



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

**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**

Donis Alexander Villatoro Hernández

Asesorado por el Ing. Francisco Javier González

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DONIS ALEXANDER VILLATORO HERNÁNDEZ
ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
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:

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

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica, con fecha 5 de mayo de 2011.


Donis Alexander Villatoro Hernández

Guatemala, agosto 01 de 2012

Ingeniero
Romeo Neftalí López Orozco
Coordinador del Área de Ciencias Básicas y Electrotecnia
Escuela de Mecánica Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala


Estimado Ingeniero López:

Reciba un atento y cordial saludo, de acuerdo con la designación de mi persona en asesorar el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante, Donis Alexander Villatoro Hernández, carnet No. 2005-16,034 titulado: **"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"**; encontrándolo satisfactorio en su contenido y elaboración, y en función de los parámetros de evaluación establecidos, por medio de la presente, me permito dar la aprobación y recomendación del mismo, remitiéndolo a la Coordinación del Área de Ciencias Básicas y Electrotecnia de la Escuela de Mecánica Eléctrica, con la finalidad de darle el trámite correspondiente.

Agradeciendo la atención a la presente, me es grato suscribirme.

Sin otro particular,

Atentamente,


Ing. Francisco Javier González López
Jefe de Sección de Metrología Eléctrica CII
Colegiado No. 2,364
Asesor





Ref. EIME 43.2012.

Guatemala, 11 de SEPTIEMBRE 2012.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**“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”,** del estudiante
DONIS ALEXANDER VILLATORO HERNÁNDEZ, que cumple
con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Romeo Néstor López Orozco
Coordinador Área Electrotécnica



RNLO/sro



REF. EIME 50.2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **DONIS ALEXANDER VILLATORO HERNÁNDEZ** titulado: "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", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 26 DE SEPTIEMBRE 2012.

Universidad de San Carlos
De Guatemala




Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.518-2012

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 Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **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**, presentado por el estudiante universitario **Donis Alexander Villatoro Hernández**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 18 de octubre de 2012



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Con gratitud por dame la sabiduría así como la fortaleza para vencer todas las vicisitudes que a lo largo de mi vida he enfrentado, y gracias a su infinito amor he podido superar.
- Mis padres** Rolando Augusto Villatoro Villatoro y Marina Antonieta Hernández de Villatoro, por sus consejos, amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, y convertirse en un modelo a seguir.
- Mis hermanos** Walter, Rosario, Selwyn, Jairon y Elder Villatoro Hernández, gracias por su ayuda y cariño incondicional, deseando que cada uno cumpla sus metas y sueños.
- Mis amigos** Con quienes nos hemos trazado metas y objetivos, gracias por su amistad y compañerismo.
- Mi asesor** Por ser mí guía en la elaboración de este trabajo de graduación.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por haberme brindado la oportunidad ser un profesional al servicio de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. CONCEPTOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO	1
1.1. Definiciones generales.....	3
1.2. Elementos del sistema de alumbrado público.....	13
1.2.1. Lámparas.....	14
1.2.1.1. Lámparas de vapor de mercurio.....	14
1.2.1.2. Lámparas de sodio a alta presión.....	16
1.2.1.3. Lámparas tipo LED.....	19
1.2.2. Luminarias.....	20
1.2.3. Soportes.....	22
1.2.4. Equipos auxiliares	23
1.2.5. Sistemas de accionamiento.....	24
1.3. Eficiencia energética en el alumbrado público.....	25
1.3.1. Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado público.....	26
1.3.2. Calificación energética de las instalaciones de alumbrado público.....	27
1.4. Normativas de alumbrado público.....	30

1.4.1.	Comisión Internacional de Iluminación CIE 115-1995, CIE 140-2000 y CIE 136-2000.....	30
1.4.2.	Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-EA-01 a ITC-EA-07	30
1.4.3.	Norma Técnica Colombiana NTC- 900.....	31
1.5.	Mantenimiento en instalaciones de alumbrado público.....	31
1.5.1.	Mantenimiento preventivo	32
1.5.2.	Mantenimiento correctivo	33
1.5.3.	Factor de mantenimiento	34
1.6.	Grados de contaminación.....	35
1.6.1.	Grado de contaminación alto.....	35
1.6.2.	Grado de contaminación medio.....	36
1.6.3.	Grado de contaminación bajo	36
2.	CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO ...	37
2.1.	Puntos a considerar en un sistema de alumbrado público	37
2.1.1.	Visibilidad óptima.....	38
2.1.1.1.	Comodidad visual.....	38
2.1.1.2.	Confiabledad de la percepción.....	40
2.1.2.	Seguridad.....	41
2.1.3.	Condiciones medio ambientales	42
2.1.4.	Relación de alrededores (SR).....	43
2.1.5.	Análisis económico-financiero.....	43
2.2.	Alumbrado público según el tipo de vía	44
2.2.1.	Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado público	44

2.2.2.	Requisitos fotométricos de iluminación en los diferentes tipos de vías.....	47
2.2.3.	Valores mínimos de iluminancias promedio (Ix), según el tipo de superficie	49
2.3.	Máxima densidad de potencia eléctrica	52
2.4.	Ubicación de las luminarias en la vía	53
2.4.1.	Tramos rectos de vías con una única calzada	54
2.4.2.	Tramos rectos de vías con dos o más calzadas.....	56
2.4.3.	Tramos curvos	56
2.4.4.	Cruces de calle.....	58
2.4.5.	La altura de montaje	59
2.4.6.	Distancia de separación de luminarias.....	60
2.5.	Cálculo de iluminancia en vías vehiculares.....	60
2.5.1.	Cálculo de la iluminancia en un punto	61
2.5.2.	Cálculo de la iluminancia promedio de una calzada ...	63
2.5.2.1.	Método europeo de los 9 puntos	64
2.5.2.2.	Método del coeficiente de utilización	67
2.5.3.	Uniformidad general de iluminancia en alumbrado público.....	71
2.6.	Cálculo de luminancia en vías vehiculares.....	71
2.6.1.	Calculo de luminancia en un punto	71
2.6.2.	Cálculo de la luminancia promedio sobre la vía	75
2.6.3.	Características de calidad de la luminancia.....	76
2.6.3.1.	Uniformidad global de luminancia.....	76
2.6.3.2.	Uniformidad longitudinal de luminancia....	76
2.6.3.3.	Deslumbramiento perturbador.....	77
2.7.	Uso del software DIALux en el diseño fotométrico de alumbrado público.....	77

3.	INFORMACIÓN ACTUAL DE LA RED DE ALUMBRADO PÚBLICO EN PLAYA GRANDE IXCÁN, QUICHÉ.....	81
3.1.	Composición del cobro de alumbrado público.....	82
3.2.	Características del sistema de alumbrado público.....	83
3.1.1.	Luminarias instaladas en la red de alumbrado público.....	83
3.1.2.	Tipo de luminarias existentes.....	84
3.1.3.	Tipo de soportes instalados.....	91
3.1.4.	Interdistancia entre luminarias.....	92
3.3.	Clasificación de las vías públicas.....	93
3.4.	Características de las vías representativas.....	95
3.4.1.	Vía “A” acceso principal a Playa Grande Ixcán, Quiché.....	95
3.4.2.	Vía “B” acceso principal área urbana.....	98
3.4.3.	Vía “C” avenida de la municipalidad.....	100
3.4.4.	Vía “D” calle Ministerio Público.....	102
3.4.5.	Vía “E” zona 2.....	103
3.4.6.	Vía “F” zona 4.....	104
3.5.	Iluminancia actual del sistema de alumbrado público.....	105
3.5.1.	Equipo de medición.....	105
3.5.2.	Iluminancias registradas.....	106
3.6.	Grados de contaminación actual.....	109
4.	SISTEMA EFICIENTE DE ALUMBRADO PÚBLICO PROPUESTO.....	111
4.1.	Aspectos generales.....	111
4.2.	Análisis mediante el software DIALux.....	113
4.2.1.	Luminaria Philips SpeedStar BGP322.....	114
4.2.2.	Luminaria Philips Iridium ² SGP352.....	116

4.1.1.1.	Balastro Philips HID-DALI Xt 1 x SON 150W.....	118
4.1.1.2.	Lámpara Philips MASTER SON-T PIA Plus 150W.....	119
4.2.3.	Resultados obtenidos mediante software DIALux.....	120
4.3.	Análisis del consumo de energía eléctrica del sistema.....	123
4.4.	Máxima densidad de potencia eléctrica del sistema.....	124
4.5.	Eficiencia energética del sistema.....	125
4.6.	Mantenimiento del sistema de alumbrado público.....	126
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO Y TÉCNICO.....	127
5.1.	Costo inicial de la inversión.....	128
5.2.	Análisis beneficio – costo del sistema de alumbrado público...	129
5.2.1.	Costo anual estimado por el consumo de la energía eléctrica del sistema de alumbrado público actual.....	129
5.2.2.	Costo anual estimado por el consumo de la energía eléctrica del sistema de alumbrado público propuesto.....	130
5.2.3.	Costo anual de operación del sistema propuesto.....	132
5.3.	Resultados del flujo económico.....	132
	CONCLUSIONES.....	135
	RECOMENDACIONES.....	137
	BIBLIOGRAFÍA.....	139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Espectro electromagnético.....	4
2.	Intensidad luminosa.....	6
3.	Iluminancia y luminancia.....	7
4.	Eficiencia luminosa.....	9
5.	Parámetros de medición en el coeficiente de utilización.....	10
6.	Curvas del coeficiente de utilización.....	11
7.	Curvas Isolux.....	12
8.	Lámparas de mercurio a alta presión.....	16
9.	Balace energético de la lámpara de sodio a alta presión.....	17
10.	Lámparas de sodio a alta presión.....	18
11.	Lámparas LED.....	20
12.	Calificación energética de las instalaciones de alumbrado.....	29
13.	Disposición unilateral.....	54
14.	Disposición bilateral alternada.....	55
15.	Disposición bilateral opuesta.....	55
16.	Disposición central doble (para $1,5\text{ m} \geq b \leq 4\text{ m}$).....	56
17.	Disposición de luminarias en trayectos curvos.....	57
18.	Disposición de luminarias en cruces X.....	58
19.	Disposición de luminarias en cruces T.....	59
20.	Iluminancia en un punto.....	62
21.	Iluminancia promedio método de los 9 puntos.....	65
22.	Selección de los 9 puntos según disposición de las luminarias.....	66
23.	Parámetros físicos de la luminaria.....	68

24.	Curvas de coeficiente de utilización.....	69
25.	Localización unilateral.....	69
26.	Localización bilateral alternada.....	70
27.	Localización central doble.....	70
28.	Luminancia en un punto.....	74
29.	Campo de cálculo de la luminancia en la vía	75
30.	Playa Grande Ixcán, Quiché.....	81
31.	Luminaria quadroliner de mercurio.....	85
32.	Lámpara de mercurio de alta presión 175 W.....	86
33.	Cubierta de luminaria quadroliner.....	87
34.	Reflector de luminaria quadroliner.....	88
35.	Difusor de luminaria quadroliner.....	89
36.	Balastro y capacitor de luminaria quadroliner.	90
37.	Brazo de luminaria quadroliner.....	91
38.	Soportes utilizados en la red de alumbrado público.....	92
39.	Vías representativas del sistema de alumbrado público.	94
40.	Vía “A” acceso principal a Playa Grande Ixcán, Quiché.....	97
41.	Vía “B” acceso principal área urbana.....	99
42.	Vía “C” avenida de la municipalidad.....	101
43.	Vía “D” calle Ministerio Público.....	102
44.	Vía “E” zona 2.....	103
45.	Vía “F” zona 4.....	104
46.	Profesional digital light meter - CEM DT-1308.....	106
47.	Puntos de medición con luxómetro.....	107
48.	Iluminancia actual según el tipo de vía.....	108
49.	Dimensiones luminaria Philips SpeedStar BGP322 mm	114
50.	Luminaria Philips SpeedStar BGP322.....	115
51.	Dimensiones luminaria Philips Iridium ² SGP352 mm.....	116
52.	luminaria Philips Iridium ² SGP352.....	117

53.	Balastro Philips HID-DALI Xt 1 x SON 150W	118
54.	MASTER SON-T PIA Plus 150W	119

TABLAS

I.	Eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial.....	27
II.	Valores de eficiencia energética de referencia en alumbrado vial.	28
III.	Valores de eficiencia energética de referencia	29
IV.	Clasificación de las vías.....	44
V.	Clases de alumbrado para vías tipo A.....	45
VI.	Clases de alumbrado para vías tipo B.....	46
VII.	Clases de alumbrado para vías peatonales	46
VIII.	Requisitos fotométricos para las series ME, clases de alumbrado para vías tipo A y B.....	48
IX.	Requisitos fotométricos para las series CE y E, clase de alumbrado para vías tipo E.....	49
X.	Iluminancia según el tipo de superficie.....	50
XI.	DPEA máximos	52
XII.	Luminarias instaladas en Playa Grande Ixcán, Quiché	84
XIII.	Clasificación de las vías.....	95
XIV.	Lámparas vía “A” acceso principal a Playa Grande Ixcán, Quiché.....	96
XV.	Vía “B” acceso principal área urbana	98
XVI.	Vía “C” avenida de la municipalidad	100
XVII.	Vía “D” calle Ministerio Público.....	102
XVIII.	Vía “E” Zona 2	103
XIX.	Vía “F” zona 4.....	104
XX.	Características de las vías actuales	108

XXI.	Grados de contaminación actuales.....	109
XXII.	Características principales SpeedStar BGP322.....	114
XXIII.	Características principales Iridium ² SGP352.....	116
XXIV.	Resultados luminaria Philips SpeedStar BGP322.....	121
XXV.	Resultados luminaria Philips Iridium ² SGP352.....	122
XXVI.	Consumo de energía Philips Iridium ² BGP322.....	123
XXVII.	Consumo de energía Philips SpeedStar BGP322.....	124
XXVIII.	DPEA Philips Iridium ² BGP322.....	124
XXIX.	DPEA Philips SpeedStar BGP322.....	125
XXX.	Eficiencia energética Philips Iridium ² BGP322.....	125
XXXI.	Eficiencia energética Philips SpeedStar BGP322.....	126
XXXII.	Mantenimiento correctivo del sistema de alumbrado público...	126
XXXIII.	Inversión inicial del sistema propuesto.....	128
XXXIV.	Costo por servicio de alumbrado público actual.....	129
XXXV.	Costo por servicio de alumbrado público Philips Iridium ² SGP352.....	130
XXXVI.	Costo por servicio de alumbrado público Philips SpeedStar BGP322.....	130
XXXVII.	Costo por servicio de alumbrado público Philips Iridium SGP352.....	131
XXXVIII.	Costo por servicio de alumbrado público Philips SpeedStar BGP322.....	131
XXXIX.	Flujo económico Philips Iridium ² SGP352.....	132

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
q	Coefficiente de luminancia
\$	Dólar americano
ϵ	Eficiencia energética
ϵR	Eficiencia energética de referencia
Fm	Factor de mantenimiento
Fu	Factor de utilización
Φ	Flujo luminoso
Hz	Hertzio
Em	Iluminancia media
TI	Incremento umbral
Iϵ	Índice de eficiencia energética
IMD	Intensidad media de tráfico diario
S	Interdistancia
km	Kilómetro
kWh	Kilovatio hora
lm	Lumen
L	Luminancia
Lm	Luminancia media
lx	Lux
m	Metro
μg	Microgramo

nm	Nanómetro
%	Porcentaje
P	Potencia activa
SR	Relación de alrededores
η	Rendimiento de una luminaria
A	Superficie iluminada
U_g	Uniformidad general de iluminancia
U_o	Uniformidad global de luminancia
U_l	Uniformidad longitudinal de luminancia
U_m	Uniformidad media de iluminancia
V	Voltio
W	Watt

GLOSARIO

Alumbrado público	Servicio público consistente en la iluminación de las vías públicas, parques públicos, y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público.
Deslumbramiento	Condición visual que produce molestia, interferencia en la eficiencia visual y/o fatiga visual, debido a la gran luminosidad de una porción del campo de visión.
CIE	Acrónimo de Comisión Nacional de Iluminación.
DPEA	Acrónimo de densidad promedio de energía en alumbrado público.
Eficiencia	Relación de la energía que este entrega como resultado de su funcionamiento, dividida por la energía de entrada a sistema, siendo las pérdidas en el proceso la diferencia entre ambas.
Energía eléctrica	Forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos y obtener trabajo.

ICE	Acrónimo de índice de consumo energético.
Iluminancia	Cantidad de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie, por unidad de área.
Interdistancia	Espacio existente entre dos objetos.
LED	Acrónimo del inglés <i>Light Emitting Diodes/Diodo</i> emisor de luz.
Luminancia	Densidad angular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada.
Mercurio	Elemento químico de símbolo Hg, número atómico 80.
NTC	Acrónimo de norma técnica colombiana.
Sodio	Elemento químico de símbolo Na, número atómico 11.
Vano	Distancia horizontal entre dos estructuras consecutivas.
Voltaje	Tensión o diferencia de potencial efectiva (rms) entre dos conductores o entre un conductor y tierra.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación consiste en analizar el alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché, basados en parámetros de luminosidad mínimos, establecidos por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), (organización dedicada a la cooperación internacional y al intercambio de información entre sus países miembros sobre todas las materias relacionadas con la ciencia y el arte de la iluminación) y normativas afines a ésta, utilizando elementos con una eficiencia energética óptima.

En primera instancia, se efectúa una descripción de los parámetros lumínicos que intervienen en un sistema de alumbrado público, además de los elementos físicos que lo componen, también el tipo de tecnologías que actualmente existen y puedan suministrar una eficiencia energética óptima al sistema. Debido a la amplia red de alumbrado público, se efectúa un muestreo de las vías representativas del área urbana y rural de Playa Grande Ixcán, Quiché tomando de cada una de ellas, los parámetros lumínicos actuales y características individuales.

Para el desarrollo de este trabajo de graduación, se realizaron mediciones de iluminación en cada una de las vías marcadas como representativas, con esta información y mediante análisis matemático con la ayuda del software DIALux, se realizó un análisis con tecnologías actuales y eficientes, que puedan sustituir a las luminarias de vapor de mercurio a alta presión utilizadas actualmente, por tecnologías de iluminación más eficientes, como las luminarias tipo LED o de sodio a alta presión.

Se propone un nuevo sistema de alumbrado público, con una mejora en la calidad de iluminación, además de un ahorro económico en el mediano plazo.

OBJETIVOS

General

Deteminar mediante un estudio de iluminación, un sistema de alumbrado público eficiente, que genere una iluminación óptima y un ahorro energético al municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché.

Específicos

1. Analizar el estado de iluminación actual del sistema de alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché.
2. Efectuar un levantamiento de infomación física y lumínica del área de estudio, delimitando zonas o áreas representativas del alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché.
3. Realizar una comparación de las tecnologías actuales en luminarias, utilizando la topología actual de la red de alumbrado público.
4. Definir la tecnología de luminaria óptima y eficiente para las condiciones actuales del municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché.
5. Efectuar un análisis técnico-económico que defina la viabilidad del sistema de alumbrado público propuesto.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la sociedad vive procesos acelerados, en particular, los cambios en la economía empujan a las mejoras y búsquedas de tecnologías que brinden un bienestar acorde a las necesidades actuales. A su vez, las nuevas tecnologías transforman a la sociedad de muchas maneras, la cual, tiene que ajustarse en estructura y proceso a estos cambios.

Guatemala, como país en vías de desarrollo, ha tratado de acoplarse a las tendencias internacionales y adaptar tecnologías que beneficien a la población, particularmente, en el alumbrado público se han presentado cambios drásticos en los últimos años, el desarrollo de nuevos materiales, equipos y sistemas con mayor complejidad, características superiores y costos relativamente menores que los que estuvieron en el mercado tiempo atrás, ha hecho posible que actualmente, la mayoría de los equipos y sistemas en funcionamiento, tengan una eficiencia mejor que tecnologías pasadas.

El concepto de eficiencia para un sistema de alumbrado público, puede ser definido como la relación de la energía que éste entrega como resultado de su funcionamiento, dividida por la energía de entrada al sistema, siendo las pérdidas en el proceso la diferencia entre ambas; en la medida que se reduzcan las pérdidas la eficiencia del sistema mejora.

Cabe destacar, que los aspectos funcionales pueden quedar garantizados con un nivel elevado de iluminación; sin embargo, esto determinaría un elevado consumo energético. Por ello, es necesario realizar

las medidas de los niveles de iluminación existentes para verificar o comprobar si la zona iluminada cumple con las exigencias visuales.

En la actualidad, las entidades locales optimizan las instalaciones de alumbrado público, para conseguir una eficiencia energética y un ahorro económico de ser posible, hay que tener en cuenta que no siempre un mayor consumo energético equivale a un mejor servicio.

1. CONCEPTOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Los sistemas de alumbrado público representan para todas las ciudades, un punto clave en la calidad de vida de sus ciudadanos, ya que ofrecen seguridad tanto peatonal como vial, además, brindan la oportunidad de tener actividades recreativas, culturales y de otra índole en horarios nocturnos. Para las municipalidades, es y debe ser, uno de sus puntos clave en la agenda administrativa, dado que simboliza seguridad, imagen y credibilidad en la calidad del servicio y gestión pública.

Uno de los puntos clave que interviene directamente en la actualidad en el alumbrado público, es el alto costo de la energía eléctrica, situación que se empezó agravar en años recientes, máxime en Guatemala que posee una producción de energía hidráulica del 34%, y el resto, en su mayoría se genera con elementos fósiles, (búnker, diesel, carbón etc.), para complementar y agravar la situación, en Guatemala no existe un reglamento puntual que rijan las actividades de cobro de energía eléctrica en alumbrado público; básicamente en el país se aplican dos criterios: en algunas municipalidades funciona mediante un porcentaje de la factura de cada usuario, que varía entre el 10% y el 13%, la otra modalidad funciona mediante un cobro fijo independiente del consumo de energía eléctrica del usuario.

En cuanto al alumbrado público, muchas oportunidades de ahorro de energía dependen de los aspectos particulares de cada instalación, como la clase de equipo instalado, el régimen de operación y el costo de la energía. Ahorrar energía representa también, notables ventajas a nivel local: reduce la factura de energía eléctrica y permite disminuir los impactos ambientales locales

por las emisiones contaminantes del transporte, la industria, el comercio y hasta de los mismos hogares.

La Empresa Municipal Rural de Electricidad de Playa Grande Ixcán, Quiché, es el ente encargado de velar por la administración, el mantenimiento, la ampliación y buen funcionamiento del sistema de alumbrado público del municipio, para esto contempla los siguientes puntos:

- Iluminar todas las avenidas y calles existentes en el municipio.
- Circulación peatonal en condiciones de máxima seguridad.
- Proteger las zonas de habitabilidad de la delincuencia.
- Favorecer la orientación visual (posibilitando la visualización y localización de los objetos dentro de los escenarios iluminados).

Actualmente, pocos de estos puntos han sido logrados, la mayoría de las lámparas presentan deterioro considerable, en algunos casos no se encuentran bien instaladas, la interdistancia entre lámparas es bastante prolongada, existen puntos donde las luminarias se encuentran rotas, zonas que no están alumbradas adecuadamente, dificultando la orientación visual nocturna, es decir, el sistema posee deficiencias considerables.

Una buena orientación visual nocturna se consigue ubicando los puntos de luz en disposiciones estratégicas que permitan a los conductores, formarse imágenes inmediatas del escenario donde se encuentran.

El sistema de iluminación en el municipio de Ixcán está conformado por lámparas de 175 W de tecnología de vapor de mercurio, considerando que éste ofrecía un mejor rendimiento que los sistemas tradicionales mixtos e incandescentes de años atrás, pero en la actualidad no cumple con parámetros

mínimos de iluminación, además de no poseer un índice de eficiencia energética aceptable.

Comúnmente, cuando se plantean proyectos en sistemas de alumbrado público, los cuales requieren de una inversión inicial alta, usualmente las personas se enfocan en los beneficios que el proyecto brindaría en el corto plazo, y los comparan con los costos iniciales, de esta forma omiten los beneficios que podrían retribuirse mediante el ahorro de energía eléctrica en el mediano y largo plazo, las tecnologías actuales proporcionan vidas útiles de los equipos de iluminación en rangos de 3 a 7 veces más que los convencionales.

Además, un alumbrado público de mejor calidad, significa una mayor seguridad en las avenidas y calles del municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché, así como una eficiente distribución de luz, debido a esto, existe la necesidad de realizar un estudio, con el fin de conocer el estado actual del sistema, y dar alternativas para la optimización y ahorro de energía eléctrica.

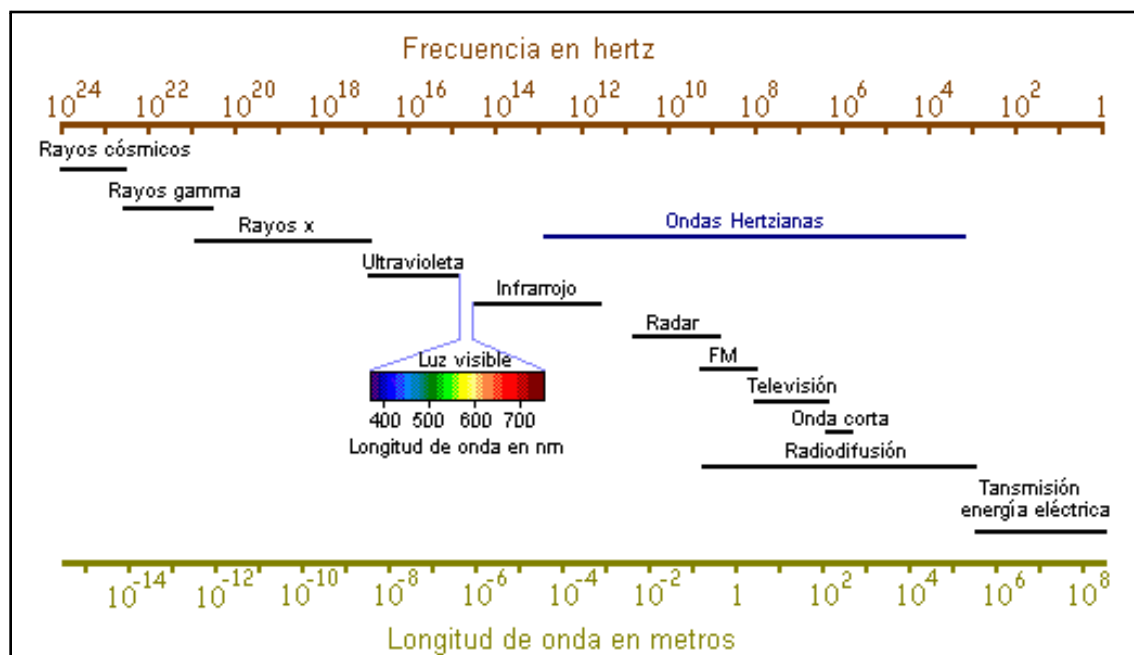
1.1. Definiciones generales

Alumbrado público: el servicio consiste en la iluminación de las vías públicas, parques, aceras y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, diferente del municipio, con el objetivo de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades.

Algunas de las definiciones y conceptos básicos en el estudio de iluminación se dan a continuación, tratando de enfocar de una manera simple su explicación.

- La luz: es la sensación que se produce sobre el ojo humano por ondas electromagnéticas, se trata de campos electromagnéticos alternos que transportan energía a través del espacio y se propagan bajo la forma de oscilaciones de vibraciones.
- El espectro electromagnético: la luz forma parte del espectro electromagnético que comprende tipos de ondas tan dispares como los rayos cósmicos, los rayos gamma, los ultravioletas, los infrarrojos y las ondas de radio o televisión entre otros. Cada uno de estos tipos de onda comprende un intervalo definido por una magnitud característica, que puede ser la longitud de onda o la frecuencia.

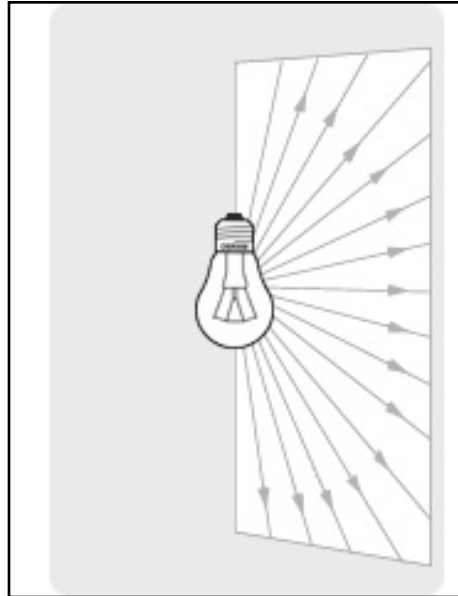
Figura 1. **Espectro electromagnético**



Fuente: <http://edison.upc.edu/curs/llum/luz/luz.html>. Consulta: mayo de 2012.

- Luz intrusa o molesta: luz procedente de las instalaciones de alumbrado público que da lugar a incomodidad, distracción o reducción en la capacidad para detectar una información esencial y, por tanto, produce efectos potencialmente adversos en los residentes, ciudadanos que circulan y usuarios de sistemas de transportes.
- 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).
- Intensidad luminosa: el flujo luminoso da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente, por ejemplo, una lámpara emite en todas las direcciones del espacio. Por el contrario, si es un proyector, es fácil ver que sólo ilumina en una dirección. Parece claro que es necesario conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio y para eso se define la intensidad luminosa (ver figura 2).

Figura 2. **Intensidad luminosa**



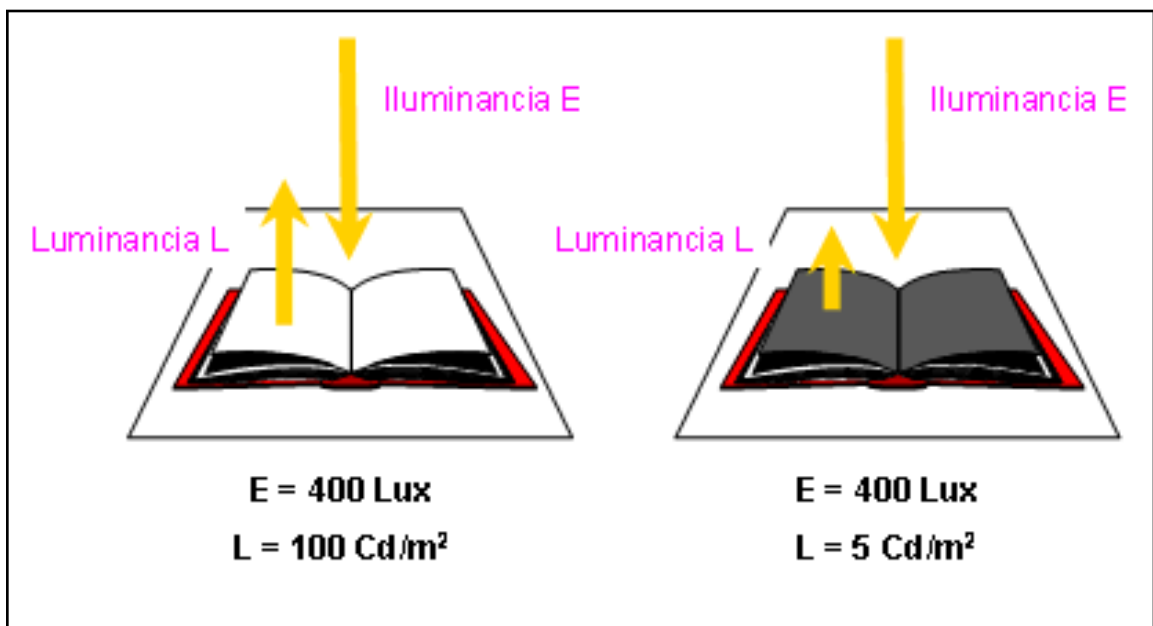
Fuente: http://www.osram.es/Diseo_en_Iluminacion. Consulta: mayo de 2012.

La intensidad luminosa es el flujo luminoso de una fuente de luz en una dirección y no depende del tamaño del objeto.

- Iluminancia: es el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un lm/m^2 .
- Luminancia: hasta ahora se ha hecho referencia de magnitudes que informan sobre propiedades de las fuentes de luz (flujo luminoso o intensidad luminosa) o sobre la luz que llega a una superficie (iluminancia), pero se ha dicho nada de la luz que llega al ojo que es la que se ve. De esto trata la luminancia. Tanto en observar un foco luminoso, como en el que se vea luz reflejada procedente de un cuerpo, la definición es la misma.

Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. La luminancia se expresa de dos formas: en candelas por unidad de superficie o en lúmenes por unidad de superficie.

Figura 3. **Iluminancia y luminancia**



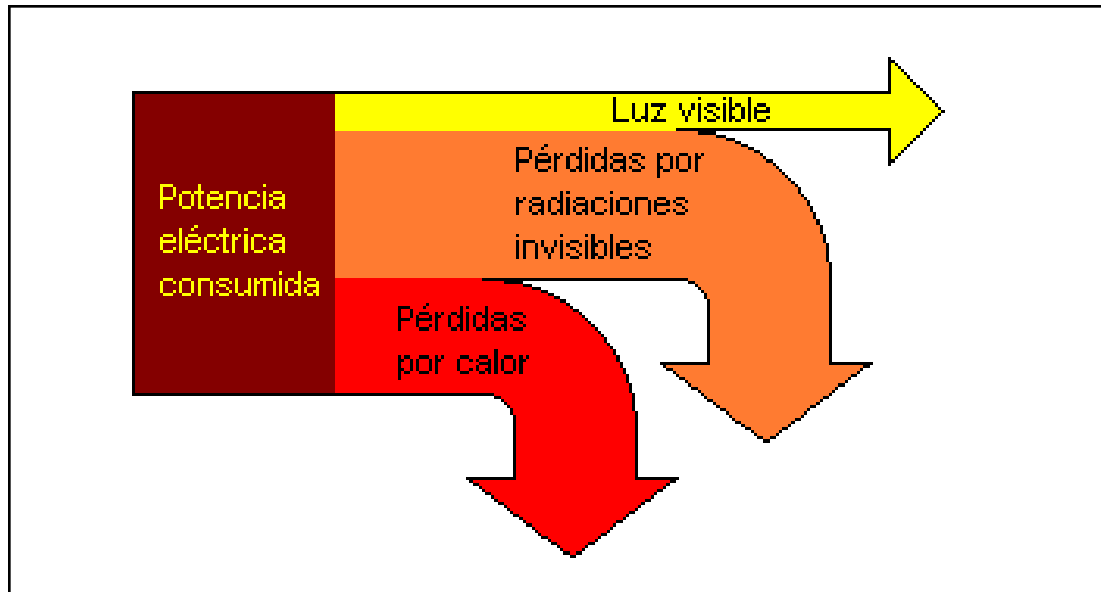
Fuente: <http://www.tuveras.com/luminotecnica/magnitudes.htm>. Consulta: mayo de 2012.

- Iluminancia media: valor medio de la iluminancia horizontal en la superficie considerada. Su símbolo es E_m y se expresa en lux.
- Luminancia media: valor medio de la luminancia de la superficie considerada. Su símbolo es L_m y se expresa en cd/m^2 .
- 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.

- 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.
- Uniformidad global de luminancias: relación entre la luminancia mínima y la media de la superficie de la calzada. Su símbolo es U_o y carece de unidades.
- Uniformidad longitudinal de luminancias: relación entre la luminancia mínima y la máxima en el mismo eje longitudinal de los carriles de circulación de la calzada, adoptando el valor menor de todos ellos. Su símbolo es U_l y carece de unidades.
- Uniformidad media de iluminancias: relación entre la iluminancia mínima y la media de la superficie de la calzada. Su símbolo es U_m y carece de unidades.
- Uniformidad general de iluminancias: relación entre la iluminancia mínima y la máxima de la superficie de la calzada. Su símbolo es U_g y carece de unidades.
- Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa: expresa el rendimiento energético de una lámpara y mide la calidad de una fuente como un instrumento destinado a producir energía, se define como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida. La unidad es el lumen por Watts (lm/W).

Figura 4. **Eficiencia luminosa**

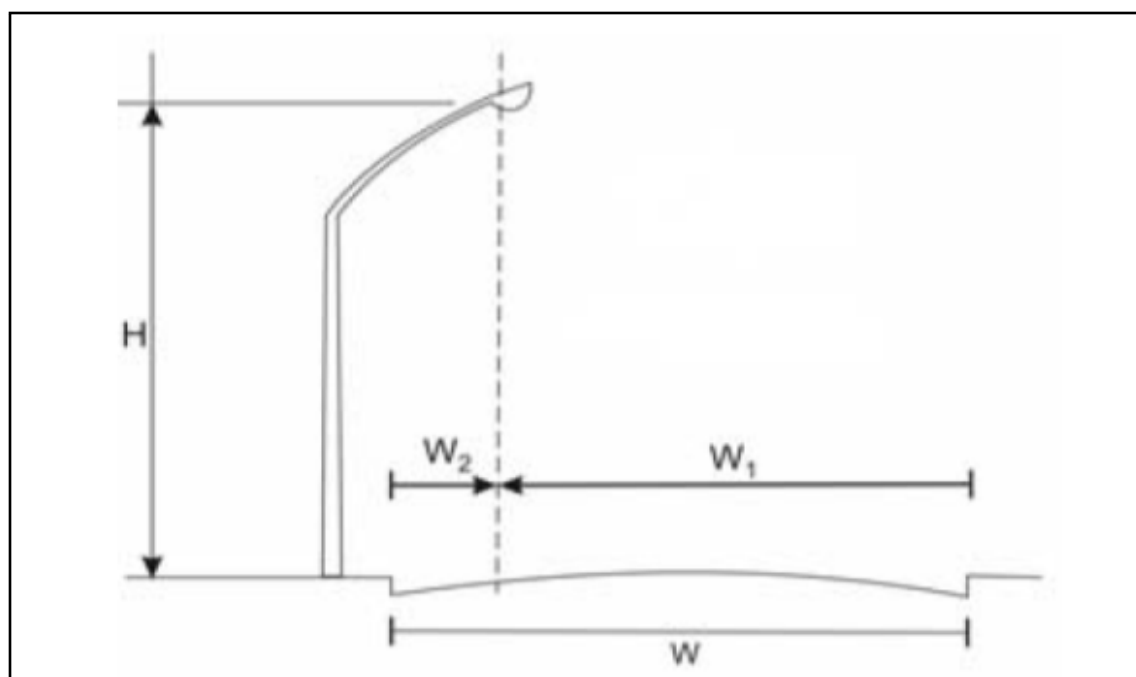


Fuente: <http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/magnitudes-unidades.html>. Consulta: mayo de 2012.

- Deslumbramiento: sensación producida dentro del campo visual por una luminancia, que es suficientemente mayor o menor que la luminancia a la cual los ojos se habían adaptado, y que es causa de molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad; la magnitud de la sensación del deslumbramiento depende de factores como el tamaño, la posición y la luminancia de la fuente, el número de fuentes y la luminancia a la cual estaba adaptado el ojo.
- Coeficiente de utilización: las curvas de coeficiente de utilización expresan el porcentaje del flujo luminoso emitido por la luminaria y que cae sobre la superficie de la calzada, en función del ancho de la misma. Como punto de referencia, se toma la vertical de la luminaria.

Una luminaria de alumbrado público tiene dos curvas k. La primera denominada k1, representa el flujo luminoso hacia el frente, hacia adelante, hacia la calzada. La segunda denominada k2, representa el flujo luminoso hacia atrás, hacia las casas, hacia la acera (ver figura 5)

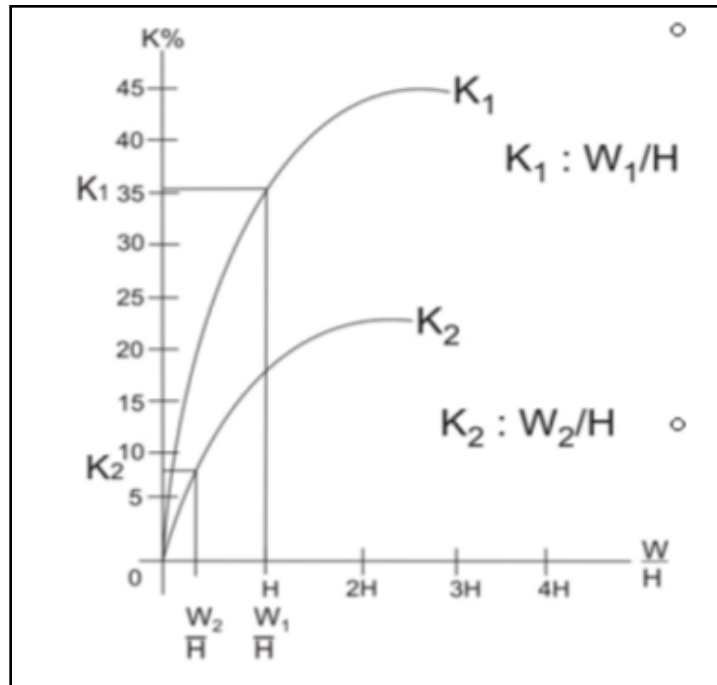
Figura 5. **Parámetros de medición en el coeficiente de utilización**



Fuente: elaboración propia.

En la ordenada de la figura 6 se indica el valor del k en porcentaje y en la abscisa se indica el ancho de la calzada expresada en función de la altura de montaje H.

Figura 6. **Curvas del coeficiente de utilización**



Fuente: elaboración propia.

- Curva Isolux: para unas determinadas condiciones de instalación, los gráficos que definen el comportamiento de la luminaria en una superficie son las curvas Isolux, un diagrama Isolux es el conjunto de curvas que unen puntos de una superficie con el mismo valor de iluminación, se utilizan para expresar los resultados de un proyecto de instalación.

El progreso tecnológico proporciona constantes evoluciones en los rendimientos de las lámparas; además, según el fabricante y tipo de lámpara, se obtienen flujos diversos para una misma potencia. Por este motivo, los gráficos de las curvas Isolux unitarias se indican para un flujo teórico de 1 000 lumen, por ello los valores de las curvas traducidos a una instalación determinada, deberán multiplicarse por el factor:

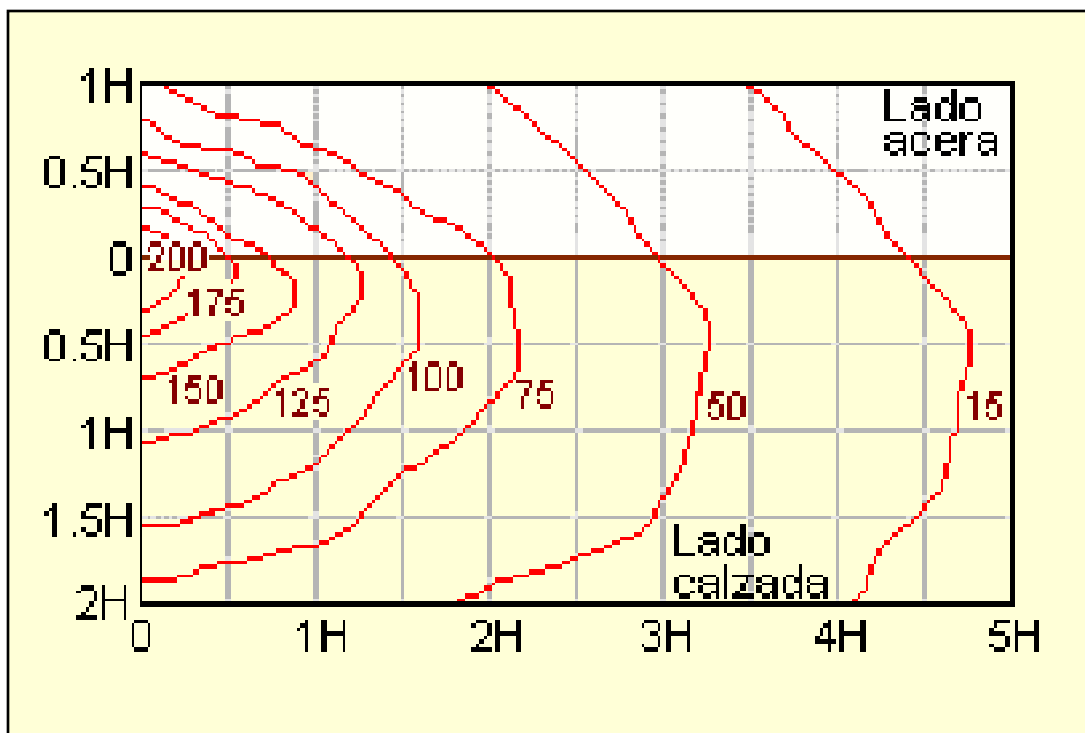
$$K = \frac{\Phi}{1000 \times h^2} \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Φ = flujo luminoso

H = altura

Para aplicar de una forma práctica las curvas a distintas instalaciones, la escala de las longitudes no se expresan en metros, sino en valor de relación distancia/altura de instalación.

Figura 7. **Curvas Isolux**



Fuente: <http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/graficos.html>. Consulta: mayo de 2012.

1.2. Elementos del sistema de alumbrado público

La iluminación es la más antigua y difusa de las aplicaciones de la electricidad, actualmente, parece difícil concebir la vida sin la luz eléctrica, el inconveniente actual del alumbrado público es obtener una buena iluminación con el menor consumo y pérdidas posible de energía eléctrica.

El conocimiento de las características de las distintas fuentes luminosas, equipos de iluminación, métodos de cálculo y otros aspectos relacionados al ramo de la iluminación, es de suma importancia para las personas relacionadas en el mejoramiento de los sistemas de alumbrado público, ya que de esas características dependerá el diseño de un sistema de iluminación acorde a las necesidades del proyecto.

El alumbrado público comprende el conjunto de fundamentos y tecnologías, cuyo principal objetivo es la búsqueda del nivel de iluminación suficiente y adecuada, para el desarrollo preciso y eficiente de las tareas visuales, proporcionando en todo momento, un ambiente confortable con una mínima fatiga visual.

Principalmente, el análisis de los sistemas de alumbrado público se ocupa de:

- La cantidad: entendiéndolo como tal el valor del nivel de iluminación en condiciones normales.
- La calidad, es decir, el confort visual ambiental.

El primer aspecto a considerar en un sistema de alumbrado público, es que debe ser diseñado para proporcionar el nivel de iluminación adecuado al tipo de vialidad, es decir considerando el tamaño de las calles y el flujo de tránsito; en todos los casos, debe considerar las condiciones específicas de iluminación, tanto en los pasos peatonales y aceras.

La iluminación y el consumo de la energía eléctrica están íntimamente relacionados, como lo está cualquier aparato que use electricidad para funcionar, por lo tanto los cuatro parámetros que definen el consumo son:

- La potencia de la lámpara, la cual se mide en watts
- El tiempo de uso de la iluminación en horas
- La tecnología de la lámpara
- El costo de la energía

Las instalaciones de alumbrado exterior se componen de distintos elementos, los cuales serán descritos a continuación.

1.2.1. Lámparas

Son los aparatos encargados de generar la luz, en la actualidad, en el alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico.

1.2.1.1. Lámparas de vapor de mercurio

La operación de una lámpara de mercurio se basa en el paso de un arco eléctrico a través del mercurio elemental contenido en ella a presión de vacío;

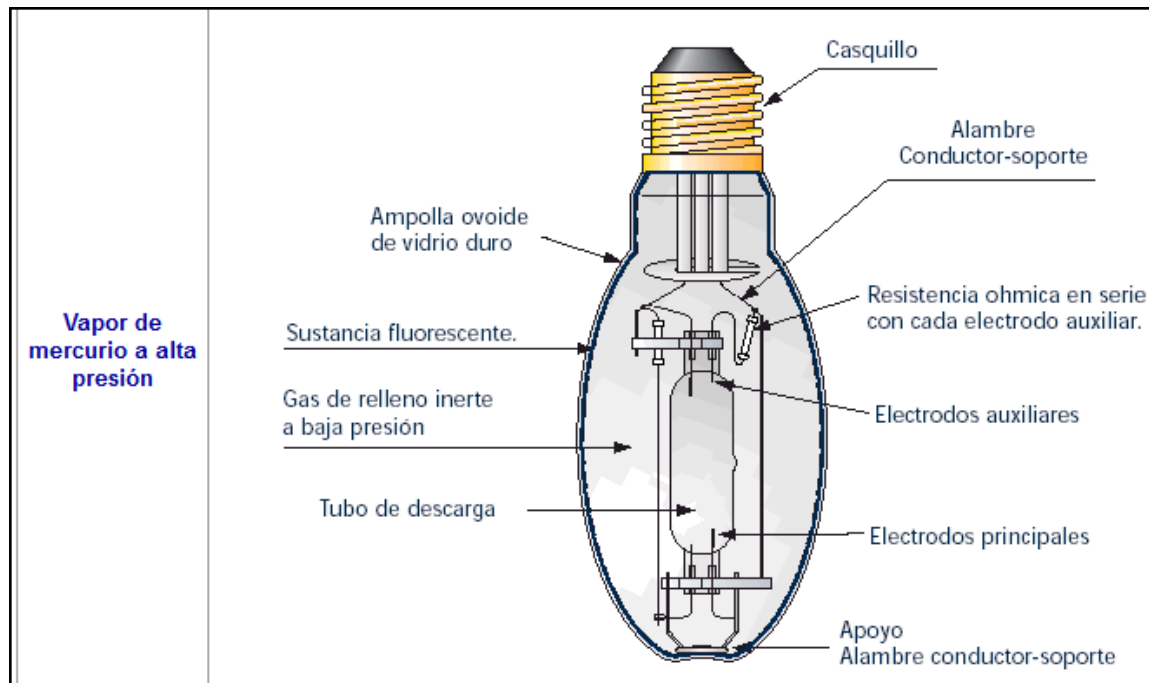
Los átomos de mercurio energizados se vaporizan instantáneamente y producen luz ultravioleta que es absorbida por el recubrimiento de fósforo en polvo en el interior del vidrio cilíndrico de la lámpara, el fósforo en estado excitado emite luz visible.

Existen lámparas de mercurio a alta y baja presión, diferenciables por sus condiciones de operación; en condiciones de baja presión en el espectro de emisión del mercurio, predominan las radiaciones ultravioletas en la banda de 253,7 nm; con altas presiones de vapor, el espectro cambia notablemente, emitiendo varias bandas que corresponden a las sensaciones de color violeta (405 nm), azul (435 nm), verde (546 nm) y amarillo (570 nm), emitiendo también, una pequeña cantidad de radiaciones ultravioleta.

Para aplicaciones de alumbrado público se utilizan las lámparas de alta presión. Como las cualidades cromáticas de estas radiaciones no resultan muy buenas, debido en gran parte a la ausencia de radiaciones rojas, las radiaciones ultravioleta se transforman mediante sustancias fluorescentes (como el fósforo) en radiaciones comprendidas dentro del espectro rojo, dando como resultado, una lámpara con un mejor rendimiento cromático.

- Características de operación: la vida útil de estas luminarias está establecida en 8 000 horas aproximadamente. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, poseen un rango de voltaje que oscila entre 220 V y 250 V.

Figura 8. Lámparas de mercurio a alta presión



Fuente: <http://www.tuveras.com/luminotecnica/lamparasyluminarias.htm>. Consulta: mayo de 2012.

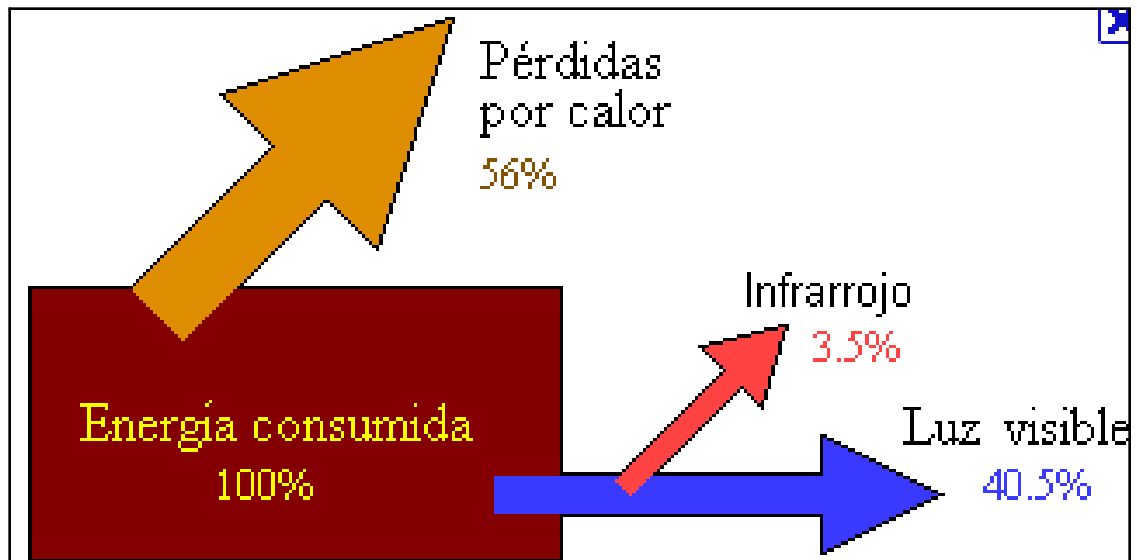
1.2.1.2. Lámparas de sodio a alta presión

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión, tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible, proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión.

Las consecuencias de esto, es que tienen un rendimiento en color ($T_{\text{color}} = 2\ 100\ \text{K}$) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión. No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto

comparado con los de otros tipos de lámparas la vida media de este tipo de lámparas ronda las 20 000 horas.

Figura 9. **Balance energético de la lámpara de sodio a alta presión**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos71/concepto-historia-lamparas-electricas/concepto-historia-lamparas-electricas2.html>. Consulta: mayo de 2012.

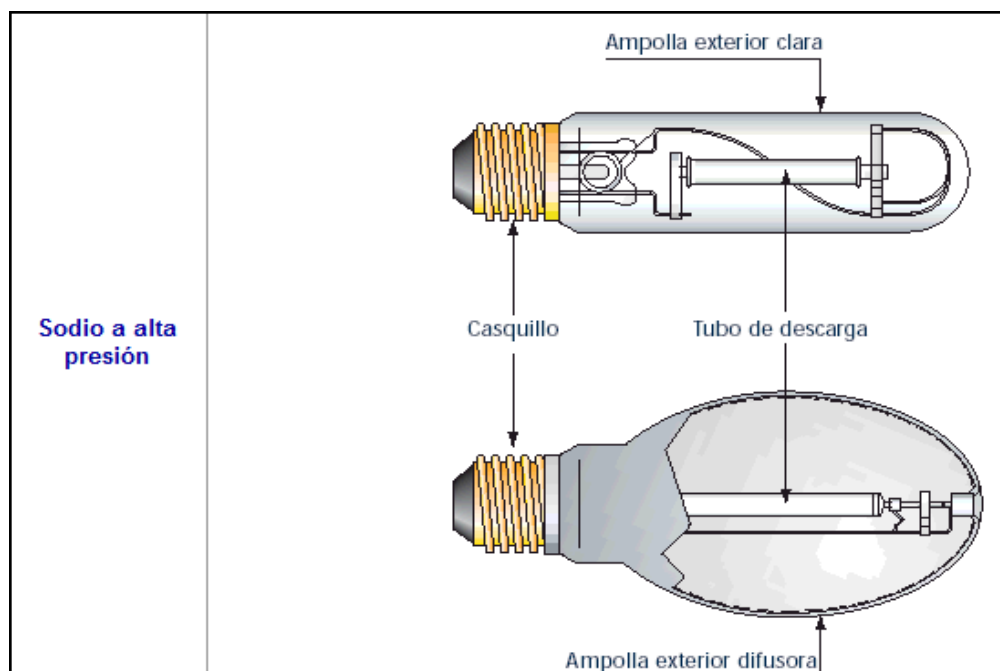
Este tipo de lámparas tiene muchos usos posibles, tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos: iluminación de bodegas industriales, alumbrado público o iluminación decorativa.

Ventajas:

- Alta eficacia luminosa que la convierte en la práctica, en la fuente de luz más eficaz para un gran número de aplicaciones.

- Adecuado rendimiento de color de las lámparas convencionales en muchas aplicaciones comunes, mejorado apreciablemente en los nuevos desarrollos.
- Elevadas vidas media y útil, con un adecuado nivel de mantenimiento del flujo luminoso.
- Equipos auxiliares de calidad contrastada y alto índice de fiabilidad y duración.
- Pueden operar en cualquier posición de funcionamiento sin presentar problemas.
- Precio moderado, que aun siendo claramente superior al de las lámparas de mercurio, se rentabiliza en razón de sus altas prestaciones energéticas.

Figura 10. **Lámparas de sodio a alta presión**



Fuente: <http://www.tuveras.com/luminotecnica/lamparasyluminarias.htm>. Consulta mayo de 2012.

1.2.1.3. Lámparas tipo LED

En los años 70, la lámpara de descarga de vapor de sodio de alta presión constituyó una revolución en el mundo del alumbrado público, después de transcurrir más de 30 años para que otra tecnología, diferente de la actual, ha permitido vislumbrar un futuro prometedor, y sobre todo muy diferente.

Dicha tecnología novedosa es la de los elementos componentes de estado sólido (LED) y dada sus posibilidades ofrece un panorama muy diferente del actualmente existente, permitiendo obtener productos más pequeños, más ligeros, más fríos y más brillantes productos que tendrán un bajo consumo energético.

El rápido desarrollo de los LED (*Light Emitting Diodes*) como nuevas fuentes de emisión luminosa, ha permitido a ser consideradas en sistemas de alumbrado e iluminación, esto ha sido posible por la elevada vida media de los LED de las últimas generaciones, el notable incremento de su luminosidad y el mantenimiento de su reducido consumo, dando lugar a sistemas altamente eficaces energéticamente y de bajo costo de mantenimiento.

Las características más importantes, desde el punto de vista de su aplicación a sistemas de iluminación son:

- Elevada duración de vida: con la que las operaciones de mantenimiento se pueden distanciar en el tiempo o incluso eliminar con respecto a las de las lámparas convencionales. No hay que olvidar que, mientras en los LED la vida supera las 75 000 horas, la mayor duración de vida de las lámparas convencionales no supera las 24 000 horas.

- Poder para direccionar la luz: debido al pequeño tamaño de los dispositivos emisores de luz y que casi el 100% de la luz emitida es direccional, ésta resulta más eficiente.
- Reducido consumo energético: debido a la tecnología de alta eficiencia.

Figura 11. **Lámparas LED**



Fuente: http://www.pantallasled.com.mx/productos/iluminacion_exterior/lamparas_led_sp90.html.
Consulta: mayo de 2012.

1.2.2. Luminarias

Aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares, además de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta. Para ello, adoptan diversas formas, aunque en alumbrado público predominan las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada.

Las luminarias pueden ser montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces.

En la actualidad, las luminarias se clasifican según tres parámetros (alcance, dispersión y control) que dependen de sus características fotométricas, los dos primeros informan sobre la distancia en que es capaz de iluminar la luminaria en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente.

Estructuralmente, las luminarias deben estar construidas de tal forma que estén protegidas contra la acción nociva de los agentes atmosféricos (polvo, agua, etcétera) no solo las luminarias, sino también las lámparas y todos los equipos auxiliares eléctricos, para tal fin, los fabricantes disponen de distintos tipos de protecciones.

Desde el punto de vista de iluminación, las luminarias consideran los siguientes elementos:

- Reflectores: tienen la función de distribuir la luz emitida por la fuente luminosa, se fabrican de aluminio brillantado y anodizado, con vidrio metalizado, o bien, con lámina esmaltada.
- Refractores: se construyen en forma de copa, de globo o de media pera, se construyen de vidrio o de materiales plásticos con acabado prismatizado, de madera que dirijan los rayos de luz en dirección preestablecida.

- Difusores: tienen la función principal de disminuir la luminancia de las lámparas, están contruidos de algunos tipos de vidrio o de material plástico opalino que atenúa el deslumbramiento, pero que reducen el rendimiento de la luminaria, los difusores se usan en cierto modo, para alumbrado decorativo en la iluminación de jardines, parques y calles donde se debe cumplir ciertas exigencias estéticas.

1.2.3. Soportes

El análisis realizado sobre las redes de alumbrado público, va dirigido hacia la durabilidad y disponibilidad del material, los costos asociados y la seguridad de los distintos tipos de postes que pueden utilizarse, como los postes de concreto, madera y acero. A continuación se presentan las características básicas de cada alternativa de postes:

- Postes de concreto: este material presenta uniformidad dimensional en su fabricación, resistencia mecánica y elevada durabilidad. Por la aplicación masiva de este material en el mercado, se reducen sus costos de adquisición, instalación, herrajes y estructuras asociadas.
- Postes de madera: este tipo de postación sufre un deterioro mucho mayor que los de concreto y acero, lo que disminuye su vida útil e incrementa el costo de mantenimiento, pero representa una alternativa viable en lugares de difícil acceso y alta concentración de bosques.
- Postes de acero: presentan costos muy superiores a los de concreto, prestaciones similares y mayores costos de mantenimiento por los requerimientos periódicos de repintado.

1.2.4. Equipos auxiliares

La tipología de las lámparas utilizadas en el alumbrado público (sistemas con potencias superiores a las de tipo doméstico) implica la necesidad de disponer de una serie de dispositivos para el correcto funcionamiento, ya que, además, en muchos casos éstas no pueden conectarse directamente a la red. Algunos de los elementos auxiliares más importantes son:

- **Balastro:** es un dispositivo que limita el crecimiento de la intensidad de la corriente y suministra a la lámpara, las características de tensión, de frecuencia y de potencia adecuadas a un funcionamiento estable. El balastro es así un elemento limitante de intensidad que evita la autodestrucción de la lámpara, porque tiene tendencia a incrementar la intensidad durante su funcionamiento y permite un régimen de trabajo. Energéticamente, las características del balastro es que representa aproximadamente entre el 10% y 20% del consumo total de la lámpara.
- **Condensador:** la función del condensador es corregir el factor de potencia del sistema y minimizar el consumo de energía reactiva.
- **Arrancadores:** se encargan de generar los impulsos de tensión necesarios para encender la lámpara.
- **Equipos reductores del flujo luminoso:** hay sistemas en el mercado que permiten regular la intensidad lumínica; aunque representan un incremento en el consumo energético de las lámparas, la posibilidad de regular la potencia en puntos concretos de necesidades variables puede permitir reducir el consumo energético anual de manera significativa.

1.2.5. Sistemas de accionamiento

Básicamente existen 3 métodos de control de las iluminaciones, éstos son:

- Sistema piloto: en este sistema, por medio de una foto celda se alimenta un circuito, que recorre una gran zona, donde van instalados unos relés que serán controlados por este circuito denominado piloto; la foto celda está localizada en la parte superior de la luminaria que traduce las variaciones de luz incidente, en variaciones correspondientes (señales) de tensión o de corrientes eléctricas.
- Sistema de comando de grupo: éste consiste en el control de un pequeño número de luminarias, aproximadamente 20, por medio de un conjunto formado por un relé y una foto celda, acoplados de la misma manera que en el sistema piloto, pero con la diferencia de que esa línea piloto, que sale de la foto celda, sólo va hasta el relé. Comparando este sistema con el anterior se observan las siguientes ventajas:
 - Economía: la línea piloto en este caso sólo recorre una pequeña distancia.
 - Funcionalidad: si se presenta una falla en la foto celda, el sector que no prendería sería muy reducido.
- Sistema de control individual: éste sistema consiste en el control de cada luminaria por medio de una foto celda (normalmente cerrada), esto es, durante el día sus contactos permanecen cerrados, pero la luminaria permanece desenergizada y al llegar la noche, la foto celda abre sus contactos permitiendo la energización de la luminaria cabe anotar que la

foto celda no siempre controla directamente la carga (bombilla), sino que a veces maneja un contacto (relé de potencia), el cual acciona directamente la carga.

1.3. Eficiencia energética en el alumbrado público

La palabra eficiencia hace referencia a los recursos empleados y los resultados obtenidos, la eficiencia se define como expresión que se emplea para medir la capacidad o cualidad de actuación de un sistema o sujeto económico, para lograr el cumplimiento de objetivos determinados, minimizando el empleo de recursos. En tecnología y economía el término energía se refiere a un recurso natural, incluyendo a su tecnología asociada para extraerla, transformarla y darle un uso industrial o económico, al asociar estas dos definiciones se obtiene, un concepto claro del objetivo de eficientar un sistema de alumbrado público.

Por eficiencia energética se entiende la obtención de un resultado de un determinado proceso, la obtención de un producto, la realización de un servicio, etc. minimizando el consumo de energía, asimismo eficiencia energética hace referencia a todas las acciones que tienden a reducir el consumo de energía, obteniendo el mismo resultado.

La eficiencia energética debe conducir a obtener el mismo resultado anterior, manteniendo o mejorando su calidad, pero con un menor consumo de energía; Por ello, no debe confundirse con el ahorro de energía o la reducción del consumo. El servicio prestado por la energía debe mantenerse o mejorarse.

Objetivos de la eficiencia energética:

- Ahorro energético: éste implica, no sólo la reducción del consumo, sino también, la reducción de emisiones que afectan al medio ambiente, de todos los costos operativos, el energético es el más fácil de controlar, pero para su reducción es indispensable un control continuo, una gestión adecuada de la información y una asesoría energética efectiva.
- Mejora de la productividad: se centran en optimizar el rendimiento de los equipos y de los procesos, facilitando un correcto mantenimiento.

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado público 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.

$$\varepsilon = \frac{A \cdot E_m}{P} \left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right) \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Siendo:

- ε = eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior.
 P = potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares) (W).
 A = superficie iluminada (m^2).
 E_m = iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux).

1.3.1. 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 I.

Tabla I. **Eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial**

Iluminancia media en servicio $E_m(\text{lux})$	Eficiencia energética mínima $\left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}}\right)$
≥ 30	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	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.

1.3.2. **Calificación energética de las instalaciones de alumbrado público**

Las instalaciones de alumbrado público, excepto las de alumbrados de señales, anuncios luminosos, festivos y navideños, 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 (ϵ) y el valor de eficiencia energética de

referencia (ϵ_R) en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada, que se indica en tabla II.

$$I\epsilon = \frac{\epsilon}{\epsilon_R} \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Tabla II. **Valores de eficiencia energética de referencia en alumbrado vial**

Alumbrado vial	
Iluminancia media en servicio E_m (lux)	Eficiencia energética mínima
≥ 30	32
25	29
20	26
15	23
10	18
$\leq 7,5$	14

Fuente: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, instrucción técnica complementaria ITC-EA-01. p. 11.

Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla II, la eficiencia energética de referencia se obtendrá por interpolación lineal.

Con el objetivo de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-01, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y con más consumo de energía).

El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético (ICE) que es igual al inverso del índice de eficiencia energética.

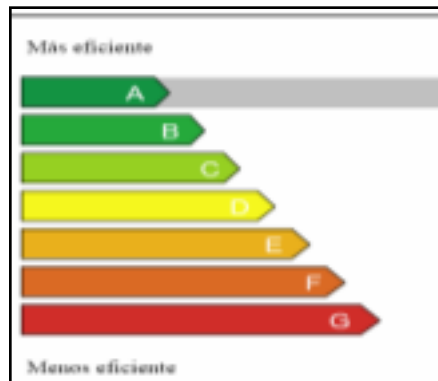
$$ICE = \frac{1}{I_e} \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

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

Calificación energética	Índice de consumo energético	Índice de eficiencia energética
A	$ICE < 0,91$	$I_e > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq I_e > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_e > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_e > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_e > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq I_e > 0,20$
G	$ICE \geq 5$	$I_e \leq 0,20$

Fuente: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, instrucción técnica complementaria ITC-EA-01, p. 12.

Figura 12. **Calificación energética de las instalaciones de alumbrado**



Fuente: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, instrucción técnica complementaria ITC-EA-01, p. 15.

1.4. Normativas de alumbrado público

Existen normativas internacionales enfocadas en el diseño de sistemas alumbrado de público, en este estudio se utilizarán como base, las siguientes.

1.4.1. Comisión Internacional de Iluminación CIE 115-1995, CIE 140-2000 y CIE 136-2000

Estas publicaciones de la Comisión Internacional de Iluminación CIE establecen los cálculos para la iluminación de vías públicas y presentan una guía para la iluminación de áreas urbanas.

1.4.2. Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-EA-01 a ITC-EA-07

Este reglamento tiene por objetivo establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, con la finalidad de:

- Mejorar la eficiencia y ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta.

Además, este reglamento establece los valores mínimos para los niveles de iluminación en los distintos tipos de vías o espacios a iluminar, que se regirán por la normativa que les sea de aplicación.

1.4.3. Norma Técnica Colombiana NTC- 900

Esta norma suministra una herramienta eficaz en la selección de sistemas de alumbrado público, permitiendo escoger la más adecuada entre las diversas soluciones posibles.

Además, establece los principios generales para la iluminación de carreteras interurbanas, vías de penetración o de circunvalación de las poblaciones, calles principales o secundarias, cruces, glorietas, pasos superiores o inferiores, puentes y barrios residenciales.

1.5. Mantenimiento en instalaciones de alumbrado público

Las características y las prestaciones de una instalación de alumbrado público, se modifican y degradan a lo largo del tiempo. Una explotación correcta y un buen mantenimiento permitirán conservar la calidad de la instalación, asegurar el mejor funcionamiento posible y lograr una eficiencia energética aceptable.

Las características fotométricas y mecánicas de una instalación de alumbrado público, se degradarán a lo largo del tiempo debido a numerosas causas, siendo las más importantes las siguientes:

- La baja progresiva del flujo emitido por las lámparas.
- El ensuciamiento de las lámparas y del sistema óptico de la luminaria.
- El envejecimiento de los diferentes componentes del sistema óptico de las luminarias (reflector, refractor, cierre, etc.).
- El prematuro cese de funcionamiento de las lámparas.

- Los desperfectos mecánicos debidos a accidentes de tráfico, actos de vandalismo, etc.

Las instalaciones de alumbrado público a la intemperie, son sometidas a los agentes atmosféricos, riesgo que supone que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles, la primordial función que dichas instalaciones desempeñan en materia de seguridad vial, peatonal y de los bienes, obligan a establecer un correcto mantenimiento de las mismas.

1.5.1. Mantenimiento preventivo

Debe determinar las acciones para evitar o eliminar las causas, las fallas potenciales del sistema y prevenir su ocurrencia mediante la utilización de técnicas de diagnóstico y administrativas que permitan su identificación.

Dentro de las técnicas de diagnóstico se deben considerar:

- Las mediciones eléctricas en diferentes puntos de la red de los perfiles de tensión.
- La medición de los parámetros eléctricos de operación de las luminarias y sus componentes.
- Las mediciones fotométricas deben permitir obtener parámetros como uniformidad general de niveles de luminancia/luminancia de la calzada (U_0), uniformidad longitudinal sobre la calzada (U_l), que permitan medir la calidad de la iluminación.

Estas rutinas de inspección se deben ejecutar a través de grupos de Inspección con equipos y elementos adecuados.

Para programar los trabajos de mantenimiento en una vía, se deben comparar los valores de iluminación medidos con los valores de iluminación promedio mantenida y que sean requeridos de acuerdo a la clase de iluminación asignada a la vía.

Con la aplicación del esquema de mantenimiento de diseño de la instalación de alumbrado público, el operador debe proceder a efectuar los trabajos de mantenimiento preventivo de limpieza del conjunto óptico de la luminaria o hacer un reemplazo en grupo de todas las lámparas que tengan el mismo tiempo de instalación, es decir, cuando lleguen al final de su vida útil (70% flujo luminoso nominal).

El operador del servicio de alumbrado público, en cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo, debe hacer seguimiento a cada uno de los componentes del sistema de alumbrado público.

1.5.2. Mantenimiento correctivo

Consiste en localizar, reparar y adecuar las instalaciones para que funcionen el máximo número de horas posible con el desempeño, para el que fueron diseñadas.

Las actividades que componen el mantenimiento correctivo son:

- Localización - detección de averías
- Adecuación de instalaciones

Para la ejecución del mantenimiento correctivo, es importante tener en consideración los siguientes aspectos, principalmente en lo que tiene que ver con lámparas y luminarias:

- Reemplazar las lámparas y, en donde sea necesario, los equipos auxiliares y cerciorarse que el casquillo de la lámpara esté perfectamente adaptado al porta lámpara.
- Revisar el encendido y apagado y el correcto funcionamiento del dispositivo de encendido para alumbrado público, detectar fallas eléctricas y daño accidental.
- Limpiar las lámparas, el conjunto óptico de las luminarias
- Realizar el mantenimiento mecánico y eléctrico (accesorios de alumbrado y sistema de distribución).
- Coordinar con las entidades municipales competentes la poda de los árboles circundantes a los equipos de iluminación, para despejar el cono de intensidad máxima de cada luminaria.

1.5.3. Factor de mantenimiento

El factor de mantenimiento (f_m) es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado período de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior y la iluminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva.

$$F_m = \frac{E_{servicio}}{E_{inicial}} \quad (\text{Ecuación 1.5})$$

El factor de mantenimiento será siempre menor que la unidad ($F_m < 1$), e interesará que resulte lo más elevado posible, para una frecuencia de mantenimiento lo más baja que pueda llevarse a cabo.

El factor de mantenimiento será función fundamentalmente de:

- El tipo de lámpara, depreciación del flujo luminoso y su supervivencia en el transcurso del tiempo.
- La estanqueidad del sistema óptico de la luminaria mantenida a lo largo de su funcionamiento.
- La naturaleza y modalidad de cierre de la luminaria.
- La calidad y frecuencia de las operaciones de mantenimiento.
- El grado de contaminación de la zona donde se instale la luminaria.

1.6. Grados de contaminación

La contaminación atmosférica afecta directamente la eficiencia de las luminarias, existen tres tipos de contaminación que se definen dependiendo del medio donde se encuentren instaladas las luminarias.

1.6.1. Grado de contaminación alto

Existe en las proximidades de las instalaciones de alumbrado público actividades generadoras de humo y polvo con niveles elevados. Con frecuencia las luminarias se encuentran envueltas en penachos de humo y nubes de polvo, que comportará un ensuciamiento importante de la luminaria en un medio corrosivo y corresponderá, entre otras, a:

- Vías de tránsito rodado de muy alta intensidad.

- Zonas expuestas al polvo, contaminación atmosférica elevada y, eventualmente, a compuestos corrosivos generados por la industria.
- Sectores sometidos a la influencia marítima.

1.6.2. Grado de contaminación medio

Hay en el entorno actividades generadoras de humo y polvo con niveles moderados, con intensidad de tránsito media, compuesto de vehículos ligeros y pesados, y un nivel de partículas en el ambiente igual o inferior a $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que supondrá un ensuciamiento intermedio o mediano de la luminaria y corresponderá, entre otras, a:

- Vías urbanas o semiurbanas sometidas a una intensidad de tránsito medio.
- Zonas residenciales, de actividad u ocio, con las mismas condiciones de tráfico de vehículos.
- Aparcamientos al aire libre de vehículos

1.6.3. Grado de contaminación bajo

Ausencia en las zonas circundantes de actividades generadoras de humo y polvo, con poca intensidad de tránsito, casi exclusivamente ligero. El nivel de partículas en el ambiente es igual o inferior a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que corresponderá, entre otras, a:

- Vías residenciales no sometidas a un tránsito intenso de vehículos
- Grandes espacios no sometidos a contaminación
- Medio rural

2. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

El mejoramiento de las condiciones de visibilidad, constituye un medio eficaz para reducir la frecuencia de los accidentes y para aumentar la capacidad de tránsito.

La iluminación pública, correctamente realizada, permite descongestionar parcialmente el tránsito de día, desplazándolo hacia el tránsito de noche. Por otra parte, el alumbrado debe permitir a otros usuarios de la vía (peatones, ciclistas, etc.) ver sin riesgo de error o de deslumbramiento, todo vehículo que se acerque. Esto es aplicable tanto al peatón que atraviesa la vía, como al que se dispone a hacerlo.

2.1. Puntos a considerar en un sistema de alumbrado público

El objetivo del alumbrado público, es proporcionar la visibilidad adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehiculares como peatonales, en espacios de libre circulación con tránsito vehicular y peatonal. Un diseño de alumbrado público, además de cumplir los requisitos técnicos de iluminación, los cuales se podrán consultar en el transcurso de los siguientes incisos del presente trabajo, la fotometría de las fuentes luminosas y luminarias y los requisitos de los productos de alumbrado establecidos, debe considerar los siguientes aspectos:

2.1.1. Visibilidad óptima

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

2.1.1.1. Comodidad visual

El ambiente visual de un conductor está constituido, principalmente por la visión de la calzada al frente del volante y, en menor grado, por el resto de su campo visual, que puede llegar a tener información para el conductor, como las señales de tránsito. La comodidad visual es una importante característica que redundará en la seguridad del tránsito vehicular. La falta de comodidad se traducirá en una falta de concentración por parte de los conductores que reducirá la velocidad de reacción debido al cansancio que se producirá en sus ojos.

El grado de comodidad visual proporcionado por una instalación de alumbrado público será mejor si el ojo del conductor tiene mejores niveles de adaptación; ello implica elevar la luminancia promedio L_{prom} sobre la vía, así como controlar la dispersión de los valores que componen dicho promedio.

Para asegurar el control en la dispersión de los datos, se utiliza el concepto de uniformidad longitudinal de luminancia U_l . Un bajo nivel de uniformidad longitudinal se traducirá en la aparición del efecto cebra sobre la vía, causante de la fatiga visual del conductor. El efecto cebra toma su nombre en la apariencia que toma la vía cuando tiene un bajo valor de uniformidad longitudinal: como aparecen sectores transversales a la vía bien iluminados seguidos de otros con poca iluminación, la vía toma la apariencia de la piel de una cebra.

En la comodidad visual del conductor se encuentra comprometida la luminancia ofrecida por la instalación de alumbrado público, su uniformidad, su nivel de iluminación, el grado de deslumbramiento, así como la disposición y naturaleza de las fuentes luminosas utilizadas. Una instalación urbana necesita mayores niveles de comodidad visual a fin de reducir la tensión nerviosa de los conductores y con ello, sus efectos sobre el comportamiento en la vía. Por ello, la instalación de alumbrado debe considerar la iluminación de aceras y fachadas y de esa manera crear un ambiente más agradable.

Una instalación de iluminación en carreteras, debe asegurar una continuidad óptica sobre el carril de circulación y sobre la geometría de la vía, a fin de elevar la seguridad por la velocidad de circulación. Se deben tener en cuenta tres variables al considerar la selección o diseño de una instalación de alumbrado público:

- La velocidad de circulación
- La frecuencia
- Naturaleza de los obstáculos a ver
- El tipo de usuarios de la vía

En principio, vías que responden de la misma forma a los criterios anteriores, se iluminan de la misma manera. Por consiguiente, se pueden agrupar las vías en varios conjuntos que respondan a un tipo de iluminación en función de los fines de la vía. Esta agrupación permite generar instructivos sobre la forma típica de iluminar, de modo que se contemplen todos los problemas que resulten al menos desde el punto de vista lumínico.

2.1.1.2. Confiabilidad de la percepción

Los objetos sólo pueden percibirse cuando se tiene un contraste superior al mínimo requerido por el ojo. Este valor depende del ángulo con el que se vea (afecta la cantidad de superficie aparente en la fórmula de luminancia) y de la distribución de la luminancia en el campo visual del observador (fondo para el contraste). Además, este valor define el tiempo de adaptación del ojo en dicha situación.

La iluminación deberá perseguir dos elementos:

- El primero es proporcionar un elevado nivel de luminancia en el fondo, interpretado como la necesidad de proveer una luminancia promedio.
- El segundo elemento es un bajo nivel de luminancia para el obstáculo, que generalmente tiene un bajo coeficiente de reflexión, pero que está fuera del control del diseñador.

Es necesario definir y entender claramente el concepto del cálculo de la luminancia promedio mantenida. Además, no basta aplicar la simple fórmula matemática para obtener el promedio que pudiera resultar elevado debido a unos pocos puntos de gran valor y otros muy bajos, sino que es necesario que

los puntos calculados, para obtener el promedio, mantengan una dispersión baja de modo que los puntos de la calzada con mínima luminancia no afecten la percepción por disminución de la luminancia de fondo. Esto se logra controlando el valor de la uniformidad global de luminancia U_o .

La confiabilidad de la percepción se ve comprometida igualmente y de manera directa, con mayores niveles de deslumbramiento fisiológico. Por consiguiente, para restringir el efecto molesto del deslumbramiento, hay que especificar un límite máximo al valor para el incremento del umbral TI.

2.1.2. Seguridad

Se ha establecido que el objetivo del alumbrado público es permitir a los usuarios de la calzada y aceras, circular sobre ellos en las horas de la noche, de manera segura, cómoda a velocidades preestablecidas.

La seguridad se logra si el alumbrado permite a los usuarios que circulan a velocidad normal evitar un obstáculo cualquiera. La iluminación debe permitir, en particular, ver a tiempo los bordes, las aceras, separadores, encrucijadas, señalización visual y en general toda la geometría de la vía; Para este efecto, está establecido que el criterio de seguridad consiste en la visibilidad de un obstáculo fijo o móvil constituido por una superficie de 0,20 m x 0,20 m, con un factor de reflexión de 0,15. Considerando que:

- La seguridad de un peatón se logra si se puede distinguir este obstáculo a una distancia hasta de 10 m.
- La seguridad de un automovilista depende, esencialmente de su velocidad. A velocidad media de 6 km/h, él debe percibir este obstáculo a una

distancia hasta 100 m. Para velocidades superiores, esta distancia oscila entre 100 y 200 m.

La noción de seguridad resultante del alumbrado público no es la misma en carretera que en los cascos urbanos. En el primer caso, el alumbrado interesa sobre todo al automovilista que circula a una velocidad relativamente alta sobre una carretera donde los obstáculos fijos o móviles no son muy frecuentes y la iluminación se concentra más en proveer la dirección de circulación a manera de una perfecta guía visual. El conductor verá los obstáculos como siluetas, pues generalmente el contraste resulta negativo.

Por el contrario, en los cascos urbanos, la circulación es más densa y los obstáculos son generalmente más frecuentes, pero la velocidad de circulación es generalmente menor. De lo anterior, se deduce, que según el objeto que se persiga, la elección del sistema de alumbrado público se verá influenciada por la densidad, naturaleza y velocidad de circulación.

Es necesario que el sistema de alumbrado permita ver esos obstáculos y otros vehículos sin riesgo de error o deslumbramiento. Igual hipótesis se plantea para los peatones, aunque su velocidad menor, hace que sean menos exigentes las condiciones para ver. La iluminación calculada, debe comportarse como una guía de visibilidad en la que están comprometidas de una manera conjunta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual.

2.1.3. Condiciones medio ambientales

Un proyecto de iluminación exterior o de alumbrado público debe ser adecuado a las condiciones ambientales de la localidad, así como las condiciones particulares del medio, especialmente, la presencia de agentes

corrosivos, las condiciones ambientales y las facilidades de mantenimiento deben determinar las características de hermeticidad y protección contra corrosión o ensuciamiento que necesitarán las luminarias, en particular su conjunto óptico, aspectos que se deben reflejar el diseño.

2.1.4. Relación de alrededores (SR)

Una de las metas principales en iluminación de calzadas es crear una superficie clara sobre la vía contra la cual pueden verse los objetos. Ahora, cuando los objetos son elevados y están sobre la vía, su parte superior se ve contra los alrededores. Igual sucede si los objetos están justo en el borde de la vía y en las secciones curvas del camino, en estos casos el contraste podría llegar a ser insuficiente para una percepción segura en el tiempo requerido por el conductor, si no se controla la iluminancia promedio de los alrededores.

En consecuencia, controlar la iluminancia de los alrededores ayuda al conductor a percibir más fácilmente el entorno y le ayuda a efectuar, de manera segura, las maniobras que necesite. Controlar la relación SR permite entonces, mantener las condiciones adecuadas de contraste de objetos al borde de la vía. Por otra parte, esta iluminación beneficia a los peatones, cuando existan a los lados de la vía andenes transitables por éstos,

2.1.5. Análisis económico-financiero

Todos los proyectos de alumbrado público deberán hacer una evaluación económica y financiera donde se incluyan, no solo los costos de inversión, sino los costos de operación y mantenimiento durante la vida útil del proyecto de alumbrado público. Se debe considerar tanto el costo inicial como los de operación y mantenimiento asociados, así como el valor de reposición al final de

la vida útil del proyecto. Los costos energéticos, son relevantes al definir cargas operativas, toda vez que la energía consumida será costeadada por el ciudadano a través de la tasa o impuesto de alumbrado público.

2.2. Alumbrado público según el tipo de vía

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 tránsito 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.

2.2.1. Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado público

El criterio principal de clasificación de las vías es la velocidad de circulación, mediante otros criterios, tales como el tipo de vía y la intensidad media de tránsito diario (IMD), se establecen subgrupos dentro de la clasificación anterior.

Tabla IV. **Clasificación de las vías**

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad de tránsito rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	ciclo-vías	---

Continuación de la tabla IV.

D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v \leq 5$

Fuente: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior ITC-EA-02, p. 20.

Tabla V. Clases de alumbrado para vías tipo A

Situaciones de proyecto	Tipo de vías	Clase de alumbrado
A1	<ul style="list-style-type: none"> - Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel de accesos controlados (autopistas y autovías). Intensidad de tránsito Alta (IMD) $\geq 25\ 000$ Media (IMD) $\geq 15\ 000$ y $< 25\ 000$ Baja (IMD) $< 15\ 000$	ME1 ME2 ME3a
	<ul style="list-style-type: none"> - Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas). Intensidad de tránsito Alta (IMD) $> 15\ 000$ Media y baja (IMD) $< 15\ 000$	ME1 ME2
A2	<ul style="list-style-type: none"> - Carreteras interurbanas sin separación de aceras. - Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio. Intensidad de tránsito (IMD) $\geq 7\ 000$ (IMD) $< 7\ 000$	ME1 / ME2 ME3a / ME4a
A3	<ul style="list-style-type: none"> - 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 tránsito (IMD) $\geq 25\ 000$ (IMD) $\geq 15\ 000$ y $< 25\ 000$ (IMD) $\geq 7\ 000$ y $< 15\ 000$ (IMD) $< 7\ 000$	ME1 ME2 ME3a ME4a / ME4b

Fuente: Guía de gestión energética en alumbrado público. p. 54.

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

Tabla VI. **Clases de alumbrado para vías tipo B**

Situaciones de proyecto	Tipo de vías	Clase de alumbrado
B1	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante</i> - <i>Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas</i> Intensidad de tránsito (IMD) \geq 7 000 (IMD) $<$ 7 000	ME2 / ME3c ME4b / ME5 / ME6
B2	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Carreteras locales en áreas rurales</i> Intensidad de tránsito (IMD) \geq 7 000 (IMD) $<$ 7 000	ME2 / ME3b ME4b / ME5

Fuente: Guía de gestión energética en alumbrado público. p.56.

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.

Tabla VII. **Clases de alumbrado para vías peatonales**

Situaciones de proyecto	Tipo de vías	Clase de alumbrado
E1	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, y aceras a lo largo de la calzada</i> - <i>Paradas de autobús con zonas de espera</i> - <i>Áreas comerciales peatonales</i> Intensidad de tráfico Alto Normal	CE1A / CE2 / S1 S2 / S3 / S4

Continuación de la tabla VII.

E2	<p>– <i>Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones</i></p> <p>–</p> <p>Intensidad de tránsito</p> <p>Alto</p> <p>Normal</p>	<p>CE1A / CE2 / S1</p> <p>S2 / S3 / S4</p>
----	---	--

Fuente: Guía de gestión energética en alumbrado público, p.58.

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

2.2.2. Requisitos fotométricos de iluminación en los diferentes tipos de vías

Los reglamentos, normas y guías para los sistemas de alumbrado público eficientes utilizados en diferentes países, por ejemplo: España y Colombia utilizan valores de luminancia e iluminancia levemente diferentes, debido a la complejidad del cálculo de estos parámetros, pero cabe destacar que todos se basan en La Comisión Internacional de Iluminación CIE 140-2000 Road Lighting Calculations y CIE 136-2000 Guide to the Lighting of Urban Areas.

Tabla VIII. **Requisitos fotométricos para las series ME, clases de alumbrado para vías tipo A y B**

Clases de alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia media Lm(cd/m ²)*	Uniformidad global U _o [mínima]	Uniformidad longitudinal U _I [mínima]	Incremento umbral TI (%)** [máximo]	Relación entorno SR*** [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,7	10	0,5
ME2	1,50	0,40	0,7	10	0,5
ME3a	1,00	0,40	0,7	15	0,5
ME3b	1,00	0,40	0,6	15	0,5
ME3c	1,00	0,40	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,40	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,40	0,5	15	0,5
ME5	0,50	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,30	0,35	0,4	16	Sin requisitos

Fuente: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior ITC-EA-02.
p. 22.

(*) Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio de mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (f_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

(**) Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI).

(***) La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tránsito donde no existan otras áreas contiguas a la calzada con sus propios requerimientos. La

anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tránsito, recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

Tabla IX. **Requisitos fotométricos para las series CE y E, clase de alumbrado para vías tipo E**

Clase de alumbrado (*)		Iluminancia media Em (lux)
CE0		50
CE1		30
CE1A		25
CE2		20
CE3	S1	15
CE4	S2	10
CE5	S3	7,5
	S4	5

Fuente: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior ITC-EA-02. p. 25.

2.2.3. Valores mínimos de iluminancias promedio (lx), según el tipo de superficie

La iluminancia de las vías depende directamente del tipo de superficie sobre el cual se esté proyectando la iluminación, para esto, la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), clasifica cuatro clases de revestimiento en las superficies de circulación de vehículos, en la tabla VIII, se describe la clase de alumbrado para cada clase de revestimiento junto con la iluminancia mínima que debe poseer la calzada.

Tabla X. **Iluminancia según el tipo de superficie**

Clases de alumbrado	Valor mínimo mantenido de iluminancia según tipo de superficie de la vía (luxes)			Uniformidad de la iluminancia E _{min} /E _{prom} (%)
	R1	R2 y R3	R4	
ME1	21	26	22	40
ME2	15	20	18	40
ME3a	12	17	15	34
ME3b	12	17	15	34
ME3c	12	17	15	34
ME4a	8	12	10	25
ME4b	8	12	10	25
ME5	6	9	8	18
ME6	6	9	8	18

Fuente: Adaptado del reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior ITC-EA-02. p. 30.

- Clase R1
 - Superficies de asfalto con un mínimo del 15% de materiales abrillantadores o materiales artificiales claros o al menos un 30% de anortositas muy brillantes.
 - Superficies que contienen gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o de a brilladores o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes.
 - Superficies de calzada de homigón de concreto.
- Clase R2
 - Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales.

- Homigón bituminoso grueso y rugoso rico en gravas (más del 60%) de tamaños iguales o mayores a 10 mm.
- Asfalto después de ser tratado.
- Clase R3
 - Revestimiento en homigón bituminoso (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm con textura rugosa.
 - Superficies tratadas con textura rugosa.
- Clase R4
 - Asfalto después de varios meses de uso
 - Superficies con textura bastante suave o pulimentada

De acuerdo con los tipos de vías, los sistemas de alumbrado público se deben diseñar y construir con los valores fotométricos regulados. El diseño de iluminación debe considerar no solamente las calzadas vehiculares, sino las aceras peatonales, como componente del espacio público, para tal fin es necesario definir valores de iluminancia mínimos en las aceras en las calzadas donde éstas sean parte de la misma.

2.3. Máxima densidad de potencia eléctrica

Las calzadas, además de cumplir con parámetros de luminosidad definidos por normativas vigentes, deben de promover la eficiencia en el consumo de energía eléctrica para tal motivo se efectúa el cálculo de densidad promedio de energía en alumbrado público (DPEA), determinado el valor de la iluminancia promedio y establecido el ancho de la calzada.

La determinación de la DPEA se calcula a partir de la carga total conectada para alumbrado público y del área total por iluminar de acuerdo al método siguiente:

$DPEA = \text{Watts (carga total conectada para alumbrado)} / \text{metros}^2 \text{ (área total iluminada)}$.

Tabla XI. DPEA máximos

Nivel de iluminancia promedio mantenido	ANCHO DE LA CALZADA					
	Luxes	< 6 m	6 a 8 m	8,1 a 10 m	10,1 a 12 m	12,1 a 14 m
3		0,29	0,26	0,23	0,19	0,17
4		0,35	0,32	0,28	0,26	0,23
5		0,37	0,35	0,33	0,30	0,28
6		0,44	0,41	0,38	0,35	0,31
7		0,53	0,49	0,45	0,42	0,37
8		0,60	0,56	0,52	0,48	0,44
9		0,69	0,64	0,59	0,54	0,50
10		0,76	0,71	0,66	0,61	0,56
11		0,84	0,79	0,74	0,67	0,62
12		0,91	0,86	0,81	0,74	0,69
13		1,01	0,94	0,87	0,80	0,75
14		1,08	1,01	0,94	0,86	0,81
15		1,12	1,06	1,00	0,93	0,87
16		1,17	1,10	1,07	0,99	0,93
17		1,23	1,17	1,12	1,03	0,97

Continuación de la tabla XI.

18	1,33	1,26	1,20	1,10	1,04
19	1,40	1,33	1,26	1,17	1,10
20	1,47	1,39	1,33	1,23	1,16
21	1,55	1,46	1,39	1,29	1,22
22	1,62	1,53	1,46	1,35	1,27
23	1,69	1,60	1,53	1,41	1,33
24	1,76	1,67	1,59	1,47	1,39
25	1,83	1,73	1,66	1,53	1,45
26	1,90	1,80	1,73	1,60	1,51

Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p.137.

2.4. Ubicación de las luminarias en la vía

Cuando se efectúa un diseño para establecer la iluminación apropiada en calzadas de un municipio, es necesario conocer el tipo de vías que se encuentran en el área estudiar, esto con la finalidad de establecer las disposiciones óptimas que proporcionen la luminosidad correcta a cada una de las vías, además es preciso conocer la existencia de redes de energía eléctrica, comúnmente la ubicación de las luminarias se encuentran asociadas a las estructuras de baja tensión de la red eléctrica.

La localización de las luminarias en la vía está relacionada con su patrón de distribución, con los requerimientos lumínicos de la vía, con la altura de montaje de las luminarias y el perfil de la vía.

Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos, debe proporcionarse información extra que oriente y advierta al conductor con suficiente antelación de las características y trazado de la vía. Así en curvas es recomendable situar las farolas en la exterior de la misma, en autopistas de

varias calzadas ponerlas en la mediana o cambiar el color de las lámparas en las salidas.

2.4.1. Tramos rectos de vías con una única calzada

Para calzadas rectas donde solamente se encuentran dos carriles de circulación de vehículos, existen tres tipos de disposición de luminarias, éstas se describen a continuación:

- Disposición unilateral: es una disposición donde todas las luminarias se instalan a un sólo lado de la vía, se debe utilizar la luminaria más apropiada que cumpla con los requisitos fotométricos exigidos para las alturas de montaje, interdistancia y menor potencia eléctrica requerida.

Figura 13. Disposición unilateral



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RTILAP. p. 139.

- Disposición bilateral alternada: cuando la vía presenta un ancho W superior a la altura de montaje H de las luminarias ($1,0 < (W/H) < 1,50$) se recomienda utilizar esta disposición, también es conveniente utilizar la disposición bilateral alternada en zonas comerciales o de alta afluencia de

personas en la noche, para iluminar las aceras y las fachadas de las edificaciones frente a la calzada y crear de esta manera, un ambiente luminoso agradable.

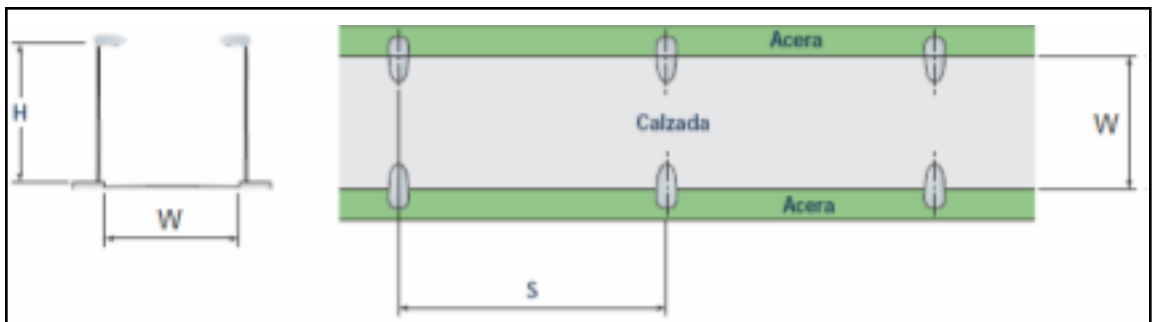
Figura 14. **Disposición bilateral alternada**



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p. 140.

- Disposición bilateral opuesta: cuando la vía presenta un ancho W superior a la altura de montaje H de las luminarias ($W/H > 1,50$) se recomienda utilizar esta disposición debido a la amplitud de la calzada.

Figura 15. **Disposición bilateral opuesta**



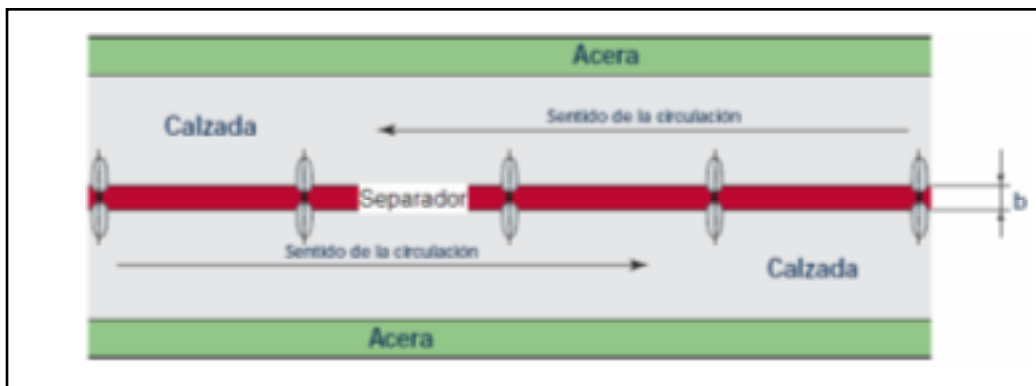
Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p. 140.

2.4.2. Tramos rectos de vías con dos o más calzadas

Para vías de circulación con dos a más calzadas donde existen separadores en el centro de la vía, se recomienda utilizar la siguiente configuración.

- Central doble: donde los carriles de circulación en una dirección y otra se encuentran separados por un pequeño separador que no debe ser menor de 1,5 m de ancho, con esto se logra una buena economía en el proyecto porque los postes comparten en el separador central a manera de dos disposiciones unilaterales.

Figura 16. Disposición central doble (para $1,5\text{ m} \geq b \leq 4\text{ m}$)



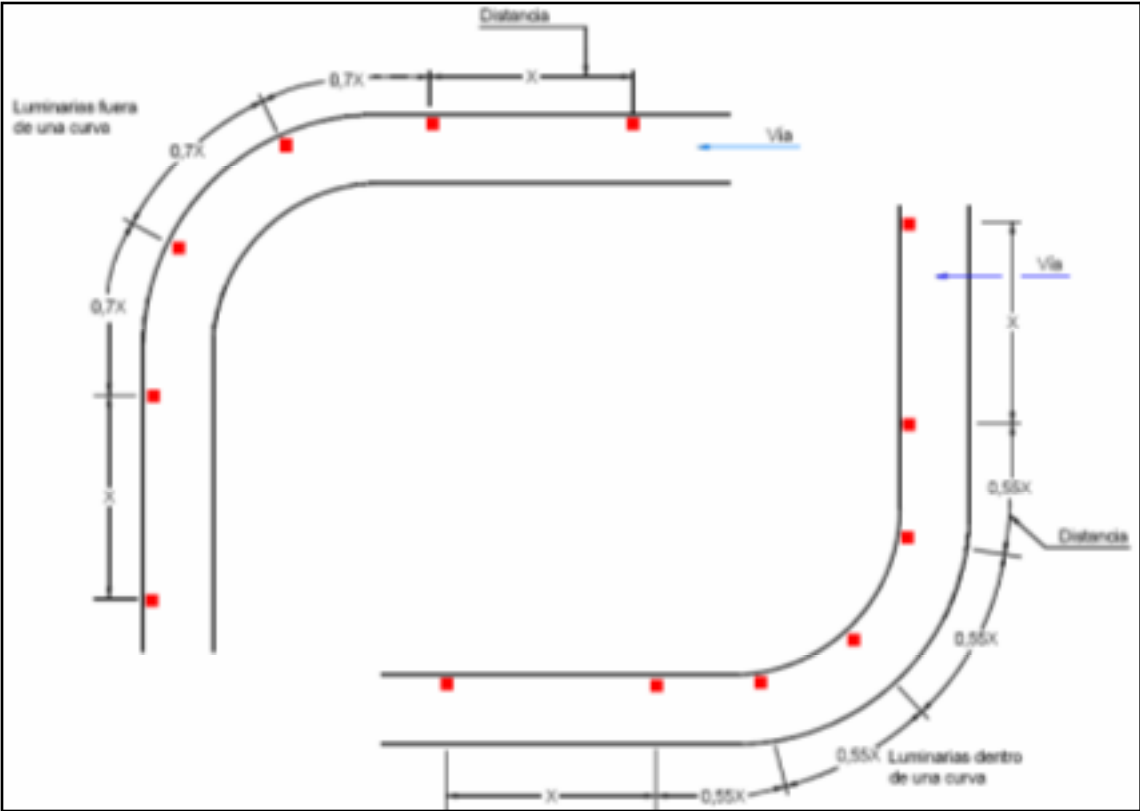
Fuente: Reglamento técnico de iluminación y Alumbrado público. RITILAP. p. 140.

2.4.3. Tramos curvos

La iluminación en curvas debe estar diseñada para que el conductor no ejerza un esfuerzo visual mayor al de una calzada recta, por este motivo se debe reducir la interdistancia de las luminarias dependiendo del radio de la

curva, para las entradas y salidas de curvas (100 a 200 m) se debe reducir la interdistancia a $0,90S$, para curvas con ángulos entre 30° y 90° con radio menor a 300 metros la interdistancia de las luminarias debe ser $0,70S$ si estas se encuentran instaladas en la parte exterior de la curva, si las luminarias están en la parte interna de la curva la interdistancia debe ser de $0,55S$.

Figura 17. **Disposición de luminarias en trayectos curvos**

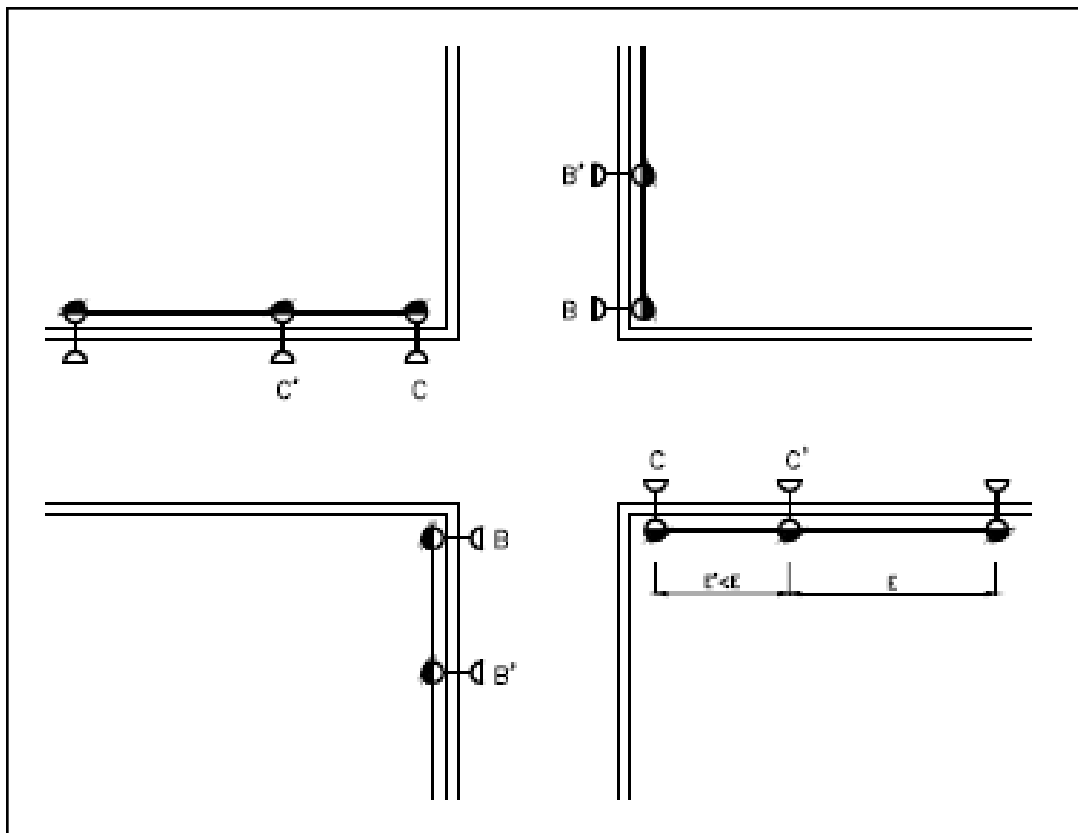


Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p. 142.

2.4.4. Cruces de calle

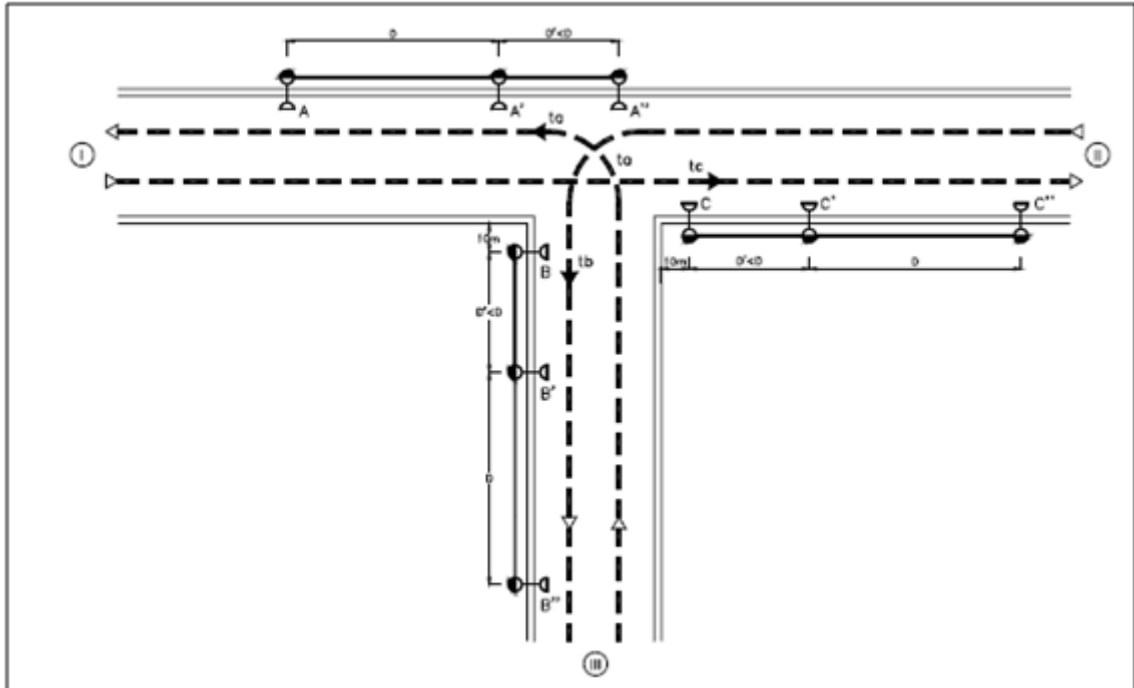
La ubicación de las luminarias en cruces de calle, se debe diseñar de tal forma que la iluminación sea suministrada a vehículos y peatones donde logren distinguir las señales de advertencia (semáforos, rótulos etc.) y los pasos de cebra de existir; es aconsejable establecer la luminaria a una distancia de 10 metros de la esquina, la luminaria contigua deberá ubicarse a una interdistancia (S) de $0,7S$ debido al riesgo que suponen las intersecciones.

Figura 18. Disposición de luminarias en cruces X



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p.143.

Figura 19. Disposición de luminarias en cruces T



Fuente: Norma técnica colombiana NTC 900. p. 57.

2.4.5. La altura de montaje

Se define como la altura del centro geométrico de la luminaria por encima del nivel de la calzada. En la práctica las características fotométricas de la luminaria, los niveles fotométricos requeridos, las condiciones de mantenimiento, las facilidades de operación y las consideraciones presupuestales, determinan la escogencia de la altura.

En ciertos casos, se puede recurrir a luminarias de mayor potencia, colocadas a una altura mayor, con el fin de aumentar el espaciamiento entre postes para reducir el número de éstos, el mantenimiento de tales instalaciones presenta algunas dificultades y requiere de un equipo especial; para la

iluminación tipo peatonal se pueden utilizar luminarias tipo ornamental y si la situación local lo permite, instalarlas sobre las fachadas de las edificaciones adyacentes, con la ayuda de brazos murales

2.4.6. Distancia de separación de luminarias

La interdistancia S entre luminarias, es la distancia comprendida entre dos luminarias sucesivas medida según el eje de la vía, este intervalo está relacionado con la altura H adoptada por las luminarias. Cuanta más pequeña sea la relación S/H mayor será la uniformidad de la iluminación.

Esta interdistancia varía dependiendo de la configuración de la vía, por ejemplo en una configuración tipo T la luminaria que se encuentra más cercana a la esquina para cumplir con los parámetros mínimos de iluminación se encuentra a $0,7S$ de la distancia calculada mediante un estudio.

2.5. Cálculo de iluminancia en vías vehiculares

Debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la iluminación de vías públicas (deslumbramiento, características de los pavimentos, condiciones meteorológicas, etc.) y en la percepción de éstas, el cálculo del alumbrado público ha sido siempre una tarea muy compleja; Por ello, en un principio los cálculos se enfocaron a determinar unas condiciones de iluminancia sobre la calzada que proporcionaran una buena visibilidad dentro de los márgenes establecidos por los organismos competentes.

A medida que se fue desarrollando la informática y aumentaron las capacidades de procesamiento de datos, los cálculos se fueron orientando hacia la n número de luminancias. Esto no hubiera sido posible sin la existencia de

ordenadores que permiten ejecutar y aplicar los métodos de cálculo numérico en un tiempo razonable.

Los cálculos mediante software, utilizan procedimientos básicos con la diferencia que, en vez utilizar un número reducido de puntos de iluminación, utilizan gran cantidad de éstos, con la finalidad de reducir el error en los cálculos, ya que, utilizando las ecuaciones para realizar las operaciones manualmente, existe la gran probabilidad de llegar un resultado no próximo a la realidad. Uno de los puntos base en el cálculo de iluminación de alumbrado público es determinar la iluminancia del proyecto, que no es más que la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lx).

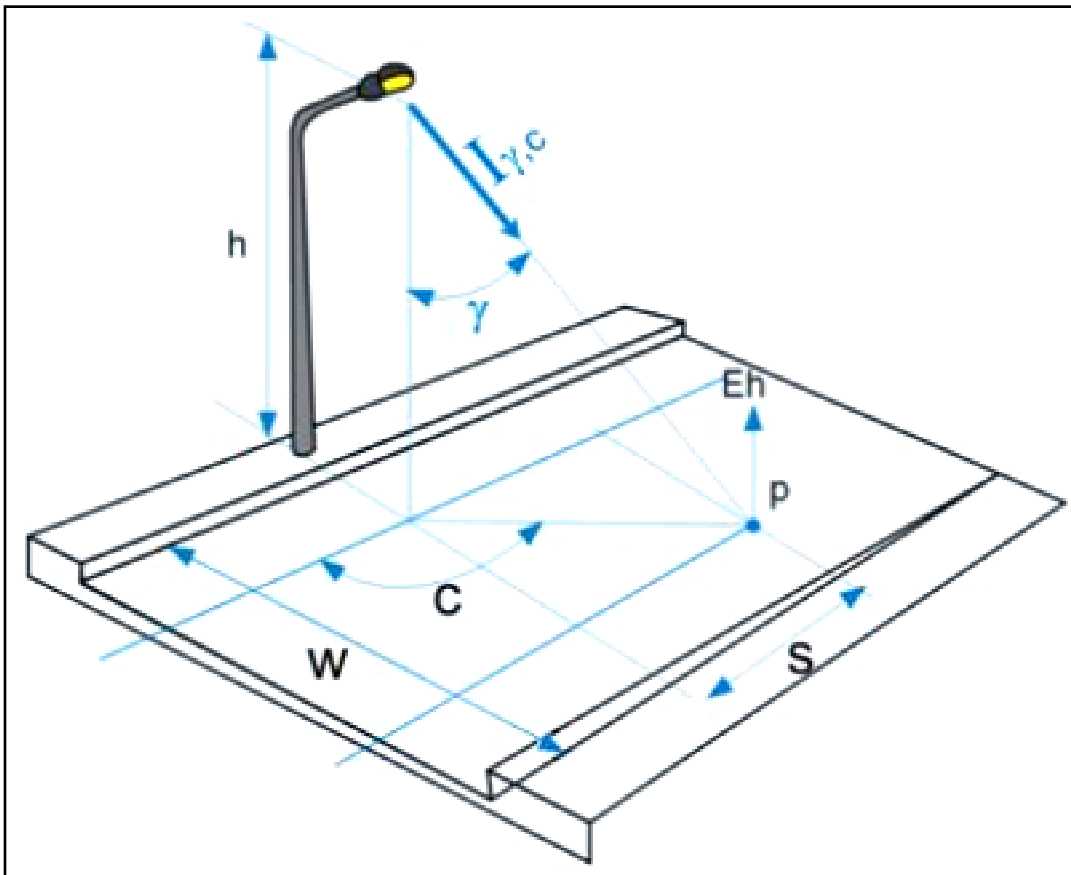
2.5.1. Cálculo de la iluminancia en un punto

La metodología parte de la fórmula dada para la ley del coseno que, aplicada a la geometría del sistema dado en la figura 20, permite obtener un valor para la Iluminancia horizontal en el punto, donde h es la altura de montaje de la luminaria, γ es el ángulo de incidencia del haz de luz o candelas representado por la intensidad luminosa en la dirección al punto P; es necesario tener en cuenta que si hay más de una fuente aportando luz al punto de cálculo P, es necesario considerar cada aporte por separado y luego sumarlos.

La iluminancia en un punto también se puede obtener utilizando el diagrama con las curvas Isolux de la luminaria, pero el tiempo necesario para efectuar los cálculos representa tiempo considerable. En los diagramas Isolux aparecen las iluminancias en valores reales o en porcentaje de la iluminancia máxima y generalmente, se dan para una altura de montaje de la luminaria de

1,0 metro y flujo luminoso de la bombilla de 1 000 lúmenes. La curva Isolux puede tener cualquier escala horizontal en mm/m.

Figura 20. Iluminancia en un punto



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP. p. 148.

Para obtener la iluminación producida por una luminaria en un punto, se toma el diagrama Isolux hecho en papel transparente, se coloca su centro sobre la proyección de la luminaria sobre el plano de la calzada, el cual, se debe elaborar a un tamaño proporcional a la escala del diagrama Isolux, dividido por la altura de montaje de la luminaria. El valor de la iluminancia en el punto, se

puede leer directamente del diagrama o si está en porcentaje de la iluminancia máxima, se puede obtener multiplicando el valor de la curva Isolux por:

$$E_{\text{máx}} = \varnothing = (\text{Flujo de la lámpara utilizada}) / (h_m^2)$$

Cuando se tiene más de una luminaria en la calzada, que es el caso más real y se necesita conocer la iluminancia total en el punto P, con el aporte de cada una de las luminarias que tienen influencia en dicho punto, se utiliza el siguiente método:

- Dibujar el plano de la calzada en escala igual a la del diagrama Isolux de las luminarias, dividido entre la altura de montaje. En este plano se localizan las luminarias y el punto P.
- Girar 180° con respecto a las luminarias y se coloca en el punto central sobre el punto P.
- Mover el diagrama se lee la contribución de todas las luminarias que tienen influencia sobre este punto.
- Sumar las contribuciones de cada una de las luminarias, obteniendo el valor de la iluminancia total sobre el punto P o el porcentaje de la $E_{\text{máx}}$, en este último caso se multiplica por n_{\varnothing} / h_m^2 , para obtener la iluminancia total sobre el punto en cuestión.

2.5.2. Cálculo de la iluminancia promedio de una calzada

Para el cálculo de la iluminancia promedio en la vía, es necesario tener varios factores en cuenta, debido a la complejidad de los cálculos. Además

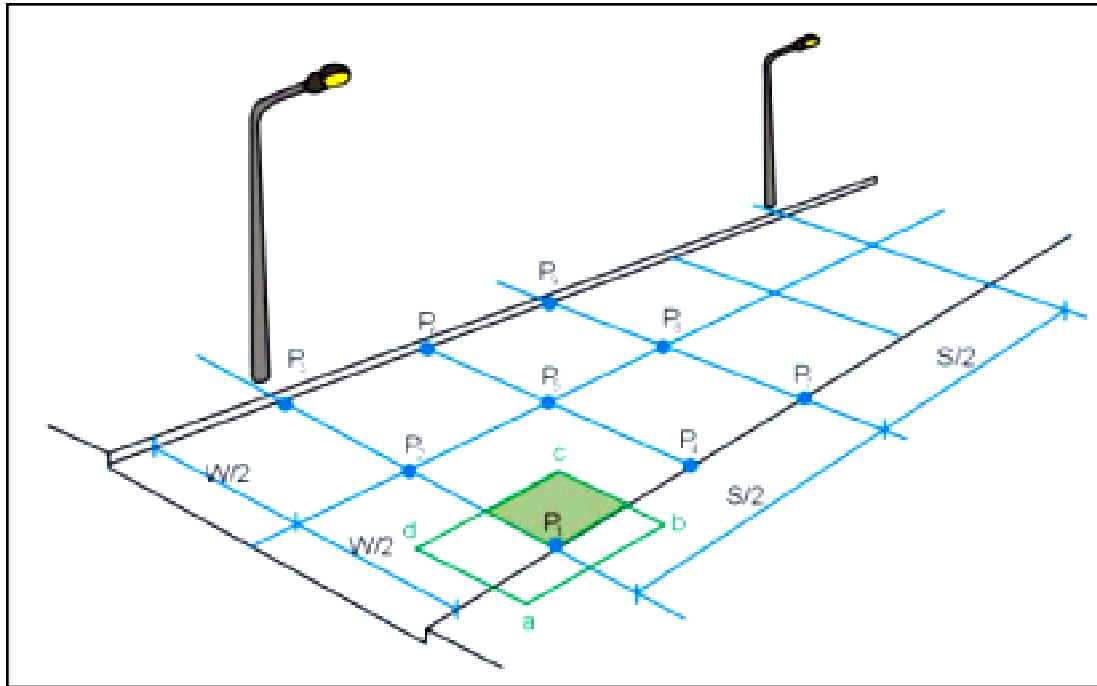
surge la necesidad comparar los valores resultantes del estudio mediante métodos que proporcionen la realidad de iluminación en la vía, para esto se han desarrollado dos métodos que varían dependiendo de las características de las calzadas.

2.5.2.1. Método europeo de los 9 puntos

El método punto por punto, equivale al promedio de una cuadrícula tomando como referencia el punto de iluminación, mediante el cálculo de los nueve puntos sobre la calzada calculados individualmente, se efectúa una sumatoria proporcional, dependiendo del aporte de cada punto iluminado.

De este modo, la cuadrícula formada por los nueve puntos se divide en cuatro partes, dos longitudinales y dos transversales, de modo que los puntos a considerar son cada uno de los vértices de los rectángulos generados, como se representa en la figura 21.

Figura 21. Iluminancia promedio método de los 9 puntos



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP. p. 149.

La iluminancia promedio sobre la calzada, se calcula teniendo en cuenta el grado de multiplicidad de cada punto, así, los puntos extremos tienen un grado de multiplicidad de 0,25; los puntos intermedios tienen un grado de multiplicidad de 0,5 y el punto central tiene un grado de multiplicidad de 1,0

Los anteriores grados de multiplicidad se deducen del siguiente razonamiento: En la figura 8, la iluminación E1, leída en el punto P1 corresponde al área rectangular marcada, pero tan sólo la cuarta parte de esa área corresponde a un área sobre la calzada considerada (área sombreada). Igual sucede con la iluminación de los puntos P3, P7 y P9, por tanto, la contribución de esos puntos debe ser ponderada al 25%.

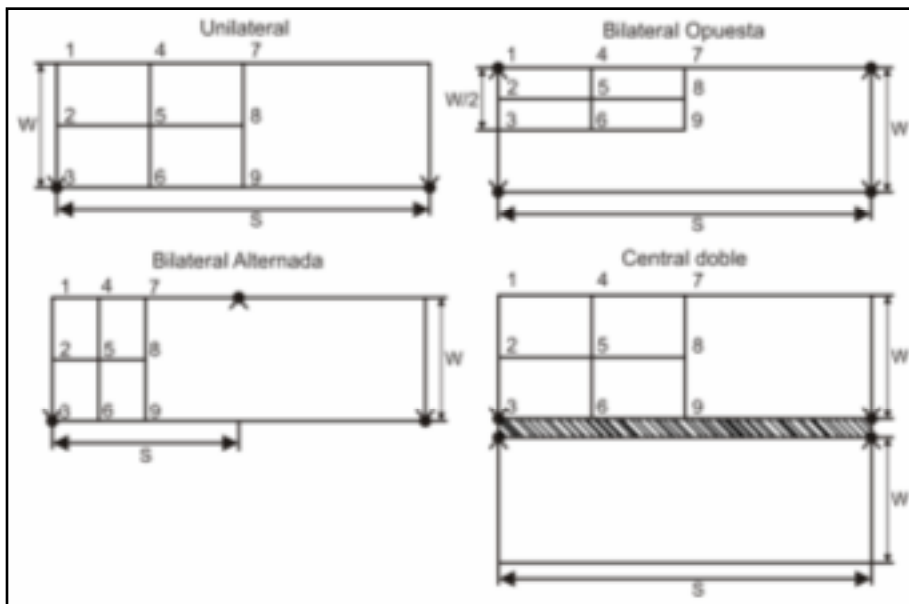
Por idéntico razonamiento, los puntos P2, P4, P6 y P8 representan la iluminación de áreas que tan solo el 50% sobre la vía; El punto P5, a diferencia de los demás, representa un área totalmente contenida en la vía por lo que su contribución al promedio es completa.

A partir de la lectura de la iluminación en los 9 puntos, la iluminación promedio sobre la vía se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2 \times (E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4 \times E_5] \quad (\text{Ecuación. 2.1})$$

Dependiendo del tipo de disposición de la luminaria, en el cual se esté utilizando el método la ubicación de los puntos se instalaran de la siguiente manera.

Figura 22. Selección de los 9 puntos según disposición de las luminarias



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP. p.149.

2.5.2.2. Método del coeficiente de utilización

En el diseño de alumbrado público, uno de los documentos fotométricos que identifica una luminaria es la curva del coeficiente de utilización K, el cual, sirve para calcular a partir del conocimiento de la geometría de la vía considerada y la disposición de las luminarias, la iluminancia media sobre la calzada.

En el proceso de diseño y a partir de una iluminancia media dada, puede usarse para calcular la interdistancia. Otra forma de aplicar esta curva es calcular el flujo luminoso necesario para obtener una iluminancia dada, a partir de una interdistancia fija.

La fórmula general del cálculo es:

$$E_{\text{prom}} = \frac{\phi \times K_t \times F_m}{S \times W} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

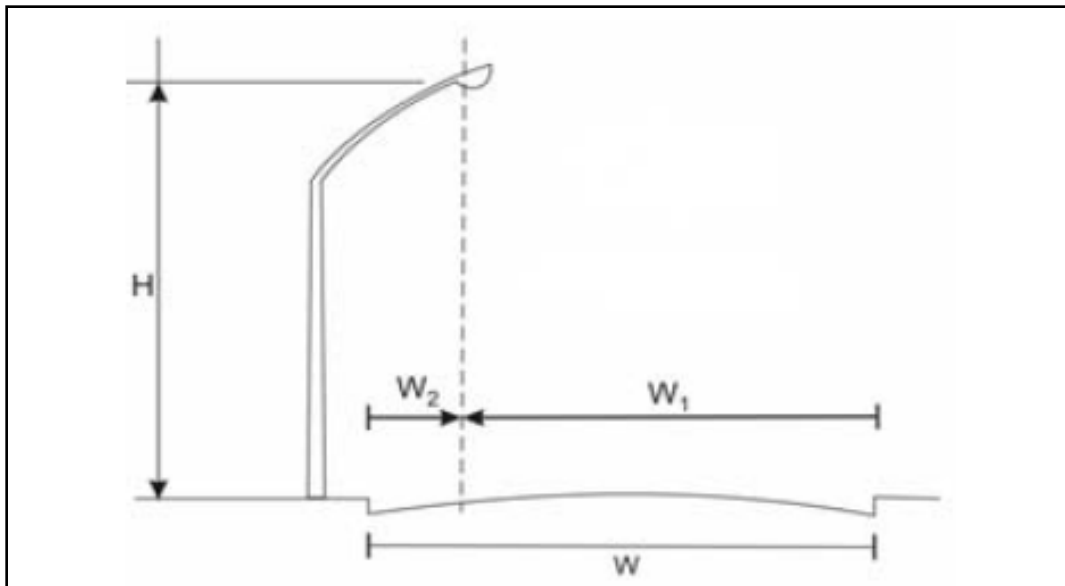
Donde:

E_{prom}	=	iluminancia promedio sobre la calzada (lx)
ϕ	=	flujo mantenido de la lámpara (lm)
K_t	=	coeficiente de utilización del sistema total calculado (%)
F_m	=	factor de mantenimiento
S	=	interdistancia de luminarias (m)
W	=	ancho de vía (en m)

Las curvas de coeficiente de utilización k, expresan el porcentaje del flujo luminoso emitido por la luminaria y que cae sobre la superficie de la calzada, en

función del ancho de la misma. Como punto de referencia, se toma la vertical de la luminaria, ver la figura 23.

Figura 23. **Parámetros físicos de la luminaria**

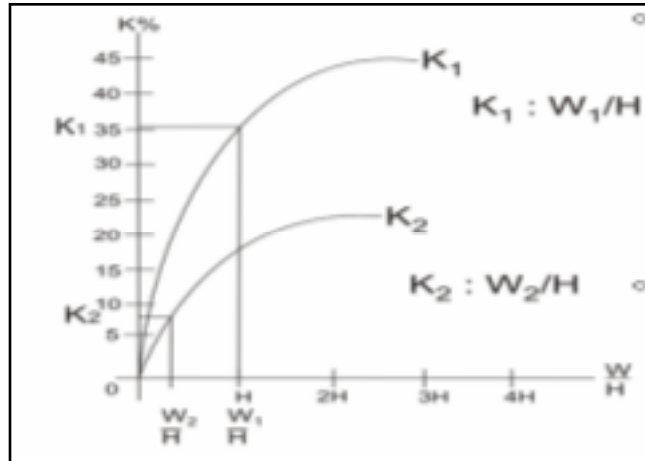


Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RITILAP. p.150.

Las curvas para determinar el factor de utilización vienen dadas para una luminaria específica, estas gráficas son proporcionadas por los fabricantes o distribuidores de los productos de iluminación.

La forma de determinar el factor K es simple, en la figura 24 se observa en eje vertical los valores de K en porcentaje y en el eje horizontal se representa el ancho de la calzada en función de la altura H, dependiendo del ancho de la calzada se traza un línea vertical donde se marque el ancho de misma, para obtener el valor de K, dependiendo del tipo de disposición de la luminaria en la calzada, se calculará el factor de utilización.

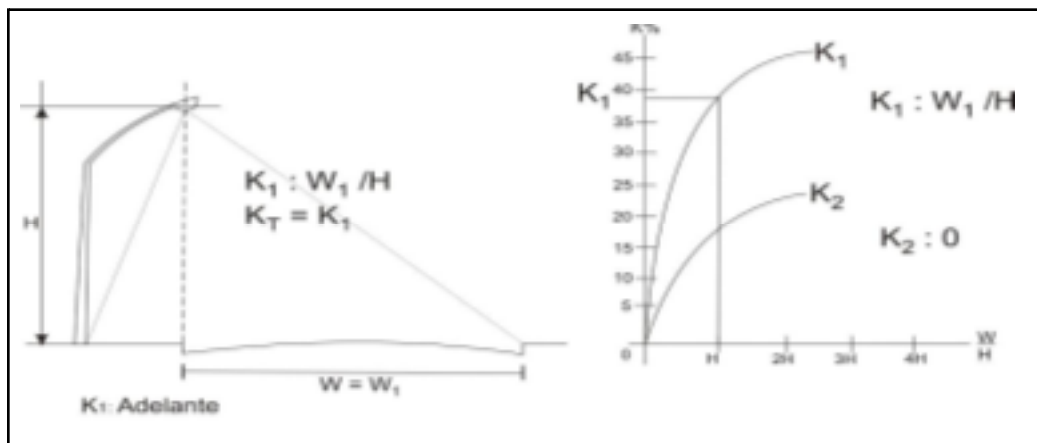
Figura 24. **Curvas de coeficiente de utilización**



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p.150.

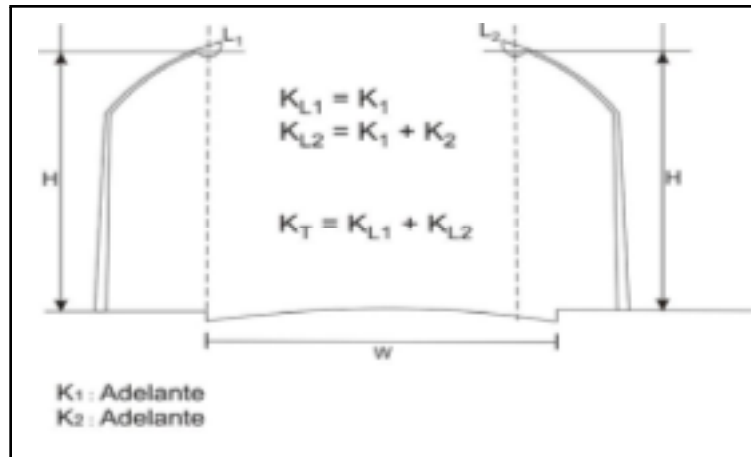
El cálculo del factor K varía según la disposición de las luminarias en la vía, a continuación observará las relaciones que determinan este factor, según la disposición en la vía.

Figura 25. **Localización unilateral**



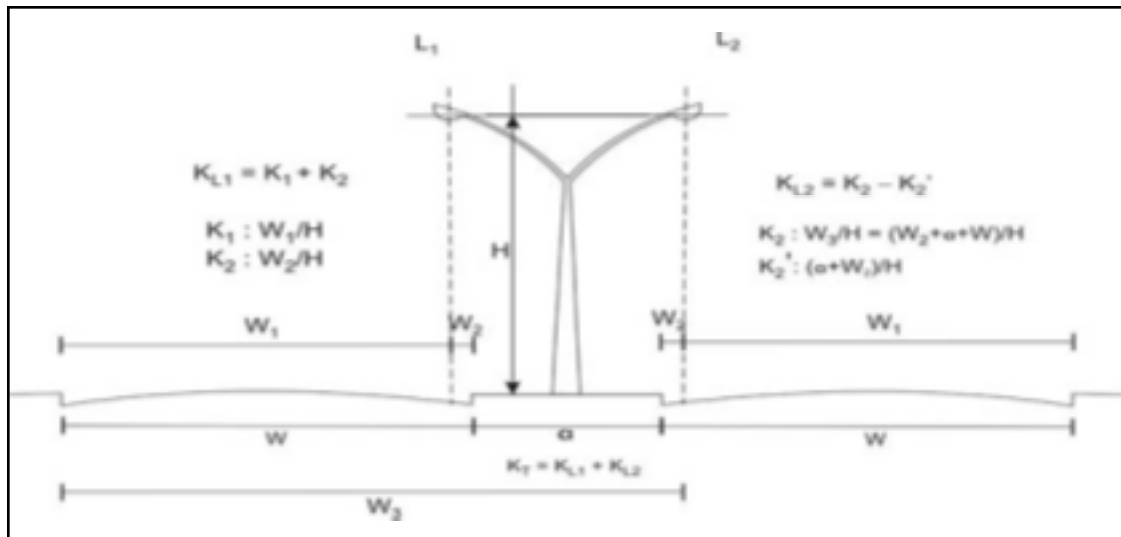
Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p.151.

Figura 26. **Localización bilateral alternada**



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p.151.

Figura 27. **Localización central doble**



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p.151.

2.5.3. Uniformidad general de iluminancia en alumbrado público

Se define como, $U_g = E_{\min}/E_{\text{prom}}$ tomando como base los puntos evaluados en el campo típico de la vía, bien sean los 9 puntos del método europeo o los 20, 30 ó 60 puntos del método computacional.

E_{prom} corresponde al valor promedio calculado entre todos los n puntos considerados, desde el primero E_1 hasta el final E_n .

La fórmula aplicable es:

$$E_{\text{prom}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

E_{\min} corresponde al punto de menor iluminancia entre todos los puntos calculados.

2.6. Cálculo de luminancia en vías vehiculares

El presente modelo de cálculo debe ser aplicado a calzadas secas y rectas. Fue desarrollado por la CIE y se encuentra documentado en la publicación CIE 30-2 1982 y CIE 140-2000.

2.6.1. Cálculo de luminancia en un punto

La luminancia es una medida de la luz que llega a los ojos procedentes de los objetos y es la responsable de excitar la retina provocando la visión. Esta luz proviene de la reflexión que sufre la iluminancia cuando incide sobre los

cuerpos. Se puede definir, pues, como la porción de intensidad luminosa por unidad de superficie que es reflejada por la calzada en dirección al ojo.

Es claro el hecho que la visión cómoda y segura depende del contraste y acomodación del ojo y, que a su vez, estos factores dependen de la luminancia tanto sobre la vía como sobre los objetos a ver. Así, la iluminancia es un factor que depende de la cantidad de luz que incide sobre la vía, en tanto que la luminancia depende de la cantidad de luz reflejada que llega al observador.

En consecuencia, la luminancia en alumbrado público depende de:

- La cantidad de luz que llega a la calzada
- La posición del observador
- Las características reflectivas propias de la calzada

Coeficiente de luminancia: para poder calcular la luminancia de una superficie es necesario conocer sus propiedades de reflexión. Para tales efectos, se puede definir un coeficiente de reflexión q , como la relación entre la luminancia y la iluminancia de un punto de la superficie de tal modo que:

$$q = \frac{L}{E_p} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde:

q = coeficiente de luminancia en el punto P

L = luminancia en el punto P

E_p = iluminancia horizontal en el punto P

$$q = f(\text{calzada}, \alpha, \beta, \gamma, \delta)$$

El coeficiente de luminancia, para una calzada dada es función de la dirección de incidencia de la intensidad luminosa, de la dirección de observación y, de manera general de los cuatro ángulos (α , β , γ , δ).

Para el área de la calzada considerada por un conductor comprendida entre 60 m y 160 m delante de él, α sólo varía entre $0,5^\circ$ y $1,5^\circ$. Dado que la dependencia de q con respecto a α permanece prácticamente constante, es usual que los coeficientes de luminancia sean determinados con α mantenida constante a 1° . en relación con el ángulo δ , que varía entre 0° y 20° , no incide en el cálculo y en la práctica se desprecia. Éste es el estándar de la CIE.

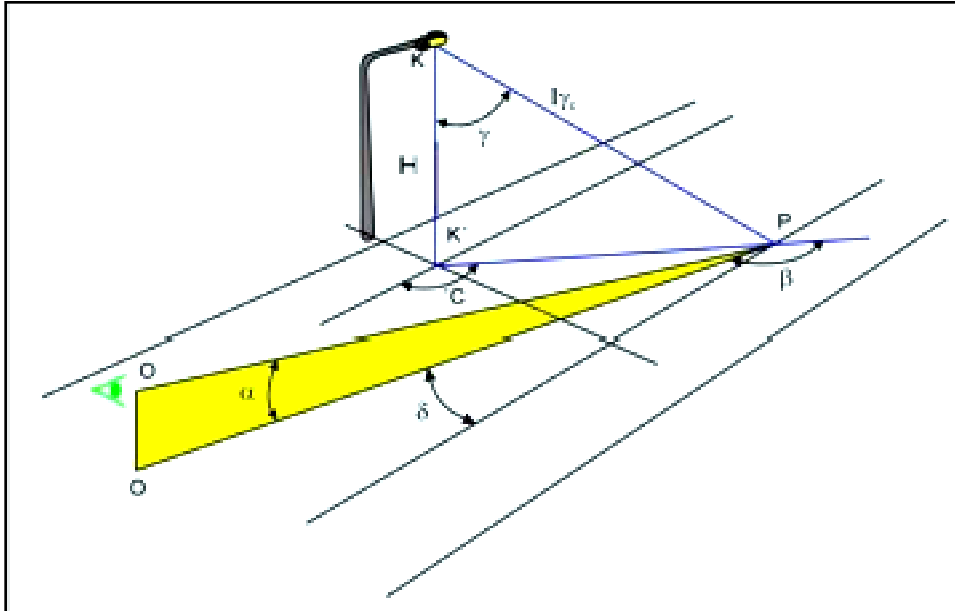
En consecuencia, el coeficiente de luminancia, para una calzada específica, depende de la posición del observador y de la posición de la fuente de luz con respecto al punto considerado (ver figura 28) de modo que pueda establecerse una función.

$$q = f(\beta, \gamma)$$

Así, el coeficiente q puede tabularse en función de las dos variables independientes descritas β y γ en diferentes tabulaciones de acuerdo con otros factores que diferencian las características reflectivas de las calzadas.

Se pueden introducir otros factores en la tabulación con el fin de simplificar el cálculo, obteniendo entonces una tabulación más fácil de manejar, porque los términos I (Intensidad luminosa), H (Altura de montaje) están disponibles más fácilmente en el sistema

Figura 28. **Luminancia en un punto**



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p.158.

En conclusión, la luminancia puede definirse de la siguiente manera:

$$L = q \cdot E \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

$$E = \frac{I}{H^2} \cos^3 \gamma \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

$$L = \frac{I}{H^2} q \cdot \cos^3 \gamma \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

El término entre paréntesis ($q \cos^3 \gamma$) se conoce como coeficiente reducido de luminancia -r-, en consecuencia:

$$L = \frac{I}{H^2} I \cdot r \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

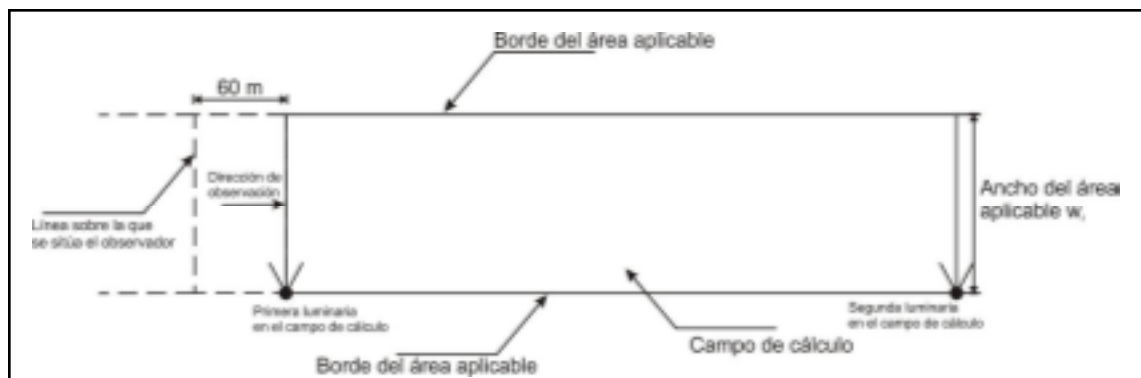
Coeficiente reducido de iluminancia -r-: las tablas que caracterizan las propiedades reflectivas de una superficie no se dan en términos del coeficiente de luminancia q sino del coeficiente de reducción de luminancia r . Estas tabulaciones características se denominan tablas R, las CIE define los acabados de las cuatro clases de superficie cuyas características fueron detalladas en el inciso 2.2.3 capítulo 2.

2.6.2. Cálculo de la luminancia promedio sobre la vía

El campo de cálculo debe ser típico del área de la vía que le interesa al usuario. En la dirección longitudinal de una vía recta, el campo de cálculo debe quedar entre dos luminarias de la misma fila. La primera luminaria debe estar situada a 60 m delante del observador.

En la dirección transversal se debe considerar el ancho de la calzada en vías sin separador central y el ancho de una calzada en vías con separador central.

Figura 29. Campo de cálculo de la luminancia en la vía



Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RITILAP. p.165.

Obteniendo el cálculo de todos los puntos se puede obtener la luminancia promedio de la calzada, además de la luminancia es necesario calcular características de la calidad de la luminancia.

2.6.3. Características de calidad de la luminancia

Las características de calidad relacionadas con la luminancia deben obtenerse a partir de las mallas calculadas de luminancia sin interpolación adicional.

2.6.3.1. Uniformidad global de luminancia

Los puntos de cálculo son los mismos que se usan para calcular la luminancia promedio sobre la calzada. Así, la uniformidad general de luminancia se calcula a partir de la fórmula

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{\text{prom}}} \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde:

L_{\min} = corresponde al punto de menor luminancia entre todos los puntos calculados.

L_{prom} = corresponde a la luminancia promedio sobre la calzada.

2.6.3.2. Uniformidad longitudinal de luminancia

Se calcula como el cociente entre la luminancia más baja y la más alta en la dirección longitudinal a lo largo de la línea central de cada carril de

circulación, incluyendo el borde de carretera en el caso de autopistas. El número de puntos en la dirección longitudinal y el espaciado entre ellos deben ser los mismos que los utilizados para el cálculo de la luminancia promedio.

$$U_1 \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Donde:

L_{\min} = corresponde al punto de menor luminancia entre todos los puntos calculados

L_{\max} = corresponde al punto de mayor luminancia entre todos los puntos calculados

2.6.3.3. Deslumbramiento perturbador

Se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto. Para evaluar la pérdida de visión se utiliza el criterio del incremento de umbral (TI) expresado en tanto por ciento.

2.7. Uso del software DIALux en el diseño fotométrico de alumbrado público

Para efectos de hacer la evaluación técnica y financiera necesaria y la comparación con otras alternativas, es indispensable el uso de software que utilice características técnicas de las luminarias proporcionadas por los fabricantes, estas suministran la información necesaria que permite evaluar y

tomar determinaciones sobre el proyecto comparar y recomendar la propuesta que presente los mejores resultados técnicos y económicos para el municipio.

DIALux es un software gratuito para el cálculo y la visualización de proyectos de iluminación, este programa es propiedad del Instituto Alemán de Luminotecnia Aplicada (Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik) DIAL.

El software DIALux permite el análisis cuantitativo rápido y sin problemas de un proyecto, y cuenta con una funcionalidad sencilla de renderización 3D. El formato de datos ULD para luminarias comprende la geometría 3D de la luminaria, la distribución de intensidad luminosa. Los paquetes de información de los fabricantes de luminarias comprenden datos de planificación adicionales, como lo son el factor de mantenimiento.

El software especializado de iluminación cumple con los siguientes requisitos que se toman en cuenta para la presentación de resultados de diseños fotométricos:

- El software para el diseño de alumbrado público utiliza en sus rutinas de cálculo la metodología de la Norma CIE 140 o de las planteadas en el presente trabajo.
- El software debe permitir el ingreso de todos los parámetros y variables necesarios para realizar el diseño tales como: matrices de información fotométrica certificada en coordenadas CIE, factor de mantenimiento, altura de montaje, ángulo de inclinación de la luminaria, reglaje de luminarias, interdistancia de luminarias, avance, ancho de la vía, entre otros.

- El software proporciona los resultados en forma numérica de: luminancia media, uniformidad, iluminancia mínima y media, TI, uniformidad longitudinal, igualmente cuenta con un módulo gráfico y de simulaciones del proyecto de iluminación en la noche.
- El software permite la identificación y medidas de las mallas de cálculo.

3. INFORMACIÓN ACTUAL DE LA RED DE ALUMBRADO PÚBLICO EN PLAYA GRANDE IXCÁN, QUICHÉ

Playa Grande Ixcán es el municipio más al norte en el departamento de Quiché. Colinda con México hacia el norte, Alta Verapaz al este y Huehuetenango al oeste. Hay 173 comunidades dentro del municipio de Ixcán con una población total de 71 000 habitantes. En este trabajo el enfoque será en el casco urbano, debido a que esta representa la mayor concentración de población, por lo tanto es necesario tener un sistema de iluminación de alumbrado público eficiente que brinde, comodidad, seguridad y bienestar a los habitantes.

Figura 30. Playa Grande Ixcán, Quiché



Fuente: Google Earth. Consulta: mayo de 2012.

3.1. Composición del cobro de alumbrado público

La Constitución Política de la República de Guatemala en los artículos 253 y 255 y el Código Municipal, Decreto 12-2002 del Congreso de la República de Guatemala, artículos 68, 72 y 73 asignan a las municipalidades la responsabilidad de la prestación del servicio de alumbrado público, en consecuencia, es de su competencia determinar, los fondos y la forma de cobro del referido servicio, con previa autorización de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Existen tres factores principales que las municipalidades toman en cuenta al momento de efectuar el cobro a los usuarios de energía eléctrica, los cuales son:

- Costos de suministro de energía en el sistema de alumbrado público
- Costos de operación y mantenimiento
- Costos de expansión

Actualmente existen dos modalidades que las municipalidades emplean para efectuar el cobro a los usuarios estos son:

- Tasa: porcentaje sobre el cargo de energía eléctrica cobrado por la distribuidora en cumplimiento al acuerdo emitido por la municipalidad y que debe ser aplicado a todos los usuarios del servicio de energía eléctrica que se encuentren dentro de la jurisdicción de la municipalidad. Lo recaudado debe servir para cubrir los costos de suministro, operación, mantenimiento y expansión de la red de alumbrado público.

Esta metodología busca aplicar un porcentaje sobre el total de factura de suministro de energía eléctrica, permitiendo que el monto a cobrar por alumbrado público sea proporcional al grado de consumo de cada usuario.

- Cuota escalonada: es el monto fijo cobrado mensualmente a cada usuario de acuerdo a determinados rangos de consumo, establecidos mediante un acuerdo municipal entre la distribuidora y el Concejo Municipal.

3.2. Características del sistema de alumbrado público

El sistema de alumbrado público se centra en tres características físicas importantes para su implementación: los soportes, las luminarias y la distancia entre luminarias; se describirán las características actuales del sistema de alumbrado público en el municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché.

3.1.1. Luminarias instaladas en la red de alumbrado público

La iluminación de calles y avenidas de los municipios representa bienestar y seguridad para sus habitantes, antes de poder iniciar un análisis de tal magnitud se preciso determinar zonas homogéneas con la finalidad de establecer en promedio el estado actual del sistema de alumbrado público.

Actualmente, la red de alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché cuenta con 515 luminarias instaladas, éstas son principalmente, del tipo de vapor de mercurio de alta presión con un consumo de 175 W.

Tabla XII. **Luminarias instaladas en Playa Grande Ixcán, Quiché**

Lugar	Cantidad de lámparas	Tipo de lámpara	Potencia (W)
Zona 1	219	Mercurio	175
Zona 2	57	Mercurio	175
Zona 3	29	Mercurio	175
Zona 4	11	Mercurio	175
Zona 5	7	Mercurio	175
Col, Ref o ma	8	Mercurio	175
San Pablo	26	Mercurio	175
San Francisco	16	Mercurio	175
Lorena	12	Mercurio	175
La Florida	6	Mercurio	175
Las Vegas del Chixoy	7	Mercurio	175
Zona Militar No. 22	12	Mercurio	175
Barrio Playa Grande	7	Mercurio	175
Xalbal	20	Mercurio	175
Pueblo Nuevo	20	Mercurio	175
San José La Veinte	22	Mercurio	175
Finca San Fco.	7	Mercurio	175
San Luis	11	Mercurio	175
Zapotal	7	Mercurio	175
El Esfuerzo	5	Mercurio	175
Santa Catarina	6	Mercurio	175
Total	515	Mercurio	175

Fuente. Empresa Municipal Rural de Electricidad (EMRE).

3.1.2. Tipo de luminarias existentes

Actualmente, el municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché cuenta con un sistema de alumbrado público, constituido por un total de 515 luminarias tipo quadroliner, con lámparas de de mercurio de alta presión de 175 W cada una.

Figura 31. **Luminaria quadroliner de mercurio**



Fuente: Avenida de la Municipalidad, Playa Grande Ixcán, Quiché.

Este tipo de luminaria está compuesta de diferentes partes, éstas se detallan a continuación.

- Lámpara: dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía luminosa. Está formada de silicato (vidrio, cuarzo y cerámica), metales (aluminio, acero, tungsteno, mercurio, plomo, bario, litio) y polímeros naturales (carbono), actualmente la potencia que poseen estas lámparas en el sistema de alumbrado público es de 175 W.

Figura 32. Lámpara de mercurio de alta presión 175 W



Fuente: 4ta avenida 27-44 zona 12, La Refomita, Ciudad de Guatemala.

- Cubierta: es el elemento que sirve para contener y sostener a los conjuntos ópticos (reflector, refractor y bombilla) y equipo eléctrico, protegiéndolos de las condiciones de intemperie, su construcción es robusta y permite alta disipación de calor, está diseñado de aluminio inyectado de alta presión, polímero sintético y cerámica.

Figura 33. **Cubierta de luminaria quadroliner**



Fuente: SUNTECUN CASTELLANOS, Alex. *Tratamiento primario desechos de las lámparas de vapor de mercurio de alta presión del alumbrado público en las municipalidades de Guatemala.* p 23.

- Reflector: la finalidad del reflector es dirigir y controlar la luz aprovechando el principio de reflexión, y éste redirige el flujo luminoso de la lámpara hacia el difusor, está fabricado en aluminio anodizado.

Figura 34. **Reflector de luminaria quadroliner**



Fuente: SUNTECUN CASTELLANOS, Alex. *Tratamiento primario desechos de las lámparas de vapor de mercurio de alta presión del alumbrado público en las municipalidades de Guatemala.* p 23.

- Refractor (Difusor): tiene por objetivo proteger el sistema óptico del ingreso de contaminación y de agua, pero también ayuda a la mejor distribución de la luz hacia la calle (en este caso tiene por lo general, prismas). También permite la protección de la lámpara de acciones vandálicas. Puede ser de plástico, acrílico termoplástico o policarbonato termoplástico, gran parte del sistema de alumbrado público no cuenta con este accesorio, lo cual genera una mala distribución de la luz en las calles.

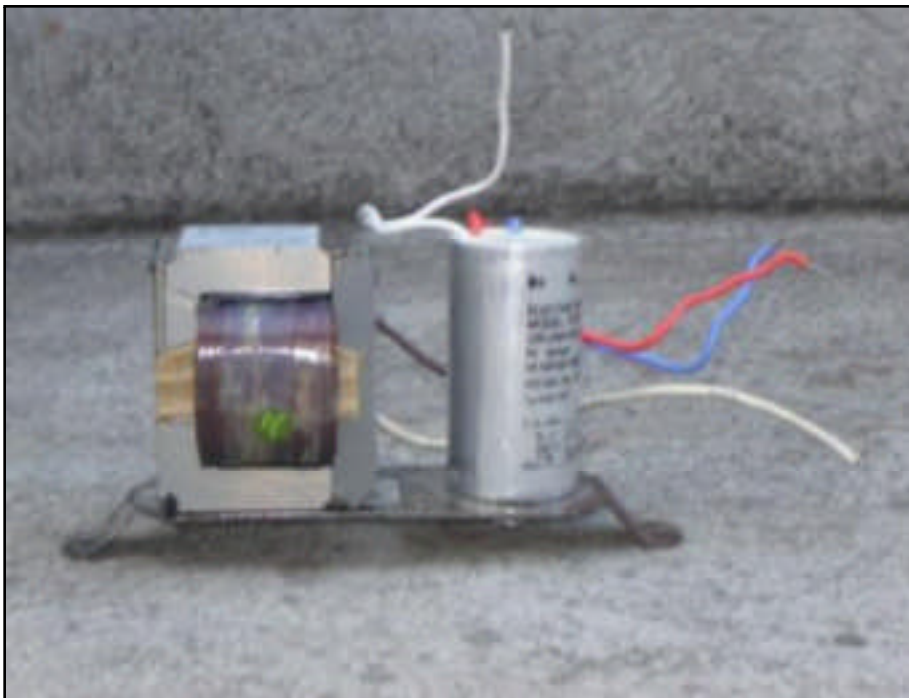
Figura 35. **Difusor de luminaria quadroliner**



Fuente: SUNTECUN CASTELLANOS, Alex. *Tratamiento primario desechos de las lámparas de vapor de mercurio de alta presión del alumbrado público en las municipalidades de Guatemala.* p 24.

- Balastro y capacitor: dispositivo electromagnético que provee las condiciones de arranque y operación de las lámparas eléctricas de descarga. Sirve para proporcionar a éstas las condiciones de operación necesarias como: tensión, corriente y forma de onda. Está diseñado de material cerámico, metálico y plástico, este tipo de elementos consume cerca del 19% del consumo de energía eléctrica de la luminaria, por lo que es necesario poder identificar elementos que sean más eficientes proporcionando las mismas condiciones de uso.

Figura 36. **Balastro y capacitor de luminaria quadroliner**



Fuente: SUNTECUN CASTELLANOS, Alex. *Tratamiento primario desechos de las lámparas de vapor de mercurio de alta presión del alumbrado público en las municipalidades de Guatemala*. p. 24.

- Brazo: su función es sostener la luminaria y está formado de hierro negro de bajo carbono (hierro galvanizado).

Figura 37. **Brazo de luminaria quadroliner**



Fuente: SUNTECUN CASTELLANOS, Alex. *Tratamiento primario desechos de las lámparas de vapor de mercurio de alta presión del alumbrado público en las municipalidades de Guatemala*. p. 22.

3.1.3. Tipo de soportes instalados

La red de alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché actualmente está asociada directamente con las líneas de distribución en media y baja tensión, los postes son los elementos de soporte sobre los que se montan todos los elementos de la red de distribución y la luminaria, se utilizan los postes de madera tratada (eucalipto que es la más común), aunque existen otras especies como los postes de palma negra o los de cuchi. También se utilizan postes de concreto, en la actualidad los postes de concreto se están utilizando más en las

redes de media tensión. Las alturas instaladas son desde los 9 hasta los 12 metros, las profundidades de enterramiento son 1/6 de la altura del poste.

Figura 38. **Soportes utilizados en la red de alumbrado público**



Fuente: Calle del Ministerio Público e ingreso principal, Playa Grande Ixcán, Quiché.

3.1.4. Interdistancia entre luminarias

La interdistancia entre luminarias es variable debido a que los soportes utilizados por el sistema de alumbrado público dependen de los vanos de los soportes del sistema de distribución de energía eléctrica, causa principal de que el sistema presente deficiencias en la iluminación, estas distancias varían desde los 160 metros hasta los 35 metros.

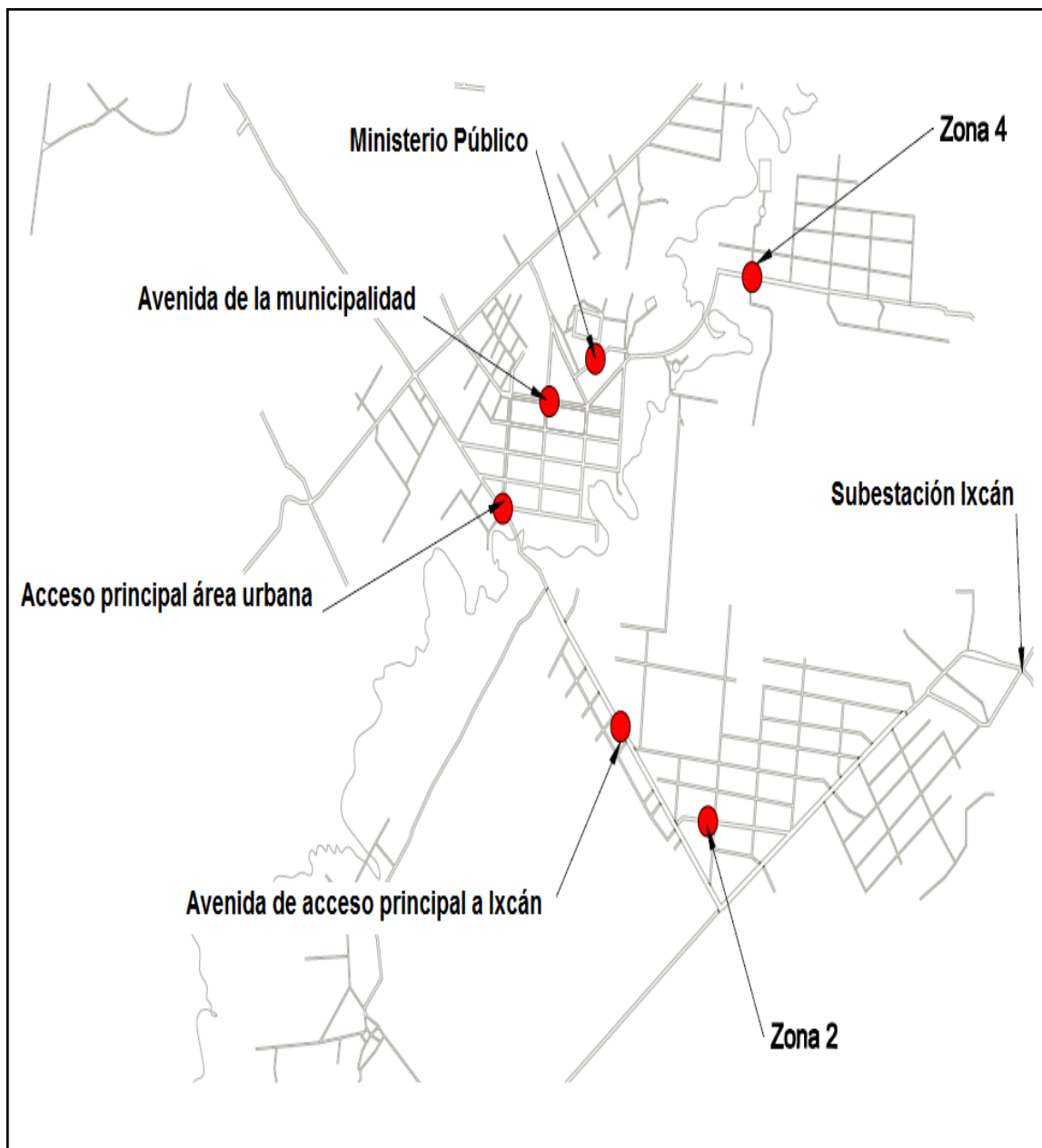
3.3. Clasificación de las vías públicas

Para determinar si los niveles de iluminación de las vías son los más adecuados, primeramente se procederá a realizar una revisión de las normas para el diseño de alumbrado de vías públicas, de las cuales se tomó como referencia la Guía de Gestión Energética en Alumbrado Público, Madrid 2006 esta norma clasifica los tipos de vía desde ME1 a ME6, dependiendo de la función de la vía y considerando la densidad del tránsito, el flujo vehicular y la existencia de facilidades para el control de los parámetros que intervienen en el diseño de un sistema de alumbrado público (inciso 2.3).

Se efectuó un reconocimiento de las áreas más importantes y homogéneas que pueden representar el sistema de alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché, encontrando 6 puntos los cuales se identifican como vías.

- Vía “A” acceso principal a Playa Grande Ixcán, Quiché
- Vía “B” acceso principal área urbana
- Vía “C” avenida de la municipalidad
- Vía “D” calle Ministerio Público
- Vía “E” zona 2
- Vía “F” zona 4

Figura 49. **Vías representativas del sistema de alumbrado público**



Fuente: elaboración propia.

De la información anterior y de la aplicación de las normativas detalladas en incisos anteriores, se puede determinar la clasificación de las vías representativas del municipio (ver tabla XIII).

Tabla XIII. **Clasificación de las vías**

Sección	Disposición de luminarias actual	Tipo superficie	Situaciones de proyecto	Clase de alumbrado público
Vía A	Unilateral	R3	A3	ME4a
Vía B	Central doble	R3	B1	ME5
Vía C	Central doble	R3	B1	ME5
Vía D	Unilateral	R3	B2	ME5
Vía E	Unilateral	R3	B2	ME5
Vía F	Unilateral	R3	B2	ME5

Fuente: elaboración propia.

3.4. Características de las vías representativas

Se efectuó un levantamiento de las características relevantes en el análisis de la calidad de alumbrado público, a continuación se detallan las diferentes vías representativas del alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché.

3.4.1. Vía “A” acceso principal a Playa Grande Ixcán, Quiché

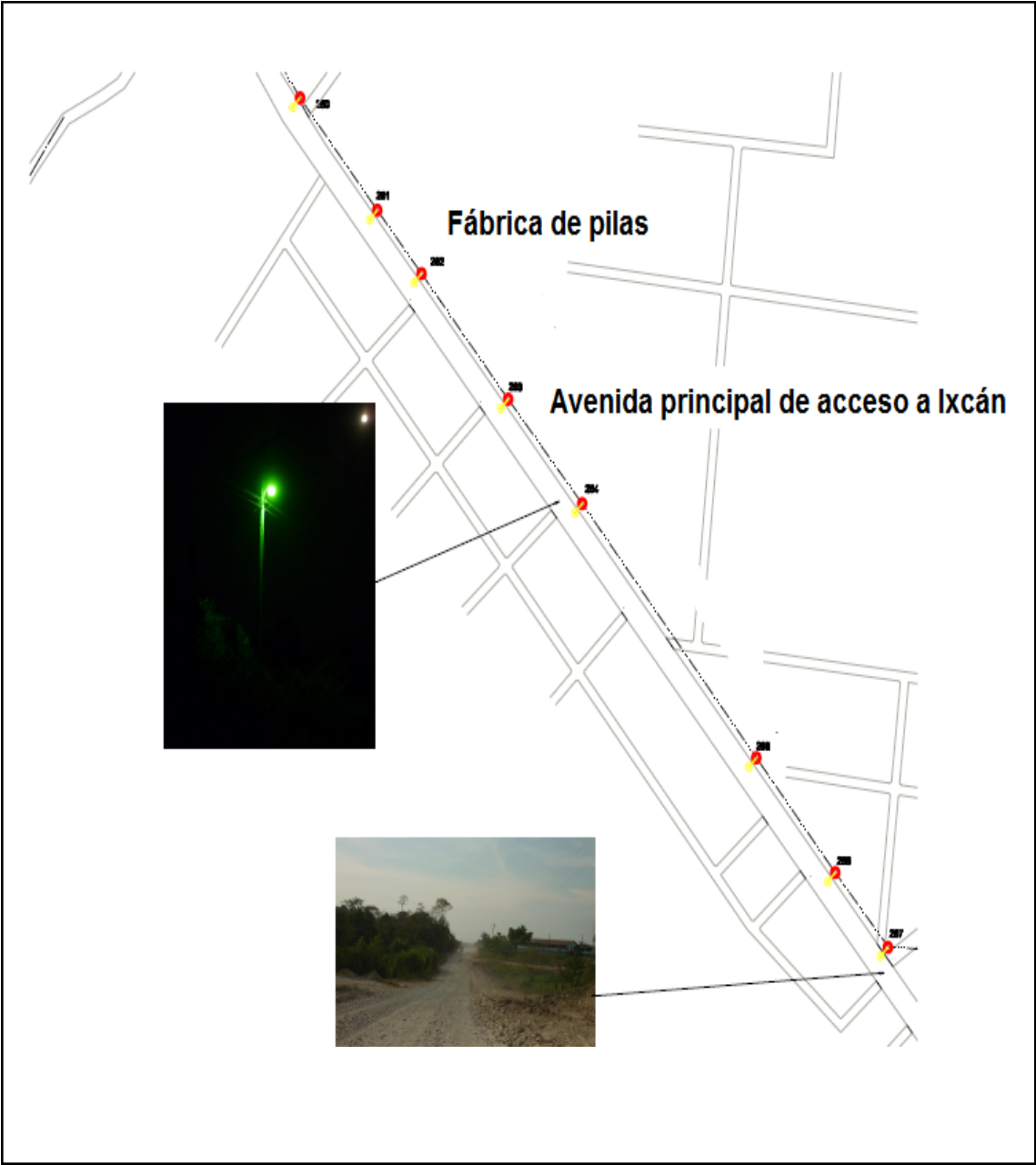
El acceso principal al municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché cuenta actualmente con 8 luminarias, con una distancia entre ellas variable e instaladas en postes de madera de 12,2 metros.

Tabla XIV. **Lámparas vía “A” acceso principal a Playa Grande Ixcán, Quiché**

No.	Postes	Identificación	Tipo de luminaria	Potencia
1	Poste # 280	P-280	Mercurio de alta presión	175 W
2	Poste # 281	P-281	Mercurio de alta presión	175 W
3	Poste # 282	P-282	Mercurio de alta presión	175 W
4	Poste # 283	P-283	Mercurio de alta presión	175 W
5	Poste # 284	P-284	Mercurio de alta presión	175 W
6	Poste # 285	P-285	Mercurio de alta presión	175 W
7	Poste # 286	P-286	Mercurio de alta presión	175 W
8	Poste # 287	P-287	Mercurio de alta presión	175 W

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Vía “A” acceso principal a Playa Grande Ixcán, Quiché



Fuente: avenida principal de acceso a Playa Grande Ixcán, Quiché.

3.4.2. Vía “B” acceso principal área urbana

El acceso principal al casco urbano del municipio cuenta, actualmente con 9 luminarias, la separación entre ellas es uniforme, se encuentran instaladas en postes de concreto de 12,2 metros.

Tabla XV. Vía “B” acceso principal área urbana

No.	Postes	Identificación	Tipo de luminaria	Potencia
1	Poste # 11	P-11	Mercurio de alta presión	175 W
2	Poste # 12	P-12	Mercurio de alta presión	175 W
3	Poste # 13	P-13	Mercurio de alta presión	175 W
4	Poste # 14	P-14	Mercurio de alta presión	175 W
5	Poste # 15	P-15	Mercurio de alta presión	175 W
6	Poste # 16	P-16	Mercurio de alta presión	175 W
7	Poste # 17	P-17	Mercurio de alta presión	175 W
8	Poste # 18	P-18	Mercurio de alta presión	175 W
9	Poste # 19	P-19	Mercurio de alta presión	175 W

Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Vía “B” acceso principal área urbana



Fuente: avenida principal al área urbana de Playa Grande Ixcán Quiché.

3.4.3. Vía “C” avenida de la municipalidad

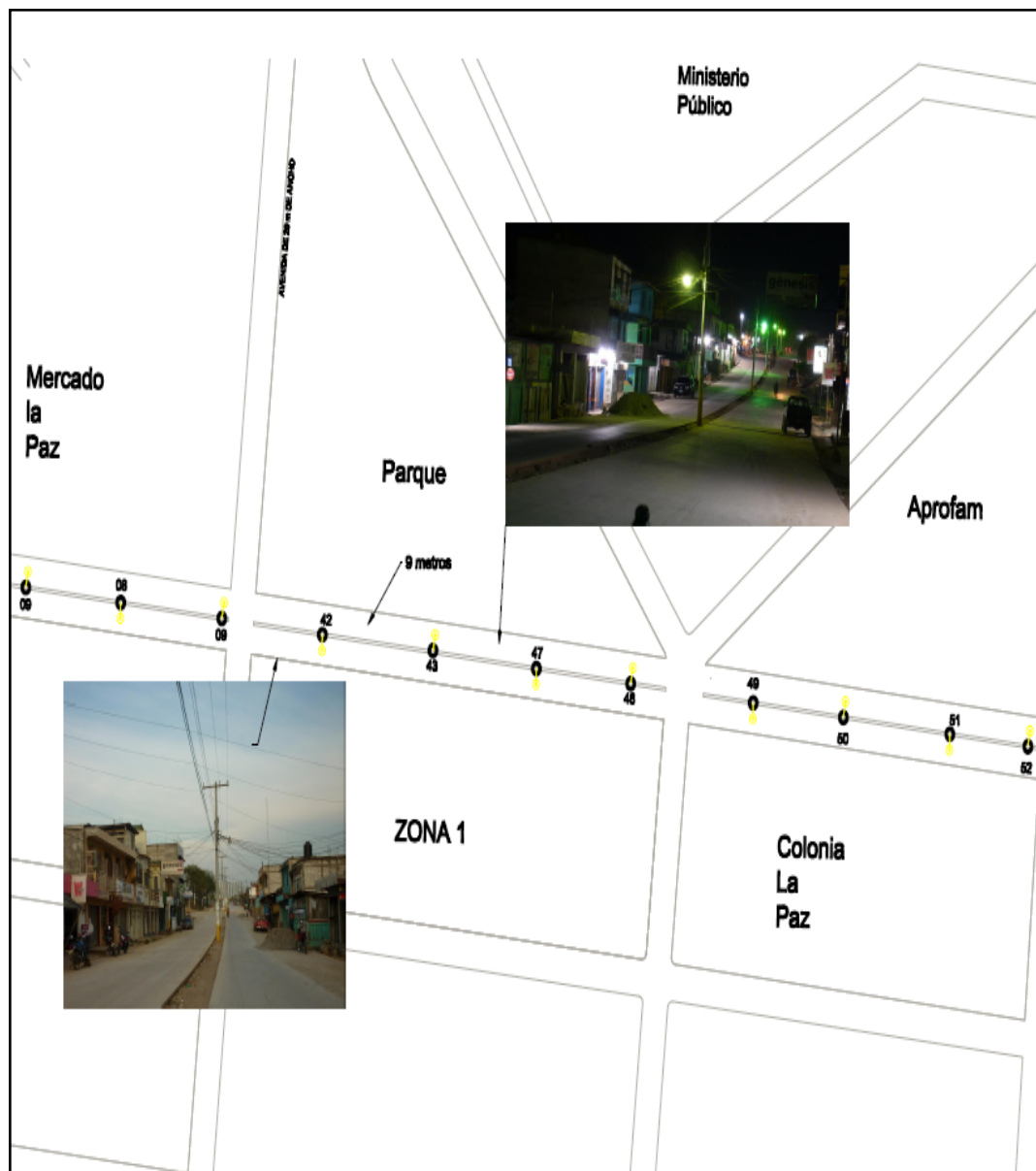
Es la avenida principal en el casco urbano, consta de 12 luminarias, la separación entre ellas es uniforme, se encuentran instaladas en postes de concreto de 12,2 metros.

Tabla XVI. Vía “C” avenida de la municipalidad

No.	Postes	Identificación	Tipo de luminaria	Potencia
1	Poste # 07	P-07	Mercurio de alta presión	175 W
2	Poste # 08	P-08	Mercurio de alta presión	175 W
3	Poste # 09	P-09	Mercurio de alta presión	175 W
4	Poste # 10	P-10	Mercurio de alta presión	175 W
5	Poste # 42	P-42	Mercurio de alta presión	175 W
6	Poste # 43	P-43	Mercurio de alta presión	175 W
7	Poste # 47	P-47	Mercurio de alta presión	175 W
8	Poste # 48	P-48	Mercurio de alta presión	175 W
9	Poste # 49	P-49	Mercurio de alta presión	175 W
10	Poste # 50	P-50	Mercurio de alta presión	175 W
11	Poste # 51	P-51	Mercurio de alta presión	175 W
12	Poste # 52	P-52	Mercurio de alta presión	175 W

Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Vía “C” avenida de la municipalidad



Fuente: avenida de la Municipalidad, Playa Grande Ixcán, Quiché.

3.4.4. Vía “D” calle Ministerio Público

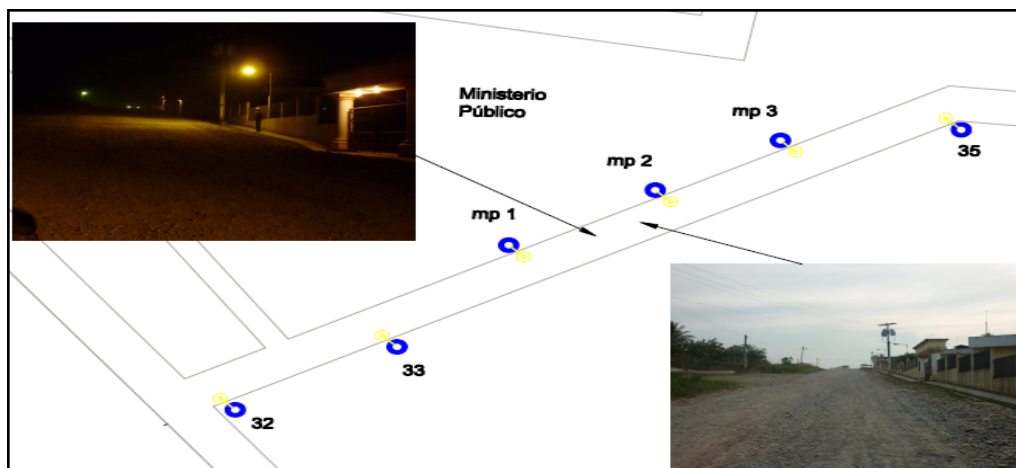
Es la calle donde se encuentra ubicada la subestación de policía y el Ministerio Público del municipio, consta de 6 luminarias, la separación entre ellas es uniforme, se encuentran instaladas en postes de madera de 12,2 metros.

Tabla XVII. Vía “D” calle Ministerio Público

No.	Postes	Identificación	Tipo de luminaria	Potencia
1	Poste # mp1	P-mp1	Mercurio de alta presión	175 W
2	Poste # mp2	P-mp2	Mercurio de alta presión	175 W
3	Poste # mp3	P-mp3	Mercurio de alta presión	176 W
4	Poste # 32	P-32	Mercurio de alta presión	175 W
5	Poste # 33	P-33	Mercurio de alta presión	175 W
6	Poste # 35	P-35	Mercurio de alta presión	176 W

Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Vía “D” calle Ministerio Público



Fuente: calle del Ministerio Público, Playa Grande Ixcán, Quiché.

3.4.5. Vía “E” zona 2

Es la avenida principal de la zona 2, cuenta con 4 luminarias, las cuales se encuentran instaladas en postes de madera de 10,8 metros.

Tabla XVIII. Vía “E” Zona 2

No.	Postes	Identificación	Tipo de Luminaria	Potencia
1	Poste # 288	P-288	Mercurio de alta presión	175 W
2	Poste # 290	P-290	Mercurio de alta presión	175 W
3	Poste # 291	P-291	Mercurio de alta presión	175 W
4	Poste # 293	P-293	Mercurio de alta presión	175 W

Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Vía “E” zona 2



Fuente: zona 2, Playa Grande Ixcán, Quiché.

3.4.6. Vía “F” zona 4

Es el acceso principal a la zona 4, cuenta con 3 luminarias, instaladas en postes de madera de 10,8 metros.

Tabla XIX. Vía “F” zona 4

No.	Postes	Identificación	Tipo de Luminaria	Potencia
1	Poste # 175	P-175	Mercurio de alta presión	175 W
2	Poste # 178	P-178	Mercurio de alta presión	175 W
3	Poste # 182	P-182	Mercurio de alta presión	175 W

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Vía “F” zona 4



Fuente: zona 4, Playa Grande Ixcán, Quiché.

3.5. Iluminancia actual del sistema de alumbrado público

El sistema de alumbrado público cuenta en su mayoría con luminarias tipo quadroliner, con lámparas de 175 W de mercurio de alta presión, como se detalló en el apartado 3,3, obtenidas las secciones homogéneas se procedió a las mediciones de iluminancia del sistema.

3.5.1. Equipo de medición

Los valores de iluminancia de los puntos seleccionados en el alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché se extrajeron mediante el equipo de medición, Profesional Digital Light Meter - CEM DT-1308, el cual un medidor de luz con amplio rango de medición, lo que es ideal para aplicaciones de externas, posee las siguientes características:

- Lux y (FC), seleccionable por el usuario
- Sensor conectado al instrumento
- Medición de la frecuencia de 1,5 veces por segundo
- Retención de valores medidos
- Indicación de sobre rango
- Rango de 40/400 / 4 000 / 40 000 / 400 000 Lux
- Rango de 40/400 / 4 000 / 40 000 FC
- Precisión $\pm 5\%$ ± 10 dígitos por debajo de 10 000 Lux
- $\pm 10\%$ ± 10 dígitos por encima de 10 000 Lux
- Dimensiones 170 x 80 x 43 mm con funda de goma, 546 g de peso

Figura 46. **Profesional digital light meter - CEM DT-1308**

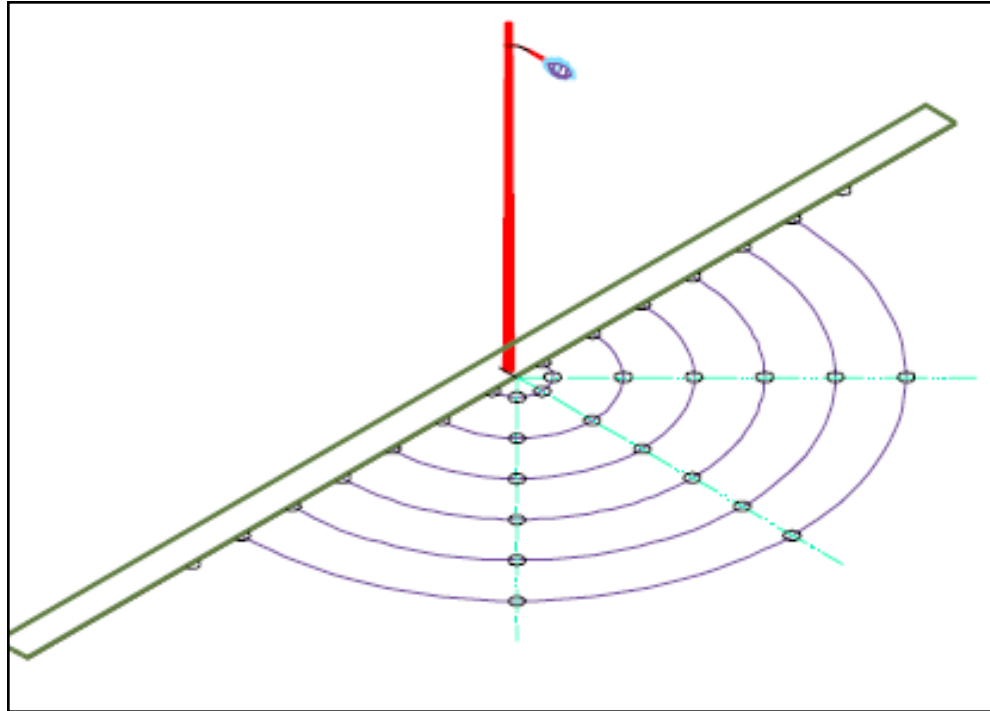


Fuente: PROLEC, S.A.

3.5.2. Iluminancias registradas

Para obtener los niveles de iluminación con el luxómetro, previamente se ubicarán los puntos en donde se realizarán las mediciones, y para esto se trazarán semicircunferencias con 3 metros de espaciamento y líneas a 0° , 45° , 90° , 135° y 180° ; los puntos de intersección entre las semicircunferencias y las líneas trazadas serán considerados como puntos en donde se medirá.

Figura 47. **Puntos de medición con luxómetro**



Fuente: elaboración propia.

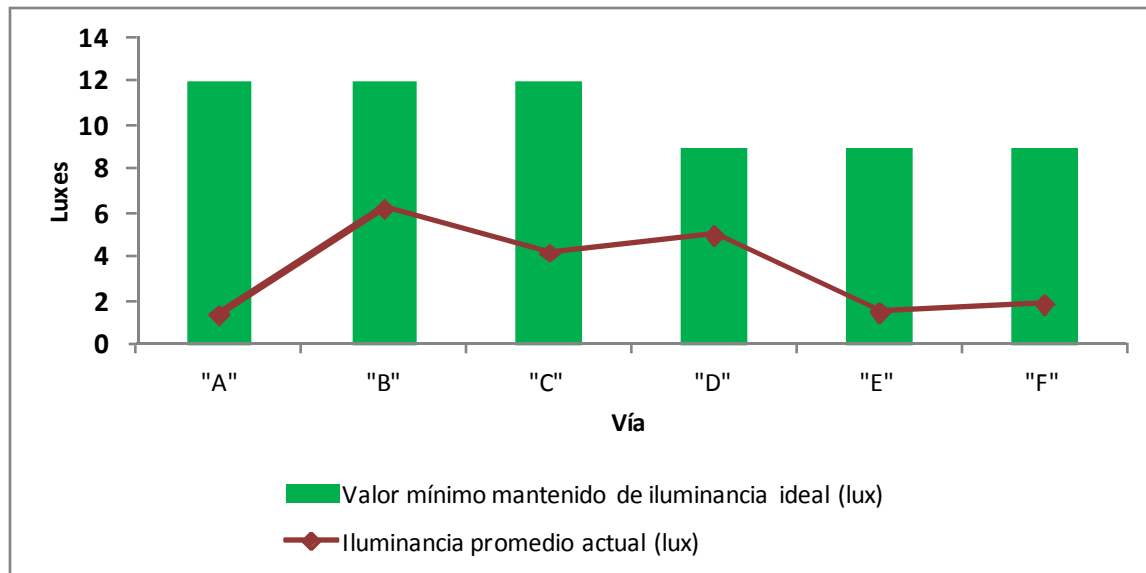
Se procedió a efectuar un levantamiento de información relevante para comparar y efectuar el análisis del estado actual de la iluminación en las vías en estudio, tomando la información del estado actual de las calzadas, como resultado se obtuvo la siguiente información (ver tabla XX y figura 48).

Tabla XX. Características de las vías actuales

VIA	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Espaciamiento entre postes (m)	98,25	42,30	44,67	44,33	127,5	120
Ancho de calle (m)	18	18	16	11	15	15
Altura de montaje (m)	8,3	8,1	8,2	6,9	7,9	7,1
Longitud del brazo (m)	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Disposición de las luminarias	Unilateral	Central doble	Central doble	Unilateral	Unilateral	Unilateral
Clasificación del pavimento	R3	R3	R3	R3	R3	R3
Características de la lámpara	Hg 175 W	Hg 175 W	Hg 175 W	Hg 175 W	Hg 175 W	Hg 175 W
Lúmenes de la lámpara	7 900 lum	7 900 lum	7 900 lum	7 900 lum	7 900 lum	7 900 lum
Iluminancia promedio puntual (lux)	1,46	6,27	4,27	5,07	2,59	3,94

Fuente: elaboración propia.

Figura 48. Iluminancia actual según el tipo de vía



Fuente: elaboración propia.

3.6. Grados de contaminación actual

Las características de las carreteras en la mayoría de municipios del área norte del departamento de el Quiché, cuentan con infraestructuras deficientes, el municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché no escapa de esto, el 98% de las avenidas y calles son de terracería, debido a las deficiencias, la contaminación que se ejerce sobre la luminaria es bastante elevada, mayormente por el polvo generado, por lo tanto se puede clasificar el tipo de contaminación que poseen las secciones en estudio, éstas se clasificarán en grados de contaminación alto y medio.

Tabla XXI. Grados de contaminación actuales

Sección	Vía A	Vía B	Vía C	Vía D	Vía E	Vía F
Grado de contaminación	Alto	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto

Fuente: elaboración propia.

4. SISTEMA EFICIENTE DE ALUMBRADO PÚBLICO PROPUESTO

Después de efectuar el levantamiento de las condiciones de iluminación actual en cada una de las vías seleccionadas, se evidenció que el sistema de alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché no posee una uniformidad aceptable, y con ello se determinó que no existe una buena iluminación, se hará uso del software DIALux, el cual es capaz de facilitar los cálculos para la implementación de un nuevo sistema de alumbrado, a través de simulación con parámetros y condiciones existentes en la zona de estudio.

4.1. Aspectos generales

El objetivo principal es apoyarse en la información básica de los nuevos criterios de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), basado en el concepto de luminancia, sobre todo en lo que se refiere a cuáles son los parámetros fotométricos que se han de utilizar para definir las exigencias de calidad de alumbrado público, no sólo sobre la calzada, sino tomando en cuenta las aceras, con la finalidad de establecer una mayor seguridad del tránsito nocturno, proporcionando una información visual suficiente, que permita al usuario poder reaccionar ante cualquier eventualidad de un modo correcto y a su debido tiempo.

Un objeto sólo se puede percibir si la diferencia de iluminancia (contraste) entre su superficie y el fondo tiene un valor mínimo. El valor de contraste que se necesita para percibir el objeto depende del ángulo con el que se vea y de la distribución de la luminancia en el campo de visión del observador.

Cuanto mayor sea el ángulo con que se ve el objeto y más alta la luminancia de fondo, mejor será la sensibilidad de contraste del ojo del observador. Cuanto mayor sea la luminancia media de la superficie de la calzada o de la acera, más alta será la luminancia del fondo y, al aumentar solo la luminancia media de la superficie y, por tanto, la luminancia del fondo de los objetos situados en ella, se mejora la sensibilidad del ojo del usuario, y a la vez el contraste de las posibles obstrucción que haya en la zona.

A la hora de proponer el cambio en los sistemas de alumbrado público existente, se tomó en consideración los siguientes aspectos:

- Iluminar las aceras y la superficie de la calzada para mayor seguridad vehicular y personal, aumentando el confort visual a los habitantes del municipio, mejorando de esta manera la imagen del mismo.
- Instalar luminarias en el rango 150W, de rendimiento luminoso elevado, con difusor plano adecuado a la instalación, ya que no se producen excedentes a la atmósfera por encima de los 90°, de esta manera se evita la contaminación lumínica producto de una luminaria mal apantallada y el consumo innecesario de energía eléctrica, debido a que todo el flujo luminoso es dirigido y aprovechado sobre la superficie que se quiere iluminar.
- Instalar lámparas de elevada eficacia luminosa compatibles con los requisitos cromáticos de la instalación, ya que para la instalación del nuevo sistema se utilizará la misma ubicación del existente. Donde el equipo auxiliar será de pérdidas mínimas y la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada y a las aceras a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias,

será el más elevado posible, con valores de iluminancia mantenidos a lo largo de la vida de la instalación, el factor de utilización de la instalación será el más elevado posible.

- El factor de mantenimiento de la instalación será el mayor alcanzable según la vía evaluada, ya que no es más que la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de los sistemas de alumbrado y los valores iniciales.
- Efectuar una reducción del flujo luminoso del 40% en horas de poco tráfico, mediante la utilización de dispositivos de doble nivel de potencia en las luminarias, permaneciéndose los mismos valores de uniformidad existente antes de la reducción.

4.2. Análisis mediante el software DIALux

Se procedió a utilizar el software DIALux, para la implementación de un nuevo sistema de alumbrado público en el área central y alrededores de la cabecera municipal de Playa Grande Ixcán, Quiché pudiendo observar en forma real los niveles de iluminación adecuados, para ello se tomaron todos los parámetros reales presentes en el sistema de alumbrado público existente. Se analizaron dos tecnologías, la primera utilizando luminarias tipo LED y otra utilizando luminarias de sodio de alta presión,

4.2.1. Luminaria Philips SpeedStar BGP322

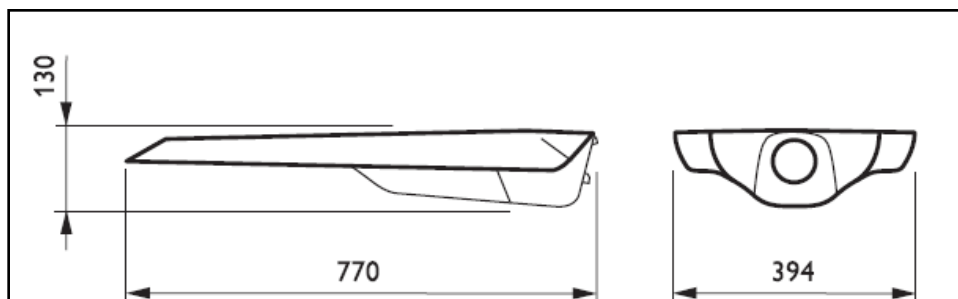
Es una luminaria tipo LED de alta eficiencia diseñada especialmente para sistemas de alumbrado público, además del bajo consumo de energía eléctrica que presenta esta tecnología, posee la cualidad de adaptar equipos de regulación de flujo luminoso durante las horas de menos tránsito sin perder sus parámetros lumínicos, el mantenimiento requerido para esta luminaria es mínimo.

Tabla XXII. Características principales SpeedStar BGP322

Descripción	Característica
Flujo luminoso (luminaria)	12 676 lm
Flujo luminoso (lámparas)	15 090 lm
Potencia de la luminaria	135 Watts
Modulo LED	EconomyLine
Vida	70 000 horas
Clasificación CIE	100
Voltaje de operación	210-240 V / 50 - 60 Hz

Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Dimensiones luminaria Philips SpeedStar BGP322 mm



Fuente: <http://www.ecat.lighting.philips.es>. Consulta: mayo de 2012.

Figura 50. **Luminaria Philips SpeedStar BGP322**



Fuente: <http://www.ecat.lighting.philips.es>. Consulta: mayo de 2012.

4.2.2. Luminaria Philips Iridium² SGP352

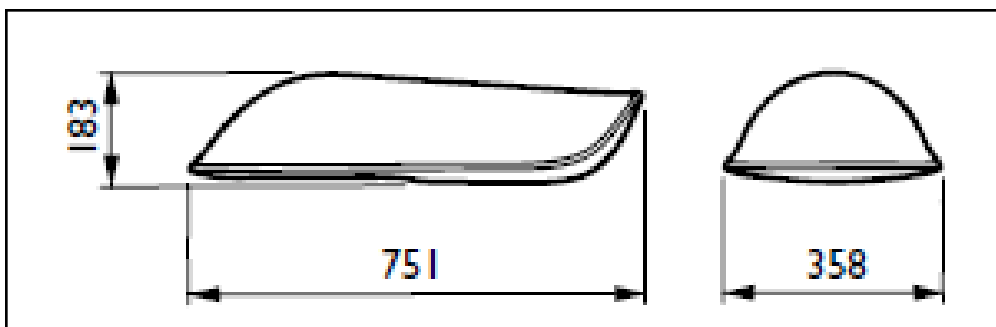
Es una luminaria con un diseño de alta eficiencia, utilizando lámparas de sodio de alta presión, con balastos electrónicos de bajo consumo y para lograr la reducción del 50% del flujo luminoso a partir de determinadas horas de la noche, el sistema se complementa por equipos de doble nivel de potencia.

Tabla XXIII. Características principales Iridium² SGP352

Descripción	Característica
Flujo luminoso (luminaria)	14 175 lm
Flujo luminoso (lámparas)	17 500 lm
Potencia de la luminaria	164 Watts
Lámpara	MASTER SON-T PIA Plus
Vida media lámpara	36 000 horas
Clasificación CIE	100
Voltaje de operación	210-240 V / 50 - 60 Hz
Regulador	Philips HID-DALI Xt

Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Dimensiones luminaria Philips Iridium² SGP352 mm



Fuente: <http://www.ecat.lighting.philips.es>. Consulta: mayo de 2012.

Figura 52. **Luminaria Philips Iridium² SGP352**

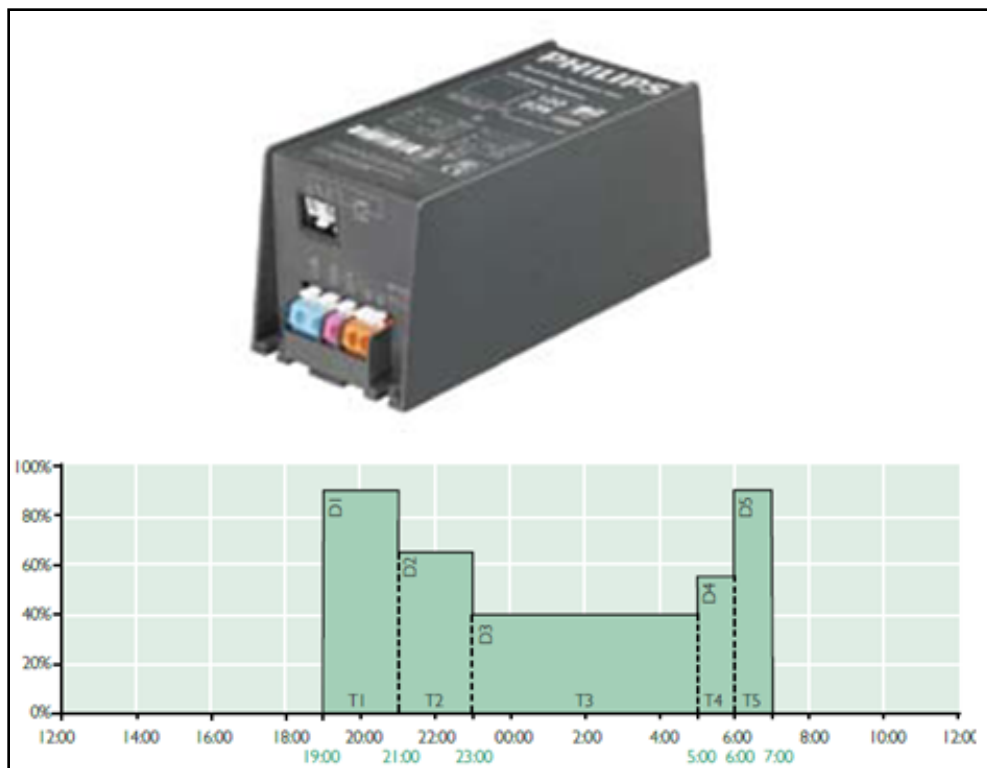


Fuente: <http://www.ecat.lighting.philips.es>. Consulta: mayo de 2012.

4.1.1.1. Balastro Philips HID-DALI Xt 1 x SON 150W

Es balastro electrónico de larga duración y alta fiabilidad para lámparas de descarga en aplicaciones de alumbrado exterior, estos equipos permiten maximizar el ahorro energético, minimizar el mantenimiento y regular el flujo de las lámparas mediante una regulación flexible adecuada a cada aplicación con el fin de mantener unos niveles de iluminación mínimos sin comprometer la seguridad. Permite ciclos de mantenimiento prolongado en el orden de los 20 años con una vida útil de 80 000 horas y un consumo de 13 Watts, ajustable a cinco etapas, para optimizar el consumo en distintas horas de la noche.

Figura 53. Balastro Philips HID-DALI Xt 1 x SON 150W

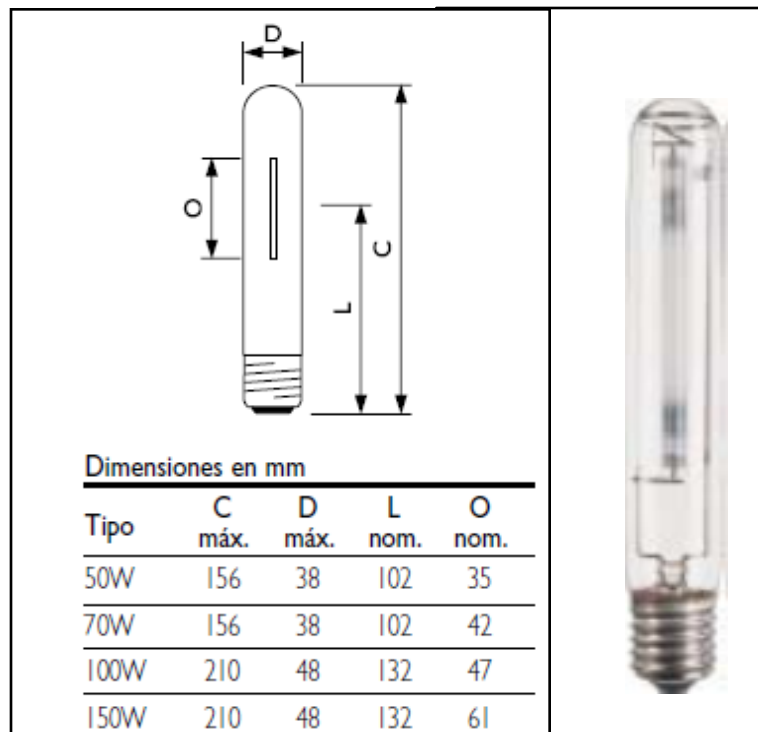


Fuente: <http://www.ecat.lighting.philips.es>. Consulta: mayo de 2012.

4.1.1.2. Lámpara Philips MASTER SON-T PIA Plus 150W

El sistema estaría conformado únicamente, por lámparas philips de vapor de sodio a alta presión, de 150 W, ya que las de vapor de sodio son de mayor rendimiento lumínico, tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la luz de las lámparas de mercurio, por otro lado su luz es menos agresiva para el medio ambiente que la de mercurio; a continuación se pueden apreciar las dimensiones de las lámparas

Figura 54. **MASTER SON-T PIA Plus 150W**



Fuente: <http://www.ecat.lighting.philips.es>. Consulta: mayo de 2012.

4.2.3. Resultados obtenidos mediante software DIALux

Para determinar si los niveles de iluminación del sistema propuesto, son los más adecuados, se utilizará el software de iluminación de DIALux, cuyos resultados se compararán con la Norma Comisión Internacional de Iluminación (CIE) 115-1995, Recomendaciones para la iluminación de vías para tráfico motorizado y peatonal, detallada en el capítulo 2.

El análisis se realizará en las mismas vías, las cuales se identificarán de igual forma que en el capítulo 3.

- Vía “A” acceso principal a Playa Grande Ixcán, Quiché
- Vía “B” acceso principal área urbana
- Vía “C” avenida de la municipalidad
- Vía “D” calle Ministerio Público
- Vía “E” zona 2
- Vía “F” zona 4

Los valores obtenidos de la tabla de resultados fueron comparados con los parámetros establecidos en la sección 2 (tablas V, VI, VII, VIII, IX y X), la misma indica los índices mínimos que se deben cumplir para cada vía en particular.

Los resultados obtenidos mediante el software se presentan en la tabla XXIV, se analizarán las luminarias Philips SpeedStar BGP322 y Luminaria Philips Iridium² SGP352 en vías vehiculares y aceras peatonales.

Tabla XXIV. Resultados luminaria Philips SpeedStar BGP322

Perfil de la vía	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Flujo luminoso (luminaria)	12 676 lm	12 676 lm	12 676 lm	12 676 lm	12 676 lm	12 676 lm
Flujo luminoso (lámpara)	15 090 lm	15 090 lm	15 090 lm	15 090 lm	15 090 lm	15 090 lm
Potencia de la luminaria	135 W	135 W	135 W	135 W	135 W	135 W
Altura de montaje	8,67 m	8,80 m	8,50 m	8,37 m	7,87 m	8,37 m
Altura del punto de luz	8,80 m	8,93 m	8,63 m	8,50 m	8,00 m	8,50 m
Saliente sobre la calzada	0,50 m	1,989 m	1,989	0,50 m	1,00 m	1,00 m
Longitud de brazo	2,50 m	2,50 m	2,50 m	2,50 m	2,50 m	2,50 m
Inclinación de brazo	5,0°	5,0°	5,0°	10°	10°	15°
Organización	Bilateral desplazado	Sobre andén central	Sobre andén central	Unilateral	Bilateral desplazado	Bilateral desplazado
Distancia entre mástiles	49,00 m	43,00 m	45,00 m	44,5 m	63 m	61,00 m
Ancho de calzada	18,00 m	18,00 m	16,00 m	11,00 m	15,00 m	15,00 m
Ancho camino peatonal 1	2,00 m	2,00 m	2,00 m	1,50 m	1,50 m	2,00 m
Ancho camino peatonal 2	2,00 m	2,00 m	2,00 m	1,50 m	1,50 m	2,00 m
Revestimiento de la calzada	R3	R3	R3	R3	R3	R3
Factor de mantenimiento	0,57	0,67	0,67	0,67	0,57	0,57
Resultados de luminancia vial	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Trama de puntos evaluados	17 x 6 puntos	15 x 6 puntos	15 x 6 puntos	15 x 6 puntos	21 x 6 puntos	21 x 6 puntos
Clase de iluminación seleccionada	ME4a	ME4b	ME4b	ME5	ME5	ME5
Luminancia media L_m (cd/m ²)	0,75	0,81	0,83	0,62	0,64	0,63
Uniformidad global u_0	0,44	0,50	0,47	0,49	0,39	0,46
Uniformidad longitudinal u_l	0,61	0,66	51,00	0,57	0,45	0,48
Incremento umbral t_i (%)	11,00	11,00	12,00	15,00	14,00	13,00
Relación de entorno SR	0,50	0,89	0,89	0,50	0,55	0,56
Resultados iluminancia vial	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Trama puntos	17 x 6 puntos	15 x 6 puntos	15 x 6 puntos	15 x 6 puntos	21 x 6 puntos	21 x 6 puntos
Iluminancia media (lux)	12,00	13,00	13,00	10,00	10,00	10
Iluminancia mínima (lux)	3,81	3,69	3,02	2,90	3,94	5,02
Iluminancia máxima (lux)	27,00	34,00	36,00	30,00	30,00	28
Uniformidad media U	0,32	0,28	0,23	0,28	0,38	0,494
Resultados iluminancia peatonal 1	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Trama de puntos	17 x 3 puntos	15 x 3 puntos	15 x 3 puntos	15 x 3 puntos	21 x 3 puntos	21 x 3 puntos
Clase de iluminación seleccionada	S3	S3	S3	S3	S3	S3
Iluminancia media (lux)	8,26	9,81	10,14	8,69	8,45	8,40
Iluminancia mínima (lux)	1,62	6,32	5,39	1,56	1,6	2,68
Resultados iluminancia peatonal 2	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Trama de puntos	17 x 3 puntos	15 x 3 puntos	15 x 3 puntos	15 x 3 puntos	21 x 3 puntos	21 x 3 puntos
Clase de iluminación seleccionada	S3	S3	S3	S3	S3	S3
Iluminancia media (lux)	8,26	9,87	10,14	7,54	8,42	8,39
Iluminancia mínima (lux)	1,62	6,32	5,39	3,52	1,62	2,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Resultados luminaria Philips Iridium² SGP352

Perfil de la vía	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Flujo luminoso (luminaria)	14 175 lm	14 175 lm	14 175 lm	14 175 lm	14 175 lm	14 175 lm
Flujo luminoso (lámpara)	17 500 lm	17 500 lm	17 500 lm	17 500 lm	17 500 lm	17 500 lm
Potencia de la luminaria	164 W	164 W	164 W	164 W	164 W	164 W
Altura de montaje	8,32 m	8,80 m	8,80 m	9,32 m	7,823 m	8,32 m
Altura del punto de luz	8,50 m	8,98 m	8,98 m	9,50 m	8,00 m	8,50 m
Saliente sobre la calzada	0,50 m	1,968 m	1,982 m	1,00 m	1,00 m	0,50 m
Longitud de brazo	2,50 m	2,50 m	2,50 m	2,50 m	2,50 m	2,50 m
Inclinación de brazo	10°	10°	5,0°	10°	15°	10°
Organización	Bilateral desplazado	Sobre anden central	Sobre anden central	Unilateral	Bilateral desplazado	Bilateral desplazado
Distancia entre mástiles	49,00 m	43,00 m	45,00 m	44,00 m	64,00 m	61,00 m
Ancho de calzada	18,00 m	18,00 m	16,00 m	11,00 m	15,00 m	15,00 m
Ancho camino peatonal 1	2,00 m	2,00 m	2,00 m	1,50 m	1,50 m	2,00 m
Ancho camino peatonal 2	2,00 m	2,00 m	2,00 m	1,50 m	1,50 m	2,00 m
Revestimiento de la calzada	R3	R3	R3	R3	R3	R3
Factor de mantenimiento	0,57	0,67	0,67	0,67	0,57	0,57
Resultados de luminancia vial	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Trama de puntos evaluados	17 x 6 puntos	15 x 6 puntos	15 x 6 puntos	15 x 6 puntos	22 x 6 puntos	21 x 6 puntos
Clase de iluminación seleccionada	ME4a	ME4b	ME4b	ME5	ME5	ME5
Luminancia media Lm(cd/m ²)	0,75	1,09	1,16	0,72	0,59	0,76
Uniformidad global U _o	0,54	0,40	0,40	0,39	0,44	0,37
Uniformidad longitudinal U _l	0,60	0,58	0,52	0,59	0,42	0,40
Incremento umbral TI(%)	12,00	14,00	15,00	15,00	0,15	14,00
Relación de entomo SR	0,82	0,85	0,89	0,57	0,87	0,60
Resultados iluminación vial	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Trama puntos	17 x 6 puntos	15 x 6 puntos	15 x 6 puntos	15 x 6 puntos	22 x 6 puntos	21 x 6 puntos
Iluminancia media (lux)	11,00	17,00	17,00	11,00	9,09	11
Iluminancia mínima (lux)	4,41	6,50	6,24	4,67	2,77	3,79
Iluminancia máxima (lux)	29,00	45,00	51,00	30,00	30,00	33
Uniformidad media U _i	0,40	0,39	0,36	0,43	0,30	0,335
Resultados iluminación peatonal 1	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Trama de puntos	17 x 3 puntos	15 x 3 puntos	15 x 3 puntos	15 x 3 puntos	22 x 3 puntos	21 x 3 puntos
Clase de iluminación seleccionada	S3	S3	S3	S3	S3	S3
Iluminancia media (lux)	12,57	9,09	10,23	12,14	10,37	9,50
Iluminancia mínima (lux)	3,21	5,12	5,13	1,54	1,51	2,06
Resultados iluminación peatonal 2	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Trama de puntos	17 x 3 puntos	15 x 3 puntos	15 x 3 puntos	15 x 3 puntos	22 x 3 puntos	21 x 3 puntos
Clase de iluminación seleccionada	S3	S3	S3	S3	S3	S3
Iluminancia media (lux)	12,36	9,09	10,23	7,53	10,37	9,48
Iluminancia mínima (lux)	3,25	5,12	5,13	3,92	1,52	2,06

Fuente: elaboración propia.

De esta forma se puede demostrar que el nuevo sistema de alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché cumpliría con todas las recomendaciones que indican las normativas independientemente del uso de cualquiera de las dos tecnologías propuestas.

4.3. Análisis del consumo de energía eléctrica del sistema

El sistema de alumbrado público propuesto de Playa Grande Ixcán, Quiché utilizará la infraestructura actual, cambiando únicamente, las luminarias y los brazos, el consumo total de las luminarias se detalla a continuación con base en el registro proporcionado por la Empresa Municipal Rural de Electricidad (EMRE), de 515 luminarias.

Tabla XXVI. Consumo de energía Philips Iridium² BGP322

Horario		Capacidad	Potencia de la luminaria W	Energía total consumida W h	Total kWh
18:00	21:00	100%	164	492	1,64
21:00	23:00	80%	131,2	262,4	
23:00	04:00	60%	98,4	590,4	
04:00	05:00	80%	131,2	131,2	
05:00	06:00	100%	164	164	
Total de luminarias instaladas				1	1,64

Fuente: elaboración propia.

El sistema de alumbrado público, utilizando la luminaria Philips Iridium² SGP352, con lámpara de 150 W tiene un consumo diario de 1,64 kWh la unidad.

Tabla XXVII. **Consumo de energía Philips SpeedStar BGP322**

Horario		Capacidad	Potencia de la luminaria W	Energía total consumida Wh	Total kWh
18:00	21:00	100%	135	405	1,35
21:00	23:00	80%	108	216	
23:00	04:00	60%	81	486	
04:00	05:00	80%	108	108	
05:00	06:00	100%	135	135	
Total de luminarias instaladas				1	1,35

Fuente: elaboración propia.

El sistema de alumbrado público, utilizando la luminaria Philips SpeedStar BGP322 de 134 W, la unidad tiene un consumo diario de 1,35 kWh.

4.4. Máxima densidad de potencia eléctrica del sistema

Del análisis efectuado de las vías representativas del sistema de alumbrado público propuesto se presentan los resultados obtenidos, donde en ambas tecnologías de iluminación el índice se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

Tabla XXVIII. **DPEA Philips Iridium² BGP322**

Parámetros	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Iluminancia media (lux)	11,00	17,00	17,00	11,00	9,09	11,00
Ancho de calzada	18,00 m	18,00 m	16,00 m	11,00 m	15,00 m	15,00 m
Potencia por sección	328	328	328	164	328	328
Área m ²	882	774	720	484	960	915
DPEA pr opuesto	0,37188	0,42377	0,45556	0,33884	0,34167	0,35847

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **DPEA Philips SpeedStar BGP322**

Parámetros	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Iluminancia media (lux)	12,00	13,00	13,00	10,00	10,00	10,00
Ancho de calzada	18,00 m	18,00 m	16,00 m	11,00 m	15,00 m	15,00 m
Potencia por sección	270	270	270	135	270	270
Área m ²	882	774	720	484	960	915
DPEA propuesto	0,30612	0,34884	0,37500	0,27893	0,28125	0,29508

Fuente: elaboración propia.

4.5. Eficiencia energética del sistema

De los resultados obtenidos se efectuó, el análisis para determinar la calificación energética del sistema propuesto obteniendo valores aceptables y acordes a la tecnología propuesta.

Tabla XXX. **Eficiencia energética Philips Iridium² BGP322**

Parámetros	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Iluminancia media (lux)	11,00	17,00	17,00	11,00	9,09	11,00
Ancho de calzada	18,00 m	18,00 m	16,00 m	11,00 m	15,00 m	15,00 m
Potencia por sección W	328	328	328	164	328	328
Área m ²	882	774	720	484	960	915
Eficiencia energética resultante	29,58	40,12	37,32	32,46	26,60	30,69
Eficiencia energética de referencia	31,00	32,00	32,00	32,00	29,00	32,00
Índice de eficiencia energética	0,954	1,254	1,166	1,014	0,917	0,959
Índice de consumo energético	1,048	0,798	0,858	0,986	1,090	1,043
Calificación energética	B	C	C	B	B	B

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. Eficiencia energética Philips SpeedStar BGP322

Parámetros	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
Iluminancia media (lux)	12,00	13,00	13,00	10,00	10,00	10,00
Ancho de calzada	18,00 m	18,00 m	16,00 m	11,00 m	15,00 m	15,00 m
Potencia por sección W	270	270	270	135	270	270
Área m ²	882	774	720	484	960	915
Eficiencia energética resultante	39,20	37,27	34,67	35,85	35,56	33,89
Eficiencia energética de referencia	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
Índice de eficiencia energética	1,225	1,165	1,083	1,120	1,111	1,059
Índice de consumo energético	0,816	0,859	0,923	0,893	0,900	0,944
Calificación energética	A	A	B	A	A	B

Fuente: elaboración propia.

4.6. Mantenimiento del sistema de alumbrado público

El plan de mantenimientos (preventivo y correctivo) del sistema actual es el adecuado, por lo tanto se mantendría el mismo esquema en el nuevo sistema, cambiando únicamente, los rangos de tiempo en que se realizaría el mantenimiento correctivo, ya que existen elementos de distintas características.

Tabla XXXII. Mantenimiento correctivo del sistema de alumbrado público

Elementos del sistema	Philips Iridium ² SGP352		Philips SpeedStar BGP322	
	Cada 5 años	Cada 15 años	Cada 5 años	Cada 15 años
Lámparas	X			X
Balastos		X		X
Foto celdas	X		X	
Brazos de las luminarias		X		X

Fuente: elaboración propia.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO Y TÉCNICO

La inversión es parte fundamental de cualquier proyecto que se desee desarrollar, en el caso de un sistema de alumbrado público existente, está aunada al ahorro y calidad de la iluminación que se pretenda establecer en el lugar donde se efectuara la inversión, en cierta forma, el ahorro es un concepto económico y como tal va asociado al concepto tiempo, un equipo consume más energía cuanto más tiempo funciona, y energéticamente cuesta más dinero cuanto más tiempo funciona.

En el análisis técnico se evalúan los principios técnicos del sistema y al mismo tiempo se recoge información adicional sobre el rendimiento, fiabilidad, mantenimiento y productividad.

El análisis económico incluye lo que se llama, el análisis de costo – beneficio, esto significa una valoración de la inversión económica comparado con los beneficios que se obtendrán en la correcta utilización del producto o sistema.

Los resultados obtenidos del análisis técnico son la base para determinar la factibilidad del proyecto.

El presente análisis técnico-económico tendrá como fin demostrar factibilidad del sistema propuesto (capítulo 4), ya que el mismo proporciona una alternativa de ahorro de energía, un costo estimado de la inversión requerida y el tiempo de recuperación de la inversión, dando como resultado un sistema óptimo de iluminación.

5.1. Costo inicial de la inversión

Para determinar el costo total de la implementación del nuevo sistema, se procedió a revisar los precios de las luminarias y sus partes en PHILIPS y CELASA, obteniéndose un costo total en la implementación del sistema.

Tabla XXXIII. **Inversión inicial del sistema propuesto**

				Tipo de cambio	24/06/2012	Q.	7,86
Philips Iridium2 SGP352			Philips SpeedStar BGP322				
Vía	Luminarias	P.U.	Total	Luminarias	P.U.	Total	
A	24	\$ 703,91	\$ 16 893,95	24	\$ 1 456,76	\$ 34 962,35	
B	18	\$ 703,91	\$ 12 670,47	18	\$ 1 456,76	\$ 26 221,77	
C	24	\$ 703,91	\$ 16 893,95	24	\$ 1 456,76	\$ 34 962,35	
D	6	\$ 703,91	\$ 4 223,49	6	\$ 1 456,76	\$ 8 740,59	
E	12	\$ 703,91	\$ 8 446,98	12	\$ 1 456,76	\$ 17 481,18	
F	9	\$ 703,91	\$ 6 335,23	9	\$ 1 456,76	\$ 13 110,88	
			Q. 514 455,95				Q. 1 064 676,23
Brazos 8"	93	Q. 230,35	Q. 21 42 ,55	93	Q. 230,35	Q. 21 422,55	
Inversión inicial			Q. 535 878,50				Q. 1 086 098 ,78

Fuente: elaboración propia.

Cabe indicar que no se ha considerado el cambio de cables, ya que los conductores que existen actualmente en el sistema se encuentran en buen estado; y además los gastos de mano de obra para la instalación del sistema serán asumidos por el Departamento de Mantenimiento de la Municipalidad de Playa Grande Ixcán, Quiché.

El tipo de cambio se tomó del banco de Guatemala con fecha 19 de junio de 2012.

5.2. Análisis beneficio – costo del sistema de alumbrado público

Para calcular los beneficios del proyecto se consideró la diferencia entre el costo anual estimado por consumo de energía eléctrica en la actualidad y el costo anual estimado por consumo de energía eléctrica con la operación del sistema propuesto.

5.2.1. Costo anual estimado por el consumo de la energía eléctrica del sistema de alumbrado público actual

Para calcular el costo anual estimado por consumo de energía eléctrica se consideró lo siguiente:

Las luminarias actuales de las vías representativas utilizadas en este estudio, el sistema está formado por luminarias de vapor de mercurio a alta presión, con lámparas de 175 W y un consumo de 35 W de los elementos complementarios de la luminaria.

Tabla XXXIV. Costo por servicio de alumbrado público actual

Vía	Quadroliner					
	Luminarias	Lámpara W	Sistema complementario W	Costo (Q/kW h)	Horas anual	Total Q
A	8	175,00	35,00	Q. 1,6859	4320	Q. 12 235,44
B	9	175,00	35,00	Q. 1,6859	4320	Q. 13 764,88
C	12	175,00	35,00	Q. 1,6859	4320	Q. 18 353,17
D	6	175,00	35,00	Q. 1,6859	4320	Q. 9 176,58
E	4	175,00	35,00	Q. 1,6859	4320	Q. 6 117,72
F	3	175,00	35,00	Q. 1,6859	4320	Q. 4 588,29
						Q. 64 236,11

Fuente: elaboración propia.

Se consideró el supuesto que las luminarias se encienden por 12 horas en el día, durante los 365 días del año, el costo del kilovatio-hora se tomó de las Resoluciones CNEE-72-2012 y CNEE-73-2012 publicadas en mayo de 2012.

5.2.2. Costo anual estimado por el consumo de la energía eléctrica del sistema de alumbrado público propuesto

Se efectuó el análisis de costos de las tecnologías propuestas el cual se detalla a continuación (ver tabla XXXV).

Tabla XXXV. **Costo por servicio de alumbrado público Philips Iridium² SGP352**

Philips Iridium2 SGP352						
Vía	Luminarias	Luminaria kW -día	Costo (Q/kW h)		Anual	Total Q.
A	24	1,64	Q.	1,6859	365	Q. 24 220,04
B	18	1,64	Q.	1,6859	365	Q. 18 165,03
C	24	1,64	Q.	1,6859	365	Q. 24 220,04
D	6	1,64	Q.	1,6859	365	Q. 6 055,01
E	12	1,64	Q.	1,6859	365	Q. 12 110,02
F	9	1,64	Q.	1,6859	365	Q. 9 082,51
						Q. 93 852,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Costo por servicio de alumbrado público Philips SpeedStar BGP322**

Philips SpeedStar BGP322						
Vía	Luminarias	Luminaria kW -día	Costo (Q/kW h)		Anual	Total Q.
A	24	1,35	Q.	1,6859	365	Q. 19 937,22
B	18	1,35	Q.	1,6859	365	Q. 14 952,92
C	24	1,35	Q.	1,6859	365	Q. 19 937,22
D	6	1,35	Q.	1,6859	365	Q. 4 984,30
E	12	1,35	Q.	1,6859	365	Q. 9 968,61
F	9	1,35	Q.	1,6859	365	Q. 7 476,46
						Q. 77 256,76

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que el consumo de energía propuesto supera el consumo actual, esto debido a que el sistema que se desea modificar no cumple con los parámetros mínimos de iluminación, para presentar una alternativa más acorde a la realidad del municipio se propone efectuar el cambio puntual de luminarias, dando los resultados siguientes.

Tabla XXXVII. **Costo por servicio de alumbrado público Philips Iridium² SGP352**

Philips Iridium ² SGP352					
Vía	Luminarias	Luminaria kW - día	Costo (Q/kW h)	Anual	Total Q
A	8	1,64	Q. 1,6859	365	Q. 8 073,34
B	9	1,64	Q. 1,6859	365	Q. 9 082,51
C	12	1,64	Q. 1,6859	365	Q. 12 110,02
D	6	1,64	Q. 1,6859	365	Q. 6 055,01
E	4	1,64	Q. 1,6859	365	Q. 4 036,67
F	3	1,64	Q. 1,6859	365	Q. 3 027,50
					Q. 42 385,07

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Costo por servicio de alumbrado público Philips SpeedStar BGP322**

Philips SpeedStar BGP322					
Vía	Luminarias	Luminaria kW - día	Costo (Q/kW h)	Anual	Total Q
A	8	1,35	Q. 1,6859	365	Q. 6 645,74
B	9	1,35	Q. 1,6859	365	Q. 7 476,46
C	12	1,35	Q. 1,6859	365	Q. 9 968,61
D	6	1,35	Q. 1,6859	365	Q. 4 984,30
E	4	1,35	Q. 1,6859	365	Q. 3 322,87
F	3	1,35	Q. 1,6859	365	Q. 2 492,15
					Q. 34 890,15

Fuente: elaboración propia.

Cabe indicar que, para el cálculo de los costos anuales por consumo de energía eléctrica, en ambos casos no fueron considerados los de mantenimiento

del sistema, debido a que la diferencia económica entre ellos es mínima, por cuanto no tendría mucha incidencia

5.2.3. Costo anual de operación del sistema propuesto

Los costos anuales de operación son similares, e incluso menores que el sistema actual, pero la diferencia es mínima, por lo que se asumirán los costos actuales, por lo tanto el flujo económico se tendrán egresos nulos.

5.3. Resultados del flujo económico

Debido a que la implementación de un sistema óptimo que cumpla con todos los parámetros mínimos de iluminación, en el municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché representaría un costo superior al que actualmente se paga por el servicio de alumbrado público. Se optó por efectuar un análisis económico por el cambio puntual de luminarias, el cual mejora considerablemente los parámetros de iluminación y representa un ahorro económico en el consumo de energía eléctrica, de los resultados se obtiene que la inversión retornaría en 10 años, dada la vida útil de la luminaria de 20 años y que el proyecto es de bajo riesgo.

Tabla XXXIX. Flujo económico Philips Iridium² SGP352

año	Inversión Inicial	Beneficio Económico	Egresos
2012	Q. (243 480,42)	Q. (243 480,43)	
2013		Q. 21 851,04	Q. -
2014		Q. 21 851,04	Q. -
2015		Q. 21 851,04	Q. -
2016		Q. 21 851,04	Q. -
2017		Q. 21 851,04	Q. -
2018		Q. 21 851,04	Q. -
2019		Q. 21 851,04	Q. -

Continuación de la tabla XXXIX.

2020	Q.	21 851,04	Q.	-
2021	Q.	21 851,04	Q.	-
2022	Q.	21 851,04	Q.	-
2023	Q.	21 851,04	Q.	-
2024	Q.	21 851,04	Q.	-
2025	Q.	21 851,04	Q.	-
2026	Q.	21 851,04	Q.	-
2027	Q.	21 851,04	Q.	-
2028	Q.	21 851,04	Q.	-
2029	Q.	21 851,04	Q.	-
2030	Q.	21 851,04	Q.	-
2031	Q.	21 851,04	Q.	-
2032	Q.	21 851,04	Q.	-
Valor actual neto				Q. 357 295,83
Tasa interna de retorno				6,36%

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo al análisis lumínico del alumbrado público en las vías seleccionadas en Playa Grande Ixcán, Quiché, se llegó a determinar que las luminarias instaladas actualmente, no están cumpliendo con los parámetros mínimos de iluminación establecidos por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).
2. Al evaluar las condiciones físicas del sistema de alumbrado público, se determinó que existe un alto grado de contaminación en las calles y luminarias, debido al excesivo polvo en las calzadas; además, que el número de luminarias, actualmente instaladas es mínimo y la interdistancia entre ellas duplica la longitud idónea, lo cual, afecta directamente el incumplimiento de los parámetros mínimos de iluminación.
3. La tecnología LED evidenció un alto grado de eficiencia energética para el sistema de alumbrado público, pero el alto costo de la luminaria y densidad poblacional limitada, hacen inviable económicamente la instalación de este tipo de tecnología.
4. Las luminarias de sodio a alta presión mostraron una eficiencia energética superior a las luminarias de mercurio a alta presión, asimismo, presentan un costo de adquisición más accesible que la tecnología tipo LED.

5. Con base en los resultados técnicos del análisis del sistema de alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché, para que cumpla con los parámetros mínimos de iluminación, la tecnología óptima a instalar es la de vapor de sodio a alta presión.
6. La readecuación del sistema de alumbrado público actual, al sistema propuesto de vapor de sodio a alta presión, generaría un aumento en el consumo de energía en un 35%, debido a la instalación de un 50% más de luminarias.
7. Con base al análisis de las características del sistema de alumbrado público, calles y tarifas de energía eléctrica del municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché el cambio puntal de luminarias a tecnología de vapor de sodio a alta presión, es la opción más viable técnica y económicamente en el proceso de mejora del alumbrado público.
8. La implementación del cambio de luminarias puntal con la tecnología propuesta de vapor de sodio a alta presión, generaría un ahorro del 30%, dando una mejora en los parámetros lumínicos significativa.
9. Para el cumplimiento de los parámetros mínimos de iluminación, debe realizarse inversión en el sistema de alumbrado público actual, en el sentido de instalar nuevas luminarias, sustituir luminarias actuales y construir nuevos tramos.

RECOMENDACIONES

1. Para alcanzar niveles de iluminación adecuados de las vías de la Playa Grande Ixcán, Quiché, se deberá implementar el sistema propuesto, utilizando la tecnología de sodio a alta presión, ya que los estudios de iluminación realizados han demostrado que el mismo cumple con los parámetros mínimos de iluminación, eficiencia energética y máxima densidad de potencia eléctrica.
2. Realizar el cambio de luminarias puntuales, sustituyendo las luminarias de vapor de mercurio a alta presión, por las de sodio a alta presión, se generará un ahorro económico y establecería el punto de partida para el mejoramiento del sistema de alumbrado público hasta alcanzar los niveles óptimos de iluminación.
3. Utilizar la tecnología propuesta de vapor de sodio a alta presión en los proyectos futuros de expansión y mejoramiento del sistema de alumbrado público de Playa Grande Ixcán, Quiché.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Española de Fabricantes de Iluminación. *Guía de gestión energética en alumbrado público*. Madrid: Asociación Española de Fabricantes de Iluminación, 2006. 126 p.
2. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Reglas generales y especificaciones para el alumbrado público NTC 900*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998. 278 p.
3. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07, Real Decreto 1890/2008*. Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008. 250 p.
4. Ministerio de Minas y Energía. *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP: Resolución No. 18 1331*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2009. 425 p.
5. SUNTECUN CASTELLANOS, Alex. *Tratamiento primario desechos de las lámparas de vapor de mercurio de alta presión del alumbrado público en las municipalidades de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 112 p.