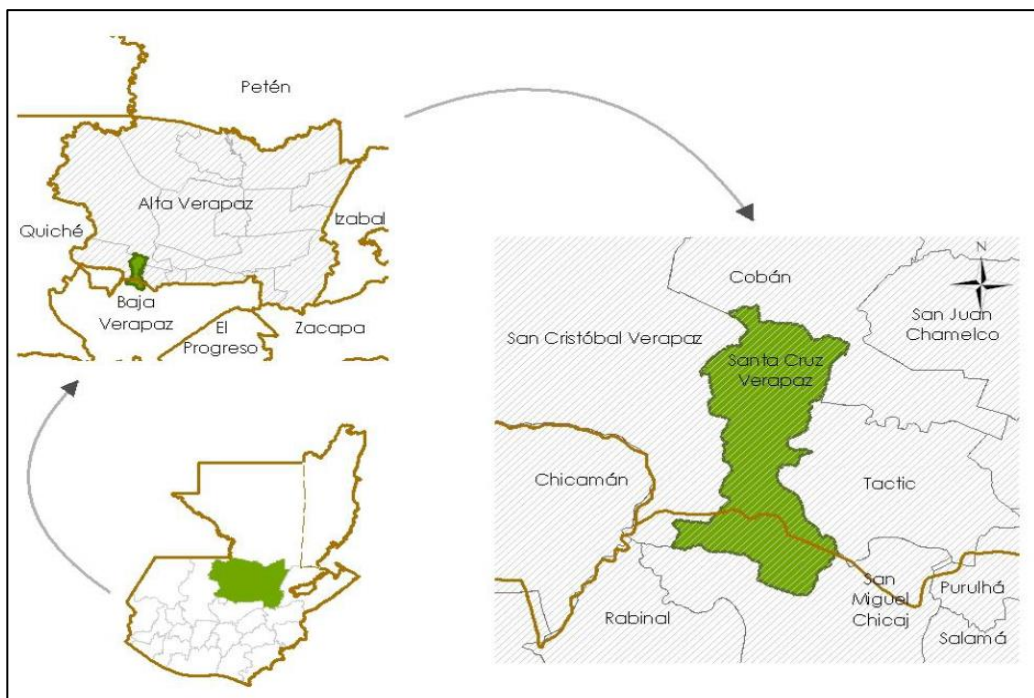
La población mayoritariamente es maya 89.7 % para el departamento (INE 2011) y vive en el área rural el 77.3 %. Para el municipio es la comunidad lingüística Poqomchi' que predomina con un

78 %, Q'eqchi' 18 %, también se hablan otros idiomas minoritarios como el Achí. (Concejo Municipal de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, 2018, p. 14)

2.2. Ubicación del municipio de Santa Cruz Verapaz

El municipio de Santa Cruz Verapaz se encuentra ubicado en latitud norte 15°22'25" y longitud oeste en 90°25'50". Dista a 15 kilómetros de Cobán, cabecera departamental de Alta Verapaz y a 203 de la capital, sobre la carretera nacional CA-14 asfaltada de dos vías. (Concejo Municipal de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, 2018, pp.13-14)

Figura 1. Ubicación del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz



Fuente: SINIT-Alta Verapaz (2013). Base cartográfica del IGN e INE 2002. Consultado el 16 de junio de 2021. Recuperado de <http://ide.segeplan.gob.gt/geoportal/mapas.html>.

2.3. Delimitación del área de estudio

El área en estudio está comprendida por la extensión territorial del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Figura 2. Delimitación del área urbana del municipio



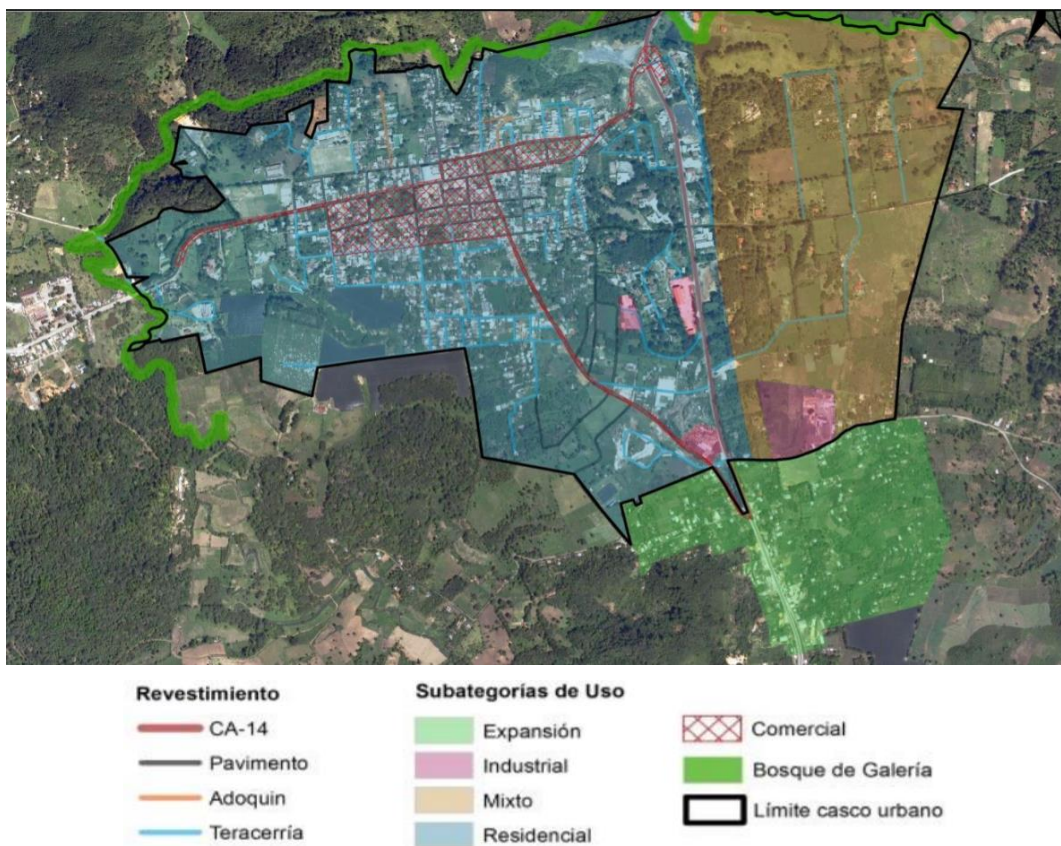
Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth,

2.4. Categorías de uso del territorio

El suelo urbano está compuesto por las áreas del territorio que se han destinado para usos urbanos las cuales disponen de servicios básicos como energía eléctrica, agua potable, infraestructura vial, alcantarillado, facilitando su urbanización y edificación, según sea el caso. Esta categoría

se puede subdividir en expansión urbana que se refiere al crecimiento de la población y ocupación del espacio en el territorio hacia las áreas rurales. (Concejo Municipal de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, 2018, p. 66)

Figura 3. **Categoría del suelo de uso urbano, Santa Cruz Verapaz**



Fuente: Concejo Municipal de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. (2018). *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz 2018 – 2032*.

Tabla II. **Categoría y subcategorías del suelo urbano de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz**

Categoría Urbana	Definición	Permitido	Condicionado	Prohibido
Urbano-Residencial	Es el suelo que se propone para las construcciones de viviendas continuas, éste se complementa con comercios pequeños, como tiendas de barrio, áreas recreativas, parques.	Construcción de vivienda, tiendas de barrio, oficinas, clínicas, parques, alcantarillado, escuelas, áreas verdes y recreativas, bancos.	Establecimientos religiosos, de salud, plantas de tratamiento de desechos sólidos y líquidos, parqueo de vehículos livianos	Bares y cantinas, industria, discotecas, moteles, construir en zonas de riesgo, locales con tragamonedas, medianas industrias y gasolineras.
Urbano-Expansión Urbana	Tendencia de crecimiento de la población y ocupación del espacio en territorio hacia las áreas rurales	Construcción de viviendas, tiendas de barrio, oficinas, parques, jardinería, parques infantiles.	Establecimientos religiosos y de salud.	Bares y cantinas, industria, discotecas, moteles.
Urbano Mixto	Es área donde que por sus características se presta para conjugar viviendas, comercios, huertos familiares, oficinas	Viviendas en edificación continua, tiendas de barrio, parques, establecimientos culturales, parques, industria artesanal, establecimientos religiosos siempre y cuando no alteren el orden público.	Discotecas siempre que cumplan con las leyes establecidas y no causen molestias a los vecinos, gasolineras.	Bares, cantinas, moteles
Urbano - Comercial	Es el área del suelo urbano que se destina principalmente para actividades comerciales, edificaciones de servicios públicos, oficinas, sin excluir viviendas	Centros y entidades comerciales, educativas, institucionales, recreativas, parques, oficinas de turismo, oficinas de negocios, clínicas, viviendas, hoteles, gasolineras.	Cantinas, talleres de soldadura, eléctrica y autógena, ferrerías	Industria mediana y mayor, moteles, prostíbulos, ventas en la vía pública.

Fuente: Concejo Municipal de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. (2018). *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz 2018 – 2032.*

2.5. Energía

Propiedad o magnitud física que puede transformarse o transmitirse y que interviene en los procesos de cambios de estado. (Aloma y Malaver, 2007)

2.6. Energía eléctrica

La Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1990) la define como “la energía que se transmite por un circuito eléctrico es la relacionada con la corriente de partículas llamadas electrones, y se define como el producto de la potencia eléctrica (kW) por el tiempo” (p. 3).

Según Barredo (2004):

La energía eléctrica se caracteriza por su controlabilidad, por su versatilidad y por su limpieza (particularmente en el lugar de consumo). Puede ser generada en grandes cantidades, de forma concentrada en determinados lugares y transmitida fiable y económicamente a largas distancias, siendo finalmente adaptada de forma fácil y eficiente principalmente para iluminación y para trabajo mecánico.

La electricidad se obtiene por conversión, a partir de fuentes de energía primaria. El calor liberado en la combustión del carbón, del petróleo o del gas natural (combustibles fósiles), o a partir de la fusión de un material nuclear, es convertido primero en energía mecánica de rotación, mediante un ciclo termodinámico.

La energía eléctrica, a diferencia del agua o el gas, no puede ser almacenada económicamente con la tecnología disponible en la

actualidad (excepto en muy pequeñas cantidades por medio de baterías). El sistema de generación, transporte y distribución debe ser capaz, por tanto, de ajustar la energía generada a la demanda en todo instante y con los valores especificados de tensión y frecuencia. (pp. 1-3)

2.7. Sistema de gestión energética

Conjunto de elementos interrelacionados o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, además de los procesos y procedimientos para alcanzar esos objetivos. (ISO 50001, 2011)

Según el Ministerio de Energía y Minas (2017):

Los sistemas de gestión de energía son guías administrativas de suma importancia para orientar las decisiones institucionales en cuanto a la aplicación de nuevos proyectos de eficiencia energética.

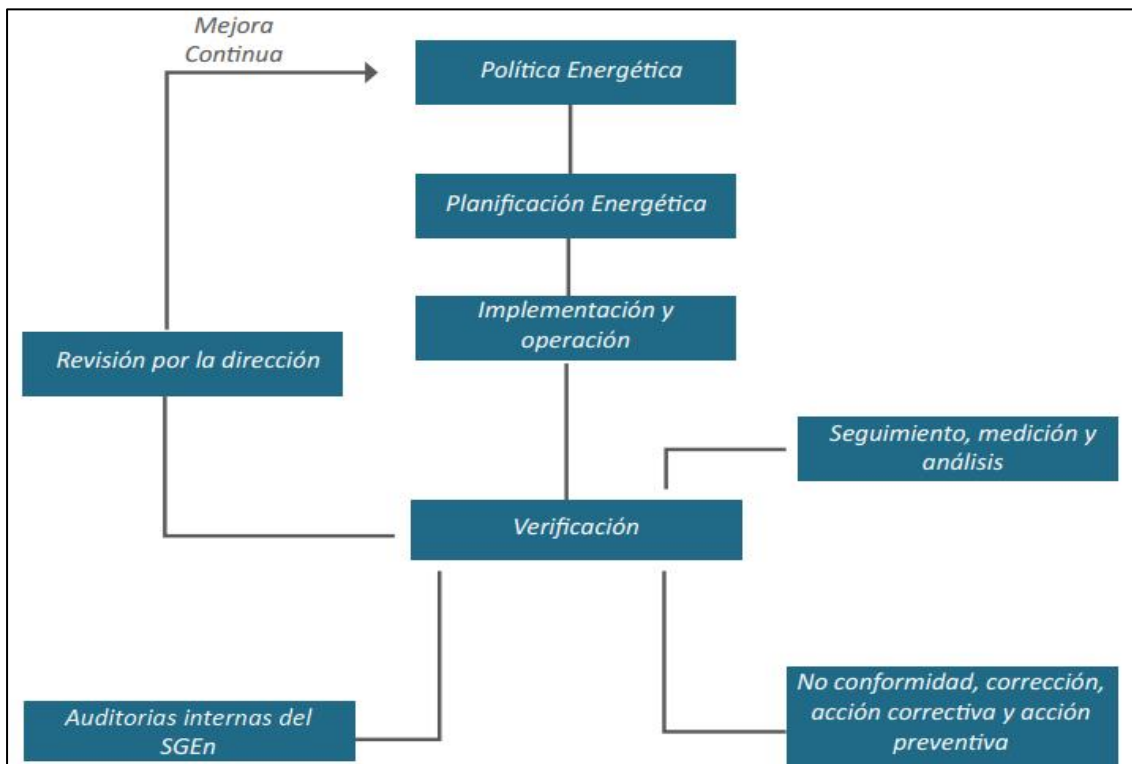
Los sistemas de gestión de energía consisten en el desarrollo de cuatro pasos:

- Planificación.
- Estudio de posibles acciones.
- Evaluación de las acciones.
- Ejecución de acciones.

La planificación del sistema de gestión de energía debe tener como conocimientos previos: la línea base de consumo de energía de la institución y debidamente identificados los indicadores de desempeño

energético. Las acciones que se plantean como parte del programa de planificación, deben ser de inversiones retornables en un tiempo prudencial para la institución, incluso contemplando si se requieren de inversiones externas al capital propio. La ejecución de las acciones debe ser aprobada por todos los entes involucrados en el sistema de gestión de energía de la institución, verificando su efectividad por medio de auditorías energéticas. (pp. 43- 44)

Figura 4. **Aplicación de un sistema de gestión de energía**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Normativa ISO 50001:2011*.

2.7.1. Eficiencia energética

Razón u otra relación cuantitativa entre un resultado de desempeño, servicio, bienes o energía y una entrada de energía. (Organización Internacional de Normalización 50001, 2011)

La eficiencia energética impulsa el desarrollo responsable y eficiente de los recursos energéticos. La aplicación de medidas de eficiencia energética nos permite reducir el consumo energético manteniendo los niveles de confort y competitividad, al mismo tiempo que nos brinda utilidades económicas y beneficios ambientales. El concepto de ahorro de energía, indica que se debe limitar el uso de los recursos energéticos, mientras que el concepto de eficiencia energética implica la optimización en uso final de la energía y los procesos productivos. Implementar acciones de eficiencia energética implica que, como país, se desarrolle la economía en torno a la sostenibilidad y el uso óptimo de los recursos energéticos que puede convertirse en beneficios de carácter económico y social en el futuro. (Ministerio de Energía y Minas, 2017, p. 27)

2.7.2. Optimización en el uso de la energía

El crecimiento de la sociedad y los procesos productivos del país, impactan directamente en la demanda y uso final de la energía. Cada día aumenta la producción y utilización de todo tipo de productos para distintas aplicaciones, lo que conlleva a una mayor utilización de los recursos necesarios para producirlos y utilizarlos para distintos propósitos. Por lo tanto, la implementación de acciones de eficiencia energética es la forma más rápida y con mejor relación de costo-beneficio para garantizar la

seguridad energética, mejorar las condiciones económicas y la reducción de impactos ambientales. (Ministerio de Energía y Minas, 2017, p. 9)

2.7.2.1. Eficiencia energética de una instalación de alumbrado público

Según MINCOTUR (2008):

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada.

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{W} = \frac{m^2 * lux}{P}$$

(Ec. 01)

Donde:

ε = eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior ($m^2 \cdot lux/W$)

P = potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares) (W)

S = superficie iluminada (m^2)

Em= iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux)

La eficiencia energética se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:

ε_L = eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares ($Lm/W = m^2 \cdot lux/W$)

f_m = factor de mantenimiento de la instalación (en valores por unidad)

f_u = factor de utilización de la instalación (en valores por unidad)

$$\varepsilon = \varepsilon_L * f_m * f_u * \frac{m^2 * lux}{P}$$

(Ec. 02)

Donde:

- Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares (ε_L): es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar.
- Factor de mantenimiento (f_m): es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.
- Factor de utilización (f_u): es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias.

El factor de utilización de la instalación es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y rendimiento de las luminarias, así como de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura), como a la disposición de las luminarias en la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

Para mejorar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado se podrá actuar incrementando el valor de cualquiera de los tres factores anteriores, de forma que la instalación más eficiente será aquella en la que el producto de los tres factores -eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares y factores de mantenimiento y utilización de la instalación - sea máximo. (p. 12)

2.8. Servicio de alumbrado público

Es el servicio público no domiciliario que se presta con el objeto de proporcionar exclusivamente la iluminación de los bienes de uso público y demás espacios de libre circulación con tránsito vehicular o peatonal, dentro del perímetro urbano y rural de un municipio o distrito. El servicio de alumbrado público comprende las actividades de suministro de energía al sistema de alumbrado público, la administración, la operación, el mantenimiento, la modernización, la reposición y la expansión del sistema de alumbrado público. (RETILAP, 2010, p.23)

Atehortúa, Bustamante y Valencia (2008) definen el alumbrado público:

Iluminación de las vías públicas, parques públicos y demás espacios de libre circulación que no se encuentra a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público diferente del municipio, con el objeto de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades tanto vehiculares como peatonales. (p. 121)

2.9. Sistema de alumbrado público

Comprende el conjunto de luminarias, redes eléctricas, transformadores de uso exclusivo y en general, todos los equipos necesarios para la prestación del servicio de alumbrado público, que no formen parte de las redes de uso general del sistema de distribución de energía eléctrica. (RETILAP, 2010, p.23)

2.9.1. Luminaria

Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación. (RETILAP, 2010, p. 20)

2.9.2. Balasto

Unidad insertada en la red y una o más bombillas de descarga, la cual, por medio de inductancia o capacitancia o la combinación de inductancias y capacitancias, sirve para limitar la corriente de la(s) bombilla(s) hasta el valor requerido. El balasto puede constar de uno o más componentes. (RETILAP, 2010, p. 20)

2.9.3. Arrancador

“Dispositivo que por sí solo o en asocio con otros componentes, genera pulsos para encender bombillas de descarga sin precalentamiento” (RETILAP, 2010, p. 16).

2.9.4. Fusible

“Dispositivo utilizado para la protección de conductores y componentes de redes contra sobrecorrientes producidas tanto por sobrecarga como por cortocircuito” (RETILAP, 2010, p. 19).

2.9.5. Fococelda

“Dispositivo electrónico o electromagnético empleado para encender y apagar de forma automática las luminarias en función de la claridad del ambiente” (RETILAP, 2010, p. 19).

2.9.6. Bombilla o lámpara

Término genérico para denominar una fuente de luz fabricada por el hombre. Por extensión, el término también es usado para denotar fuentes que emiten radiación en regiones del espectro adyacentes a la zona visible. Puede asimilarse a la definición de lámpara. (RETILAP, 2010, p. 10)

Las tecnologías del parque de lámparas de alumbrado público se componen de sistemas convencionales como lo son las lámparas de vapor de sodio y de mercurio, en los últimos años se han incorporado tecnologías de alta

eficiencia, según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2013) en Guatemala se utilizan “lámparas de sodio y mercurio de distintas potencias, haluros, lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes, lámparas led y las lámparas fluorescentes compactas autobalastadas lfc” (p. 3).

2.9.6.1. Lámparas de vapor de mercurio de alta presión

Esta tecnología de vapor de mercurio está catalogada como una de las menos eficientes (desde el punto de vista de la eficiencia energética) en su aplicación para Alumbrado Público. Además, países se ha prohibido para su uso en instalaciones de AP.

Su alto consumo energético y su alto contenido de mercurio las hace candidatas potenciales para sustituirse por tecnologías de menor consumo, reducido impacto ecológico (por bajo contenido de mercurio), mayor desarrollo tecnológico y mejor aplicación en AP. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2013, p. 4)

2.9.6.2. Lámparas de vapor de sodio de alta presión

Han sido la elección de países preocupados por el consumo y demanda de electricidad, dado las necesidades de AP y otras características tales como: su alta eficacia luminosa y sus relativamente cortos períodos para retornos de inversión en relación con tecnologías emergentes e innovadoras. Se encuentra tanto en tecnologías convencionales como de alta eficiencia; aunque ambas se consideran de alta eficacia.

La diferencia entre una y otra radica principalmente en: a) la reducción relativa de pérdidas en la de alta eficiencia, b) el incremento de la vida útil en un 50 % en la de alta eficiencia, y c) un ligero, pero no poco importante mejoramiento índice de reproducción de colores CRI o IRC por sus siglas en inglés; todas las anteriores comparadas con respecto a la tecnología convencional. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2013, pp. 4-5)

2.9.6.3. Lámparas led

Un led (*light emitting diode*) es un dispositivo semiconductor que emite luz cuasi monocromática cuando se polariza de forma directa y es atravesado por una corriente eléctrica.

Es básicamente un semiconductor unido a dos terminales (ánodo y cátodo) que cuando circula corriente eléctrica produce un efecto llamado electroluminiscencia, fenómeno que transforma la energía eléctrica en radiación visible. Por tanto, son fuentes de luz en estado sólido, es decir, sin filamento o gas inerte que lo rodee, ni capsula de vidrio que lo recubra como las tecnologías tradicionales. (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, 2015, p. 19)

La Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid (2015) explica que “la tecnología led presenta numerosas ventajas, entre las que podemos destacar: tamaño reducido, alta resistencia contra golpes, larga duración, bajo consumo energético, alta eficiencia de colores, no radiación UV/IR, efectividad a bajas temperaturas” (pp. 21-22).

2.10. Parámetros lumínicos

A continuación, se presentan los parámetros lumínicos por tomar en consideración.

2.10.1. Intensidad luminosa

“Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido. Esta magnitud tiene característica direccional, su símbolo representativo es I y su unidad es la candela, $\text{cd} = \text{lm/sr}$ (lumen/estereorradián)” (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo de España, 2008, p.7).

2.10.2. Flujo luminoso

Potencia emitida por una fuente luminosa en forma de radiación visible y evaluada según su capacidad de producir sensación luminosa, teniendo en cuenta la variación de la sensibilidad del ojo con la longitud de onda. Su símbolo es ϕ y su unidad es el lumen (lm)” (Real Decreto 1890/2008, 2008, p.7).

2.10.3. Luminancia

La luminancia en un punto de superficie se define como la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma superficie en la dirección del ojo del observador. Su símbolo es L y su unidad la candela entre metro cuadrado (cd/m^2).

La expresión de la luminancia en un punto P , en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, de la altura h de montaje

de la luminaria y de las características de reflexión del pavimento $r(\beta, \text{tg } \gamma)$, es la siguiente:

$$L = \frac{I(c, \gamma) r(\beta, \text{tg } \gamma)}{h^2} \quad (\text{Ec. 03})$$

La luminancia media de una superficie: Valor medio de la luminancia de la superficie considerada. Su símbolo es L_m y se expresa en cd/m^2 . (Real Decreto 1890/2008, 2008, p. 8)

2.10.4. Factor de uniformidad general de la luminancia (U_o)

“Relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio sobre la superficie de una calzada. $U_o = L_{\min}/L_{\text{pro}}$ en (%)” (RETILAP, 2010, p. 18).

2.10.5. Rendimiento de una luminaria

“Es la relación entre el flujo luminoso total procedente de la luminaria y el flujo luminoso emitido por la lámpara o lámparas instaladas en la luminaria. Su símbolo es η y carece de unidades” (Real Decreto 1890/2008, 2008, p. 8).

2.10.6. Iluminancia

La iluminancia horizontal en un punto de una superficie es el cociente entre el flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto y el área de ese elemento. Su símbolo es E y la unidad el lux (lm/m^2).

La iluminancia media horizontal es el valor medio de la iluminancia horizontal en la superficie considerada. Su símbolo es E_m y se expresa en lux.

La iluminancia mínima horizontal es el valor mínimo de la iluminancia horizontal en la superficie considerada. Su símbolo es E_{min} y se expresa en lux. (Real Decreto 1890/2008, 2008, p. 7)

2.10.7. Eficacia luminosa de una lámpara

“Relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara y la potencia consumida por esta. Se expresa en lm/W (lúmenes/vatio)” (Real Decreto 1890/2008, 2008, p. 6).

2.11. Instalaciones de alumbrado vial ambiental

Alumbrado vial ambiental es el que se ejecuta generalmente sobre soportes de baja altura (3-5 m) en áreas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques y jardines, centros históricos, vías de velocidad limitada, etc.

Las instalaciones de alumbrado vial ambiental, con independencia del tipo de lámpara y de las características o geometría de la instalación – dimensiones de la superficie a iluminar (longitud y anchura), así como disposición de las luminarias (tipo de implantación, altura y separación entre puntos de luz)–, deberán cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética que se fijan en la tabla. (Real Decreto 1890/2008, 2008, p.13)

Tabla III. **Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial ambiental**

Iluminancia media en servicio	Eficiencia energética mínima
≥ 20	9
15	7.5
10	6
7.5	5
≤ 5	3.5

Fuente: Real Decreto 1890/2008. (2008). *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.*

2.12. Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado

El nivel de iluminación requerido por una vía depende de múltiples factores como son el tipo de vía, la complejidad de su trazado, la intensidad y sistema de control del tráfico y la separación entre carriles destinados a distintos tipos de usuarios.

En función de estos criterios, las vías de circulación se clasifican en varios grupos o situaciones de proyecto, asignándose a cada uno de ellos unos requisitos fotométricos específicos que tienen en cuenta las necesidades visuales de los usuarios, así como aspectos medio ambientales de las vías. (Real Decreto 1890/2008, 2008, p.17)

Tabla IV. Valores de eficiencia energética de referencia

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad de tráfico rodado (km/h)
A	De alta velocidad	V 60
B	De moderada velocidad	30 v 60
C	Carriles bici	--
D	De baja velocidad	5 v 30
E	Vías peatonales	V 5

Fuente: Real Decreto 1890/2008. (2008). *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.*

Tabla V. Clases de alumbrado para vías tipo A

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de alumbrado (*)
A1	Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías).	
	Intensidad de tráfico	
	Alta (IMD) ≥ 25.000	ME1
	Media (IMD) ≥ 15.000 y < 25.000	ME2
	Baja (IMD) < 15.000	ME3a
	Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas).	
A2	Intensidad de tráfico	
	Alta (IMD) > 15.000	ME1
	Media y baja (IMD) < 15.000	ME2
A3	Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici.	
	Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio.	
	Intensidad de tráfico	
	IMD ≥ 7.000	ME1 / ME2
	IMD < 7.000	ME3a / ME4a
A3	Vías colectoras y rondas de circunvalación.	
	Carreteras interurbanas con accesos no restringidos.	
	Vías urbanas de tráfico importante, rápidas radiales y de distribución urbana a distritos.	
	Vías principales de la ciudad y travesía de poblaciones.	
	Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.	
	IMD ≥ 25.000	ME1
	IMD ≥ 15.000 y < 25.000	ME2
	IMD ≥ 7.000 y < 15.000	ME3b
	IMD < 7.000	ME4a / ME4b

(*) Para todas las situaciones de proyecto (A1, A2 y A3), cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Fuente: Real Decreto 1890/2008. (2008). *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.*

Tabla VI. Clases de alumbrado para vías tipo B

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de alumbrado ^(*)
B1	– Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante.	
	– Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas.	
	Intensidad de tráfico	ME2 / ME3c
	IMD ≥ 7.000	ME4b / ME5 / ME6
B2	IMD < 7.000	
	Carreteras locales en áreas rurales.	
	Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.	ME2 / ME3b
	IMD ≥ 7.000	ME4b / ME5
	IMD < 7.000	

^(*) Para todas las situaciones de proyecto B1 y B2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Fuente: Real Decreto 1890/2008. (2008). *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.*

Tabla VII. Clases de alumbrado para vías tipos C y D

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de alumbrado ^(*)
C1	– Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas urbanas	
	Flujo de tráfico de ciclistas	
	Alto	S1 / S2
	Normal	S3 / S4
D1 - D2	– Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías.	
	– Aparcamientos en general.	
	– Estaciones de autobuses.	
	Flujo de tráfico de peatones	CE1A / CE2
D3 - D4	Alto	CE3 / CE4
	Normal	
	– Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada	
	– Zonas de velocidad muy limitada	
	Flujo de tráfico de peatones y ciclistas	E2 / S1 / S2
	Alto	S3 / S4
	Normal	

^(*) Para todas las situaciones de alumbrado C1-D1-D2-D3 y D4, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Fuente: Real Decreto 1890/2008. (2008). *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.*

Tabla VIII. Clases de alumbrado para vías tipo E

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ^(*)
E1	– Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, y aceras a lo largo de la calzada.	
	– Paradas de autobús con zonas de espera	
	– Áreas comerciales peatonales.	
	Flujo de tráfico de peatones:	
	Alto	CE1A / CE2 / S1
	Normal	S2 / S3 / S4
E2	– Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones.	
	Flujo de tráfico de peatones:	
	Alto	CE1A / CE2 / S1
	Normal	S2 / S3 / S4

(*) Para todas las situaciones de alumbrado E1 y E2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Fuente: Real Decreto 1890/2008. (2008). *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.*

2.13. Calificación energética de las instalaciones de alumbrado

Las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrados de señales y anuncios luminosos y festivo y navideño, se calificarán en función de su índice de eficiencia energética.

El índice de eficiencia energética (I_E) se define como el cociente entre la eficiencia energética de la instalación (E) y el valor de eficiencia energética de referencia (E_R) en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada, que se indica en tabla. (Real Decreto 1890/2008, 2008, p.17)

Tabla IX. **Valores de eficiencia energética de referencia**

Alumbrado vial funcional		Alumbrado vial ambiental y otras instalaciones de alumbrado	
Iluminancia media en servicio proyectada Em (lux)	Eficiencia energética de referencia	Iluminancia media en servicio proyectada Em(lux)	Eficiencia energética de referencia
≥30	32	--	--
25	29	--	--
20	26	≥20	13
15	23	15	11
10	18	10	9
≤7.5	14	7.5	7
--	--	≤5	5
Nota: Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrá por interpolación lineal			

Fuente: Real Decreto 1890/2008. (2008). *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.*

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para definir un sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público en el área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala, se inició determinando la capacidad instalada, consumo y desempeño energético del parque de lámparas, asimismo, se determinó una propuesta para la mejora energética y se realizó un plan con procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados que puede implementar la comuna para evaluar el sistema de gestión energética, de acuerdo con los objetivos propuestos se presentan los siguientes resultados:

Objetivo 1: determinar el consumo, capacidad instalada y desempeño energético del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.

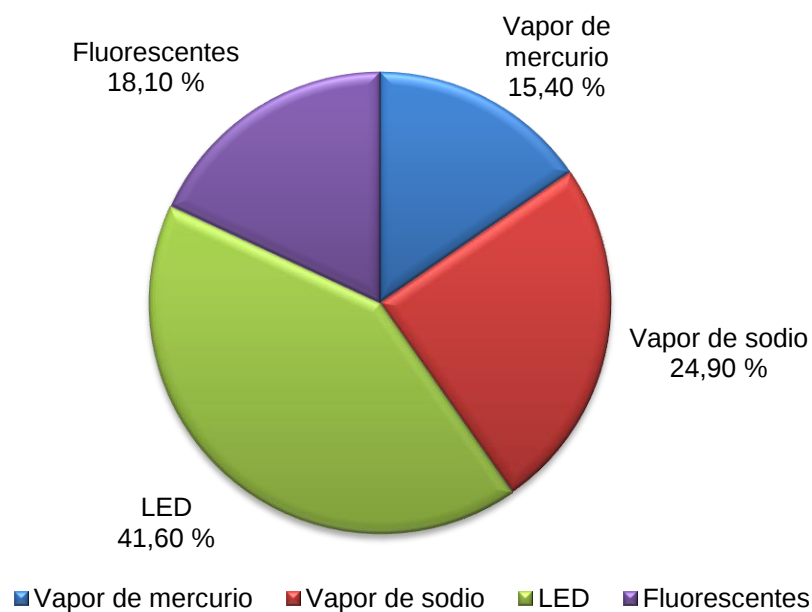
Se realizó un análisis de la tecnología y la capacidad instalada, a continuación, se presentan los resultados obtenidos.

3.1. Tecnología y capacidad instalada

El área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz cuenta con 695 lámparas instaladas, de ellas el 15.4 % están compuestas por lámparas de vapor de mercurio, el 24.9 % por vapor de sodio, el 41.6 % corresponde a tecnología led y el 18.1 % de fluorescentes. (Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A., 2020)

Se verificó que la totalidad de las calles y avenidas del área urbana del municipio cuentan con el servicio de alumbrado público, la distancia entre postes de alumbrado es variada y las luminarias se ubican a distintas alturas que oscilan entre los 5.5 a los 6.4 metros.

Figura 5. **Composición del parque de alumbrado público**



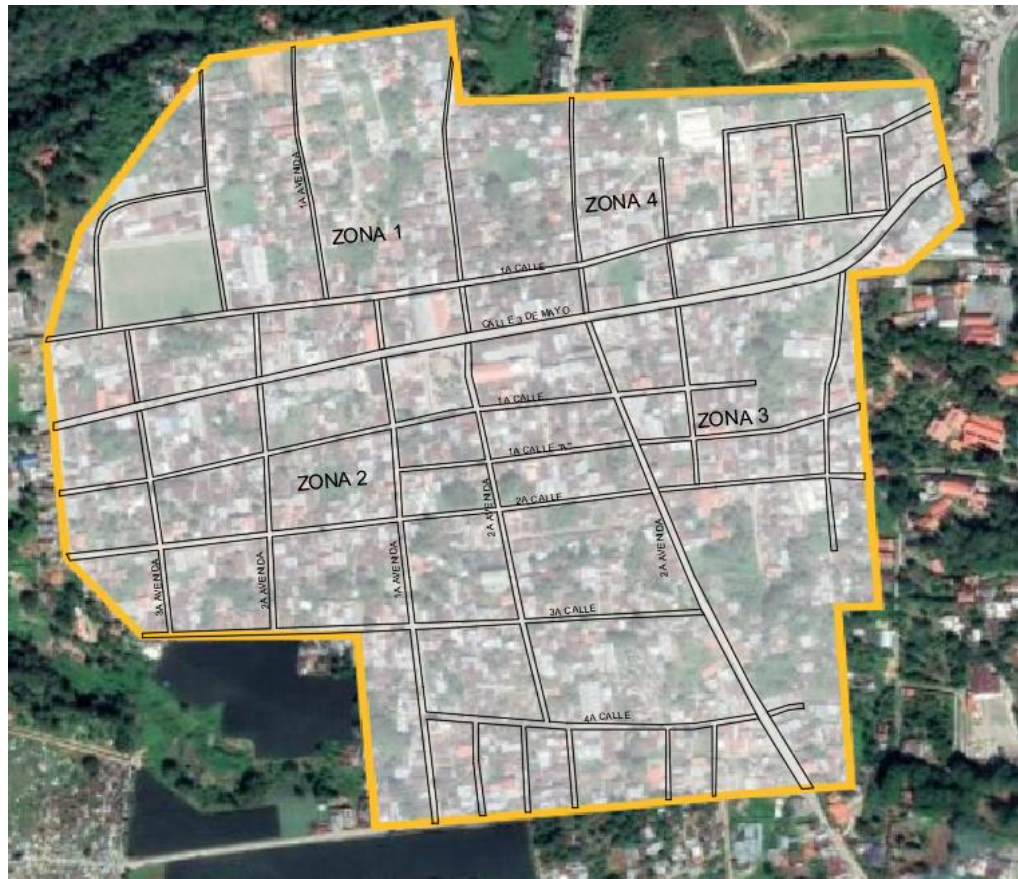
Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Análisis lumínico del parque de lámparas

Para realizar el análisis lumínico del parque de lámparas del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz se procedió a clasificar las calles de acuerdo con la función que desempeñan las vías.

- Categoría 1. Vía principal: calle 3 de mayo, dicha calle es la más transitada del municipio, por medio de ésta puede accederse a la CA-14 para dirigirse a Cobán o a la ciudad capital y a la RN-7W que conecta al municipio con San Cristóbal Verapaz.
- Categoría 2. Vía local: en esta categoría se encuentran el resto de las calles que conforman el área urbana del municipio, las cuales son calles de bajo flujo vehicular, ubicadas en zonas residenciales predominantemente.

Figura 6. **Ubicación de las calles del área urbana del municipio**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth.

3.1.1.1. Número de puntos de luz

Se realizó un análisis por puntos de luz emitidos, se presentan los puntos de luz encontrados, tomando para el análisis calles que corresponden a las categorías presentadas anteriormente:

Tabla X. **Categorización de las calles del área urbana**

Categoría	Calle	Punto de Luz
1 ^a .	Calle 3 de mayo	16
2 ^a .	1 ^a . calle zona 1	9
2 ^a .	1 ^a . calle zona 4	8
2 ^a .	2 ^a . avenida zona 3	11
2 ^a .	1 ^a . calle zona 2	9
2 ^a .	1 ^a . calle zona 3	7
2 ^a .	2 ^a . calle zona 2	6
2 ^a .	2 ^a . calle zona 3	11

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. Superficie por punto de luz

Para la determinación de la superficie por punto de luz del parque de lámparas de alumbrado público se procedió a identificar el ancho y el largo de cada calle en estudio y se dividió por cada punto de luz encontrado:

Tabla XI. **Cálculo de la superficie cubierta por punto de luz**

Calle	Punto de Luz	Superficie (m²)	Superficie por punto de luz	Punto de luz por cada 1,000 m²
Calle 3 de mayo	16	8,550	534	1.87
1 ^a . calle zona 1	9	2,115	235	4.25
1 ^a . calle zona 4	8	2,140	267	3.73
2 ^a . avenida zona 3	11	3,138	285	3.50

Continuación de la tabla XI.

Calle	Punto de Luz	Superficie (m ²)	Superficie por punto de luz	Punto de luz por cada 1,000 m ²
1 ^a . calle zona 2	9	2,180	242	4.12
1 ^a . calle zona 3	7	2,646	378	2.65
2 ^a . calle zona 2	6	2,304	384	2.60
2 ^a . calle zona 3	11	2,335	212	4.71

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.3. Valores luminotécnicos de campo

Se comprobaron los valores luminotécnicos para conocer la calidad de la iluminación, para ello se realizaron mediciones con un luxómetro digital V&A modelo VA8051, utilizando como referencia el método de la Instrucción Técnica Complementaria EA-07 del R.D. 1890/2008. La iluminancia media (E_m) se realizó con una media ponderada, de acuerdo con el método de nueve puntos, la uniformidad general se calculó al dividir el valor mínimo de las iluminancias dentro del valor máximo de dichas iluminancias.

Tabla XII. Valores luminotécnicos en calles del área urbana

Calle	E_m (lux)	E_{min} (lux)	E_{max} (lux)	U_o
calle 3 de mayo	9.20	4.35	21.15	0.47
1 ^a . calle zona 1	14.27	3.61	33.40	0.25
1 ^a . calle zona 4	13.65	4.10	22.80	0.30
2 ^a . avenida zona 3	8.90	5.33	27.10	0.59
1 ^a . calle zona 2	2.12	0.30	8.65	0.14
1 ^a . calle zona 3	7.85	1.89	13.10	0.24
2 ^a . calle zona 2	6.10	1.95	15.18	0.32
2 ^a . calle zona 3	5.90	2.80	9.78	0.47

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Análisis del consumo eléctrico de la instalación

El análisis del consumo eléctrico se dividió en dos etapas, la primera consistió en realizar el análisis del consumo eléctrico por clasificación de calle y la segunda, contabilizando y evaluando la totalidad de lámparas instaladas en el área urbana.

3.1.2.1. Análisis del consumo eléctrico por metro cuadrado

Se realizó la evaluación de los vatios utilizados para iluminar cada metro cuadrado de calle; se procedió a cuantificar la potencia eléctrica instalada por cada vía, para ello, se multiplicó el número de puntos de luz identificados por la potencia de cada lámpara y las pérdidas del balasto, el producto se dividió por los metros cuadrados por superficie de calle para obtener el indicador de consumo.

Tabla XIII. Cálculo del consumo eléctrico por metro cuadrado

Calle	Superficie (m ²)	Potencia L+E (W)	Indicador (W/m ²)
Calle 3 de mayo	8,550	362.00	0.04
1 ^a . calle zona 1	2,115	217.20	0.10
1 ^a . calle zona 4	2,140	171.95	0.08
2 ^a . avenida zona 3	3,138	871.06	0.27
1 ^a . calle zona 2	2,180	122.18	0.05
1 ^a . calle zona 3	2,646	95.03	0.03
2 ^a . calle zona 2	2,304	678.75	0.29
2 ^a . calle zona 3	2,335	1244.38	0.53

Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que dicho indicador muestra la cantidad de vatios utilizados para iluminar los metros cuadrados de cada calle, sin embargo, no estudia la calidad de la iluminación que presta el servicio de alumbrado público.

3.1.2.2. Cálculo del consumo eléctrico mensual

Se realizó el cálculo del consumo eléctrico mensual que la comuna tiene por concepto de alumbrado público, para ello se contabilizaron las lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio, clasificándose por tipo y se procedió a identificar la potencia de cada una, adicionando un 21.64 % de pérdida por balasto.

Tabla XIV. **Cálculo del consumo eléctrico mensual del parque de lámparas del área urbana**

Tipo de lámpara	Cantidad	Potencia kW	kWh luminaria	Pérdida Balasto 21.64 %	kWh con pérdida por luminaria	kWh Total
Lámpara de vapor de sodio 250 W	98	0.25	93	20.13	113.13	11,086.27
Lámpara de vapor de sodio 65 W	75	0.06	24.18	5.23	29.41	2,205.94
Lámpara de vapor de mercurio 175 W	107	0.17	65.1	14.09	79.19	8,473.08
Lámpara led 30 W	184	0.03	11.16	2.42	13.58	2,497.80
Lámpara led 50 W	105	0.05	18.6	4.03	22.63	2,375.63
Lámpara ahorrativa 80 W	126	0.08	29.76	6.44	36.20	4,561.21
						31,199.93

Fuente: elaboración propia.

El consumo eléctrico mensual del parque de lámparas de alumbrado público del municipio es de 31,199.93 kWh.

3.1.3. Cálculo de la potencia instalada y costo del alumbrado público

Para la realización del cálculo de la potencia instalada del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio, se multiplicó el total de kWh por la tarifa de alumbrado público vigente para la distribuidora DEORSA en el mes de agosto del año 2021 de Q 1.95 se obtuvo un costo mensual de Q 68,192.68.

Tabla XV. **Cálculo de la potencia instalada y costo mensual del alumbrado público**

Tipo de lámpara	Cantidad	kWh Total	Tarifa Q/kWh	Total
Lámpara de vapor de sodio 250 W	98	11,086.27	Q1.95	Q 21,634.73
Lámpara de vapor de sodio 65 W	75	2,205.94	Q1.95	Q 4,304.87
Lámpara de vapor de mercurio 175 W	107	8,473.08	Q1.95	Q 16,535.12
Lámpara LED 30 W	184	2,497.80	Q1.95	Q 4,874.44
Lámpara LED 50 W	105	2,375.63	Q1.95	Q 4,636.01
Lámpara Ahorrativa 80 W	126	4,561.21	Q1.95	Q 8,901.15
		31,199.93		Q. 60,886.32

Fuente: elaboración propia.

Objetivo 2: diseñar un estudio lumínico que permita mejorar los parámetros de iluminación de las vías y la eficiencia energética del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz.

3.2. Propuesta para mejorar la eficiencia energética del parque de lámparas de alumbrado público

Para mejorar la eficiencia energética del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio, se consideró una propuesta que proponga algo más que solo cambiar las luminarias de tecnología tradicional por otras de mayor eficiencia y menor consumo de energía, por esta razón, se trabajó un diseño que proporcione a los usuarios de las vías los parámetros mínimos de iluminación para brindar un servicio de calidad y que cuente con un alto desempeño energético.

3.2.1. Línea base

La línea base constituye un parámetro de referencia con el cual se evalúa el desempeño energético del sistema existente y se compara con la propuesta de mejora del parque de lámparas de alumbrado público.

Para el establecimiento de la línea base se ha definido el mes de julio del año 2021, en donde se obtuvo 31,199.93 kWh de consumo eléctrico para 695 lámparas instaladas, con una calidad del servicio que no cumple con los parámetros mínimos de iluminancia mínima ni uniformidad, datos presentados en la tabla III, valores luminotécnicos en calles del área urbana.

3.2.2. Indicadores de desempeño energético

Para analizar el sistema de alumbrado público los indicadores se dividen en tres tipos:

- Indicadores de calidad: aquellos que permiten evaluar la calidad de las instalaciones, se utilizan parámetros como la iluminancia media, la uniformidad, la satisfacción del usuario o el deslumbramiento.
- Indicadores del rendimiento: Utiliza valores como lo son el rendimiento lumínico, rendimiento de la fuente de luz y la eficiencia energética.
- Indicadores de consumo: definido como el consumo eléctrico por unidad de superficie.

3.2.3. Identificación de oportunidades para mejorar el desempeño energético

Para mejorar el desempeño energético se tomaron en cuenta los tres indicadores de desempeño, pues es importante la calidad de la iluminación, para proporcionar una buena orientación visual, así como el rendimiento lumínico del parque de lámparas y la optimización del consumo de la energía.

3.2.4. Plan de acción del sistema de gestión energética

En el plan de acción del sistema de gestión energética, se estableció como primera actividad la realización de una propuesta de mejora de la calidad del servicio del alumbrado, cuya meta fue regular el nivel de flujo luminoso de las calles que conforman el área urbana.

La segunda actividad fue la de evaluar que la propuesta de mejora logre una mayor eficiencia energética que el sistema instalado, el método de verificación del desempeño energético se logró evaluando el rendimiento lumínico de cada fuente de luz.

3.2.4.1. Análisis de clasificación de las vías

La clasificación de vías se realiza en base a la Instrucción Técnica Complementaria del R.D. 1890/2008 de España. En virtud que en Guatemala no existe alguna normativa que establezca los valores de calidad para el alumbrado público por lo que se tomará como referencia la normativa española.

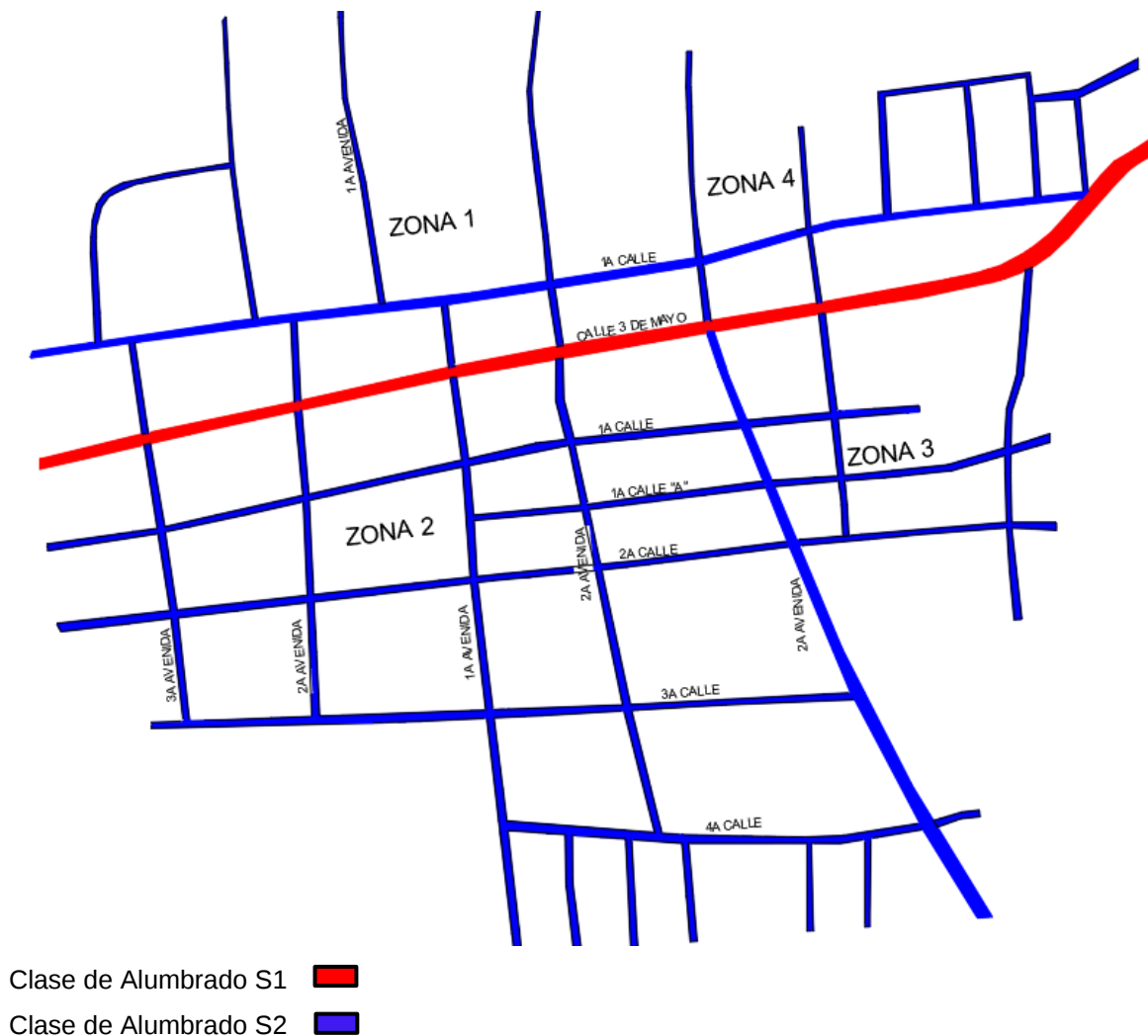
Tabla XVI. Clasificación de vías y clase de alumbrado

Calle	Tipo de vía	Clase de alumbrado
Calle 3 de mayo	D	S1
1ª. calle zona 1	D	S2
1ª. calle zona 4	D	S2
2ª. avenida zona 3	D	S2
1ª. calle zona 2	D	S2
1ª. calle zona 3	D	S2
2ª. calle zona 2	D	S2
2ª. calle zona 3	D	S2

Fuente: elaboración propia, empleando información basada en las tablas 1 y 4 del R.D. ITC-EA-02 1890/2008.

En la clasificación de vías del área urbana del municipio se concluye que son del tipo de vía D (de baja velocidad $5 < v \leq 30$), la clase de alumbrado se obtiene de las características propias de cada calle.

Figura 7. Clasificación de vías del área urbana del municipio



Fuente: elaboración propia.

Se toman como referencia los lineamientos de la Instrucción Técnica Complementaria del R.D. 1890/2008 de España para establecer los parámetros de iluminancia media e iluminancia mínima para cada clase de alumbrado, a continuación, se presentan los parámetros aplicables para las calles del área urbana del municipio.

Tabla XVII. Nivel de iluminación de las vías

Calle	Clase de alumbrado	Iluminancia Media E_m (lux)	Iluminancia mínima E_{min} (lux)
Calle 3 de mayo	S1	15	5
1ª. calle zona 1	S2	10	3
1ª. calle zona 4	S2	10	3
2ª. avenida zona 3	S2	10	3
1ª. calle zona 2	S2	10	3
1ª. calle zona 3	S2	10	3
2ª. calle zona 2	S2	10	3
2ª. calle zona 3	S2	10	3

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2008). ITC EA-2 del R.D. 1890/2008.

3.2.4.2. Propuesta de mejora del parque de lámparas

De la revisión realizada en el apartado 5.1.1.63, tabla III, se determinó que la iluminancia mínima y media en la mayoría de las calles del área urbana del municipio no cuentan con la calidad de iluminación mínima requerida para prestar un servicio de iluminación adecuado, por esta razón, se propone realizar una nueva configuración de las luminarias, empleando para este efecto, luminarias de venta en el mercado nacional y utilizando las alturas promedio de los postes con que cuenta el sistema.

El estudio se realiza utilizando la luminaria led tipo Cobra marca Light-tec de 60W, la cual presenta una eficiencia de 140 lm/W, 50,000 horas de vida y un factor de potencia mayor a 0.90, la cual posee 8,400 lúmenes según el proveedor. Por lo anterior, se consideró elegir este tipo de bombillos led de alta potencia ya que presentan mayor eficiencia energética, logrando así mayor cantidad de lúmenes por vatio; al tener un factor de potencia bastante alto (cercano a 1)

mucha más energía suministrada a la lámpara será aprovechada, por lo que se logrará disminuir aún más el gasto por este concepto.

Eligiéndose esta opción sobre los bombillos led de alta potencia ya que presentan mayor eficiencia energética, logrando así mayor cantidad de lúmenes por vatio.

3.2.4.3. Estudio lumínico

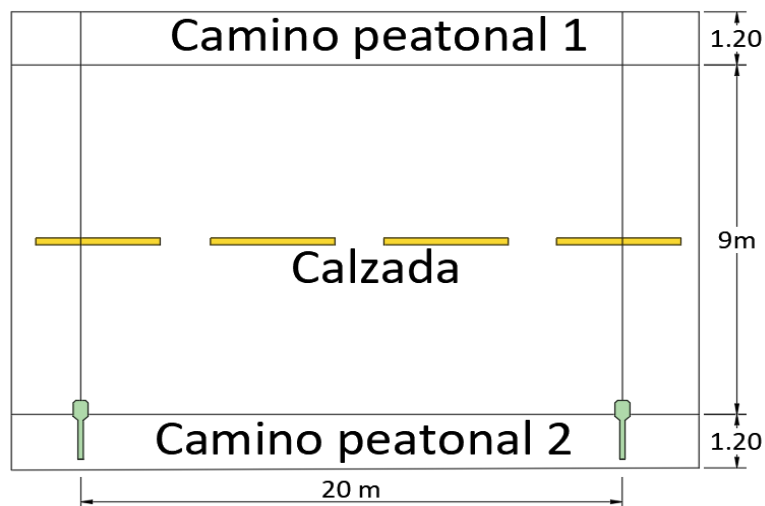
La propuesta ha sido simulada en el programa DIALux evo, software que permite realizar cálculos de iluminación para iluminación de carreteras; para optimizar el uso de la energía se realizaron diversas simulaciones para determinar el tipo y ubicación de las luminarias, que permitieran elegir la propuesta que presente mejor iluminación con un consumo de potencia menor.

Se eligió una calle por cada categoría establecida en la tabla VII, ya que cada agrupación de calles cuenta con características similares (ancho de sección de calle, clase de alumbrado, distancia de puntos de luz similar) para hacer la evaluación lumínica y establecer el diseño de la propuesta de mejora del sistema.

- Calle categoría S1
 - Propuesta 1.

La configuración de las luminarias se realiza en una disposición unilateral a cada 20 metros, utilizando luminarias led tipo Cobra marca Light-tec de 60W.

Figura 8. **Propuesta 1. Configuración de calle S1**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Propuesta 1. Calle S1**

Geometría:		Pavimento 9 m, aceras de 1.20m	
Distancia entre mástiles:	20 m	Altura punto de luz:	9 m
Inclinación del brazo:	0.0°	Longitud del brazo:	0.60 m
Tipo de calle	Unidad	Calculado	Nominal
Camino Peatonal 1	E_m	11.09 lx	≥ 15
	E_{min}	10.33 lx	≥ 5
	L_m	0.97 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²
Calzada	U_o	0.52	≥ 0.40
	U_i	0.85	$\leq 15\%$
	TI	6%	-
Camino Peatonal 2	E_m	15.07	≥ 15
	E_{min}	11.97	≥ 5

Fuente: elaboración propia.

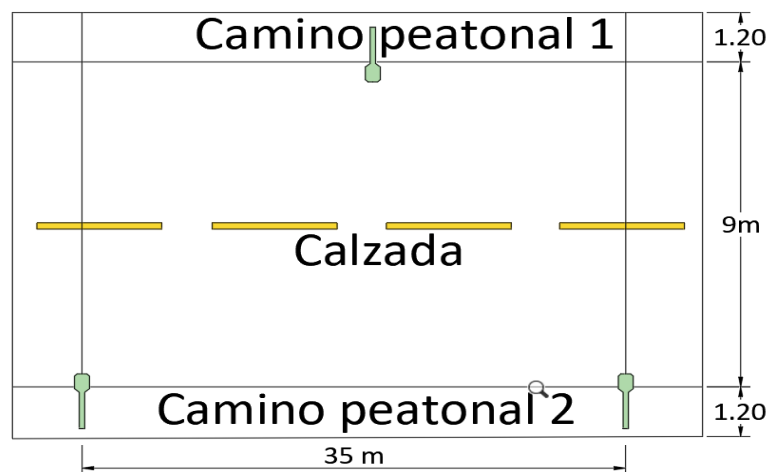
Se observó que al utilizar una luminaria tipo cobra de 60W y obtener los parámetros mínimos de iluminancia en la calzada es necesario colocar las luminarias a una distancia de 20 metros, además, se observó que en el camino

peatonal que se encuentra alejado de la luminaria se visualizó una iluminancia media por debajo del valor nominal.

- Propuesta 2

La configuración de las luminarias se realiza en una disposición bilateral en alternancia, con una separación entre puntos de luz de 35 metros, se utilizaron luminarias led tipo cobra marca Light-tec de 60W.

Figura 9. **Propuesta 2. Configuración de calle S1**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Propuesta 2. Calle S1**

Geometría:		Pavimento 9 m, aceras de 1.20m	
Distancia entre mástiles:	35 m	Altura punto de luz:	9 m
Inclinación del brazo:	0.0°	Longitud del brazo:	0.60 m
Tipo de calle	Unidad	Calculado	Nominal
Camino Peatonal 1	Em	15.01 lx	≥ 15
	Emin	10.05 lx	≥ 5
	Lm	1.16 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²
Calzada	Uo	0.79	≥ 0.40
	Ui	0.83	≤ 15%
	TI	5%	-
Camino Peatonal 2	Em	15.01	≥ 15
	Emin	10.05	≥ 5

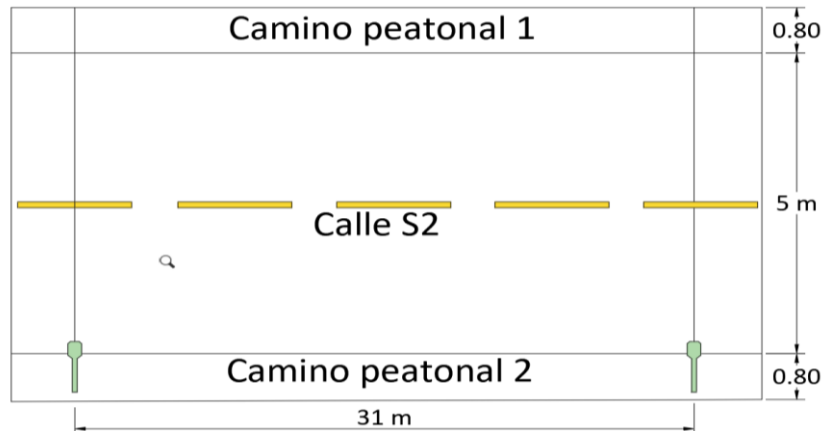
Fuente: elaboración propia.

La evaluación realizada cumplió con todos los valores nominales requeridos por lo que la propuesta es la mejor solución para prestar un servicio de iluminación adecuado, empleando luminarias de alta eficiencia energética.

- Calles categoría S2
 - Propuesta 1

La configuración de las luminarias se realiza en una disposición unilateral a cada 31 metros, se utilizaron luminarias led tipo Cobra marca Light-tec de 60W.

Figura 10. **Propuesta 1. Configuración de calle S2**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Propuesta 1. Calle S2**

Geometría:		Pavimento 5 m, aceras de 0.80 m	
Distancia entre mástiles:	31 m	Altura punto de luz:	7 m
Inclinación del brazo:	15°	Longitud del brazo:	1.00 m
Tipo de calle	Unidad	Calculado	Nominal
Camino Peatonal 1	Em	11.21 lx	≥ 10
	Emin	7.22 lx	≥ 3
	Lm	0.76 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²
Calzada	Uo	0.64	≥ 40
	Ui	0.62	≥ 0.60
	TI	12%	≤ 15%
Camino Peatonal 2	Em	8.71	≥ 10
	Emin	2.19	≥ 3

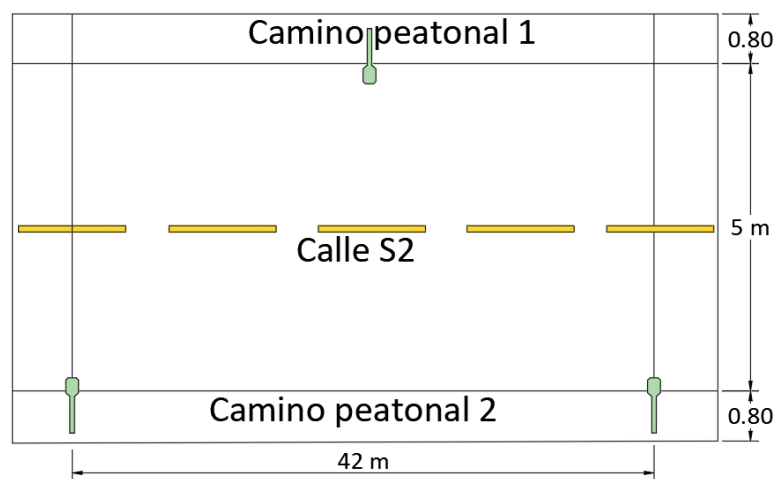
Fuente: elaboración propia.

Se observó que al utilizar una luminaria tipo cobra de 60W y obtener los parámetros mínimos de iluminancia en la calzada es necesario colocar las luminarias a una distancia no mayor de 31 metros, además, se observó que en el camino peatonal que se encuentra alejado de la luminaria se visualizó una iluminancia media por debajo del valor nominal.

○ Propuesta 2

La configuración de las luminarias se realiza en una disposición bilateral en alternancia a cada 42 metros.

Figura 11. **Propuesta 2. Configuración de calle S2**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Propuesta 2. Calle S2**

Geometría:		Pavimento 5 m, aceras de 0.80 m	
Distancia entre mástiles:	42 m	Altura punto de luz:	7 m
Inclinación del brazo:	15°	Longitud del brazo:	1.00 m
Tipo de calle	Unidad	Calculado	Nominal
Camino Peatonal 1	Em	14.71 lx	≥ 10
	Emin	9.47 lx	≥ 3
	Lm	1.16 cd/m ²	≥ 0.75 cd/ m ²
Calzada	Uo	0.74	≥ 40
	Ui	0.79	≥ 0.60
	TI	9%	≤ 15%
Camino Peatonal 2	Em	14.71	≥ 10
	Emin	9.47	≥ 3

Fuente: elaboración propia.

La evaluación realizada cumplió con todos los valores nominales requeridos por lo que la propuesta es la mejor solución para prestar un servicio de iluminación adecuado, empleando luminarias de alta eficiencia energética. Se verificó ampliar la distancia entre luminarias hasta el punto máximo que obtuviese los valores mínimos requeridos, para este tipo de calle fue de 42 metros, colocando las luminarias en una disposición bilateral en alternancia.

3.2.4.4. Análisis energético de la propuesta

Se realiza el análisis energético de cada clasificación de calle, tomando para el análisis las propuestas que tuvieron resultados satisfactorios en los valores nominales requeridos.

Tabla XXII. **Resultados para indicadores de eficiencia energética calle S1**

Calle S1	Tamaño	Calculado
Calle 3 de mayo	Dp	0.01W/lx*m ²
luminaria bilateral en alternancia	De	1.1 kWh/ m ² año

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resultados para indicadores de eficiencia energética calle S2**

Calle S2	Tamaño	Calculado
2a calle zona 3	Dp	0.02W/lx*m ²
luminaria bilateral en alternancia	De	1.6 kWh/ m ² año

Fuente: elaboración propia.

Objetivo 3: establecer qué procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados pueden utilizarse para el sistema de gestión energética

del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.

3.3. Procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados del sistema de gestión energética

El seguimiento, medición y análisis está íntimamente ligado al apartado de control operacional, ya que para comprobar que una determinada actividad se está llevando a cabo correctamente es necesario realizar las medidas y el seguimiento oportuno. Basado en la revisión energética y en el control operacional, se definirá el método de medición y seguimiento. (Agencia de Sostenibilidad Energética, 2018, p. 64)

Para asegurar el éxito de un sistema de gestión de la energía es necesario contar con métodos de verificación del desempeño energético; al momento de realizarse la implementación del sistema de gestión energética la municipalidad debe adoptar herramientas para monitorear, medir y analizar el desempeño del parque de lámparas de alumbrado público a través de la medición de las variables relacionadas con el uso significativo de la energía. A continuación, se presenta una propuesta elaborada que determina para el control, seguimiento y medición de resultados.

Tabla XXIV. **Actividades para realizar control, seguimiento y medición de resultados del sistema de gestión energética**

Aspecto	Descripción de la actividad	Área	Responsable	Temporabilidad	Método de verificación
Usos significativos de la energía	Revisión de la eficiencia del parque	Equipo de gestión de la energía	Director de servicios públicos	A cada 3 meses	Mantenimiento de las luminarias y equipos auxiliares.
Variables relacionadas al uso de la energía	Registros en campo	Equipo de gestión de la energía	Técnico electricista	A cada 3 meses	Registro de mediciones de iluminancia y elaboración de reportes.
Eficacia de los planes de acción	Revisión por la dirección	Equipo de gestión de la energía	Director de servicios públicos	A cada 6 meses	Revisión de avances del plan. Asignación de auditor interno.
Evaluación del consumo de la energía real contra el esperado	Análisis comparativo de datos de consumo	Equipo de gestión de la energía	Equipo de gestión de la energía	A cada 6 meses	Revisión de los consumos de energía, variables y registro histórico del consumo eléctrico.

Fuente: elaboración propia.

3.3.1. Mantenimiento de las luminarias y equipos auxiliares

La programación del mantenimiento preventivo comprenderá fundamentalmente la reposición de luminarias, operación de limpieza de luminarias y equipos auxiliares, trabajos de inspección y mediciones eléctricas.

Los trabajos de mantenimiento correctivo comprenderán la renovación, modificación o mejoras de la instalación del alumbrado público, así como la

sustitución puntual de fuentes de luz fundidas y elementos de la instalación fuera de uso.

Ante una no conformidad real o potencial se deben tomar acciones, las que se clasifican de la siguiente forma:

- Acción correctiva: tomada para eliminar la causa de una no conformidad detectada: reparación de averías, renovación y mejoras de la instalación, sustitución de fuentes de luz fundidas y elementos de la instalación fuera de uso.
- Acción preventiva: tomada para eliminar la causa de una no conformidad potencial: operaciones de limpieza de luminarias y equipos auxiliares, trabajos de inspección y mediciones eléctricas y luminotécnicas.
- Corrección: tomada para eliminar una inconformidad detectada.

Para realizar la revisión de la eficacia de una acción debe detectarse el hallazgo, analizar la o las causas, seleccionar y planificar las acciones que realizarán y por último realizar la verificación de las acciones llevadas a cabo.

El registro podrá realizarse en un libro de bitácora u hojas de trabajo, se debe colocar como mínimo la siguiente información:

- Titular del mantenimiento
- Número de orden de la operación de mantenimiento
- Ficha de ejecución
- La operación realizada y personal que la realizó
- Consumo energético anual
- Medida y verificación eléctrica de la red con registro de datos
- Nivel de iluminación

- Factores de utilización y mantenimiento de la instalación
- Tipo de luminaria utilizada

3.3.2. Registro de mediciones y elaboración de reportes

La medición y el seguimiento es la base para conseguir una mejora continua, el auditor realizará las mediciones de los parámetros eléctricos de las luminarias:

- Intensidad luminosa
- Luminancia
- Flujo radiante
- Radiancia
- Potencia activa
- Tensión entre fases

Para llevar esta actividad a cabo el auditor debe disponer de los equipos necesarios tales como: luxómetro, registradores de intensidad y tensión y tenaza amperimétrica y voltimétrica.

3.3.3. Revisión de avances del plan

El informe de auditoría debe contener un registro completo y conciso, debe realizarse después de cerrar el ciclo de implementación, debe estar fechado, revisado y aprobado por la autoridad administrativa superior del equipo de gestión de la energía, se debe incluir lo siguiente:

- Objetivos
- Alcance de la auditoría

- Identificación del área objeto de estudio
- Identificación del equipo que conforma la auditoría
- Hallazgos de la auditoría
- Conclusiones
- Recomendaciones

3.3.4. Revisión de los consumos de energía, variables y registro histórico del consumo eléctrico

Semestralmente se debe realizar un registro histórico del consumo eléctrico del parque de lámparas de alumbrado público, los datos obtenidos serán comparados con el consumo esperado, de existir consumos superiores a los esperados deberá realizarse una auditoría al sistema para el estudio de las variables.

Objetivo general: definir un sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público para la optimización en el uso de la energía en el área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.

3.4. Sistema de gestión energética

Se plantea el sistema de gestión energética en un ciclo de mejora continua: planificar, hacer, verificar y actuar, con el fin de contar con una secuencia de tareas a desarrollar para implementar y mantener a través de los años el sistema de gestión energética, que permita a la municipalidad definir una estructura para lograr la mejora continua del desempeño energético.

- Planificar: establecer controles y objetivos para mejorar el desempeño energético.
- Hacer: implementar procedimientos y procesos para controlar y mejorar el desempeño energético.
- Verificar: monitorear y medir resultados en base a políticas y objetivos propuestos
- Actuar: toma de acciones para mejorar el desempeño energético.

3.4.1. Actividades previas

Consiste en las tareas que deben realizarse antes de realizar la planificación del sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público.

- Socialización entre las partes

Se deben realizar una serie de reuniones de trabajo con las personas involucradas en la gestión de la energía: director de servicios públicos, alcalde, concejo municipal, técnicos electricistas, auditores, departamento de compras, encargado de presupuesto y director financiero, para consensuar el plan y sensibilizar sobre los procesos que conlleva el sistema de gestión energética.

- Compromiso de la alta dirección

Para asegurar el éxito del sistema de gestión energética, es indispensable contar con el compromiso de la alta dirección, en este caso, con el concejo

municipal, quien toma las principales decisiones administrativas estratégicas y operativas del municipio. Durante la etapa de implementación debe asignar recursos humanos, tecnológicos y financieros, asimismo debe definir, establecer e implementar la política energética y designar al responsable del sistema de gestión energética, así como motivar al personal para reducir la reticencia a enfrentar los cambios relacionados al sistema de gestión y la mejora del desempeño energético.

- Equipo de gestión de la energía

Debe estar integrado por un comité interdisciplinario, conformado por personas con conocimientos específicos en energía, procesos municipales y sistemas de gestión. No tienen que estar necesariamente involucrados a tiempo completo.

Debe estar conformado por al menos un integrante en las siguientes áreas:

- Mantenimiento
- Ingeniería de proyectos/Gerente del sistema de gestión energética
- Servicios públicos
- Dirección financiera
- Compras
- Capacitación/recursos humanos

3.4.1.1. Política energética

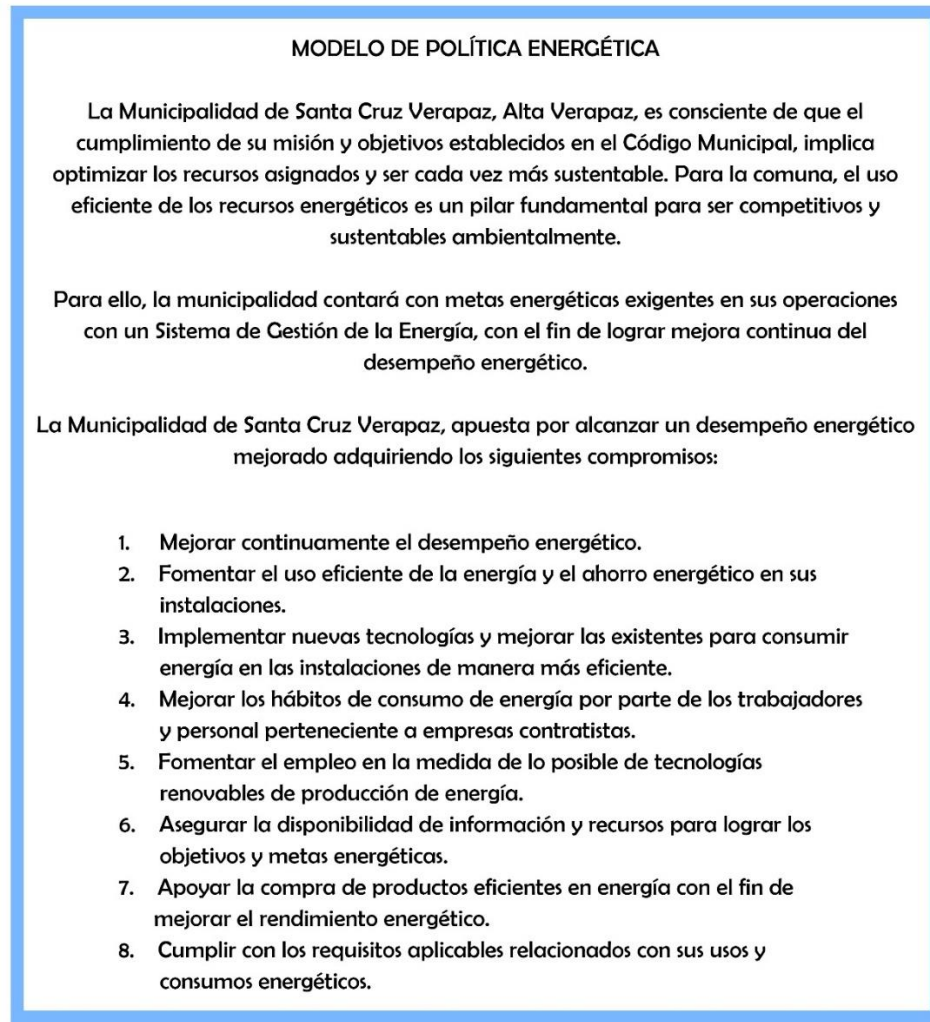
Es un requisito estructural para el desarrollo del sistema de gestión energética, es el instrumento por medio del cual la municipalidad expresa

formalmente su compromiso y apoyo al sistema de gestión energética, debe ser concretada por la alta gerencia mediante un documento firmado que incluya los compromisos y planes en materia de gestión de energía.

Según la guía de implementación del SGE (2011) la política energética:

Debe asegurar la disponibilidad de información y de recursos necesarios para alcanzar los objetivos y metas, e incluir un compromiso con los requisitos legales aplicables y otros requisitos que la organización suscriba relacionados con el uso y consumo de la energía y la eficiencia energética. También deberá apoyar la adquisición de productos y servicios energéticamente eficientes y el diseño para mejorar el desempeño energético, combinando los requisitos de la norma con los propios objetivos de la organización. (p. 27)

Figura 12. **Modelo de política energética**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de ISO 50001.

3.4.1.2. Organigrama del sistema de gestión energética

Se propone el establecimiento de un organigrama junto a la descripción de los roles y responsabilidades de cada integrante del equipo de gestión.

Figura 13. **Organigrama del sistema de gestión energética**



Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Planificación energética

Una vez se cuente con la política energética, se realiza la planificación del sistema de gestión energética, para ello se considera el consumo de energía, se definen mejoras al sistema y las actividades de seguimiento y medición de resultados.

Tabla XXV. **Proceso de planificación energética**

Información de entrada	Revisión energética	Resultados
Uso pasado y presente de la energía	Análisis, uso y consumo de la energía	Planes de acción
Variables relevantes que afectan el uso de la energía	Oportunidades de mejora del desempeño	

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de ISO 50001 (2018). *Guía de implementación de Sistemas de Gestión de Energía.*

3.4.3. Operación del sistema de gestión energética

Para entrar en funcionamiento el sistema de gestión de la energía debe realizarse inicialmente un plan de capacitación al personal involucrado, para que conozca su participación dentro del proceso.

Seguidamente se debe realizar las oportunidades de mejora al sistema, para lo cual se propone realizar el cambio de luminarias, ubicación de puntos de luz para mejorar la eficiencia energética del sistema y mejorar la calidad del servicio de alumbrado público.

3.4.4. Verificación del sistema de gestión energética

La verificación es de vital importancia para asegurar el éxito del sistema de gestión energética, permiten monitorear, medir y analizar el desempeño del parque de lámparas de alumbrado público a través de la medición de las variables relacionadas con el uso de la energía y la calidad del servicio.

Para realizar la verificación del sistema de gestión energética se han establecido procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados en el apartado 3.3 del presente documento.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis interno

En la primera etapa del estudio se realizó un análisis de la calidad del servicio de iluminación que presta el parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz y el cálculo del consumo eléctrico mensual que la comuna invierte por este concepto. Se realizaron mediciones en campo para conocer la iluminancia mínima, máxima y media, datos que fueron comparados con los parámetros de la Instrucción Técnica Complementaria EA-07 del R.D. 1890/2008 de España, en virtud de que en Guatemala no existe parámetros normados que establezcan tales valores.

Se identificó que, aunque la comuna ha migrado de la tecnología tradicional a tecnología más eficiente, sin embargo, los valores luminotécnicos de las calles están por debajo de los valores mínimos requeridos para brindar un servicio de iluminación de calidad.

En cuanto al análisis del consumo eléctrico de la instalación, se evaluó la cantidad de vatios empleados para iluminar cada metro cuadrado de calle, para ello, se estudiaron los puntos de luz existentes y la potencia de cada lámpara instalada y se consideraron, adicionalmente, las pérdidas del balasto, encontrando que se utilizan entre 0.036 y 0.533 W/m², se observó valores bajos de consumo, identificados en gran parte por la implementación de luminarias led (representan el 40 % del parque de lámparas total del área urbana) y por la amplia distancia entre luminarias, dicha situación ocasiona baja cantidad de puntos de luz por metro cuadrado de calle.

La amplia longitud entre puntos de luz a su vez causa que se tengan valores de iluminancia mínima y media por debajo de lo requerido para prestar un servicio óptimo, a continuación, se presenta un análisis comparativo de los datos presentados en campo y los valores mínimos requeridos.

Tabla XXVI. Análisis comparativo del nivel de iluminación de las vías

Calle	Clase de alumbrado	$E_m(\text{lux})$ Campo	$E_m(\text{lux})$ Nominal	$E_{min}(\text{lux})$ Campo	$E_{min}(\text{lux})$ Nominal	$E_{max}(\text{lux})$ Campo	U_o
Calle 3 de Mayo	S1	9.20	15	4.35	5	21.15	0.47
1ª. calle zona 1	S2	14.27	10	3.61	3	33.40	0.25
1ª. calle zona 4	S2	13.65	10	4.10	3	22.80	0.30
2ª. avenida zona 3	S2	8.90	10	5.33	3	27.10	0.59
1ª. calle zona 2	S2	2.12	10	0.30	3	8.65	0.14
1ª. calle zona 3	S2	7.85	10	1.89	3	13.10	0.24
2ª. calle zona 2	S2	6.10	10	1.95	3	15.18	0.32
2ª. calle zona 3	S2	5.90	10	2.80	3	9.78	0.47

Fuente: elaboración propia, empleando datos de la tabla VIII ITC EA-2 del R.D. 1890/2008.

De los resultados obtenidos en campo se encontró que únicamente 1ª calle zona 1 y 1ª calle zona 4 cumplen con los valores de iluminancia, las demás calles se encuentran por debajo de los valores nominales, esta situación da como resultado que no se tenga buena calidad de iluminación.

Se realizó el cálculo del consumo eléctrico mensual, se concluye que el alumbrado público del área urbana consume 31,199.93 kWh, lo que repercute en un costo mensual de Q 68,192.68.

Para mejorar los parámetros de calidad de la iluminación y la optimización en el uso de la energía se planteó una propuesta, la cual, considera la sustitución de las luminarias de tecnología tradicional por luminarias de alta eficiencia, para ello, se estableció alturas y distancia entre puntos de luz adecuada a cada tipo de vía y de esta manera proporcionar a los usuarios parámetros mínimos de iluminación, dotar de un servicio de calidad y alto desempeño energético.

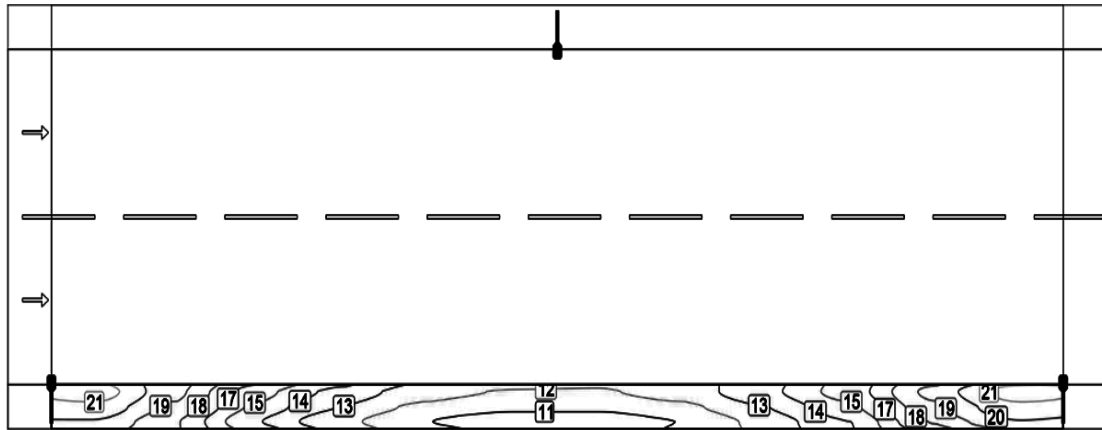
Para llevar esto a cabo se inició clasificando el tipo de vía y el alumbrado apropiado para cada clasificación, posteriormente se modeló la propuesta en el programa DIALux, y se realizó diversas pruebas hasta obtener la más optima, se buscó que cumpliera los parámetros mínimos de iluminancia y que obtuviera la mayor distancia entre puntos de luz posible para evitar costos adicionales que generaría la compra de luminarias innecesarias.

4.1.1. Análisis de la propuesta para calles de clasificación S1

Se realizó diversas pruebas antes de fijar los parámetros de la propuesta 2, para lo cual se realizaron variantes de altura y grado de inclinación de las luminarias, así como distanciamiento entre puntos de luz, se pretendió en primera instancia, obtener los parámetros mínimos de iluminancia para este tipo de vía y seguidamente obtener la mayor distancia posible entre puntos de luz.

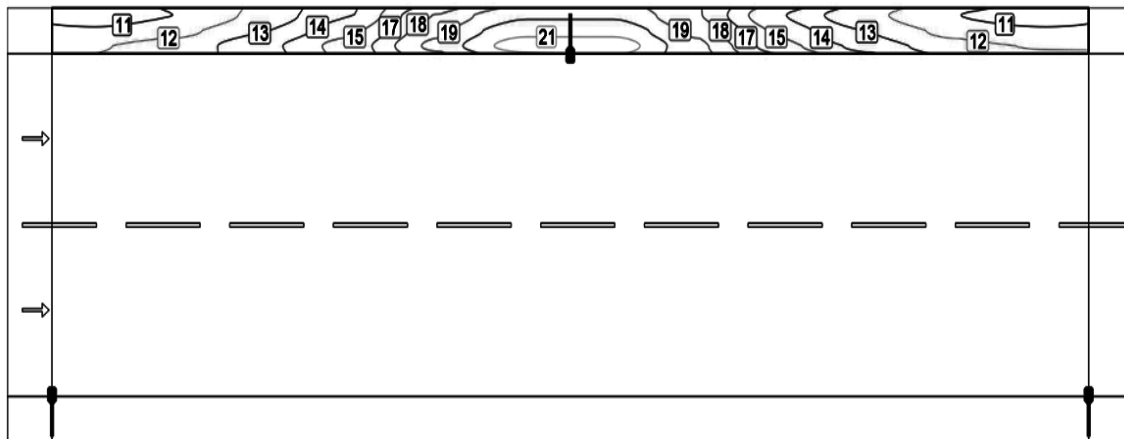
A continuación, se realiza un análisis lumínico de la propuesta para la calle de categoría S1, se presentan los valores de iluminancia horizontal del camino peatonal 1, camino peatonal 2 y calzada, representadas con curvas isolux.

Figura 14. **Camino peatonal 1, iluminancia horizontal S1**



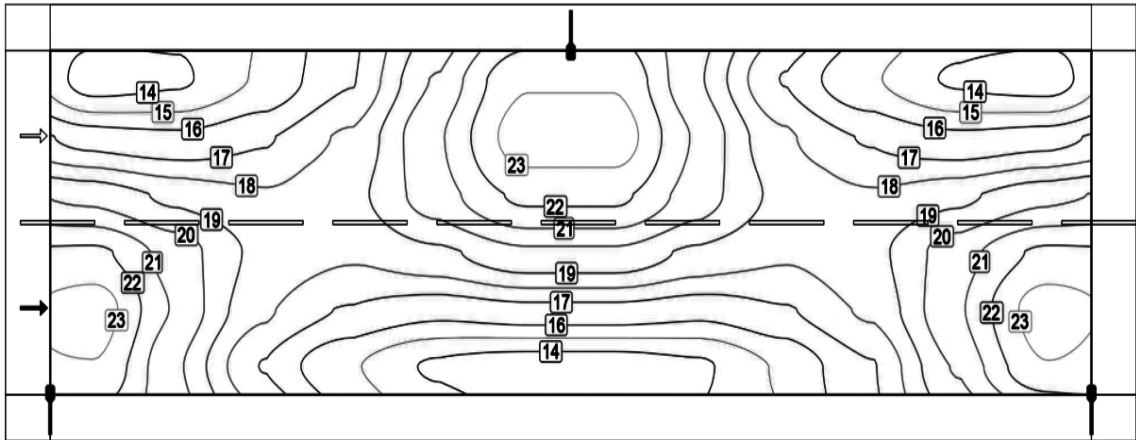
Fuente: elaboración propia, utilizando DIALux.

Figura 15. **Camino peatonal 2, iluminancia horizontal S1**



Fuente: elaboración propia, utilizando DIALux.

Figura 16. Calzada, iluminancia horizontal S1



Fuente: elaboración propia, utilizando DIALux.

De los resultados obtenidos se determinó que para la calle S1, la propuesta número 2 presentó mejores resultados, realizando una disposición bilateral en alternancia para la configuración de luminarias, con lámparas led tipo Cobra marca Light-tec de 60W.

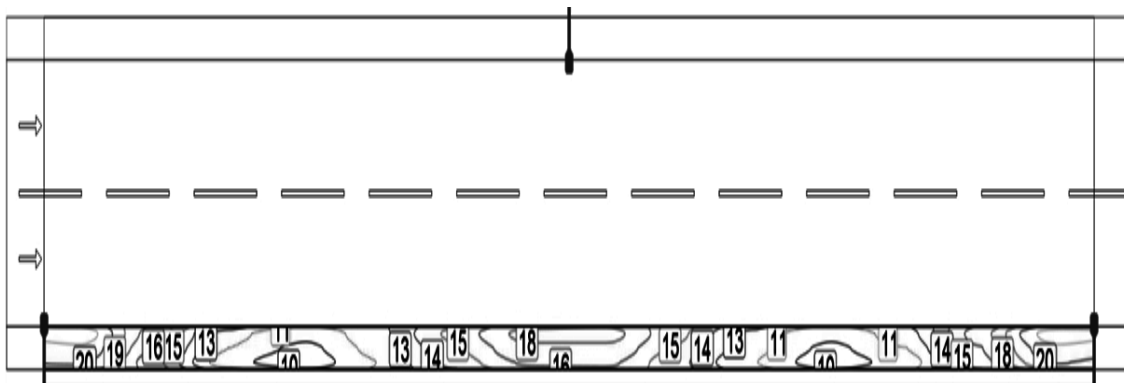
Como pudo observarse en la tabla XIX, con esta propuesta se tuvo una iluminancia mínima de 10.05 lx y una iluminancia media de 15.01 en los caminos peatonales y una luminancia media de 1.16 cd/m², parámetros superiores a los valores nominales requeridos para este tipo de calle.

4.1.2. Análisis de la propuesta para calles de clasificación S2

Al igual que para la calle de clasificación S1, en las calles clasificadas como S2, se realizaron diversas pruebas antes de fijar la propuesta óptima, se hicieron variantes de altura y grado de inclinación de las luminarias, así como distanciamiento entre puntos de luz y tomando en consideración la morfología de las calles.

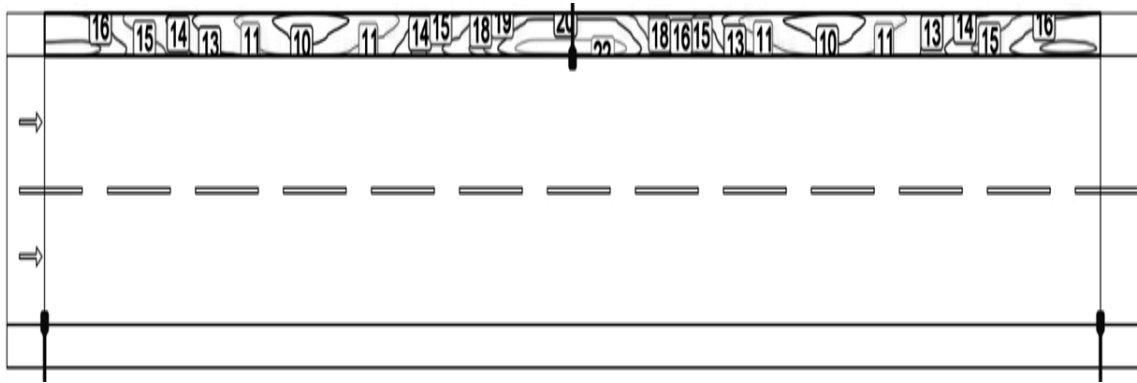
Se propuso obtener los parámetros mínimos de iluminancia para este tipo de vía y seguidamente alcanzar la mayor distancia posible entre puntos de luz. A continuación, se presenta un análisis lumínico de la propuesta para las calles de categoría S2.

Figura 17. Camino peatonal 1, iluminancia horizontal S2



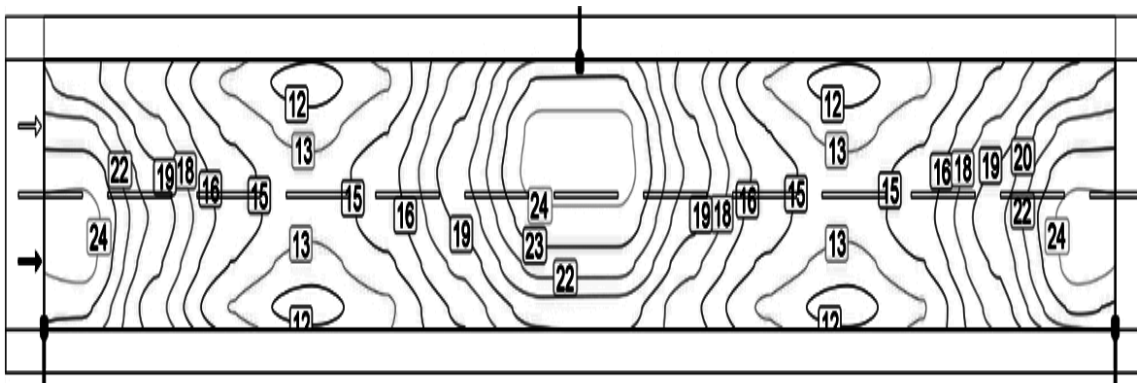
Fuente: elaboración propia, utilizando DIALux.

Figura 18. **Camino peatonal 2, iluminancia horizontal S2**



Fuente: elaboración propia, utilizando DIALux.

Figura 19. **Calzada, iluminancia horizontal S2**



Fuente: elaboración propia, utilizando DIALux.

De los resultados obtenidos se determinó que para la calle S2, la propuesta número 2 presentó mejores resultados, realizando una disposición bilateral en alternancia para la configuración de luminarias, con lámparas led tipo Cobra marca Light-tec de 60W con distanciamiento de 42 metros, se obtuvo una iluminancia mínima de 9.47 lx y una iluminancia media de 14.71 en los caminos

peatonales y una luminancia en calzada de 1.16 cd/m², parámetros superiores a los valores nominales para este tipo de calle.

4.1.3. Eficiencia energética de la propuesta

Para medir la eficiencia energética de la propuesta de alumbrado público se evaluó la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada, ecuación que se realizó para cada clasificación de calle.

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{W}$$

(Ec. 04)

Donde:

ε = eficiencia energética ($m^2 \cdot \text{lux}/W$ o Lm/W)

S= superficie iluminada (m^2)

E_m = iluminancia media (lux)

W= vatios (W)

- Calle clasificación S1

$$\varepsilon = \frac{m^2 * \text{lux}}{W}$$

(Ec. 05)

$$\varepsilon_{s1} = \frac{42m^2 * 15.01\text{lux}}{55W}$$

$$\varepsilon_{s1} = 11.46 \text{ Lm}/W$$

- Calle clasificación S2

$$\varepsilon_{s2} = \frac{33.6m^2 * 9.47lux}{55W}$$

$$\varepsilon_{s2} = 5.79 \text{ } Lm/W$$

Se obtuvo que la eficiencia del sistema supera la eficiencia mínima requerida, tomando como referencia la iluminancia media de cada clasificación de calle. Los datos fueron comparados con la tabla II de los requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial ambiental de la ITE EA-01.

Tabla XXVII. **Eficiencia energética de la propuesta**

Calle	Em(lux)	Emin	ε
S1	15.01	7.5	11.46
S2	9.47	5	5.79

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el indicador de densidad de potencia de iluminación (valor de la potencia dividido por el valor del producto de la superficie a iluminar y la iluminancia media), la lámpara led tipo Cobra marca Light-tec de 60W para la calla S1 obtuvo un Dp de 0.015 W/lx* m² y para las calles S2 tuvo un Dp de 0.023 W/lx*m², los resultados son positivos puesto que muestran la cantidad de energía empleada para generar un lux por metro cuadrado de superficie.

4.1.4. Análisis económico de la propuesta

Se realizó el análisis del consumo energético mensual de la propuesta para las dos clasificaciones de calles que conforman el área urbana del municipio, para lo cual se cuantificó el número de luminarias a emplear, derivado de la propuesta de interdistancia entre puntos de luz y se adicionó un 21.64 % de pérdida por balasto.

Se multiplicó el total de kWh por la tarifa de alumbrado público vigente para la distribuidora DEORSA en el mes de agosto del año 2021 de Q 1.951495, se obtuvo un costo mensual de Q 24,902.02.

Tabla XXVIII. Análisis del consumo energético de la propuesta

Calle	Tipo de lámpara	Cantidad	Potencia kW	kWh luminaria	Pérdida Balasto 21.64 %	Total kWh con pérdida por luminaria	kWh Total	Tarifa Q/kWh	Total
S1	LED 60W	54	0.06	22.32	4.83	27.15	1,466.10	Q 1.951489	Q 2,861.08
S2	LED 60W	416	0.06	22.32	4.83	27.15	11,294.42	Q 1.951489	Q 22,040.94
									Q. 24,902.02

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar la inversión inicial de la propuesta se procedió a revisar los precios de las luminarias y las fotoceldas en el mercado nacional, adicionalmente se consideró los costos de mano de obra por el cambio de luminarias. Para cumplir con los parámetros de iluminancia mínima y de iluminancia media establecidos en el estudio lumínico del diseño propuesto, es necesaria la reubicación de puntos de luz existentes, por lo que se estimó el monto que la municipalidad tendría que dar a Energuate para la reubicación de los postes.

Tabla XXIX. **Inversión inicial de la propuesta**

Call e	Tipo de lámpara	Cantida d	Precio de lámpara + fotocelda	Mate- riales	Mano de obra	Reubica- ción de postes	Total, de mano de obra y materiales
S1	led 60W	54	Q 1,950.00	Q 105,300	Q 5,400	Q 162,000	Q 272,700
S2	led 60W	416	Q 1,950.00	Q 811,200	Q 41,600	Q 1,222,000	Q 2,074,800
							Q 2,347,500

Fuente: elaboración propia.

La propuesta será viable al paso del tiempo, si al realizar la implementación del sistema de gestión energética se siguen los procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados indicados en el inciso 5.3 del presente documento para monitorear, dar mantenimiento al sistema y analizar su desempeño energético.

El estudio proporciona una alternativa de ahorro energético y optimización en el uso de la energía, al mismo tiempo logra reducir costos por concepto de energía eléctrica para la comuna, además, las luminarias propuestas tienen una vida útil de 40,000 horas, por encima de las bombillas de tecnología tradicional y no emiten rayos ultravioleta ni infrarrojos.

Tabla XXX. **Análisis comparativo del costo por consumo eléctrico anual**

	Costo Mensual		Costo Anual	
Sistema existente	Q	60,886.32	Q	730,635.85
Propuesta	Q	24,902.02	Q	298.824.23
Ahorro económico anual			Q	431,811.61

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Análisis comparativo del gasto anual por concepto de consumo eléctrico y mantenimiento**

Sistema existente				Propuesta			
Costo Mensual	Costo Anual	Mantenimiento anual	Total, Anual	Costo Mensual	Costo Anual	Mantenimiento anual	Total, Anual
Q 60,886.32	Q 730,635.85	Q 73,063.58	Q 803,699.43	Q 24,902.02	Q 298,824.23	Q 29,882.42	Q 328,706.66

Fuente: elaboración propia.

Con la implementación de la propuesta el costo del consumo eléctrico y de mantenimiento anual se reduciría en un 59 % respecto a la factura que paga la comuna por este concepto, se obtuvo un ahorro económico anual de Q 474,992.

Seguidamente se realiza un análisis comparativo del consumo eléctrico del sistema actual y de la propuesta de mejora, a continuación, se presentan los datos obtenidos.

Tabla XXXII. **Análisis comparativo del consumo eléctrico mensual y ahorro económico anual**

	Costo Mensual		Costo Anual
Sistema Actual	Q	60,886.32	Q 730,635.85
Propuesta	Q	24,902.02	Q 298,824.23
Ahorro económico anual			Q 431,811.61

Fuente: elaboración propia.

Seguidamente, se realiza la proyección anual y ahorro acumulado con el proyecto en funcionamiento, se considera una inflación anual según las tasas anuales de inflación proyectadas por el (Instituto Nacional de Estadística, 2022).

Tabla XXXIII. **Proyección anual y ahorro acumulado**

Proyección anual		Consumo eléctrico anual calculado del sistema existente		Consumo eléctrico anual calculado de la propuesta		Ahorro anual con el proyecto en funcionamiento		Ahorro acumulado
Año 1	Q	730,635.85	Q	298,824.23	Q	431,811.61	Q	431,811.61
Año 2	Q	762,345.44	Q	311,793.20	Q	450,552.24	Q	882,363.85
Año 3	Q	794,668.89	Q	325,013.24	Q	469,655.65	Q	1,352,019.50
Año 4	Q	826,455.64	Q	338,013.77	Q	488,441.88	Q	1,840,461.38
Año 5	Q	859,679.16	Q	351,601.92	Q	508,077.24	Q	2,348,538.62

Fuente: elaboración propia.

El costo inicial del proyecto es de Q 2,347,500.00, como puede observarse en la tabla XXI, la inversión se recuperaría en un término de cinco años, con el ahorro anual que generaría la puesta en marcha de la propuesta.

4.2. Análisis externo

La tesis doctoral de Guzmán (2012) presenta un indicador para medir la eficiencia energética, realiza mediciones de campo y simulaciones con software para cálculo lumínico, realiza un análisis de los indicadores de alumbrado público como lo son los números de puntos de luz por población, consumo eléctrico anual de las instalaciones de público por población total, superficie por punto de luz, consumo eléctrico anual por superficie urbana, gasto por punto de luz, concluye que dichos indicadores no toman en cuenta la tipología de la vía, la superficie a iluminar, parámetros de calidad de la instalación ni eficiencia energética. Realiza un análisis los tipos de vía, clase de alumbrado, mediciones luminotécnicas de campo, simulaciones en software y propuestas en donde obtiene iguales o mejor iluminación a una potencia menor.

La tesis presenta una propuesta completa y compleja, en donde propone nuevos indicadores para evaluar las variables del alumbrado público, y al igual

que en el presente trabajo de investigación analiza valores de iluminación adecuados a cada tipo de vía de las calles en estudio, tomando en consideración la eficiencia energética de la propuesta.

Las municipalidades implementan planes para el ahorro de la energía con el fin de reducir los costos de alumbrado público, pero las acciones en la mayoría de los casos se limita a realizar el cambio de luminarias por otras de menor consumo eléctrico, sin embargo, no se realizan evaluaciones luminotécnicas para evaluar la calidad del servicio, como en el caso de la Municipalidad de la Villa de Tactic, en donde reemplazaron la totalidad de sus luminarias, ubicándolas en los mismos postes, sin embargo la percepción de los vecinos es que iluminan menos que las lámparas de vapor de sodio y de mercurio con las que contaban anteriormente.

CONCLUSIONES

1. El parque de lámparas de alumbrado público de la municipalidad de Santa Cruz Verapaz es de 695 lámparas, de diferente potencia y tecnología, prevaleciendo las lámparas de vapor de sodio de 250W, accionadas por fotocelda con una operación media de 12 horas/día y un consumo de energía promedio de 32,000 kWh a un costo mensual según tarifa vigente de Q 60,800. Únicamente dos calles cumplen con los estándares de iluminancia para prestar un servicio de alumbrado público eficiente.
2. El diseño planteado se realizó para vías con características geométricas concretas, iluminación apropiada y bajo consumo de operación, con estos criterios se mejora la eficiencia energética del parque de lámparas a 11.46Lm/W en calles de clasificación S1 y 5.79 Lm/W en calles de clasificación S2, superando los valores nominales requeridos, aunado a una reducción del costo de operación y mantenimiento anual del orden de 59 % (Q 474,992.00) del costo actual por los mismos rubros.
3. Entre los principales procedimientos para el control y administración del servicio de alumbrado se deben considerar al menos, una revisión trimestral del estado físico del parque de lámparas que incluya la sustitución de los equipos que se encuentren en mal estado, asimismo, semestralmente deberá realizarse un recuento de luminarias y tecnologías para determinar la potencia instalada, a efecto, que el pago por concepto de alumbrado público sea el correcto y permita tener control del consumo, ya que este es el valor que determina el monto a cancelar a la distribuidora.

4. Se definió el sistema de gestión energética para el parque de lámparas de alumbrado público en función de planear: en donde se evaluó el consumo, valores luminotécnicos y desempeño energético de los equipos, para proponer una propuesta que permite mejorar los parámetros de iluminación de las vías y la eficiencia energética de las lámparas; hacer: realizar procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados; verificar: que las actividades para medir resultados sean en base a la política y objetivos propuestos; actuar: con acciones que permiten mejorar el desempeño energético de los equipos y dotar de una iluminación de calidad a los transeúntes.

RECOMENDACIONES

1. Promover la sustitución de las luminarias utilizadas en el sistema actual por equipos de alta eficiencia y bajo consumo, aunado a la estandarización de alturas y distancias entre puntos de luz, lo más apegado posible a los requerimientos de los fabricantes para obtener la máxima eficiencia en la iluminación.
2. Adoptar por parte de la Municipalidad de Santa Cruz Verapaz el estudio propuesto, ya que obtendrían valores altos de eficiencia energética y calidad lumínica que den como resultado un servicio de alumbrado público moderno y eficiente.
3. Efectuar procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados en el sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público para cumplir con las metas propuestas, asegurar el éxito del proyecto y para mantener la calidad del servicio.
4. Implementar el sistema de gestión de la energía en el servicio del alumbrado público para obtener un ahorro energético y económico ya que la municipalidad de Santa Cruz Verapaz reduciría el consumo eléctrico respecto al sistema que existente.

REFERENCIAS

1. Agencia de Sostenibilidad Energética. (2018). *Guía de implementación de sistema de gestión de energía basados en ISO 50001*. Chile: Autor.
2. Aloma, E. y Malaver, M. (enero, 2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot. *Enseñanza de las ciencias*, 25(3), 387-400.
3. Barrero F. (2004). *Sistemas de energía eléctrica*. España: Paraninfo. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=wZoyiFKf5IkC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
4. Carreto, A. y García J. (2012). *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. España: AENOR. Recuperado de https://www.academia.edu/34453345/Gesti%C3%B3n_de_la_eficiencia_energ%C3%A9tica_c%C3%A1lculo_del_consumo_indicadores_y_mejora
5. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2013). *Alumbrado público de Guatemala, alternativas para el ahorro y la eficiencia energética*. Guatemala: Autor.
6. Servicio de alumbrado público en Guatemala. (septiembre - noviembre, 2012). *Boletín de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica*. 1(2) 1-5.

7. Concejo Municipal de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. (2018). *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz 2018 – 2032*. Guatemala: Autor.
8. Decreto 12-2002. Código Municipal. Diario de Centroamérica. Guatemala. 13 de mayo de 2002.
9. 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*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.postgrados.cunoc.edu.gt/tesis/f0c299a1d10bf1be7692cb6092d9fc5a154b7562.pdf>
10. Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid (2012). *Guía de gestión energética en alumbrado público*. Madrid: Autor.
11. Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid (2015). *Guía sobre tecnología led en el alumbrado*. España: BOCM.
12. Distribuidora de Electricidad de Oriente. S.A. (2020). *Estado de Cuenta Al 31 de diciembre de 2020 Municipalidad de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz*. Guatemala: Autor.
13. Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A. (2018). *Factura Consumo Energía NIS 3144027 junio de 2018 Municipalidad de Tactic*. Guatemala. Guatemala: Autor.

14. Guzmán R. (2012). *Análisis de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado público. Indicador PM2*. (Tesis doctoral). Universidad de Málaga, Málaga. Recuperado de <https://1library.co/document/yjddgwkky-analisis-eficiencia-energetica-instalaciones-alumbrado-publico-indicador-pm.html>
15. Instituto Nacional de Estadística. (2022). *Tasa de Inflación en Guatemala desde 2015 hasta 2027*. Guatemala: Autor.
16. Ministerio de Energía y Minas (2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2019-2032*. Guatemala: Autor.
17. Municipalidad de la Villa de Tactic, Alta Verapaz (2017). *Mejoramiento red de alumbrado público Villa De Tactic, Alta Verapaz*. Guatemala: Autor.
18. Municipalidad de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz (2021). *1er. Informe Cuatrimestral De Gastos 2021*. Guatemala: Autor.
19. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1990). *Vocabulario Científico y Técnico*. España: Espasa Calpe.
20. Real Decreto 1890/2008. Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. (noviembre 2008). *Boletín Oficial de Estado*. 7(11) 45-53.

APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de coherencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	METODOLOGÍA	RESULTADOS
1. Problema Principal No está definido un sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público para la optimización en el uso de la energía en el municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.	1. Objetivo General Definir un sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público para la optimización en el uso de la energía en el municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.	Nivel de investigación: La investigación es descriptiva en la primera fase, posteriormente es explicativa y finalmente correlacionada, de acuerdo a la finalidad de la misma. Metodología de la investigación: Para la investigación se utilizó un enfoque cuantitativo y cualitativo.	Se definió el sistema de gestión energética para el para el parque de lámparas de alumbrado público para la optimización en el uso de la energía en el municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala.
2. Problemas Secundarios a). Desconocimiento del consumo, capacidad instalada y desempeño del parque de lámparas de alumbrado público del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala. b). Falta de un estudio lumínico que permita mejorar los parámetros de iluminación de las vías y la eficiencia energética del parque de lámparas de alumbrado público del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz. c). Desconocimiento de qué procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados pueden emplearse para el sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz, Guatemala.	2. Objetivos Específicos a). Determinar el consumo, capacidad instalada, valores luminotécnicos de campo y el desempeño del parque de lámparas de alumbrado público del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala. b). Diseñar un estudio lumínico que permita mejorar los parámetros de iluminación de las vías y la eficiencia energética del parque de lámparas de alumbrado público del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz. c). Establecer procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados para el sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz, Guatemala.	Diseño de la investigación: En la primera fase del estudio se realiza un diseño descriptivo, en donde se analiza y presenta el estado del parque de lámparas, en la siguiente fase del estudio se realiza un diseño cuasi experimental, para cuyo desarrollo se requirió examinar el comportamiento de los fenómenos a partir de la operación de cambios intencionados en las variables identificadas. Población: Está comprendida por el conjunto de luminarias que conforman el parque de lámparas de alumbrado público del área urbana del municipio de Santa Cruz Verapaz, A.V.	El área urbana del municipio cuenta con 695 lámparas instaladas, de ellas el 15.4 % están compuestas por lámparas de vapor de mercurio, el 24.9 % por vapor de sodio, el 41.6 % corresponde a tecnología LED y el 18.1 % de fluorescentes, obteniendo un consumo eléctrico entre 0.036 y 0.533 W/ m ² . Con iluminancias mínimas y medias por debajo de los valores requeridos. Para mejorar los parámetros de calidad de la iluminación y la optimización en el uso de la energía se planteó una propuesta, la cual, considera la sustitución de las luminarias de tecnología tradicional por luminarias de alta eficiencia, para ello, se estableció alturas y distancia entre puntos de luz adecuada a cada tipo de vía y de esta manera proporcionar a los usuarios parámetros mínimos de iluminación, dotar de un servicio de calidad y alto desempeño energético. Se plantearon procedimientos para el control, seguimiento y medición de resultados del sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público del municipio de Santa Cruz Verapaz.

Continuación del apéndice 1.

CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
Se definió el sistema de gestión energética para el parque de lámparas de alumbrado público en función de planear: en donde se evaluó el consumo, valores luminotécnicos y desempeño energético del parque de lámparas existente, posteriormente se realizó una propuesta que permite mejorar los parámetros de iluminación de las vías y la eficiencia energética; hacer: se propuso procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados; verificar: se propuso actividades para medir resultados en base a la política y objetivos propuestos; actuar: con acciones que permiten mejorar el desempeño energético, además, permite dotar de una iluminación de calidad a los transeúntes.	Se sugiere a la municipalidad de Santa Cruz Verapaz implementar el sistema de gestión de la energía en el servicio del alumbrado público, para que el parque de lámparas sea más eficiente energéticamente y así poder obtener un ahorro energético y económico, así como también, para prestar un servicio de iluminación de calidad, reducir la contaminación lumínica y la emisión de gases contaminantes que generan las luminarias de tecnología tradicional.
Conclusiones secundarias	Recomendaciones secundarias
a). Durante el desarrollo del presente trabajo, se obtuvo que la municipalidad de Santa Cruz Verapaz tiene instaladas 695 lámparas de diferente potencia y tecnología, prevaleciendo las lámparas de vapor de sodio de 250W, accionadas por fotocelda con una operación media de 12 horas/día y un consumo de energía promedio de 32,000 kWh a un costo mensual según tarifa vigente de Q.60,800. Este valor es alto, si se considera que únicamente dos calles cumplen con los estándares de iluminancia de 10 Lux, para prestar un servicio de alumbrado público eficiente.	a). Promover la sustitución de las luminarias utilizadas en el sistema actual por equipos de alta eficiencia y bajo consumo, aunado a la estandarización de alturas y distancias entre puntos de luz, lo más apegado posible a los requerimientos de los fabricantes, para obtener la máxima eficiencia en la iluminación de las áreas.
b). El diseño planteado se realizó para vías con características geométricas concretas, bajo criterios lumínicos y de consumo energético, con lámparas de factores de potencia de 0.90, mejoran el uso de la energía y brindan la iluminancia adecuada a cada tipo de vía, Em de 15.01 lux y Emin mayor a 10.05 lux en la calle de clasificación S1 y , Em de 14.71 lux y Emin de 9.47 lux en calles de clasificación S2, mejorando así los parámetros de iluminación, permitió mejorar la eficiencia energética del parque de lámparas, 11.46 Lm/W en calle de clasificación S1 y 5.79 Lm/W en calles de clasificación S2, superando los valores nominales requeridos; con la implementación de la propuesta el costo del consumo eléctrico y del mantenimiento anual se reducirá en un 59% respecto a la factura que paga la comuna por este concepto y tendrá un ahorro económico anual aproximado de Q.474,992.	b). Se sugiere a la municipalidad de Santa Cruz Verapaz adoptar el estudio propuesto, ya que obtendrían valores altos de eficiencia energética y calidad lumínica que den como resultado un servicio de alumbrado público moderno y eficiente.
c). Los procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados para el sistema de gestión energética son de vital importancia para asegurar el éxito del sistema de gestión energética, permiten monitorear, medir y analizar el desempeño del parque de lámparas de alumbrado público a través de la medición de las variables relacionadas con el uso de la energía y la calidad del servicio.	c). Se hace necesario efectuar procedimientos de control, seguimiento y medición de resultados en el sistema de gestión energética del parque de lámparas de alumbrado público para cumplir con las metas propuestas, asegurar el éxito del proyecto y mantener la calidad del servicio.

Fuente: elaboración propia.