



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Mecánica Industrial

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: BENEFICIOS EN LA IMPLEMENTACIÓN  
DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO TIPO LED, PARA LA  
POBLACIÓN DEL MUNICIPIO EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

**Mario Alberto Reyes Sarceño**

Asesorado por el MBA. Ing. José Manuel Tobar Reyes

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: BENEFICIOS EN LA IMPLEMENTACIÓN  
DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO TIPO LED, PARA LA  
POBLACIÓN DEL MUNICIPIO EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARIO ALBERTO REYES SARCEÑO**  
ASESORADO POR EL MBA. ING. JOSÉ MANUEL TOBAR REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murpy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
EXAMINADORA	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada Paiz
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:

### **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: BENEFICIOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO TIPO LED, PARA LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 5 de febrero de 2015.

**Mario Alberto Reyes Sarceño**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



**ADSE-MEAPP-013-2015**

Guatemala, 10 de febrero de 2016.

Director  
Juan José Peralta Dardón  
Escuela de **Ingeniería Industrial**  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Mario Alberto Reyes Sarceño** carné número **2006-11481**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

**JOSÉ MANUEL TOBAR REYES**  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO 12396

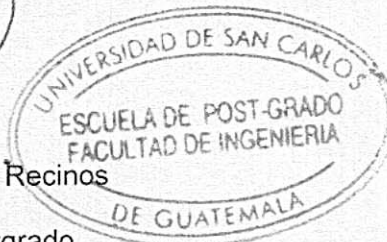
*“Id y Enseñad a Todos”*

**Ing. Juan C. Fuentes M.**  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. José Manuel Tobar Reyes  
Asesor (a)

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado




Cc: archivo  
/la



REF.DIR.EMI.046.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: BENEFICIOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO TIPO LED, PARA LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO EL TEJAR, CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario **Mario Alberto Reyes Sarceño**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Juan José Peralta Dardón  
**DIRECTOR**  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2016.

/mgp

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.137-2016

El Decano 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 Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: BENEFICIOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO TIPO LED, PARA LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO EL TEJAR, CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Alberto Reyes Sarceño**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*907/16*  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, marzo de 2016

/cc

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
4. JUSTIFICACIÓN .....	9
5. OBJETIVOS .....	11
6. ALCANCES .....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Conceptos básicos de la iluminación.....	15
7.1.1. La luz .....	15
7.1.2. Reflexión.....	15
7.1.3. Refracción.....	16
7.1.4. Transmisión .....	16
7.1.5. Color de luz y temperatura de color.....	16
7.1.6. Magnitudes y unidades de medida .....	16
7.1.7. Flujo luminoso.....	17
7.1.8. Intensidad luminosa.....	17
7.1.9. Luminancia .....	18



7.1.10.	Rendimiento luminoso .....	18
7.2.	Eficiencia energética .....	19
7.3.	Definiciones generales y principio de funcionamiento de un sistema de alumbrado público.....	19
7.3.1.	Lámparas .....	20
7.3.1.1.	Lámparas de mercurio de alta presión.....	21
7.3.1.2.	Lámparas de sodio a alta presión .....	21
7.3.1.3.	Lámparas tipo LED.....	23
7.3.2.	Luminarias.....	25
7.3.2.1.	Reflectores .....	25
7.3.2.2.	Refractores.....	25
7.3.2.3.	Difusores .....	26
7.3.3.	Equipos auxiliares .....	26
7.3.3.1.	Balastro .....	26
7.3.3.2.	Fotocelda.....	26
7.3.3.3.	Arrancadores.....	27
7.3.3.4.	Fusible.....	27
7.4.	Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado público .....	27
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO .....	29
9.	METODOLOGÍA .....	31
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	33
11.	CRONOGRAMA .....	35

12.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	37
12.1.	Recursos materiales .....	37
12.2.	Recurso humano .....	37
12.3.	Recursos Financieros .....	37
	BIBLIOGRAFÍA.....	39



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Lámpara de mercurio de alta presión .....	21
2.	Lámpara de sodio de alta presión .....	22
3.	Lámparas tipo LED.....	24
4.	Foco LED .....	24

### TABLAS

I.	Requisitos mínimos de eficiencia. ....	28
II.	Cronograma .....	35
III.	Tabla de recursos:.....	37



# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el nivel consumo de energía eléctrica utilizada para la iluminación se encuentra en constante aumento, conforme crece la población, y junto a esta demanda también crece el consumo de combustibles fósiles que son utilizados para la generación de electricidad, que a su vez contribuye con la generación de gases de efecto invernadero causa principal del calentamiento global. En el municipio el Tejar Chimaltenango como en la mayoría de municipios del país, se utiliza tecnología de alumbrado público ineficiente y contaminante, estos factores combinados con la economía de la población de un país en vías de desarrollo, la vulnerabilidad climática y una política desgastada, pinta un panorama poco alentador para nuestros compatriotas.

Sobre esa base, se plantea como trabajo de investigación diseñar un prototipo de sistema de alumbrado público basado en tecnologías más eficientes como lo son las luminarias de vapor de sodio a alta presión y luminarias tipo LED y desde este punto de vista se evaluarán los beneficios que contribuiría la adopción de una nueva tecnología para la comuna, tales como eficiencia energética, efectos sobre el medio ambiente, calidad de iluminación, ahorro monetario, entre otros.

En el procedimiento de investigación se tomarán registros de la cantidad de energía consumida, se evaluarán los sistemas tradicionales y se compararán con las variantes tecnológicas identificando la relación de la energía de entrada al sistema con la energía que estos entregan como resultado de su funcionamiento, siendo las pérdidas en el proceso la diferencia entre ambas; la

tecnología que demuestre reducir pérdidas y a la vez mantener o aumentar la eficacia luminosa es la opción más efectiva.

Sobre los aspectos económicos financieros, se desarrollará el estudio para determinar el período de retorno de la inversión, y se identificarán las bondades del proyecto con respecto a una posible disminución de la tarifa de alumbrado público para el consumidor final.

## **2. ANTECEDENTES**

El cambio de tecnología de alumbrado público en el departamento de Chimaltenango, representa un reto ineludible, el sistema utilizado en la actualidad es ineficiente y de alto consumo energético, repercutiendo en la generación de gases de efecto invernadero y altos costos de la tarifa de alumbrado público, la Comisión de Energía Eléctrica de Guatemala, realizó una propuesta de alternativas para el Ahorro y la Eficiencia Energética en el año 2013 (Eléctrica, Alumbrado Público de Guatemala, Alternativas para el Ahorro y la Eficiencia Energética, 2013), esta propuesta incluye datos estadísticos del estado actual del parque de alumbrado eléctrico nacional, con el fin de promover la sustitución de tecnológica por elementos de alta eficiencia energética de las instalaciones de Alumbrado público en los municipios de la República de Guatemala. En este sentido se expone que en Energuate (DEOCSA – DEORSA) existe un alto porcentaje de utilización de lámparas de Vapor de Mercurio de alta presión con bombillas de potencia de 175 W, siendo esta tecnología una de las menos eficientes desde el punto de vista de eficiencia energética, adicional a esto también se informa que la lámpara principalmente instalada en las redes de Energuate es tipo Canasta, la cual no es la más recomendada para temas de iluminación pública.

Ya en países latinoamericanos se encuentran desarrollados proyectos vanguardistas en la implementación de nuevas tecnologías en el ámbito de la iluminación de áreas exteriores, en Colombia, Acuña (2011), abordó el tema sobre el impacto del alumbrado público con LEDS en la red de distribución nacional, a partir del desarrollo de un modelo y la simulación de su operación en un circuito de distribución. Desarrollaron mediciones en condiciones ideales



tomando como parámetros principales la tensión y corriente, a partir de los ensayos de simulación y medición, estableció que el desarrollo de los drivers empleados con la tecnología LED hace que su utilización en la red sea favorable, considerando que mejora el factor de potencia y mantiene el índice de distorsión alrededor del 3%.

En México, López, Cruz y Bautista (2009), Realizaron en su tesis, el estudio de ingeniería en iluminación de alumbrado público con luminarios LED, realizando la evaluación a las luminarias instaladas actualmente y como sería el cambio al usar luminarias con tecnología de LED, aportando recomendaciones basadas en cálculos y pruebas de ingeniería en iluminación para obtener mejores beneficios para la sociedad.

Otro país en el cual ya se encuentra implementando esta tecnología es Ecuador, León & Lojano (2014), por medio de su tesis, dedicada a el mejoramiento del sistema de alumbrado público de una arteria de circulación vehicular de la ciudad de Cuenca, mediante la sustitución por tecnología LED, en la cual presenta estudios técnicos y económicos sobre la alternativa tecnológica de utilizar luminarias LED, para el mejoramiento del sistema de alumbrado público también enfatiza en la comparación de las ventajas y desventajas de utilizar la tecnología LED sobre las tecnologías actualmente utilizadas para alumbrado público.

Así mismo, Loaysa (2013), realizó una comparación de distintas tecnología recientes, como LED, OLED, BIOLED y Plasma, además de la utilización de sistemas alternativos de generación eléctrica, como los sistemas de generación fotovoltaicos para sistemas de alumbrado público ornamental. Después de realizar un estudio técnico-económico de las diferentes tecnologías encontradas y la evaluación económica de la generación fotovoltaica frente a la

generación convencional, concluye que la iluminación LED de estado sólido es la elección de la tecnología más adecuada para el parque ornamental.

Abarca & Estrella (2013), analizan el estado actual del alumbrado público en la Universidad Politécnica Salesiana, para determinar si en esta institución están cumpliendo con los estándares nacionales e internacionales. Para esto realizan mediciones de niveles de iluminación en sectores de flujo peatonal y vehicular para determinar las inconformidades y establecer acciones correctivas al respecto, entre estas, se plantea sustituir el sistema actual de alumbrado público, que es a base de luminarias de sodio a alta presión, para una proyección de utilizar tecnología LED para la iluminación del Campus, estos ejemplos nos muestran lo útil y necesario para nuestra sociedad actual, utilizar los recursos energéticos con responsabilidad y eficiencia, implementando sistemas de gestión energética que logren alcanzar los objetivos de mejora continua en todas las áreas de consumo energético del país.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, la población guatemalteca que se encuentra bajo la cobertura de la empresa Distribuidora de Electricidad de Occidente, SA, (DEOCSA), se ve inmersa en pagos con altos costos, por consumo de energía eléctrica, entre estos costos, el más polémico es de las tarifas de alumbrado público municipal, esto genera malestar social y económico en los clientes, en especial en el sector de escasos recursos, ya que parte de este último estrato en ocasiones pagan más por la tarifa de alumbrado público, que por el consumo propio de energía.

El problema del alto costo de la tarifa alumbrado público se encuentra directamente relacionado con la eficiencia energética del mismo, por lo tanto se evaluarán los distintos parámetros relacionados con la eficiencia y calidad de las luminarias instaladas en el sistema de alumbrado público actualmente en el municipio del Tejar, Chimaltenango, y comparar los valores obtenidos con los que se obtendrían de un sistema completamente compuesto por luminarias tipo LED, considerando las ventajas, desventajas y factibilidad financiera que conllevaría el cambio del sistema, para identificar la viabilidad y factibilidad del proyecto se deben contestar las siguientes preguntas.

¿Cómo se beneficia la población con el cambio de luminarias en el sistema de alumbrado público?

Para responder a esta pregunta central se deben responder las siguientes preguntas.

¿En cuánto se logra reducir el consumo de energía con la implementación de luminarias tipo LED, en el sistema de alumbrado público?

¿En cuánto se logra reducir el monto de la tarifa de alumbrado público en la facturación mensual para el consumidor final?

¿Cuál es la viabilidad financiera del proyecto?

## 4. JUSTIFICACIÓN

En las facturas, por consumo eléctrico que reciben los pobladores del Tejar, Chimaltenango, un porcentaje bastante representativo es ocupado por la tarifa de alumbrado público. Como política actual, el valor para el cobro por concepto de esta tarifa es definido por la administración municipal de cada una de las comunas. Es un hecho actual que las tarifas de alumbrado público, generan inconformidad en gran parte de la población, sentimiento que en ocasiones es aprovechado por diversas asociaciones que buscan desestabilizar la sociedad. En este sentido, es importante actuar identificando oportunidades de mejora de la tarifa, y para el efecto, esta investigación busca a través de un cambio de tecnología de iluminación, evidenciar los beneficios que aportaría un sistema de alumbrado público tipo LED en un municipio, y como producto poder entregarles a los consumidores finales un sistema más eficiente de iluminación y tarifas de alumbrado público más económicas.

Un sistema de alumbrado público representa para la población una parte esencial para mejorar la calidad de vida, proporcionando seguridad tanto peatonal como vial, sobre esa base, es vital para la administración municipal elaborar un plan de mejora y mantenimiento de este servicio, también debe considerarse que el funcionamiento de un sistema de alumbrado público es a través de energía eléctrica, que a su vez es generada en su mayor parte por tecnologías con base en combustibles fósiles y generan gases de efecto invernadero que cada día perjudican nuestra capa de ozono, Guatemala es un país altamente vulnerable al cambio climático, lo que obliga a tomar un papel para contribuir en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmosfera, sobre esta línea, la siguiente investigación determinará los

beneficios entre las distintas alternativas tecnológicas que sean adaptables a la población y contribuyan a la eficiencia energética.

## **5. OBJETIVOS**

### **General**

Estimar el beneficio que tendría la población con la implementación de un sistema de alumbrado público con luminarias LED.

### **Específicos**

1. Estimar la reducción en el consumo energético que se obtiene con la implementación de luminarias tipo LED, en el sistema de alumbrado público.
2. Estimar la disminución del costo de la tarifa de alumbrado público para el consumidor final.
3. Realizar un estudio financiero para determinar la factibilidad de la implementación de luminarias tipo LED, en el Sistema de Alumbrado Público.





## **6. ALCANCES**

Los altos costos por energía eléctrica han perjudicado la economía de los pobladores del país, siendo esto una desventaja potencialmente para las poblaciones vulnerables económicamente, sobre esta base, se diseña este proyecto de investigación para localizar un sistema de alumbrado público eficiente con bajos niveles de pérdidas, rentable y con un período de recuperación bajo, con el fin de encontrar efectos positivos en la economía de los pobladores, a través de la disminución de la tarifa de alumbrado público.

Por ello se realiza una comparativa entre las distintas tecnologías de iluminación pública existentes, con principal enfoque en la eficiencia energética y eficacia luminosa, evaluando los distintos factores incidentes en el funcionamiento y mantenimiento de un Sistema de Alumbrado Público Municipal, que permita a la comuna realizar una baja al precio de la tarifa de alumbrado público actual en el municipio de El Tejar.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Conceptos básicos de la iluminación**

La hidroeléctrica Santa Teresa se encuentra ubicada en el departamento de Alta Verapaz, en la ruta Polochic 7E que conduce de San Julián hacia El Estor entre los municipios de Tamahu y Tukurú kilómetro 202.

#### **7.1.1. La luz**

“Es la energía que se presenta en forma de radiaciones electromagnéticas y se percibe por el órgano visual.” (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 24)

Entre las radiaciones electromagnéticas se deben incluir los Rayos Gamma, Rayos X, Radiación Ultravioleta, Luz, Rayos, Infrarrojos, Microondas, Ondas de Radio entre otras. El ojo humano es únicamente sensible a la radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780nm, a este rango se le conoce como luz visible. (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 24)

#### **7.1.2. Reflexión**

Existe cuando un rayo de luz incide sobre una superficie, este proyecta un ángulo de incidencia que es igual a ángulo del rayo reflejado. A la dimensión de la reflexión se le denomina reflectancia, que a su vez se define como la relación del flujo luminoso reflectante al flujo luminoso incidente, en simples palabras, es

la medida de la cantidad de luz que es capaz de reflejar una superficie. (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 25).

### **7.1.3. Refracción**

Se define como el cambio de dirección de la luz a través de un medio de densidad variable. (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 26)

### **7.1.4. Transmisión**

Sucede cuando la superficie en donde incide el rayo de luz, es transparente, translúcida o selectiva. (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 27)

### **7.1.5. Color de luz y temperatura de color**

En una lámpara, el color de luz depende de la dispersión de la luz emitida. En el caso de las lámparas incandescentes la dispersión es resultado de la temperatura del filamento, en el caso de las lámparas de descarga, se recurre a un valor comparativo.

### **7.1.6. Magnitudes y unidades de medida**

Es de mucha importancia definir aquellos conceptos que son fundamentales para el estudio y análisis de los sistemas de iluminación.

### 7.1.7. Flujo luminoso

Es la potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Es la cantidad de luz que emite una fuente luminosa por unidad de tiempo. La unidad de flujo luminoso es el lumen (lm). (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 30)

En la siguiente ecuación se determina el cálculo para el flujo luminoso.

$$\varphi = \frac{Q}{t} \quad (\text{Ec.. 1})$$

Donde:

$\Phi$ : Flujo luminoso en lúmenes (lm).

Q: Cantidad de luz emitida por una fuente de luz (lm x seg).

t: Unidad de tiempo (seg).

### 7.1.8. Intensidad luminosa

“Es el flujo luminoso emitido por una unidad de ángulo sólido en una dirección determinada.” Se representa generalmente con la letra I y su unidad de medida es candelas (cd). (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 33)

En la siguiente ecuación se determina el cálculo para la intensidad luminosa:

$$I = \frac{\varphi}{w} \quad (\text{Ecc.2})$$

Donde:

E: Iluminancia en lux (lx).

$\Phi$ : Flujo luminoso que incide sobre la superficie (lm).

A: Área de la superficie afectada por el flujo (m<sup>2</sup>).

### 7.1.9. Luminancia

“Se define como el flujo luminoso que recibe una superficie. Se representa generalmente con la letra E y su unidad de medida es el lux (lx).” (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 33)

En la siguiente ecuación se determina el cálculo para la luminancia.

$$E = \frac{I_{\alpha}}{A \cdot \cos \alpha} \quad (\text{Ecc. 3})$$

Donde:

E: Luminancia en candelas por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>).

I: Intensidad luminosa en candelas en la dirección emitida.

A: Área de la fuente en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

$\alpha$ : Ángulo comprendido entre el ojo del observador y la recta normal a la fuente.

### 7.1.10. Rendimiento luminoso

“También conocido como coeficiente de eficacia luminosa de una fuente de luz, este indica el flujo que emite la misma por la potencia eléctrica consumida por dicha fuente.” (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 31)

Su unidad es lumen por vatio (lm/W), y generalmente es representada por la letra griega ( $\eta$ ) (eta).

$$\eta = \frac{\varphi}{P} \quad (\text{Ecc. 5})$$

Donde:

$\eta$ : Rendimiento luminoso (lm/W)

$\Phi$ : Flujo luminoso que incide sobre la superficie (lm)

P: Potencia consumida (W)

## **7.2. Eficiencia energética**

Consiste en agrupar actividades y buenas prácticas que deben realizarse en ambas partes del mercado, tanto en la oferta como en la demanda, para minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer necesidades sin sacrificar la calidad ni bienestar, ofreciendo seguridad del suministro y además ahorrando en el consumo de energía y en la economía de la comunidad en general. (Poveda, 2007, pág. 3)

## **7.3. Definiciones generales y principio de funcionamiento de un sistema de alumbrado público**

Un sistema de alumbrado público tiene como principal objetivo brindar condiciones de visibilidad en áreas públicas, vías de tránsito vehicular y peatonal en horarios de carencia de luz natural, proporcionando también seguridad y bienestar para la población. (Velduque Ramos, y otros, 2004, pág. 7)



Para proponer un sistema de alumbrado público más eficiente es necesario conocer los términos que se detallan a continuación:

### **7.3.1. Lámparas**

Las lámparas son todos aquellos dispositivos que agrupados o individualmente transforman la energía eléctrica en luz; las que se instalen en el sistema de alumbrado público deben presentar características que permitan el ahorro energético y, a su vez, económico. (Eléctrica, Alumbrado Público de Guatemala, 2013, pág. 6)

Actualmente el mercado ofrece una gran cantidad de tipos de lámparas, con diversas características, formas, tamaños, tecnología, etc. Estas pueden agruparse en dos grandes grupos, Incandescentes y Lámparas de Descarga (baja y alta presión). (Vásquez Guzmán, 2006, pág. 3)

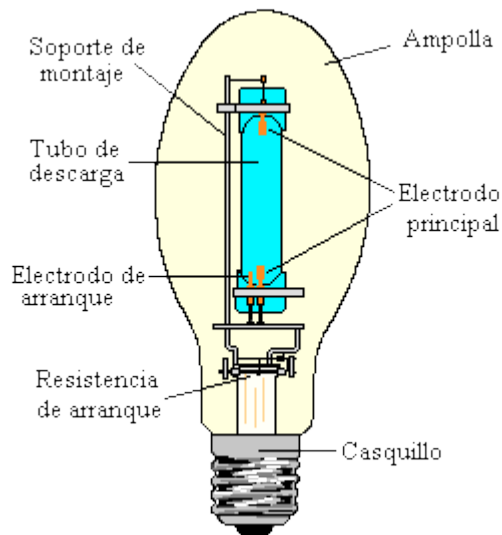
Las lámparas incandescentes son las más económicas dentro del mercado, sin embargo presentan significantes inconvenientes con respecto a su baja eficacia luminosa y vida útil. (Vásquez Guzmán, 2006, pág. 3)

Por otro lado, las lámparas de descarga ofrecen una mayor variedad de productos y distintas tecnologías de fabricación, agrupadas en lámparas de descarga de baja presión y alta presión. Estas últimas son las más utilizadas como tecnologías de iluminación en sistemas de alumbrado público. (Vásquez Guzmán, 2006, pág. 3)

### 7.3.1.1. Lámparas de mercurio de alta presión

En este tipo de lámpara, la descarga se lleva a cabo en un tubo de descarga de cuarzo. Una porción de la radiación de la descarga se da en forma de luz visible, la otra porción se convierte en luz ultravioleta, para aprovechar esta última parte se utiliza se cubre la ampolla exterior de donde va colocado el tubo de descarga, con un polvo fluorescente que transforma la luz ultravioleta en luz visible. (Rosero Bolaños, 1996, pág. 6).

Figura 1. Lámpara de mercurio de alta presión



Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu>

Consulta: 15 de agosto del 2014.

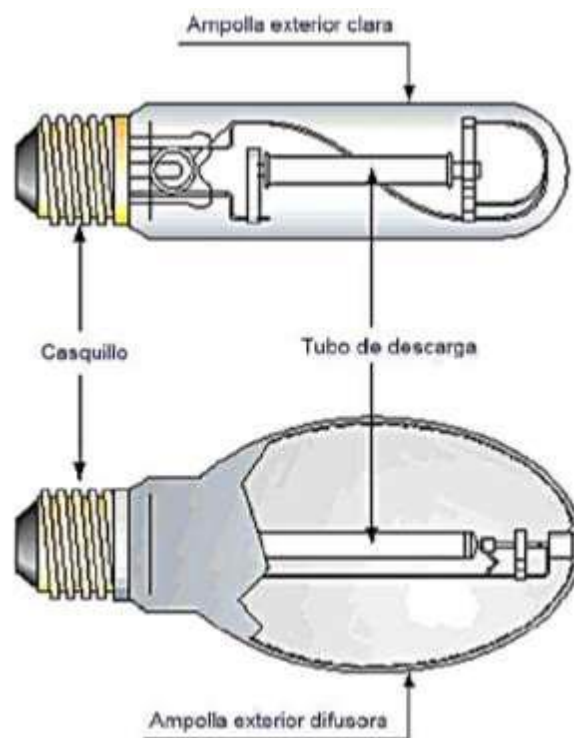
### 7.3.1.2. Lámparas de sodio a alta presión

Este tipo de lámpara al igual que las de mercurio, necesitan de un balastro para su funcionamiento, el tubo de descarga está fabricado a partir de alúmina

policristalina sintetizada en forma de tubo, esta es traslúcida, hermética y muy resistente, la luz que se obtiene con el sodio es de color amarillo. (Rosero Bolaños, 1996, pág. 8)

Las lámparas de sodio de alta presión, tienen alta eficacia y agradables propiedades de color, por lo que actualmente tienen una gran participación en el alumbrado público. (Rosero Bolaños, 1996, pág. 8).

Figura 2. **Lámpara de sodio de alta presión**



Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu>

Consulta: 15 de agosto del 2014

### **7.3.1.3. Lámparas tipo LED**

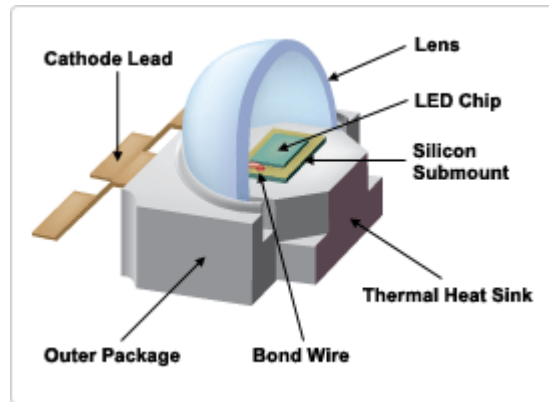
Con el consistente avance de la tecnología en el diseño y fabricación de dispositivos a base de materiales semiconductores, se ha generado una amplia variedad de productos en diversas formas y tamaños. Dentro de estos dispositivos que han presentado mejoras notables en sus características, se encuentran los diodos emisores de luz. (LED, proveniente del inglés, Light Emitter Diodes). (Vásquez Guzmán, 2006, pág. 3)

Los LEDs son dispositivos fabricados utilizando materiales semiconductores, estos pueden ser, Aluminio (Al), Galio (Ga), Boro (B), Carbono (C), Germanio (Ge), Arsénico (As), Fosforo (P), Silicio (Si). El Silicio y el Galio poseen una propiedad única en su estructura electrónica, ya que tiene cuatro electrones en su órbita externa, esto permite combinar estos electrones con cuatro átomos vecinos, formando con esto una malla cuadrículada o estructura cristalina y de esta forma no queda ningún electrón libre. (Vásquez Guzmán, 2006, pág. 3)

La tecnología LED es muy novedosa y dada sus posibilidades ofrece un panorama muy distinto al actual, en el cual podríamos obtener dispositivos de iluminación más pequeños, ligeros y brillantes que tendrán un menor consumo energético. (Villatoro Hernández, 2012, pág. 48)

La rápida evolución en el desarrollo de los LED como fuentes de iluminación, ha permitido ser tomadas en cuenta para sistemas de alumbrado e iluminación, y esto ha sido posible por el aumento de la vida media de las últimas generaciones de los LED (Villatoro Hernández, 2012, pág. 48)

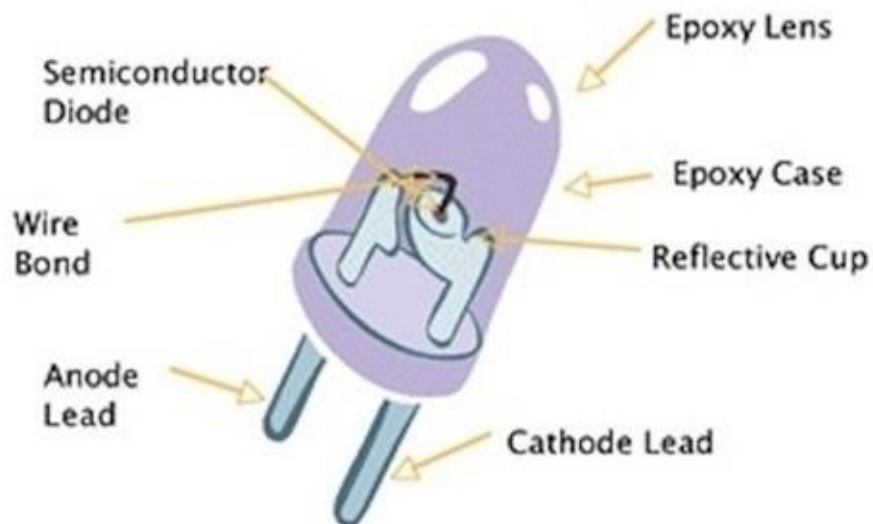
Figura 3. Lámparas tipo LED



Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu>

Consulta: 15 de agosto del 2014

Figura 4. Foco LED



Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu>

Consulta: 15 de agosto del 2014

### **7.3.2. Luminarias**

Son los dispositivos físicos que brindan protección a la lámpara, proyectan el flujo luminoso producido, contienen el medio de sujeción al poste y brindan control operativo sobre la lámpara. (eléctrica, Alumbrado Público de Guatemala, 2013, pág. 6)

Las luminarias pueden ser clasificadas, según tres aspectos principales: alcance, dispersión y control. Los dos primeros nos indican la distancia en que la luminaria es capaz de iluminar en dirección longitudinal y transversal respectivamente. (Villatoro Hernández, 2012, pág. 21)

Desde el aspecto de iluminación, las luminarias deben considerar los siguientes elementos:

#### **7.3.2.1. Reflectores**

Su función es distribuir la luz emitida por la fuente de iluminación, normalmente son fabricados de aluminio anodizado y vidrio o lámina esmaltada (Villatoro Hernández, 2012, pág. 21)

#### **7.3.2.2. Refractores**

Su función es dirigir los rayos de luz en la dirección preestablecida, son construidos en forma de copa, globo o media pera, los materiales que se utilizan en su fabricación son mayormente vidrio o plásticos con acabado prismatizado. (Villatoro Hernández, 2012, pág. 22)

### **7.3.2.3. Difusores**

Su función principal es disminuir la luminancia de las lámparas, están contruidos de material plástico o tipos de vidrio opalino que reduce el deslumbramiento, mayormente son utilizados para alumbrado decorativo en jardines o parques, también son utilizados en calles donde se debe cumplir ciertas exigencias estéticas. (Villatoro Hernández, 2012, pág. 23)

### **7.3.3. Equipos auxiliares**

El tipo de lámparas utilizadas en el alumbrado público, conlleva la necesidad de contar con una serie de dispositivos para su óptimo funcionamiento, estos dispositivos a su vez facilitan la conectividad de con la red de distribución. (Villatoro Hernández, 2012, pág. 23)

Algunos de los elementos auxiliares más importantes son:

#### **7.3.3.1. Balastro**

Es un dispositivo eléctrico, que va montado dentro la luminaria, su principal función es “limitar la corriente hasta el valor requerido para el correcto funcionamiento de las bombillas” (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 38)

#### **7.3.3.2. Fotocelda**

Es un dispositivo eléctrico o electromecánico que se utiliza para encender y apagar de forma automática las luminarias del sistema de alumbrado público,

en función de la variación de la claridad del ambiente. (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 38)

#### **7.3.3.3. Arrancadores**

Estos dispositivos se encargan de proveer las condiciones eléctricas necesarias para iniciar la descarga y arranque de las lámparas, se localizan en conjunto con el balastro. (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 38)

#### **7.3.3.4. Fusible**

Este elemento brinda protección al circuito eléctrico de la luminaria, tanto de picos de voltaje como también de cortocircuitos que puedan ocurrir en la red de distribución eléctrica. (Chabla Auqui & Córdova Erráez, 2015, pág. 38)

### **7.4. Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado público**

Las instalaciones de alumbrado público funcional, con independencia del tipo de lámpara, pavimento y de las características o geometría de la instalación, deberán cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética que se fijan en la tabla. (Eléctrica, Alumbrado Público de Guatemala, Alternativas para el Ahorro y la Eficiencia Energética, 2013)



Tabla I. **Requisitos mínimos de eficiencia**

<b>Iluminancia media en servicio Em(lux)</b>	<b>Eficiencia mínima</b>	<b>energética</b> $(\frac{m^2 \cdot lux}{W})$
30 ó mas		22
25		20
20		17.5
15		15
10		12
7.5 o menos		9.5

Fuente: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, instrucción técnica complementaria ITC-EA-01, p. 10. Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrá por interpolación lineal.

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

### 1. CAPÍTULO I

1.1. Principio de funcionamiento de un sistema de alumbrado público.

1.2. Magnitudes y conceptos básicos

1.3. Eficiencia energética

### 2. CAPÍTULO II

2.1. Tipo de fuentes de iluminación para el sistema de alumbrado público

2.2. Análisis técnico y económico de los beneficios de la implementación de tecnología de alumbrado pública tipo LED en el Municipio el tejar Chimaltenango.

### 3. CAPÍTULO III

3.1. Presentación de resultados

3.2. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## 9. METODOLOGÍA

Este estudio plantea realizar mediciones del consumo energético del sistema de alumbrado público actual, para posteriormente identificar, analizar y proponer una alternativa viable financieramente para reducir el consumo energético. Considerando la mejora de la tecnología como base, para buscar la eficiencia energética en el sistema de alumbrado público, a fin de lograr evidenciar los componentes de mejora y actualización que tengan efectos positivos en el ahorro de energía, así como cuidado del medio ambiente, calidad de iluminación, vida útil, seguridad poblacional para enfocarse en los puntos de mejora en la gestión del cobro de energía por este rubro.

En este sentido, se definen los indicadores de desviación mensual de energía facturada, índice de consumo de energía eléctrica en alumbrado público, diferencia de precio de la tarifa, y sobre esa base se realizara la proyección de consumo energético según la demanda actual, y se estimará el consumo por un sistema de alumbrado tipo LED, aunado a esto se deberá comprobar en cuánto se logrará reducir la tarifa por alumbrado público en el cambio propuesto a través de las negociaciones con la municipalidad de El Tejar y evaluar el proyecto financieramente, a través de la estimación de flujos de efectivo con base en consumo y demanda, aplicación de razones de rendimiento, TIR, VPN, análisis de sensibilidad, y otros, con el fin de establecer correctamente la viabilidad y factibilidad que conllevaría la implementación de un sistema de alumbrado público tipo LED en la comunidad del municipio el Tejar, Chimaltenango.

Con este estudio se espera beneficiar a la comunidad, a través de establecer un documento que determine la metodología necesaria para brindar un alternativa de solución factible que permite el ahorro monetario al implementar nuevas tecnologías de alumbrado público eficientes, y que sobre esta base disminuya el monto de facturación mensual, por concepto de Alumbrado Público Municipal, se toma en cuenta que actualmente la población presenta muchas quejas hacia la empresa distribuidora en referencia a cobros elevados en las facturas por consumo mensual, generando conflicto social y económico en la sociedad guatemalteca.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La información registrada durante el proceso de investigación será analizada e interpretada a través de gráficos que demuestren el comportamiento del consumo energético de los diferentes tipos de luminarias, así como también las diversas magnitudes y parámetros luminosos que permitan evaluar la eficacia del sistema, se verán tomadas en cuenta variables cualitativas y cuantitativas que permitirán observar un amplio panorama para la toma de decisiones.

El análisis cuantitativo permite depurar datos en búsqueda de inconsistencias que pudieran ocasionar que aparezcan registros duplicados o incorrectos en la base de datos, los datos atípicos no serán tomados en cuenta con el fin de no perjudicar el resultado de la toma de muestras y mediciones de eficiencia, luego se procede con un análisis de estadística descriptiva la cual consiste en analizar y representar los datos. La inferencia estadística comprende los métodos y procedimientos para deducir propiedades de una población, a partir de una pequeña parte de la misma muestra. La bondad de estas deducciones se mide en términos probabilísticos, es decir, toda inferencia debe ser acompañada de su probabilidad de acierto, para estudio de fenómenos científicos.

La interpretación de los datos resultado de la investigación permitirá contrastar científicamente los beneficios que la implementación de un sistema de alumbrado público de tecnología más eficiente con los factores económicos y políticos de nuestra sociedad y de la comunidad en específico del municipio El

Tejar Chimaltenango, el cual es el escenario para el desarrollo de la investigación.

## 11. CRONOGRAMA

El trabajo de investigación se desarrollará en un período de tres meses iniciará en febrero del 2016 y finalizará en julio del 2016.

Tabla II. **Cronograma**

Actividades	Feb				Mar				Abr				May				Jun				Jul			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Determinar fuente de recursos	■	■																						
Planificación estratégica			■	■																				
Visita de campo, toma de información					■	■	■	■																
Conseguir los permisos de la alcaldía									■	■	■													
Recopilar resultados de luminarias tradicionales											■	■	■	■										
Instalación de luminarias de sodio											■	■	■	■										
Recopilar resultados de luminarias de sodio											■	■	■	■										
Instalación de luminarias tipo LED											■	■	■	■										
Recopilar resultados de luminarias tipo LED											■	■	■	■										
Realizar comparaciones técnicas															■	■	■							
Capacitación para mantenimiento del sistema de alumbrado público a implementar																			■	■	■			
Determinar y publicar beneficios obtenidos																					■	■	■	■

Fuente: elaboración propia.





## 12. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

### 12.1. Recursos materiales

- Equipo de cómputo
- Equipo y mobiliario de oficina
- Internet
- Cámara fotográfica
- Impresora
- Vehículo

### 12.2. Recurso humano

- Asesor de trabajo de graduación

### 12.3. Recursos Financieros

Tabla III. **Tabla de recursos**

<b>o.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo (Q)</b>
	Equipo de cómputo	4000
	Internet	1200
	Alquiler de Equipo de Medición	4000
	Depreciación de vehículo	2500
	Consumo de combustible	2000
	Honorarios del asesor	2000
	Total	15700

Fuente: elaboración propia.

Los gastos económicos serán costeados por el estudiante.

El trabajo de investigación es factible, porque se tiene acceso a todos los recursos necesarios para realizar las investigaciones necesarias.

## BIBLIOGRAFÍA

5. Acuña Ronancio, P. (2011). *Impacto del Alumbrado Público con LEDs en la Red de Distribución*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
6. Benjumea Mesa, M. S. (2009). *Propuesta para la Implementación del Sistema "LED" para la Iluminación Pública en Antioquia*. Antioquia, Colombia: Escuela de Ingeniería de Antioquia.
7. Chabla Auqui, L. L., & Córdova Erráez, D. F. (2015). *Eficiencia Energética en el Alumbrado Público del Centro Histórico de Cuenca: Telegestión y Sustitución de Luminarias*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
8. Chantera Abarca, P. F., & Tobar Estrella, P. F. (2013). *Estudio de Lámparas LED para alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con contro automático ON/OFF*. Quito: Universidad Politecnica Salesiana.
9. Eléctrica, C. N. (2013). *Alumbrado Público de Guatemala, Alternativas para el Ahorro y la Eficiencia Energética*. Guatemala.
10. Energía, M. d. (2007). *Alumbrado Público Exterior*. Colombia.

11. Freire Loaysa, M. F. (2013). *Alternativas de Iluminación para el parque el Paraíso de la Ciudad de Cuenca*. Ecuador: Universidad Cuenca.
12. Lara López, E. M., Mondragón Cruz, J. A., & Santiago Bautista, D. (2009). *Estudio y Análisis de Ingeniería en alumbrado público con luminarios de LED en la periferia del reclusorio norte*. Mexico: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco.
13. Lojano León, L. M., & Orellana Lojano, F. R. (2014). *Mejoramiento del Sistema del Alumbrado Público de una Arteria de Circulación Vehicular de la Ciudad de Cuenca, mediante la sustitucion por tecnología LED*. Ecuador: Universidad Cuenca.
14. Pistonesi, C. (2010). *Energía a partir de las aguas residuales. Energía a partir de las aguas residuales*. Buenos Aires, Argentina: Edutecne.
15. Poveda, M. (2007). *Eficiencia Energética: Recurso no Aprovechado*. *OLADE*, 25.
16. Rosero Bolaños, G. M. (1996). *Evaluación Técnico-Economica del Ahorro de Energía en un Sistema de Alumbrado Público*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
17. Vásquez Guzmán, G. (2006). *Tecnología de Iluminación Mediante LEDs de Potencia*. Morelos, Mexico: CENIDET.

18. Velduque Ramos, A. R., Hernández Torres, F. J., Peña Martín, J. L., Rabadán Gayo, M., Álvarez Hernández, C., & Yanes Luque, M. (2004). *Guía Metodológica para la Realización de Auditorías Energéticas en Alumbrados Públicos Municipales*. Canarias: Fundación Instituto Tecnológico de Canarias.
  
19. Villatoro Hernández, D. (2012). *Estudio de Eficiencia Energética en el Sistema de Alumbrado Público del Poblado de Playa Grande Ixcán, Quiché Implementando Tecnologías de Ahorro y Calidad de Iluminación*. Guatemala: USAC.

