



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PÚBLICA
EFICIENTE BASADO EN TECNOLOGÍA LED PARA
DIFERENTES ZONAS EN EL ÁREA DE CONCESIÓN DE
CNEL. EP GUAYAS – LOS RÍOS”**

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

JOHNNY JAVIER PARRA FLORES

JERRY HERNAN JUNCO AGUAIZA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la salud y sabiduría al término de mis estudios de pregrado.

A mis padres Jhony y Mariuxi por ser mi pilar fundamental en cada momento de mi vida, a cada una de sus palabras que me fueron nutriendo como persona enseñándome a persistir en cada una de las metas que me proponga y jamás desmayar.

A mis hermanos Moisés, Joel y Génesis que estuvieron apoyándome, brindándome la mano y dándome consejos para seguir en el camino hacia el éxito.

A mis amigos que estuvieron en los momentos más difíciles y también en los buenos

A mis profesores quienes supieron encaminarme durante mi vida universitaria y alcanzar la meta de graduarme.

Johnny Parra Flores

A Dios que por su infinito amor pudo hacer posible la culminación del presente trabajo de graduación, a mis padres a mis compañeros a mis amigos.

A mis padres Arturo y Rosario que jamás bajaron los brazos y siempre tuvieron unas palabras de motivación para nos desmayar y seguir, en especial a mi madre por siempre confiar en mí y demostrarme que es el mejor regalo que me pudo haber dado el Señor.

A mis hermanos Carlos y Angie los cuales me ayudaron académicamente y motivacionalmente.

A mis amigos que siempre estuvieron en momentos difíciles y han sido como mis hermanos.

A los profesores por ser parte de este camino de aprendizaje fructífero.

Jerry Junco A.

DEDICATORIA

“Dios les da las batallas más difíciles a sus mejores soldados”

El presente trabajo lo dedico a mi familia en especial a mis abuelitos quienes junto a los brazos de Dios sé que me han acompañado en este camino de manera espiritual, a mis padres Jhony a quien admiro profesionalmente por ser la persona que se esfuerza hasta el cansancio por darme lo mejor de él y Mariuxi por aquellas noches de desvelo para que cumpla con mis metas.

Dedico además a aquellas personas quienes durante la formación del documento fueron participes de ideas, datos y conocimientos.

Johnny Parra Flores

A los jóvenes de mi patria que serán los cosechadores de la patria grande, que elegiremos siempre vivir en un estado de derecho respetando el bien común.

A mis padres que, con su ejemplo de vida de salir de las cenizas victoriosas, forjaron en mí que siempre se pelea a pesar de tener todo en contra.

A mi profesor el Ing. Félix Ramírez que fue parte de la formación no solo profesional, sino también personal que con sus enseñanzas forjaron un carácter distinto en mí.

Al sacerdote Carlos Ayala que con sus consejos hicieron de mí un mejor hijo de Dios y por último y no menos importante a Dios todo poderoso, por poner en mi camino a todas las personas que aportaron a que esto sea posible.

Jerry Junco A.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Ph.D. Cristóbal Mera
PROFESOR DE MATERIA
INTEGRADORA

MSc. Fernando Vaca
TUTOR ACADÉMICO

***“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PÚBLICA EFICIENTE BASADO EN
TECNOLOGÍA LED PARA DIFERENTES ZONAS EN EL ÁREA DE CONCESIÓN
DE CNEL. EP GUAYAS – LOS RÍOS”***

***(JOHNNY JAVIER PARRA FLORES Mat. 200826287), (JERRY HERNAN JUNCO
AGUAIZA Mat. 200808020)***

II Terminio 2017

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Johnny Parra Flores

Jerry Junco Aguaiza

RESUMEN

El presente informe ha sido elaborado con la finalidad de analizar las ventajas del uso de nuevas tecnologías como son las luminarias tipo LED en el área de alumbrado público en la ciudad de Durán. Se ha analizado la opción dimerizable (disminución del consumo de energía eléctrica de la luminaria por periodos de tiempo) para tres zonas de estudio en el área de concesión de CNEL. EP Guayas - Los Ríos.

Se utilizarán los datos de las redes de distribución ya existentes, ubicadas en la zona rural, zona urbana y zona vial. Se desarrollará un sistema de telegestión para controlar un conjunto de luminarias desde un servidor ubicado cerca al operario, permitiendo obtener datos en tiempo real del estado en que se encuentra la luminaria, sea encendida, apagada o en falla permitiendo a la empresa eléctrica solucionar estos problemas de manera rápida.

El trabajo está estructurado de la siguiente forma:

En el capítulo 1, se dará a conocer la descripción del problema y los objetivos de este proyecto. En el capítulo 2, se presentarán breves conceptos técnicos sobre luminotecnia y normas a seguir para un proyecto de alumbrado público en el país. En el capítulo 3, se detalla la metodología a seguir, así como también los escenarios que se tienen y la implementación de equipos de comunicación basado en el protocolo IEEE 82.15.4 ZigBee siendo esta una tecnología inalámbrica que opera en bandas libres, con capacidades de control y monitoreo que sean confiables para el funcionamiento de un sistema de luminarias inteligentes que permitan el ahorro de energía. Y finalmente, en el capítulo 4, se muestran los datos ingresados en el programa DIALux, posteriormente se analizan los resultados obtenidos de la simulación de las diferentes zonas con las luminarias tipo sodio existente y luminarias tipo LED escogidas para el proyecto. Se analizan dos alternativas eligiendo la de mejor desempeño económico y técnico.

Palabras Clave: dimerizar, ZigBee, Sistema de telegestión.

ABSTRACT

This report has been prepared with the purpose of analyzing the advantages of the use of new technologies such as LED type luminaires in public lighting in the city of Durán. The dimerizable option has been analyzed (reduction of the electric power consumption of the luminaire for periods of time) for three study areas in CNEL EP Guayas - Los Ríos concession area.

The data of the existing distribution networks, located in the rural area, urban area and road area will be used. A telemanagement system will be developed to control a set of luminaires from a server located close to the operator, allowing real-time data to be obtained on the state of the luminaire, whether it is on, off or in fault, allowing the electric company to solve these problems quickly.

The work is structured as follows:

In chapter 1, the description of the problem and the objectives of this project will be announced. In Chapter 2, short technical concepts on lighting technology and standards to follow for a public lighting project in the country will be presented. In chapter 3, the methodology to be followed is detailed, as well as the scenarios that have and the implementation of communication equipment based on the IEEE 82.15.4 ZigBee protocol, this being a wireless technology that operates in free bands, with capabilities of control and monitoring that are reliable for the operation of a system of intelligent luminaires that allow energy savings. And finally, in chapter 4, the data entered in the DIALux program are shown, later the results obtained from the simulation of the different zones are analyzed with the existing sodium type luminaires and LED type luminaires chosen for the project. Two alternatives are analyzed, choosing the one with the best economic and technical performance.

Keywords: dimerize, ZigBee, remote management system.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
CAPÍTULO 2.....	3
2. ALUMBRADO PÚBLICO EN EL CONTEXTO ACTUAL.....	3
2.1 Conceptos básicos	3
2.2 Vías con tráfico motorizado	5
2.2.1 Clase de iluminación según las vías	5
2.2.2 Parámetros fotométricos en vías.....	6
2.3 Vías peatonales.....	6
2.3.1 Clase de iluminación según las vías	6
2.3.2 Parámetros fotométricos vías peatonales	7
2.4 Sistemas especiales de iluminación	7
2.4.1 Clase de iluminación según las vías	7
2.4.2 Parámetros fotométricos sistemas especiales	8

2.5	Tipos de luminarias	8
2.5.1	Luminarias de sodio de alta presión	8
2.5.2	Luminarias LED	9
2.6	Iluminación inteligente	12
2.6.1	Sistema de monitoreo inteligente utilizando la red ZigBee	12
2.6.2	Control de luminarias de alumbrado público mediante red WSN..	12
CAPÍTULO 3.....		13
3. METODOLOGÍA.....		13
3.1	Metodología para el diseño de iluminación de alumbrado exterior	13
3.1.1	Análisis del proyecto	13
3.1.2	Planificación básica	14
3.1.3	Diseño detallado	14
3.2	Área de trabajo.....	14
3.3	Información técnica del alumbrado público actual	16
3.4	Propuesta luminarias tipo LED	18
3.5	Luminaria Shark LED	21
3.5.1	Protección contra fallas en Luminaria LED.....	21
3.5.2	Sistema inteligente.....	21
3.6	Disposición de luminarias	22
3.7	Software de simulación	22
3.8	Cálculo de iluminación para situación actual	23
3.8.1	Zona rural	23
3.8.2	Zona Urbana.....	23
3.8.3	Zona Vial.....	24
3.9	Telegestión de alumbrado público	24
3.9.1	Sistema de telegestión.....	25
3.9.2	Control de iluminación.....	26

3.9.3	Características técnicas de la fotocélula	27
CAPÍTULO 4	29
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	29
4.1	Simulación de iluminación zona rural	29
4.1.1	Simulación de iluminación zona rural tipo sodio	30
4.1.2	Simulación de iluminación zona rural tipo LED	31
4.2	Simulación de iluminación zona urbana	32
4.2.1	Simulación de iluminación zona urbana tipo sodio	33
4.2.2	Simulación de iluminación zona urbana tipo LED.....	36
4.3	Simulación de iluminación zona vial	38
4.3.1	Simulación de iluminación zona vial tipo sodio.....	38
4.3.2	Simulación de iluminación zona vial tipo LED	40
4.4	Análisis económico.....	41
4.4.1	Economía en valores operativos y manutención del proyecto	42
4.4.2	Valorización del consumo energético.....	43
4.4.3	Cuantificación del ahorro por consumo eléctrico con tecnologías actuales.....	43
4.4.4	Valorización del ahorro por reducción de emisiones debido a gases de efecto invernadero.....	44
4.4.5	Cuantificación del ahorro de emisiones.....	44
4.4.6	Estudio de rentabilidad.....	45
4.4.7	Cuantificación por costo de mano de obra	46
4.4.8	Tarifa de compra de energía y datos básicos de operación del servicio de alumbrado	46
4.4.9	Calculo del consumo energético	47
4.4.10	Calculo de los costos de energía por consumo eléctrico.....	50
4.4.11	Parámetros actuales de las vías en las zonas de estudio	50
4.4.12	Parámetros propuestos con la tecnología LED	51

4.4.13 Costos de la situación actual y propuesta	51
4.4.14 Ahorro energético	53
4.4.15 Tiempo de vida del proyecto	55
4.4.16 Análisis económico de las alternativas	55
4.4.17 Comparación de indicadores de ambas alternativas propuestas..	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	63

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
LUM	Luminaria
MANT	Mantenimiento
Uo	Uniformidad global
UI	Uniformidad lineal
TI	Incremento de umbral
SR	Relación de alrededores
CONELLEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
CNEL EP	Corporación Nacional de Electricidad
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
CIE	Comisión Internacional de Iluminación
LED	Diodo emisor de luz
AP	Alumbrado Público
IP	Protección de ingreso
GPS	Sistema de posicionamiento global
PWM	Modulación de ancho de pulso
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
CIE	Comisión Electrotécnica Internacional

SIMBOLOGÍA

W	vatio
Hz	Hercios
Mg	Miligramo
Kw	Kilovatios
Kwh	Kilovatio - hora
m	Metro
MW	Megavatio
MWh	Megavatio – hora
Mhz	Megahercios
Na	Sodio
Lm	Lúmenes
V	Voltios
Ton	Toneladas
CO2	Dióxido de Carbono
CRI	Índice de rendimiento cromático
°K	Grados kelvin
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Formas de bulbos de luminarias de sodio [5]	9
Figura 2.2 Luminarias tipo LED [7].	10
Figura 3.1 Metodología para el diseño de alumbrado público [2]	13
Figura 3.2 Sector Recinto Santa Martha “ La Unión”	15
Figura 3.3 Sector Céntrico	15
Figura 3.4 Ubicación Puente de la Unidad Nacional	16
Figura 3.5 Sistema de telegestión [11]	25
Figura 3.6 Base 7 pines fotocélula	25
Figura 3.7 Fotocélula esclavo	25
Figura 3.8 Fotocélula maestro.....	26
Figura 4.1 Disposición zona rural	29
Figura 4.2 Resultados de simulación zona rural tipo sodio	30
Figura 4.3 Colores falsos luminaria sodio.....	31
Figura 4.4 Simulación zona rural tipo LED	31
Figura 4.5 Colores falsos luminaria LED zona rural	32
Figura 4.6 Disposición zona urbana	33
Figura 4.7 Simulación zona urbana tipo sodio alta presión (calzadas)	34
Figura 4.8 Simulación zona urbana tipo sodio alta presión (peatonales).....	35
Figura 4.9 Colores falsos luminaria sodio zona urbana	35
Figura 4.10 Simulación urbana tipo LED (calzadas).....	36
Figura 4.11 Simulación urbana LED (peatonal).....	37
Figura 4.12 Colores falsos luminaria LED zona urbana.....	37
Figura 4.13: Disposición Vial.....	38
Figura 4.14 Simulación zona vial tipo sodio alta presión	39
Figura 4.15: Colores falsos luminaria sodio zona vial.....	39
Figura 4.16 Simulación zona vial tipo LED	40
Figura 4.17 Colores falsos luminaria LED vial	40
Figura 4.18 Beneficios de los tipos de proyectos	41
Figura 4.19 Costo total en mantenimiento.....	53
Figura 4.20 Costo consumo de energía anual de las tres zonas de estudio	54

Figura A0.1 Disposición unilateral	66
Figura A0.2 Disposición central doble	66
Figura A0.3 Disposición bilateral alterna	67
Figura A0.4 Disposición bilateral opuesta sin parterre.....	67
Figura A0.5 Disposición bilateral opuesta con parterre central.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Definiciones significativas [2].....	5
Tabla 2.2 Parámetros Fotométricos para tráfico motorizado [3]	6
Tabla 2.3 Parámetros fotométricos área peatones [3]	7
Tabla 2.4 Parámetros fotométricos para sistemas especiales [3]	8
Tabla 2.5 Características de las luminarias de sodio y LED [7], [5]	11
Tabla 3.1 Alumbrado público actual en las diferentes zonas de estudio.....	17
Tabla 3.2 Ficha técnica luminarias LEDs a proponer en zona vial.....	19
Tabla 3.3 Ficha técnica luminarias LEDs a proponer zona urbana y rural	20
Tabla 3.4 Características técnicas dispositivo de telegestión [11]	28
Tabla 4.1 Datos generales simulación en la zona rural	29
Tabla 4.2 Datos generales simulación urbana	33
Tabla 4.3 Datos generales simulación vial	38
Tabla 4.4 Valores por mano de obra por sustitución	46
Tabla 4.5: Valores por mano de obra por reposición	46
Tabla 4.6 Datos de operación – estudio económico	47
Tabla 4.7 Datos producto tradicional	47
Tabla 4.8 Consumo energético estimado para luminaria de sodio	48
Tabla 4.9 Datos de la luminaria LED	48
Tabla 4.10 Consumo energético LED alumbrado público por luminaria	49
Tabla 4.11 Consumo energético para la totalidad de luminarias en cada zona	49
Tabla 4.12 Costos del consumo energético estimado en luminarias de sodio	50
Tabla 4.13 Costo de energía de luminaria LED estimado	50
Tabla 4.14 Parámetros de situación actual	51
Tabla 4.15 Parámetros de situación propuesta con luminaria LED	51
Tabla 4.16 Luminaria tradicional costo – consumo.....	52
Tabla 4.17 Luminaria LED costo – consumo con dimerización	53
Tabla 4.18 Calculo del ahorro de energía	54
Tabla 4.19 Indicadores de la alternativa #1	56
Tabla 4.20 Indicadores de la alternativa # 2.....	57
Tabla 4.21 Resultados Finales	58
Tabla A0.1 Tabla comparativa de potencias entre tecnologías de iluminación	63

Tabla A0.2 Valores Vps seleccionados para zonas rural y urbana motorizadas [3]..	64
Tabla A0.3 Valor Vps seleccionado para zona urbana peatonal	65
Tabla A0.4 Precios de luminarias con sistemas de telegestión en zonas de estudio	68
Tabla A0.5 Emisiones CO2	69
Tabla A0.6 Flujo de caja del proyecto cuando se usa luminarias de sodio	70
Tabla A0.7 Flujo de caja del proyecto cuando se usa la tecnología LED	71

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el consumo de energía eléctrica del alumbrado público representa aproximadamente el 5,68% de la demanda del sistema nacional interconectado siendo este rubro uno de los más importantes del consumo de energía eléctrica del país [1].

Anteriormente en las empresas distribuidoras se usaban luminarias de mercurio de alta presión las cuales representaban un alto índice de pérdidas eléctricas, protección e iluminación baja. Estas luminarias están siendo reemplazadas por luminarias de sodio tipo reactor encapsulado que tienen menores pérdidas a las ya mencionadas en el sistema de alumbrado público.

En los últimos años, los avances tecnológicos en el área de alumbrado público han ido de la mano con la necesidad de obtener mejoras en eficiencia energética, así como también mejorar en la iluminación, por tal motivo una de las nuevas tecnologías a implementarse es el uso de luminarias tipo LED (lighting emisor diode), que permiten tener un ahorro energético y una mejor intensidad lumínica a una menor potencia comparadas con las luminarias de sodio. El proceso de implementar tecnología nueva se lleva a cabo de manera bastante lenta, porque las nuevas tecnologías generalmente son más costosas en su adquisición.

Es importante analizar los beneficios técnicos de iluminación, ahorro energético y confort visual que proporcionan las luminarias tipo LED a las luminarias existentes de sodio de alta presión para alumbrado público tanto en zonas urbanas, rurales y carreteras.

1.1 Descripción del problema

El problema que se presenta en cuanto al alumbrado público en las diferentes zonas donde existe iluminación y teniendo de base estudios realizados con anterioridad por terceros nos arrojan índices negativos tanto de intensidad lumínica como consumo energético, esto refleja el descontento de los usuarios en la iluminación de vías, zonas urbanas y zonas rurales.

El alumbrado público en las vías permite una mejor visualización de obstáculos como al reconocimiento de señales de tránsito por parte del conductor, de aquí nace la necesidad de crear un mejor espectro de luz el cual ayudara al conductor y transeúntes a tener una correcta visión de la tonalidad de colores en los anuncios o señales de tránsito.

Las luminarias eficientes es un tema que va tomando una alta demanda por lo que las instalaciones de luminarias LED es una opción no solo excelente al momento de hablar de ahorro energético sino también de intensidad lumínica de modo que este sistema al momento de su implementación brinda una luz mucho más blanca, clara (también hay lámparas LED de luz cálida) y una mejor distribución fotométrica que con luminarias de sodio que da una luz amarilla y opaca.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el Impacto técnico debido al uso de luminarias LED para el servicio de alumbrado público.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer los costos a generarse para realizar dicha implementación.
- Proyectar los resultados a corto y largo plazo en función de la aplicabilidad para el uso de luminarias LED.
- Determinar en qué sectores resulta más beneficioso empezar la utilización de estas luminarias.

CAPÍTULO 2

2. ALUMBRADO PÚBLICO EN EL CONTEXTO ACTUAL

El alumbrado público es el servicio que se presta proporcionando la iluminación apropiada de los bienes de uso público y demás espacios de libre circulación. Debe permitir a los vehículos y peatones transitar en la noche con la seguridad y comodidad parecida como si se lo hiciera durante el día [2].

El alumbrado público tiene tres principales propósitos que se ira abordando en los siguientes puntos:

- a) Permitir a los usuarios de motociclistas, automotores, bicicletas y otros, que transiten sobre la vía pública.
- b) Permitir a los peatones ver los riesgos que se tienen al frente y brindarles seguridad.
- c) Mejorar la apariencia del medio ambiente en la noche.

Los cálculos para determinar la iluminación se realizarán siguiendo la regulación CONELEC 005/14 la cual se basa siguiendo los criterios en las publicaciones CIE 115-1995 "Recomendaciones para el alumbrado de carreteras con tráfico motorizado y peatonal" y CIE 140-2000 "Métodos de cálculo para la iluminación de carreteras" avaladas internacionalmente.

2.1 Conceptos básicos

Para realizar estudios de luminosidad es necesario tener bien claro algunas definiciones, las cuales serán explicadas con la ayuda de la regulación CONELEC 005/14 [3].

PARÁMETROS	DEFINICIÓN
Flujo luminoso	Cantidad de energía emitida por una fuente de luz por segundo. La unidad es representada por el lumen cuya abreviatura es (lm), y su simbología es la letra griega Φ (Fi).
Illuminancia	Relación entre el flujo luminoso y la superficie o área la cual recibe el flujo luminoso La unidad de medida es el lux (lumen/m ²), su simbología es la letra E. $E = \frac{\Phi}{S} \quad (2.1)$
Intensidad luminosa	Relación entre el flujo luminoso emitido en una determinada dirección y el ángulo solido (Ω) que lo contiene. La unidad de medida es la candela (cd). $I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (2.2)$
Luminancia	Intensidad luminosa emitida en una dirección determinada por una superficie iluminada. La unidad de medida es (candela / metro cuadrado). $L = I * \frac{1}{S * \cos\beta} \quad (2.3)$
Eficiencia luminosa	Relación entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica absorbida por una lampara. La unidad de medida es (Lumen/vatio), su simbología es la letra griega ϵ . $\epsilon = \frac{\Phi}{W} \quad (2.4)$
Luminancia promedio de la calzada	Se calcula como el promedio aritmético de las luminancias obtenidas. Su simbología es (Lav) y su cálculo se realiza de acuerdo con la norma CIE 140-2000.
Uniformidad general de luminancia de la calzada	Relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía. Su simbología es U_o $U_o = \frac{L_{min}}{L_{med}} \quad (2.5)$
Uniformidad longitudinal sobre la calzada	Relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima medidas en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril de circulación y estas se lo realiza de acuerdo con la norma CIE 140-200 $U_L = \frac{L_{min} \text{ longitudinal}}{L_{max} \text{ longitudinal}} \quad (2.6)$

Deslumbramiento	<p>Es el incremento de umbral (TI), el cual se calcula para el estado inicial de la instalación. Su fórmula es:</p> $TI = \frac{k \cdot E_e}{L_{av} \cdot \theta^2} \quad (2.7)$ <ul style="list-style-type: none"> • k constante que varía con la edad del observador donde el valor definido es 650 para un observador de 23 años. • E_e es la iluminancia total inicial • θ ángulo en grados entre la línea de visión y el centro de cada luminaria
Relación de alrededores	<p>Relación entre la iluminancia promedio en franjas de cinco metros de ancho adyacentes a los lados de la calzada. En calzadas dobles, ambas se tratan como si fuesen una sola, a menos que este separado a más de 10 m.</p>
Curva polar	<p>Curva que visibiliza la intensidad luminosa en un plano (que pasa a través de la fuente de luz) en función del ángulo (medido en ese plano) de una dirección de referencia dada.</p>
Factor de mantenimiento	<p>Calculo de la luminancia e iluminancia después de un tiempo donde es tomado en cuenta la hermeticidad de la luminaria, la depreciación del flujo luminoso de la lampara, los niveles de contaminación y el periodo de limpieza de la luminaria.</p>

Tabla 2.1 Definiciones significativas [2]

2.2 Vías con tráfico motorizado

A continuación, se describirá como se calcula la clase de iluminación para tráfico motorizado y el respectivo parámetro fotométrico para la clase de iluminación seleccionada.

2.2.1 Clase de iluminación según las vías

Se lo calcula con la siguiente formula:

$$M = (6 - \sum V_{ps}) \quad (2.8)$$

Dónde:

- M representa la clase la cual va desde M1- M6
- $\sum V_{ps}$ es el sumatorio de los valores de ponderación seleccionados los cuales son escogidos en la Tabla A0.2 de anexos

Si la sumatoria no es un número entero, se acerca al menor valor de la sumatoria [3]. Ver anexo A2

2.2.2 Parámetros fotométricos en vías

Los parámetros fotométricos por usar para las diferentes clases de iluminación se contemplan en la Tabla 2.2 obtenidos de la regulación CONELEC 005/14.

Clase de Iluminación	Tipo de Superficie				Incremento de Umbral	Relación de alrededor
	Seco		Mojado			
	$L_{av}(\frac{cd}{m^2})$	U_0	U_L	U_0	Ti(%)	SR
M1	2,0	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M5	0,50	0,35	0,4	0,15	15	0,5
M6	0,30	0,35	0,4	0,15	20	0,5

Tabla 2.2 Parámetros Fotométricos para tráfico motorizado [3]

2.3 Vías peatonales

A continuación, se describirá como se calcula la clase de iluminación para una vía peatonal y el respectivo parámetro fotométrico para la clase de iluminación seleccionada.

2.3.1 Clase de iluminación según las vías

Se lo calcula con la siguiente formula:

$$P = (6 - \sum V_{ps}) \quad (2.9)$$

Dónde:

- P representa la clase la cual va desde P1- P6
- $\sum V_{ps}$ es el sumatorio de los valores de ponderación seleccionados los cuales son escogidos en la Tabla A0.3 de anexos

Si la sumatoria no es un número entero, se acerca al menor valor de la sumatoria [3]. Ver anexo A3

2.3.2 Parámetros fotométricos vías peatonales

Los parámetros fotométricos por usar para las diferentes clases de iluminación se contemplan en la Tabla 2.3 obtenidos en la regulación CONELEC 005/14.

Clase de Iluminación	Tipo de aplicación	
	Iluminación Horizontal (lx) referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio	Mínimo
P1	15	3
P2	10	2
P3	7,50	1,50
P4	5	1
P5	3	0,60
P6	2	0,40

Tabla 2.3 Parámetros fotométricos área peatones [3]

2.4 Sistemas especiales de iluminación

Se describirá como se calcula la clase de iluminación para un sistema considerado especial y el respectivo parámetro fotométrico para la clase de iluminación seleccionada.

2.4.1 Clase de iluminación según las vías

Cuando los vehículos se dirigen a lugares usados por transeúntes, ciclistas o beneficiarios de otros caminos, además existe un cambio en la vía como disminución del ancho del carril o calzada [3]. Se lo calcula con la siguiente formula:

$$C = (6 - \sum V_{ps}) \quad (2.10)$$

Dónde:

- C representa la clase la cual va desde C0-C5
- $\sum V_{ps}$ es el sumatorio de los valores de ponderación seleccionados regulación CONELEC 005/14

2.4.2 Parámetros fotométricos sistemas especiales

Los parámetros fotométricos que se usan para las diferentes clases de iluminación se contemplan en la Tabla 2.4, obtenidos en la regulación CONELEC 005/14.

Clase de Iluminación	Iluminancia Promedio E (lux)	Uniformidad de la iluminancia $U_0(E)$	Incremento de Umbral (%)	
			Moderada y Alta Velocidad	Baja y muy baja velocidad
C0	50	0,4	10	15
C1	30		10	15
C2	20		10	15
C3	15		15	20
C4	10		15	20
C5	7,5		15	25

Tabla 2.4 Parámetros fotométricos para sistemas especiales [3]

2.5 Tipos de luminarias

Para alumbrado público se puede encontrar diferentes tipos de luminarias de las cuales sobresalen, las luminarias de sodio de alta presión y luminarias tipo LED, siendo las de sodio de mayor utilización.

Estas luminarias (de sodio) no son óptimas para iluminación de espacios de trabajo dado que sus colores no son los adecuados para una correcta visibilidad de personas u objetos.

2.5.1 Luminarias de sodio de alta presión

Estas lámparas de sodio de alta presión son llamadas lámparas de descarga, teniendo estas como elemento fundamental el mercurio y en mayor porcentaje sodio [4].

Las encontramos de varios tipos:

- De bulbo elipsoidal difundente.
- De bulbo tubular de vidrio claro.
- De bulbo tubular de cuarzo y dos patas de conexión.

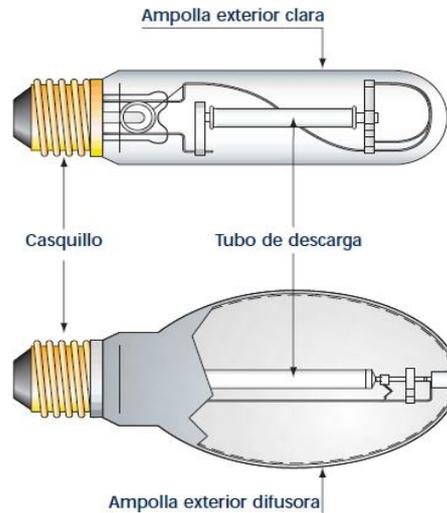


Figura 2.1 Formas de bulbos de luminarias de sodio [5]

La figura 2.1 muestra la forma de los distintos tipos de bulbos de lámparas de sodio entre estos, los elipsoidales en la parte inferior y tubular en la superior de la figura.

Los haces de luz de estas lámparas dan un color “dorado” pero usualmente le llaman “amarillo fuerte”. Este tipo de luminarias son usadas regularmente en áreas donde la tonalidad de colores no es muy importante, de ahí que se utilizan como solución de alumbrado público de vías, parques etc. [5].

2.5.2 Luminarias LED

Los sistemas de alumbrado tipo LED representan una tecnología bastante atractiva, teniendo como toda tecnología sus ventajas basándose fundamentalmente en la eficacia lumínica.

Como requerimiento principal en los diseños de luminarias en general, es cumplir con la eficaz distribución del espectro lumínico en las carreteras o vías. El común de luminarias LED es tener espectro luminoso distribuido simétricamente, conllevan 120° en su apertura orientada desde el medio hacia el sector frontal de la luminaria [6].



Figura 2.2 Luminarias tipo LED [7].

La figura 2.2 muestra las posiciones uniformes de los LEDs dentro de la luminaria.

A continuación, en la tabla 2.5 se detalla con mayor hincapié las diferencias entre luminarias de sodio de alta presión y luminarias tipo LED.

Características de las luminarias	
Sodio alta presión	LED
Bajo costo relativamente	El costo es aproximadamente 2.25 veces el valor de una luminaria de sodio
Alta generación de calor	Poca generación de calor
Existencia de radiaciones ultravioletas	Eliminación de radiaciones ultravioletas e infrarrojas
Tiempo de repuesta al encendido con retardo de tiempo. Se necesita que el bulbo caliente, el tiempo de encendido aproximado es 9 a 10 minutos. En el caso de interrupción del	Tiempo de respuesta al encendido instantáneo

suministro de energía el reencendido en caliente toma de 4 a 5 minutos.	
Mayor uso de recursos económicos en constantes mantenimientos	Economía en los mantenimientos, usualmente pocos.
Tienen como elemento fundamental el mercurio (10-50 mg)	NO contienen mercurio (0 mg)
Vida útil aproximado de 24000 horas (dependiendo la marca de fabricación)	Vida útil aproximado de 50000 horas (dependiendo la marca de fabricación)
Nula presencia de armónicos	Presencia de armónicos
Consumo energético alto	Eficiencia energética
Funcionamiento adecuadamente en temperaturas bajas (aproximado 40 °C)	Funcionan adecuadamente en temperaturas muy bajas
Luz amarillo fuerte	Luz blanca con alto índice de reproducción de color, que no lo tiene el sodio.
Contiene solo un electrodo principal	No posee electrodo
Índice de rendimiento cromático (CRI) menor al 20 %	Índice de rendimiento cromático del 60% – 80% permitiendo una mejor visibilidad al ojo humano referente a la luminaria tipo LED
Eficiencia luminosa entre 80 – 130 (lúmenes/ watts)	Eficiencia luminosa mayor a 110 (lúmenes / watts)
Existen pocos flickers en su funcionamiento	No existe flickers
Temperatura del color entre 2000 °K – 3500 °K	Temperatura del color entre 3000 °K – 6000 °K
Temperatura de funcionamiento 350 °C	Temperatura de funcionamiento 40 °C
Factor de potencia considerado en CNEL Guayas - Los Ríos 0.92	Factor de potencia considerado en CNEL Guayas - Los Ríos 0.98

Tabla 2.5 Características de las luminarias de sodio y LED [7], [5]

2.6 Iluminación inteligente

Existen varios estudios referentes al campo de iluminación inteligente de los cuales se mencionarán dos estudios que mediante una red de comunicación realizan un ahorro energético.

2.6.1 Sistema de monitoreo inteligente utilizando la red ZigBee

Este sistema se basa en el uso de estaciones de observación en cada poste los cuales se comunicarán a una estación base que recopilara toda la información que se envié desde el poste mediante una red ZigBee. Las estaciones en cada poste enviaran información como la intensidad de luz solar, las condiciones de la calle, si la luminaria está funcionando o se encuentra averiada.

Una red ZigBee es una tecnología de comunicación inalámbrica basada en el estándar IEEE802.15.4 para la comunicación entre múltiples dispositivos en una red de área personal inalámbrica (WPAN). El sistema esta comunicado en cadena, es decir, la información se transmite de una luminaria a otra mediante una sola dirección IP y si existe una falla no se romperá la comunicación [8].

2.6.2 Control de luminarias de alumbrado público mediante red WSN

Alexandru Lavric, Valentin Popa y Stefan Sfichi [9] presentaron un sistema basado en una red WSN a gran escala que permite el control remoto de las lámparas de alumbrado público produciendo un ahorro energético y mantenimiento. El sistema usa sensores Doppler integrados que permite la detección de vehículos y peatones para controlar la intensidad de luz de las lámparas a un nivel predeterminado, con la finalidad de no afectar a la seguridad del tráfico por carretera. Por otra parte, el sistema utiliza sensores de corriente con el fin de permitir la identificación de cualquier avería.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

La zona de estudio en la que se enfocará este proyecto es el área de concesión de CNEL EP Guayas – Los Ríos, específicamente la ciudad de Durán donde se analizará los diferentes impactos por la transición de la tecnología en alumbrado público actual (sodio alta presión) a tecnología LED que se la considera como luminarias eficientes en áreas como zona urbana, zona rural y vías o carreteras.

En este capítulo indicaremos todo lo referente a la información que se utilizará, para el estudio lumínico usaremos el software DIALux.

3.1 Metodología para el diseño de iluminación de alumbrado exterior

La estructura por seguir la detallaremos a continuación:



Figura 3.1 Metodología para el diseño de alumbrado público [2]

La figura 3.1 representa los pasos a seguir para la realización de un diseño de alumbrado público.

3.1.1 Análisis del proyecto

En el proyecto de iluminación para diseñar se inicia con la recolección de información necesaria para saber la demanda emocional, la demanda estética, la demanda de seguridad, el espacio físico y sus condiciones [2].

La demanda emocional aparece por que la luz influye en los estados de ánimos y sensación de bienestar.

La demanda estética considera a lo posible fomentar ambientación visual, ornamentación, caracteres físicos y arquitectónicos del ambiente.

La demanda de seguridad se verifica en base al funcionamiento de las luminarias para los transeúntes y carros en condiciones normales y extremas como emergencias.

Al diseñar hay que percatarse del uso de las diferentes restricciones normativas y reglamentarias, ya sea por seguridad o por tener las disponibilidades de estructuras a utilizar, sin olvidar las variaciones energéticas y económicas del proyecto [2].

3.1.2 Planificación básica

Con los datos recopilados de la etapa anterior se realiza un análisis y se establece un perfil para satisfacer la variedad de demandas del lugar que se trabajará. Se desarrollará las ideas básicas del diseño sin precisar por ejemplo características específicas de la selección de luminarias. Cabe recalcar, que en éste paso se seleccionara el sistema de alumbrado, haciendo uso de alumbrado natural y la forma de trabajo con la iluminación artificial [2].

3.1.3 Diseño detallado

Este punto es fundamental en el diseño de alumbrado exterior, donde se debe utilizar aspectos específicos del proyecto:

- Elección de la luminaria a utilizar.
- El sistema de montaje y diagramación del diseño geométrico.
- Los comandos y controles eléctricos, sistema de alimentación.
- Instalación de luminarias de emergencia en caso de que se requiera.

Presupuesto del proyecto y análisis económico

Se presentará al menos estos documentos:

- Distribución de luminarias y planos del montaje

3.2 Área de trabajo

Se especificarán las zonas a las que se enfocará el proyecto con la respectiva ubicación geográfica.

Zona Rural

Lugar apartado de la zona céntrica de Durán conocido como “La Unión”, el cual carece de una iluminación eficiente, sus coordenadas es latitud: 630929.112 y longitud: 9748302.907. La imagen muestra una descripción más específica de la zona de estudio.

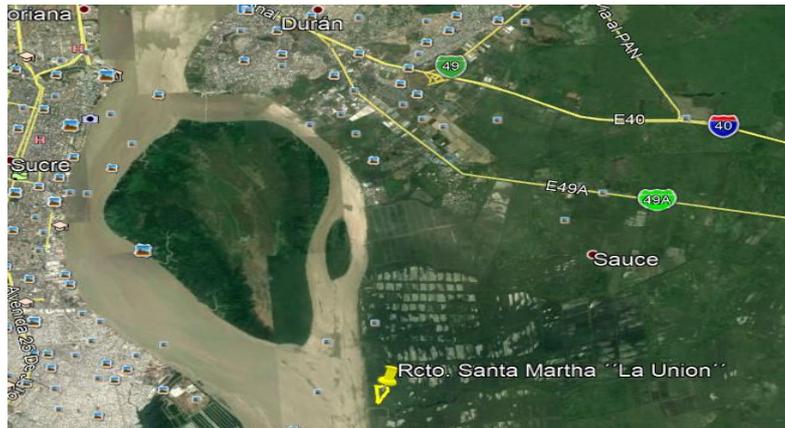


Figura 3.2 Sector Recinto Santa Martha “ La Unión”

En la figura 3.2 se encuentra la zona de estudio rural “ La Unión”, señalada con el triángulo amarillo, hacia el sur de Durán.

Zona Urbana

El área escogida para el análisis es la comprendida en el sector céntrico de Durán, la línea roja representa la Av. Amazonas que se intercepta con las calles Jaime Nebot Velasco y Av. Samuel Cisneros.



Figura 3.3 Sector Céntrico

En la figura 3.3 se especifica la zona de estudio, zona urbana

Zona Vial o Carretera

La zona vial o carretera escogida comprende el puente de la Unidad Nacional que está entre las ciudades Guayaquil – Samborondón (La Puntilla) y los dos puentes sobre el río Babahoyo, Samborondón (La Puntilla) – Durán.

Solo se tomará en cuenta tres puentes, debido a que en uno ya se encuentra iluminación tipo LED.



Figura 3.4 Ubicación Puente de la Unidad Nacional

En la figura 3.4 se muestra la ubicación de la zona vial o carretera

3.3 Información técnica del alumbrado público actual

Las luminarias ubicadas actualmente en las diferentes zonas de estudio son:

- Luminaria Roy Alpha Colombia (Amazonas VP) en la zona rural
- Luminaria Roy Alpha Colombia (Andes) en la zona urbana
- Luminaria Cobrahead series 115 cutoff style zona vial

En la Tabla 3.1 se detallan las características técnicas de cada luminaria según la zona.

Ficha técnica			
			
	Roy Alpha Colombia (Amazonas VP) Zona Rural	Roy Alpha Colombia (ANDES) Zona Urbana	Cobrahead series 115 cutoff style Zona Vial
Voltaje	208/220/240 V	220/240 V	208/277 V
Frecuencia	60 Hertz	60 Hertz	60 Hertz
Potencia	100 W	150 W	250 W
Potencia+ Perdidas	115 W	169 W	279 W
Tipo	Sodio	Sodio	Sodio
Vida Útil	25000 H	25000 H	25000 H
Conjunto Óptico	IP 65	IP 66	IP 66
Conjunto Eléctrico	IP 65	IP 66	IP 44
Resistencia al impacto	IK 08	IK 08	IK 08
Temperatura de Color	2000 °K	2000 °K	2000 °K
Tiempo de Encendido	5 segundos	5 segundos	5 segundos
Flujo Luminoso	10500 lumes	18000 lumes	33000 lumes
Eficiencia Luminosa	105 lm/W	110 lm/W	132 lm/W
Factor de potencia	0,92	0,92	0,92
Tamaño (mm)	460*236*190	512*231*228	686*330*165
Costo	\$ 103,88	\$ 165,04	\$ 206,51

Tabla 3.1 Alumbrado público actual en las diferentes zonas de estudio

3.4 Propuesta luminarias tipo LED

Las propuestas de luminarias tipo LED en el sector de Durán se analizarán según las siguientes características principales:

- Vida útil
- Eficiencia luminosa
- Flujo lumínico
- Características fotométricas
- Precio
- Factor de potencia
- Armónicos
- Voltaje

Se tomará en cuenta tres tipos de marcas de luminarias tipo LED y según las características anteriormente mencionadas se escogerá la más adecuada.

En las tablas de características técnicas de cada una de las zonas de trabajo llamaremos de aquí en adelante a la luminaria Shark LED la primera opción, a la luminaria LEDEX la segunda opción y a la luminaria ZGSM TECH (H) la tercera opción.

Para la selección de las luminarias LED en las zonas elegiremos desde dos aristas específicas como son el criterio técnico y el criterio económico.

En el criterio técnico se hace referencia al nivel de voltaje que se trabajara para las diferentes zonas estudiadas debido a que se tienen diferentes niveles de voltaje de operación y la frecuencia varía dependiendo el país en el que se trabaje siendo 60 hertz para Ecuador.

En el criterio económico se escogerá únicamente la opción de menor costo de entre las tres opciones.

Características técnicas			
			
	Luminaria Shark LED (P26933-36)	Luminaria LED LEDEX (B4102)	Luminaria LED ZGSM TECH(H)
Voltaje	100-277 VAC	90-305 VAC	100/240/277 VAC
Frecuencia	50 - 60 Hertz	50 - 60 Hertz	50-60 Hertz
Potencia	110 W	120 W	135 W
Vida Nominal Promedio	100000 H	50000 H	50000 H
Temperatura de Color	5000 °K	5000 °K	5000 °K
Tiempo de Reencendido	1 – 2 seg	1 – 2 seg	1 – 2 seg
Flujo luminoso	9900	15000	14850
Eficiencia luminosa	110 (lm/w)	≥100 (lm/w)	110 (lm/w)
Índice de Reproducción Cromática	70	80	70
Factor de Potencia	>0.95	>0.95	>0.95
Distorsión Armónica Total (THD)	<20 %	<20 %	<20 %
Tamaño (mm)	690*305*135	503*340*120	705*316*136
Precio	\$ 333 + IVA	\$ 372 + IVA	\$ 427 + IVA

Tabla 3.2 Ficha técnica luminarias LEDs a proponer en zona vial

En la Tabla 3.2 se presentan las características técnicas de las luminarias LED de la zona vial, las opciones trabajan a diferente potencia, la primera opción es la de mayor ahorro energético por menor consumo eléctrico, sin descuidar la eficiencia luminosa que es similar a las otras opciones. Desde el punto de vista de precios de las luminarias la primera opción es la de menor costo.

Características técnicas			
			
	Luminaria Shark LED (P26534-36)	Luminaria LED LEDEX (B4120)	Luminaria LED ZGSM TECH(H)
Voltaje	100-277 VAC	110-240 VAC	100/240/277 VAC
Frecuencia	50 - 60 Hertz	50 - 60 Hertz	50-60 Hertz
Potencia	60 W	60 W	65 W
Vida Nominal Promedio	100000 H	50000 H	50000 H
Temperatura de Color	5000 °K	5000 °K	3000-4000-5700 °K
Tiempo de Reencendido	1 – 2 seg	1 – 2 seg	1 – 2 seg
Flujo luminoso	6600	6000	7150
Eficiencia luminosa	110 (lm/w)	>= 100 (lm/w)	110 (lm/w)
Índice de Reproducción Cromática	70	80	70
Factor de Potencia	>0.95	>=0.95	>0.95
Distorsión Armónica Total (THD)	<20 %	<20 %	<20 %
Tamaño (mm)	690*305*135	433*340*120	504*316*136
Precio	\$ 279 + IVA	\$ 283 + IVA	\$ 290 + IVA

Tabla 3.3 Ficha técnica luminarias LEDs a proponer zona urbana y rural

El tiempo de vida juega un papel importante al momento de la elección, teniendo la primera opción de mayor tiempo de vida respecto a las otras opciones. La primera opción sería la de menor costo.

La luminaria en la zona urbana y rural para el proyecto será elegida por el tiempo de vida, de manera que la primera opción es la más sustentable o durable porque en características técnicas son similares todas las opciones. Por lo que elegiremos la primera opción siendo esta última la de menor costo.

3.5 Luminaria Shark LED

Anteriormente la opción escogida para la realización del proyecto fue la luminaria Shark LED y en las tablas 3.2 y 3.3 se mencionaron especificaciones técnicas importantes, pero al implementar un equipo electrónico la luminaria podría verse afectada por una falla eléctrica en el suministro de energía y en tal caso la calidad de energía no será la idónea, por tal se mencionará las protecciones contra falla y el sistema inteligente con el que se puede trabajar.

3.5.1 Protección contra fallas en Luminaria LED

Una de las características que destaca el MEER [10] es que toda luminaria LED dentro de sus características técnicas, el controlador electrónico comúnmente conocido como (DRIVER) tenga la protección contra sobrecargas ANSI C62.41.2 y protección contra sobrevoltajes ANSI/IEEE C64.41.2, la luminaria trabaja en una zona de bajo voltaje es decir, con una alimentación menor a 1000 voltios por lo tanto es necesario su protección ante picos de corriente y sobrevoltajes.

Según el MEER [10] toda luminaria LED debe tener una protección de sobrecargas de 10 kA y una protección de sobrevoltajes de 10 kV. La luminaria Shark contempla estos estándares de sobrecarga y sobrevoltajes proporcionando la protección adecuada para su trabajo.

3.5.2 Sistema inteligente

La luminaria Shark tiene la opción de control, dándole la oportunidad de hacer más eficiente la gestión operativa entre las que se destaca:

- Compuesto con un sistema de dimerización por entrada 0 – 10 voltios
- Con los equipos adecuados funciona con un sistema de telegestión inalámbrica

- Disponible para el funcionamiento con o sin fotocélula

3.6 Disposición de luminarias

Al iniciar el diseño es necesario conocer la disposición de las vías para de esta manera realizar la colocación correcta del alumbrado público. La localización de las luminarias está relacionada con el ancho de vía (W), con los requerimientos lumínicos de la vía, con la altura del montaje (H) de las luminarias, con el perfil de la vía, la proximidad a redes de AV, MV (cumpliendo con la Regulación 002-10 del CONELEC), líneas férreas, etc. [2]

La interdistancia de localización de los postes de alumbrado (S) será obtenida del estudio fotométrico de iluminación de la vía. La interdistancia solo cambiara si acaso existen obstáculos tales como sumideros de alcantarillas, rampa de acceso a garajes, interferencia con redes de servicio público, etc. [2]

Se conocen distintas disposiciones de alumbrado público y entre las que se tiene actualmente:

- Disposición Unilateral (zona rural)
- Disposición Central Doble (zona urbana)
- Disposición Bilateral Alterna
- Disposición bilateral opuesta sin parterre (zona vial)
- Disposición bilateral opuesta con parterre (zona urbana)

3.7 Software de simulación

El software que permitirá la simulación de la disposición de las luminarias como la vía que se tome en cuenta será DIALux.

DIALux es un software de DIAL completamente gratuita su descarga, este software permite crear proyectos de iluminación profesionales comúnmente usado por miles de diseñadores de iluminación en todo el mundo e implementado en iluminación interior y exterior. El software no solo brinda la capacidad para la validación de datos de iluminación, sino que cuenta

con una opción de visualización del proyecto en tres dimensiones para diferentes marcas de luminarias a nivel mundial.

3.8 Cálculo de iluminación para situación actual

En el cálculo del alumbrado público se tomará en cuenta el método del flujo luminoso, comúnmente usado por el software de simulación y en este caso necesario para las estructuras que se encuentran colocadas.

3.8.1 Zona rural

El sector rural se cuenta con un sistema de iluminación de 13 luminarias de sodio de alta presión de 100 w (10500 lm).

Los valores Vps para seleccionar el tipo de vía serán detallados en el anexo A2, según las características este tipo de vía es considerada como vía M5, donde los datos son escogidos según la regulación CONELEC 005/14.

Los parámetros fotométricos para el tipo de vía M5 según la regulación CONELEC 005/14 son abordados en la Tabla 2.4.

3.8.2 Zona Urbana

En el sector urbano se cuenta con un sistema de iluminación de 94 luminarias de sodio de alta presión de 150 w (18000 lm).

Según las características, este tipo de vía es considerada como vía M3, donde los datos son según la regulación CONELEC 005/14 Tabla 2.3 y los valores Vps para la zona urbana motorizada se detallarán en el anexo A2. En el anexo A3 se tendrán los valores Vps detallados para la zona urbana peatonal y los parámetros fotométricos en la zona peatonal P1 se detallan en la Tabla 2.5.

La disposición del alumbrado público urbano en la zona de estudio (Av. Amazonas) está dividida en la siguiente configuración:

Desde Av. Manuel Cisneros hasta la calle Jaime Nebot la disposición del alumbrado es bilateral opuesta con parterre y disposición central doble.

3.8.3 Zona Vial

En el sector vial se cuenta con un sistema de iluminación de 440 luminarias de sodio de alta presión de 250 w (33000 lm) en los puentes sobre el río Babahoyo, Durán - La puntilla (Samborondón), 110 luminarias en el puente sobre el río Daule desde Guayaquil a La puntilla (Samborondón), dando un total de 550 luminarias.

Según las características este tipo de vía es considerada como vía M1 debido a que es considerada una vía rápida, donde los datos Vps se escogen según la regulación CONELEC 005/14 y se muestran en el anexo A2. Los parámetros fotométricos para el tipo de vía M1 es detallado en la Tabla 2.4.

3.9 Telegestión de alumbrado público

El sistema de telegestión nos permite monitorear y administrar el alumbrado público remotamente utilizando tecnología de Smart Grid, se lo implementara en las luminarias Shark LED.

Entre las características principales del sistema de telegestión se tiene:

- Reportar fallas remotamente
- Mide el consumo con alta precisión
- Maneja el encendido y apagado de las luminarias
- Ahorra energía
- Maneja inventario y ubicación de las luminarias

Otros beneficios que brinda el sistema de telegestión:

- Ahorra los costos de búsqueda de luminarias con fallas
- Disminuye el número de vehículos con elevador requeridos
- Disminuye el tiempo entre la falla y la reparación
- Disminuye el costo de mantenimiento
- Direcciona el equipo de mantenimiento a las coordenadas GPS de la luminaria a ser reparada
- Atenúa luminarias de LED (hasta 1000 W) por PWM o 0-10 Voltios

3.9.1 Sistema de telegestión

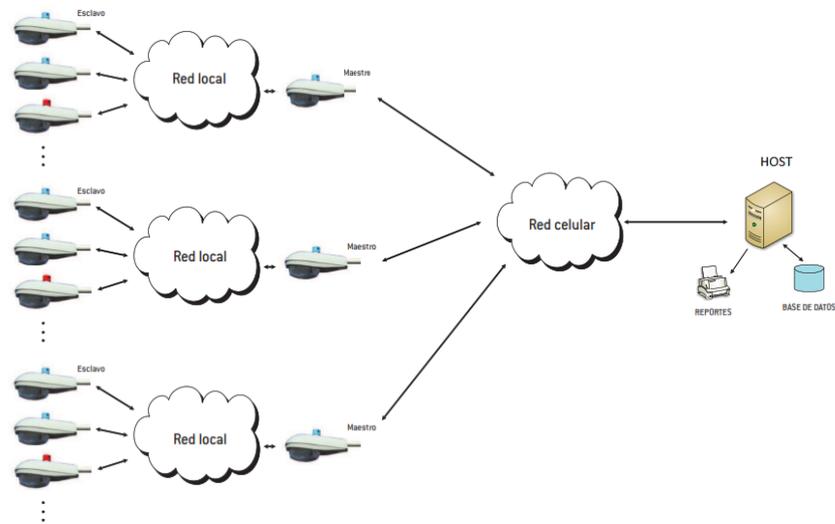


Figura 3.5 Sistema de telegestión [11]

La estructura de comunicación de telegestión es sencilla y se presenta en la figura 3.5



Figura 3.6 Base 7 pines fotocélula

En la figura 3.6 se tiene una representación de la base de la fotocélula la cual tiene 7 pines dando un sistema de comunicación.



Figura 3.7 Fotocélula esclavo

Cada dispositivo llamado esclavo figura 3.7 que se encuentra en las luminarias básicamente la fotocélula, se comunica con otro que esté en el rango de comunicaciones y que a su vez sirven de repetidores de los mensajes hacia y desde el dispositivo maestro. El dispositivo maestro figura 3.8 controla y monitorea todas las luminarias de su red reportando al centro de control vía celular 2G y 3G.



Figura 3.8 Fotocélula maestro

La comunicación dentro de la red local se realizará inalámbricamente a 900 MHz con un protocolo comprobado y robusto como es IEEE 82.15.4 ZigBee. Cada dispositivo maestro garantiza la integridad de la red en su red local [11] .

3.9.2 Control de iluminación

El control del dispositivo de telegestión cuenta con microprocesadores robustos para conservar íntegramente las variables monitoreadas a cada instante. El procesador principal calcula las variables más significativas en la luminaria, además de las necesarias para ver el estado de funcionamiento tales como factor de potencia, corriente, voltaje y consumo de energía. El software con el cual opera este mecanismo puede diferenciar entre condiciones de falla y transitorias, incluso en situaciones de fallas intermitentes [11] .

La luminaria es monitoreada por el software del dispositivo quien controla el encendido o apagado y el nivel de iluminación durante un rango de horas determinadas por el usuario, controlándolas individualmente o en grupo. Si la comunicación entre el computador principal y los dispositivos

de telegestión falla estas siguen cumpliendo con las ordenes ya establecidas.

Las coordenadas geográficas pueden ser incluidas en el software, manualmente o por medio de un GPS y si existiera la falla el reporte es impreso con la coordenada geográfica de la luminaria en falla.

Aparte de estos beneficios del sistema de control se tiene reportes estadísticos con gráficos tales como el porcentaje de luminarias apagadas, encendidas, encendiendo, etc.

3.9.3 Características técnicas de la fotocélula

A continuación, en la tabla 3.4 se especifican características técnicas de la fotocélula a utilizar en la luminaria Shark LED.

Estas características fueron obtenidas de la información brindada por la marca Sylvania.

Sistema de telegestión	
Voltaje	105 – 305 VAC 50 / 60 Hz
Carga máxima	1000 W LED
Dimerización	0 – 10 V o PWM
Vida (número de operaciones del relé)	Más de 50000 operaciones
Temperatura de operación	-40°C a +70(-40°F a +158°F)
Protección de sobretensión	2 varistores de 200J
Protección del circuito de lámpara	Fusible de retardo (opcional)
Protección de los circuitos electrónicos	Fusible reseteable automáticamente
Consumo de potencia	Menos de 2W
Sensor de Luz	Fotodiodo
Luz ambiente para encender	Programable (16 lux por defecto)
Luz ambiente para apagar	Programable (24 lux por defecto)
Relé	Capacidades altas corrientes pico y contactos pre-make
Encendido y apagado por luminosidad ambiente, hora u operación manual	Si

Falla de driver	Por voltaje alto y bajo, corriente alta y baja, bajo factor de potencia
Medición de consumo de potencia de la luminaria	si
Comunicación entre luminarias	900 MHZ (IEEE 82.15.4) ZigBee
Seguridad en las comunicaciones	Algoritmo de cifrado propietario Validación de integridad de los mensajes entre maestros y esclavos
Protocolos	ZigBee o similar entre maestros y esclavos UDP o TCP entre maestros y servidor DNP3 para un SCADA y otros (bajo pedido)
Distancia máxima entre luminarias (para comunicaciones)	100 metros
Distancia máxima entre luminarias en esquina sin repetidores RF (para comunicaciones)	20 metros a cada lado de la esquina
Comunicación entre servidor y maestros	Celular 2G o 3G
Actualización de parámetros remoto	Si
Actualización de Firmware remoto	Si
Medición de voltaje, corriente, potencia y factor de potencia	Si
Operación autónoma en ausencia de comunicaciones	Si
Almacenamiento de eventos en ausencia de comunicaciones	Si
Conector de Base	ANSI C136.41-5/7 contactos
Cumplimiento de normas	NTC 2470, IEC62053-21, IEC62052-11

Tabla 3.4 Características técnicas dispositivo de telegestión [11]

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se ponderan los resultados obtenidos en las simulaciones tanto para luminarias tipo sodio de alta presión existente en la zona de estudio como también para las luminarias tipo LED y se determina si se recomienda sustituir las luminarias por la tecnología LED tomando en cuenta el estudio económico.

4.1 Simulación de iluminación zona rural

Para la realización de la simulación en el software DIALux en el área rural es necesario digitar los siguientes datos que serán ingresados en ambas simulaciones, tanto para la iluminación de sodio de alta presión como para la iluminación LED.

Datos necesarios para la simulación	
Parámetros de vía	Anchura: 7m Cantidad de carriles de tránsito: 2 Revestimiento de la calzada: R3, Q0: 0.07
Disposición de luminaria	Unilateral
Altura de montaje (1)	9 m
Saliente sobre la calzada (2)	1 m
Distancia Mástil-Calzada	0.35 m
Inclinación del brazo (3)	5°
Longitud del brazo (4)	1.5 m
Distancia entre mástiles	50 m

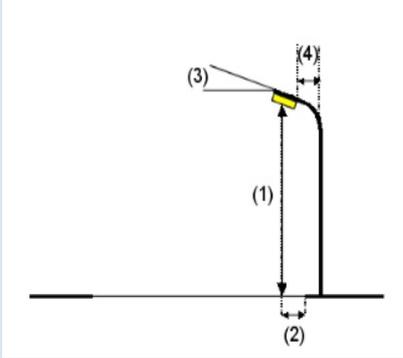
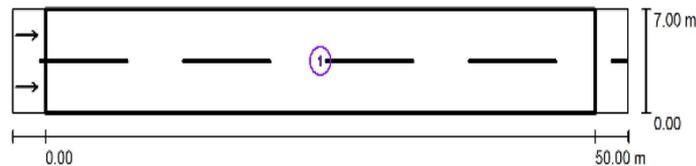


Figura 4.1 Disposición zona rural

Tabla 4.1 Datos generales simulación en la zona rural

4.1.1 Simulación de iluminación zona rural tipo sodio

En la figura 4.2 se presenta los resultados obtenidos en la simulación de la iluminación tipo sodio en la zona rural, los valores de uniformidad general (U0) y uniformidad longitudinal (UI) no cumplen con los parámetros establecidos en la regulación CONELEC 005/14. Esto se debe a que en una zona rural las luminarias se colocan donde exista una cantidad aglomerada de usuarios. De un grupo de usuarios hacia otro grupo hay una distancia mayor a 1 km, por lo tanto, la interdistancia de postes es elevada mayor a 50 m.



Factor mantenimiento: 0.67

Escala 1:401

Lista del recuadro de evaluación

- Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 50.000 m, Anchura: 7.000 m
 Trama: 17 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME5

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	0.46	0.34	0.24	10	0.51
Valores de consigna según clase:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	X	X	X	✓	✓

Figura 4.2 Resultados de simulación zona rural tipo sodio

El factor de uniformidad longitudinal no es un valor que afecte en un proyecto de iluminación en zona vial M5 como es la zona rural de estudio, este valor según el MEER en las especificaciones particulares de luminarias de sodio de alta presión [10] no es contemplado.

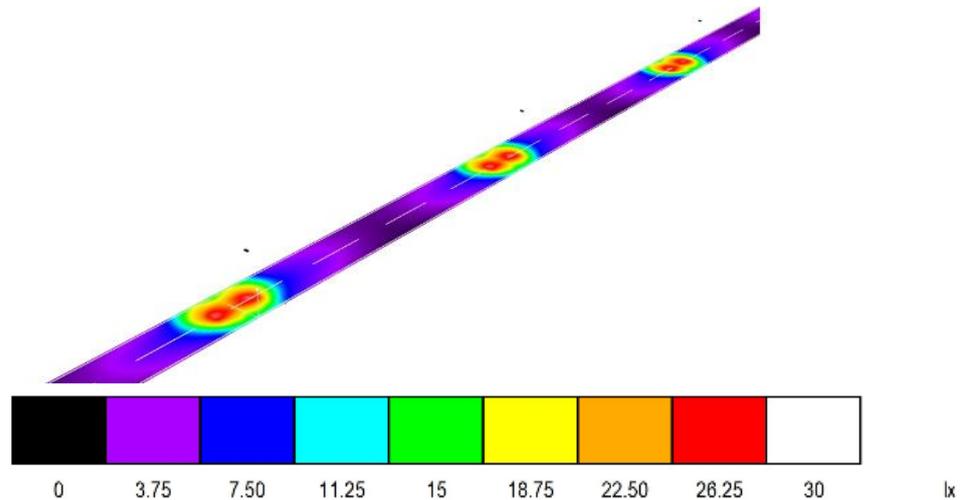
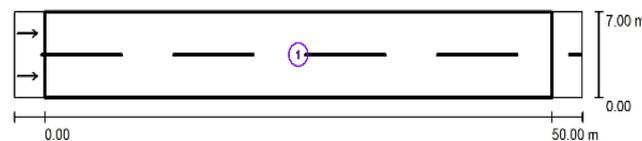


Figura 4.3 Colores falsos luminaria sodio

La figura 4.3 permite visualizar la iluminación que existe en el proyecto de la zona rural y la cantidad de lúmenes existentes por medio de colores falsos, apareciendo zonas oscuras que representan efectos cebras por la poca iluminación o interdistancia de poste a poste elevada.

4.1.2 Simulación de iluminación zona rural tipo LED

Al realizar la sustitución de luminarias en la zona rural, de luminaria de sodio a luminaria LED se muestra una mejoría en los resultados obtenidos al realizar la simulación figura 4.4, los parámetros de luminancia media, uniformidad global y uniformidad lineal subieron y cumplen con la regulación CONELEC 005/14.



Factor mantenimiento: 0.90

Escala 1:401

Lista del recuadro de evaluación

- Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 50.000 m, Anchura: 7.000 m
 Trama: 17 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	0.56	0.47	0.45	13	0.70
Valores de consigna según clase:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Figura 4.4 Simulación zona rural tipo LED

Como se aprecia la iluminación tipo LED no solo es mejor en el campo de iluminación eficiente donde el factor de mantenimiento es cercano a 1 sino también es mejor para la visualización y cumplimiento de las normas de proyectos lumínicos.

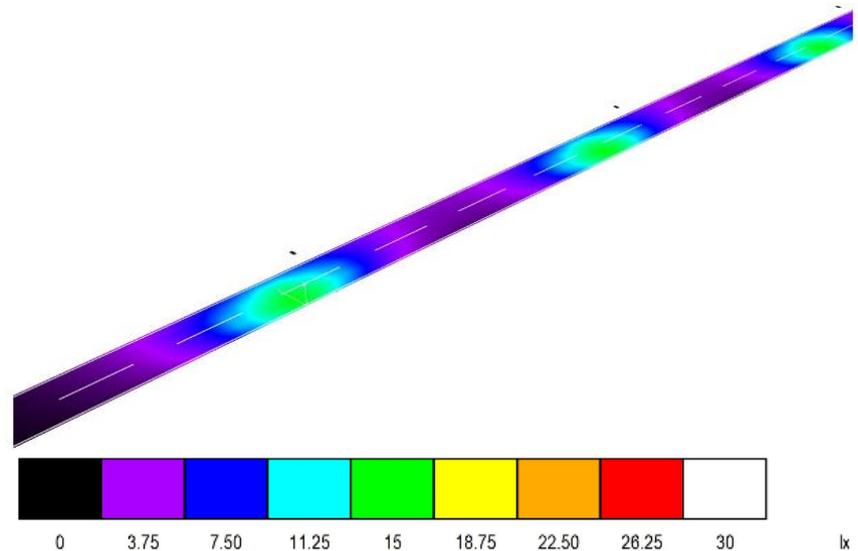


Figura 4.5 Colores falsos luminaria LED zona rural

La figura 4.5 permite una mayor visualización a través de colores falsos indicando el nivel lumínico presente en el proyecto rural con iluminación LED, cabe recalcar que a la potencia de 60 vatios en iluminación LED no existe efecto cebra.

4.2 Simulación de iluminación zona urbana

Para la simulación en el software de la disposición de luminarias en la zona urbana son necesarios los siguientes datos:

- Disposición de luminaria
- Altura del montaje
- Saliente sobre la calzada
- Distancia mástil - calzada
- Inclinação del brazo
- Longitud del brazo
- Distancia entre mástiles

Para la simulación de luminarias de sodio como luminarias tipo LED serán los mismos valores.

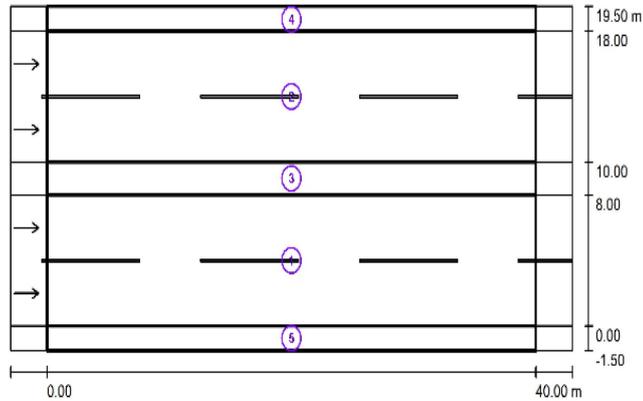
Datos necesarios para la simulación		
Parámetros de vía	Anchura: 8 m Cantidad de carriles de tránsito: 2 Revestimiento de la calzada R3 Q0: 0.07	Anchura: 1.5 m Altura: 0.15 m
<p>Figura 4.6 Disposición zona urbana</p>		
Disposición de luminaria	Bilateral frente a frente	Sobre arcén central
Altura de montaje (1)	7.5 m	9 m
Saliente sobre la calzada	1.18 m	1 m
Distancia Mástil-Calzada (2)	0.35 m	No aplica
Inclinación del brazo (3)	15°	0°
Longitud del brazo (4)	1.5 m	2 m
Distancia entre mástiles	40 m	40 m

Tabla 4.2 Datos generales simulación urbana

4.2.1 Simulación de iluminación zona urbana tipo sodio

En la figura 4.7 se presentan los valores obtenidos al realizar la simulación de luminarias de sodio para las dos calzadas (ambos sentidos de la vía) donde los parámetros fotométricos se cumplen según el tipo de vía M3 estipulado y a su vez está dentro de los valores impuestos por el CONELEC 005/14, estando los valores fotométricos dentro de lo

estipulado, pero a su vez excediéndose, se dice que hay un exceso de iluminación, lo cual representa derroche de recursos eléctricos.



Factor mantenimiento: 0.80

Escala 1:329

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 40.000 m, Anchura: 8.000 m
 Trama: 14 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME3b

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	2.48	0.49	0.62	9	0.72
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Calzada 2
 Longitud: 40.000 m, Anchura: 8.000 m
 Trama: 14 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME3b

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	2.48	0.49	0.62	9	0.72
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Figura 4.7 Simulación zona urbana tipo sodio alta presión (calzadas)

La figura 4.8 representa los valores obtenidos al simular los caminos peatonales que se encuentran en la zona urbana donde se cumplen los parámetros establecidos para el tipo de vía peatonal P1.

3	Recuadro de evaluación Arcén central 1 Longitud: 40.000 m, Anchura: 2.000 m Trama: 14 x 3 Puntos Elemento de la vía pública respectivo: Arcén central 1. Clase de iluminación seleccionada: CE2	(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)	E_m [lx]	U_0
	Valores reales según cálculo:		37.92	0.73
	Valores de consigna según clase:		≥ 20.00	≥ 0.40
	Cumplido/No cumplido:		✓	✓
4	Recuadro de evaluación Camino peatonal 1 Longitud: 40.000 m, Anchura: 1.500 m Trama: 14 x 3 Puntos Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1. Clase de iluminación seleccionada: S1	(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)	E_m [lx]	E_{min} [lx]
	Valores reales según cálculo:		22.17	13.99
	Valores de consigna según clase:		≥ 15.00	≥ 5.00
	Cumplido/No cumplido:		✓	✓
5	Recuadro de evaluación Camino peatonal 2 Longitud: 40.000 m, Anchura: 1.500 m Trama: 14 x 3 Puntos Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2. Clase de iluminación seleccionada: S1	(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)	E_m [lx]	E_{min} [lx]
	Valores reales según cálculo:		22.17	13.99
	Valores de consigna según clase:		≥ 15.00	≥ 5.00
	Cumplido/No cumplido:		✓	✓

Figura 4.8 Simulación zona urbana tipo sodio alta presión (peatonales)

La figura 4.9 es la representación en colores falsos de la iluminación existente en la actualidad en la zona urbana. Según la escala en luxes el color blanco es predominante por lo que se corrobora lo antes mencionado al respecto del exceso iluminación en la zona urbana con luminarias de sodio. Siendo el sitio justo debajo de la luminaria el de mayor densidad del espectro lumínico.

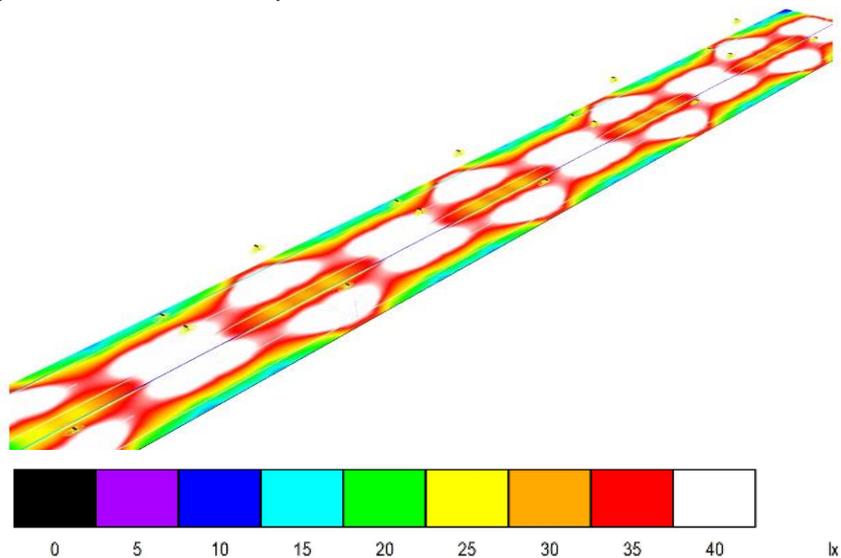
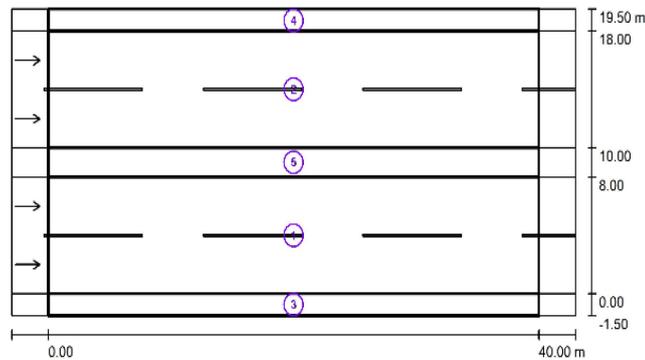


Figura 4.9 Colores falsos luminaria sodio zona urbana

Este exceso de iluminación se considera comúnmente como contaminación lumínica, que se pretende evitar en el proyecto al realizar la sustitución de las luminarias.

4.2.2 Simulación de iluminación zona urbana tipo LED

La figura 4.10 representa la simulación en las calzadas y arcén central del cambio de luminaria a tipo LED en la zona urbana cumpliendo con todos los parámetros de un proyecto de iluminación en un tipo de vía M3, este cambio representa una mejora de iluminación comparado a la luminaria de sodio debido a que no existe un exceso de iluminación sino un rango moderado de luminancia.



Factor mantenimiento: 0.90

Escala 1:329

Lista del recuadro de evaluación

1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 40.000 m, Anchura: 8.000 m
 Trama: 14 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME3b

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
1.70	0.63	0.67	11	0.82
≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
✓	✓	✓	✓	✓

Valores reales según cálculo:
 Valores de consigna según clase:
 Cumplido/No cumplido:

2 Recuadro de evaluación Calzada 2
 Longitud: 40.000 m, Anchura: 8.000 m
 Trama: 14 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME3b

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
1.69	0.62	0.69	11	0.82
≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
✓	✓	✓	✓	✓

Valores reales según cálculo:
 Valores de consigna según clase:
 Cumplido/No cumplido:

5 Recuadro de evaluación Arcén central 1
 Longitud: 40.000 m, Anchura: 2.000 m
 Trama: 14 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Arcén central 1.
 Clase de iluminación seleccionada: CE2

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

E_m [lx]	U0
23.50	0.78
≥ 20.00	≥ 0.40
✓	✓

Valores reales según cálculo:
 Valores de consigna según clase:
 Cumplido/No cumplido:

Figura 4.10 Simulación urbana tipo LED (calzadas)

3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1			
Longitud: 40.000 m, Anchura: 1.500 m			
Trama: 14 x 3 Puntos			
Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.			
Clase de iluminación seleccionada: S1		(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)	
	E_m [lx]	E_{min} [lx]	
Valores reales según cálculo:	15.13	9.84	
Valores de consigna según clase:	≥ 15.00	≥ 5.00	
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	
4 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2			
Longitud: 40.000 m, Anchura: 1.500 m			
Trama: 14 x 3 Puntos			
Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.			
Clase de iluminación seleccionada: S1		(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)	
	E_m [lx]	E_{min} [lx]	
Valores reales según cálculo:	15.13	9.84	
Valores de consigna según clase:	≥ 15.00	≥ 5.00	
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	

Figura 4.11 Simulación urbana LED (peatonal)

La figura 4.11 especifica los valores obtenidos después de realizar la simulación en los caminos peatonales en la zona urbana con iluminación LED, donde se cumplen los parámetros establecidos en el tipo de vía peatonal P1 impuestos por la regulación CONELEC 005/14.

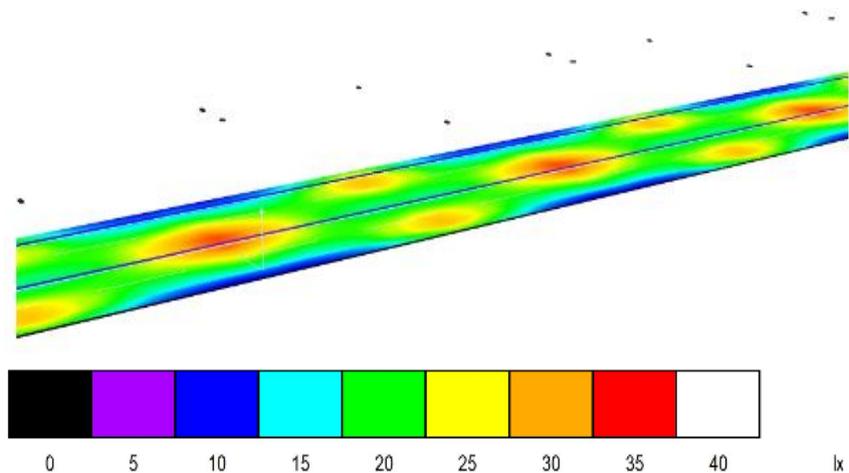


Figura 4.12 Colores falsos luminaria LED zona urbana

La figura 4.12 es la representación en colores falsos de la iluminación existente en la zona urbana con iluminación LED. Según la escala de luxes el color con mayor tonalidad es representado por la mayor cantidad de luxes ubicado debajo de cada luminaria, en esta grafica 4.12 se obtiene una óptima uniformidad de color en los alrededores.

4.3 Simulación de iluminación zona vial

Para la realización de la simulación en el software DIALux en el área vial es necesario digitar los siguientes datos que se ingresan en ambas simulaciones, tanto para la iluminación de sodio de alta presión como para la iluminación LED.

Datos necesarios para la simulación	
Parámetros de vía	Anchura: 15m Cantidad de carriles de tránsito: 5 Revestimiento de la calzada R3 Q0: 0.07
Disposición de luminaria	Bilateral frente a frente
Altura de montaje (1)	8 m
Saliente sobre la calzada (2)	1 m
Distancia Mástil-Calzada	0.35 m
Inclinación del brazo (3)	0°
Longitud del brazo (4)	1.5 m
Distancia entre mástiles	20 m

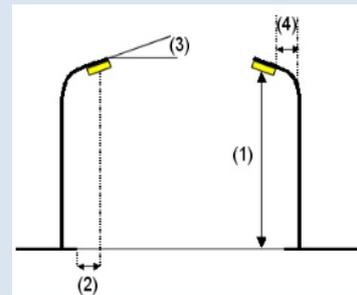
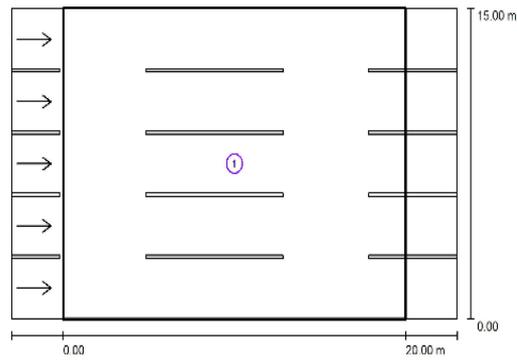


Figura 4.13: Disposición Vial

Tabla 4.3 Datos generales simulación vial

4.3.1 Simulación de iluminación zona vial tipo sodio

En figura 4.14 se tienen los resultados al realizar la simulación de la zona vial de luminarias de sodio, se denota que por más que exista una iluminación en exceso no se cumplen todos los parámetros establecidos para el tipo de vía M1, además el exceso de iluminación es un factor que podría afectar al momento de realizar un proyecto lumínico eficiente.



Factor mantenimiento: 0.80

Escala 1:200

Lista del recuadro de evaluación

1 Calzada 1
 Longitud: 20.000 m, Anchura: 15.000 m
 Trama: 10 x 15 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME1

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	Ti [%]	SR
Valores reales según cálculo:	4.08	0.52	0.49	6	0.49
Valores de consigna según clase:	≥ 2.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✗	✓	✗

Figura 4.14 Simulación zona vial tipo sodio alta presión

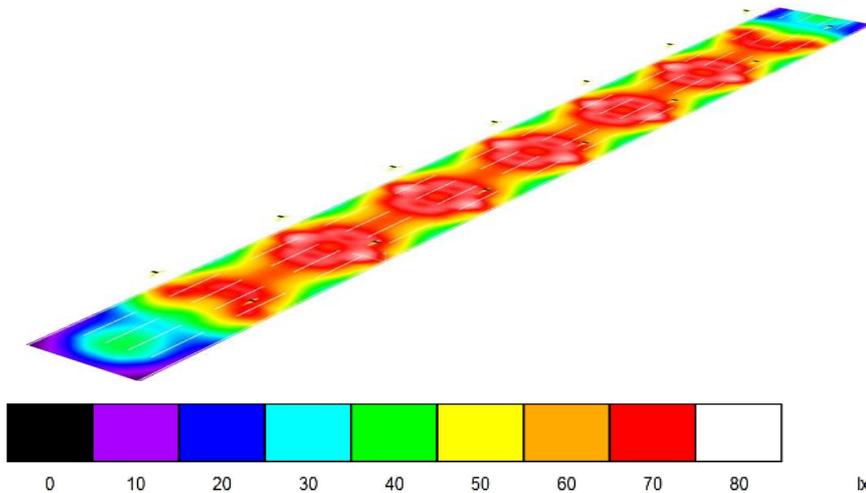
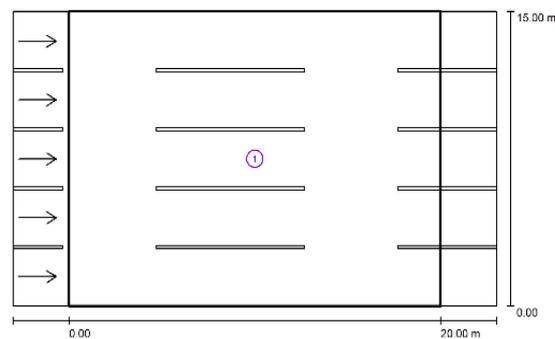


Figura 4.15: Colores falsos luminaria sodio zona vial

La figura 4.15 es una representación de los luxes existentes en la vía con iluminación de sodio en colores falsos, donde la mayor cantidad de luxes va desde el color blanco justamente debajo de la luminaria y el color rojo casi en la totalidad de la vía, este exceso del valor en la luminancia provoca que la relación de alrededores (SR) no se cumpla en la simulación.

4.3.2 Simulación de iluminación zona vial tipo LED

La figura 4.16 representa la simulación de luminarias tipo LED, se cumplen todos los parámetros establecido por el tipo de vía M1 con una mejora en la disminución de la luminancia existente en la vía. Se recomienda que la interdistancia de las luminarias sea mayor debido a que si se aumenta la interdistancia disminuiría las luminarias y el exceso de luminancia.



Factor mantenimiento: 0.90

Escala 1:186

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Calzada 1
 Longitud: 20.000 m, Anchura: 15.000 m
 Trama: 10 x 15 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME1

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	U1	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	3.29	0.65	0.87	7	0.53
Valores de consigna según clase:	≥ 2.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Figura 4.16 Simulación zona vial tipo LED

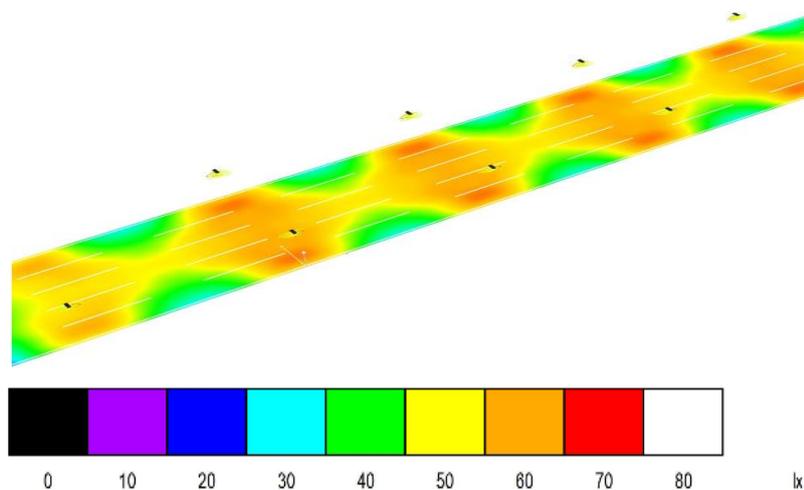


Figura 4.17 Colores falsos luminaria LED vial

La figura 4.17 nos permite observar la cantidad de luminancia existente en la zona vial utilizando iluminación tipo LED por medio de colores falsos donde la zona central de las luminarias es donde existe mayor cantidad de luxes y se observa una iluminación bastante uniforme.

4.4 Análisis económico

En esta parte se realiza la evaluación económica de la sustitución a luminaria Shark LED Sylvania. Se evaluará los costos tanto de mano de obra como costos de sustitución o reposición de luminarias que se utilizaran en las distintas áreas de trabajo: Zona rural, Zona urbana, Zona vial.

De tal manera que se evaluara la mejor opción en el proyecto para cada una de las zonas o áreas mencionadas, donde se decidirá también si se hace el reemplazo por las luminarias LED de manera que mejore la calidad del servicio, el ahorro energético y la reducción del impacto ambiental por el uso de estas luminarias. Haremos hincapié que solo se hará la sustitución de las luminarias utilizando los mismos circuitos eléctricos actuales.

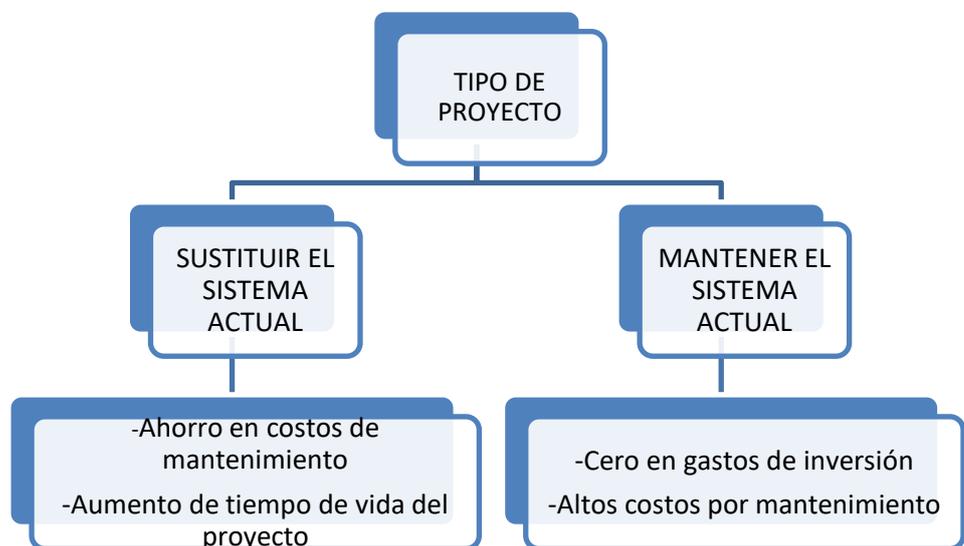


Figura 4.18 Beneficios de los tipos de proyectos

4.4.1 Economía en valores operativos y mantenimiento del proyecto

Los costos fijos serán:

- Los dispositivos eléctricos y materiales varios que se utilizaran durante el tiempo que opere el servicio de alumbrado publico
- Pago de los trabajadores (empleados, obreros, técnicos, etc.)
- Gastos varios

Los costos variables serán:

- Gastos por consumo eléctrico
- Gastos por mantenimiento del servicio de alumbrado

Los gastos por operar serán igual a los costos fijos sumado a los costos variables, de manera que los últimos mencionados para simplificar valores a calcular, los costos fijos serán constantes causa de esto se sabe que no contribuyen al beneficio del proyecto.

Los gastos por ahorro de consumo eléctrico y casi nulo mantenimiento al servicio de alumbrado se verán reflejados en beneficios económicos.

Los gastos por el mantenimiento del proyecto deben estar considerados en los siguientes puntos:

- Tiempo de vida de la luminaria
- Degradación del espectro luminoso de la lámpara
- Empolvamiento de la luminaria respecto a su hermeticidad y gastos de limpieza
- Nivel de contaminación en el área en el cual opera la luminaria
- Mantenimiento de los dispositivos eléctricos instalados
- Mantenimiento de los circuitos eléctricos de la instalación
- Tiempo de revisión y coste de reemplazo de los dispositivos del sistema de alumbrado

Todo lo que tiene que ver a costos por sustitución de repuestos o dispositivos de la luminaria es proporcionado usualmente por las mismas empresas que expenden o arreglan los compuestos de las luminarias o el sistema de alumbrado en general.

4.4.2 Valorización del consumo energético

Para medir el consumo estimado de energía eléctrica en este proyecto se utilizará la siguiente ecuación:

$$E_x = \frac{N_x * P_l * h * Dm}{1000} * Ma \quad (4.1)$$

E_x : Es la energía eléctrica consumida por cada luminaria tipo "x" en un nivel de voltaje dado (KWh/año)

N_x : Es la cantidad de luminarias tipo "x"

P_l : Es la potencia total de todas las luminarias por zona

h : Horas que trabaja en el día la luminaria

Dm : Días al mes que opera la luminaria

Ma : Total de meses al año que opera la luminaria

4.4.3 Cuantificación del ahorro por consumo eléctrico con tecnologías actuales

Para cuantificar el ahorro por consumo energético se usará lo siguiente:

$$A_E = T_e * \Delta E \quad (4.2)$$

A_E : Es el ahorro energético por el uso de nuevas tecnologías (\$/año)

T_e : Costo establecido por la empresa eléctrica suministradora del recurso eléctrico (\$/KWh)

ΔE : Es la resta entre el consumo energético de la tecnología tradicional y el consumo energético de la tecnología propuesta (KWh/año).

4.4.4 Valorización del ahorro por reducción de emisiones debido a gases de efecto invernadero

Para contabilizar el aproximado de las emisiones por diversos factores de consumo, se hará por medio de la utilización de factores de emisión, los cuales indicaran la cantidad de contaminante liberado debido a un trabajo realizado, asociado a dicho contaminante.

Los gases emitidos por las generadoras están representados principalmente por emisiones producto de la combustión, en el ámbito particular del Ecuador se considerará el factor por emisiones de Dióxido de carbono (CO₂) del año 2013 será $F_r=0.5076$ (ton CO₂/MWh).

Para la cuantificación de dichas emisiones en cada alternativa de estudio del servicio de alumbrado público se utilizará la siguiente ecuación.

$$EE_r = F_r * E \quad (4.3)$$

EE_r : Emisiones producidas por el consumo energético debido al servicio de alumbrado en el Ecuador (ton CO₂/año)

F_r : Factor por las emisiones de gases de efecto invernadero producidas en el Ecuador (ton CO₂/MWh)

E : Consumo energético por el servicio de alumbrado (MWh/año)

4.4.5 Cuantificación del ahorro de emisiones

En el mercado de carbono está estipulado un valor debido a los derechos de emisión, siendo el precio estimado " $P_c=7.30$ USD".

Con este valor (P_c), se estima el costo por arrojar gases de efecto invernadero al medio ambiente, de la siguiente manera:

$$C_{EM} = P_c * EE_r \quad (4.4)$$

C_{EM} : Precio debido a gases producidos por la reducción en el consumo del suministro de energía

P_C : Valor asociado a los bonos de carbono en el mercado mundial.

EE_r : Emisiones producidas por el consumo energético debido al servicio de alumbrado en el Ecuador (ton CO2/año)

4.4.6 Estudio de rentabilidad

En el estudio de rentabilidad se analizará la estimación de los indicadores económicos los cuales arrojarán la viabilidad en la decisión sobre la realización del proyecto o el rechazo de este.

Se necesita cuantificar los beneficios por mantener el servicio actual o la sustitución e implementación de la tecnología propuesta. En tanto se utiliza el Valor Actual de Costos (VAC) indicador que ayuda a escoger la opción que represente mínimo costos en las alternativas que se propondrán.

El VAC representa al flujo de valores constantes de todas las fases periódicas del tiempo de utilidad de los dispositivos propios del proyecto, el cual se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$VAC = \sum_{k=0}^n \frac{C_k}{(1+r)^k} \quad (4.5)$$

VAC : Será el valor actual de costos.

C_k : Es el total de costos asociados a la inversión como costos directos, costos secundarios e indirectos del proyecto, así como gastos por reposición y mantenimiento. Todo esto durante todo el tiempo de vida de los componentes eléctricos.

r : Representa a la tasa activa de descuento.

n : es el periodo de evaluación que durara el proyecto.

4.4.7 Cuantificación por costo de mano de obra

Para realizar la sustitución de luminarias de sodio a luminarias LED se cuantifica los valores de retiro de la luminaria actual, instalación de la luminaria Shark LED, así como los dispositivos de telegestión como son: base NEMA de 7 pines, instalación de dispositivo esclavo o maestro según sea el caso.

Valor mano de obra por sustitución	
Retiro de lum. sodio	\$ 20
Instalación lum. LED	\$ 40
Instalación Dispositivo telegestión y programación	\$ 40
Total	\$ 100

Tabla 4.4 Valores por mano de obra por sustitución

En la Tabla 4.5 se encuentran los valores de mano de obra por reposición de luminarias de sodio una vez culminada su vida útil, se considera costos de componentes eléctricos como costo de mano de obra calificada.

Valor mano de obra por reposición	
Reposición de componentes de luminarias de sodio	\$ 20
Bulbo + fotocélula	\$ 63,50
Total	\$ 83,50

Tabla 4.5: Valores por mano de obra por reposición

4.4.8 Tarifa de compra de energía y datos básicos de operación del servicio de alumbrado

Los datos necesarios para el cálculo económico se toman de obras realizadas por CNEL EP Guayas Los Ríos, con 12 horas de trabajo en las horas diarias para un mejor muestreo de los datos. En el caso de operar menos tiempo el servicio alumbrado, se verá reflejado en la variación del impacto económico de la obra.

Datos de operación			
Tarifa KWH:	\$ 0,0783	Horas diarias:	12
Días trabajo al mes:	30	Valor mano obra por sustitución:	\$100

Tabla 4.6 Datos de operación – estudio económico

4.4.9 Calculo del consumo energético

En secciones anteriores se trató los beneficios del uso de estas nuevas tecnologías en luminarias, aquí se centrará en analizar los valores de consumo de energía.

En la potencia se tomará en cuenta lo que estipula el MEER en la sección #3 Especificaciones Técnicas de materiales y equipos del sistema de distribución para luminarias de sodio en la cual se especifica que en luminarias 100W las perdidas serán 15 W, para luminarias de 150W serán 19W de pérdidas y para luminarias de 250W serán 29W de pérdidas. En el costo unitario se considerará \$ 0 dólares debido a que ya existen instaladas en la actualidad dichas luminarias.

Datos de producto			
Tradicional			
Producto	Roy Alpha Colombia (Amazonas VP) Zona Rural	Roy Alpha Colombia (ANDES) Zona Urbana	Cobra head series 115 cutoff style Zona Vial
Potencia (W) + Perdidas	115	169	279
Cantidad	13	94	550
Costo unitario	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Costo Repuesto	\$ 25,00	\$ 30,00	\$ 35,00
Inversión	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Vida útil (Hrs)	25000	25000	25000

Tabla 4.7 Datos producto tradicional

Para poder cuantificar el total del consumo de las luminarias en las distintas zonas de trabajo se detallará el valor de cada una, en este caso se calculará el consumo de las luminarias de sodio, se considera que el servicio de alumbrado operará en un total de 12 horas diarias, lo reflejado en la tabla 4.8 en la columna del consumo mensual será únicamente para una luminaria.

Luminarias sodio	Potencia + Perdidas	Horas diarias de trabajo	KWh/día	KWh/mensual
Zona Rural	115	12	1,38	41,40
Zona Urbana	169		2,03	60,84
Zona Vial	279		3,35	100,44

Tabla 4.8 Consumo energético estimado para luminaria de sodio

De similar manera para el cálculo de luminarias LED se debe tener en cuenta las pérdidas de potencia en el driver de la luminaria, así como también las horas de trabajo a distintos niveles de potencia debido a la implementación de los dispositivos de telegestión, dando un mayor ahorro energético que se lo calcula en la siguiente sección.

Datos de producto			
LED			
Producto	Luminaria Shark LED 60 W	Luminaria Shark LED 60 W	Luminaria Shark LED 110 W
Potencia (W) + Perdidas	63	63	113
Cantidad	13	94	550
Costo unitario	\$ 411,40	\$ 407,26	\$ 461,17
Costo Repuesto	-		
Inversión	\$ 5.348,20	\$ 38.282,44	\$ 253.643,50
Vida útil (Hrs)	100.000	100.000	100.000

Tabla 4.9 Datos de la luminaria LED

El costo unitario de las luminarias LED será detallado más a fondo en el anexo A4. La luminaria LED también trabajara un total de 12 horas diarias que serán distribuidas en 5 horas al 100% de su capacidad (18h00 a 23h00), 2 horas al 80% de su capacidad (23h00 a 01h00) y por último 5 horas al 50% de su capacidad (01h00 a 06h00).

Se hace hincapié que el consumo mensual calculado en la Tabla 4.10 es para cada unidad de luminaria de las distintas zonas.

Luminarias LED	Potencia + Perdidas	Horas diarias de trabajo al 100%	Horas diarias de trabajo al 80%	Horas diarias de trabajo al 50%	KWh/día	KWh/mensual
Zona Rural	68	5	2	5	0,62	18,56
Zona Urbana	68				0,62	18,56
Zona Vial	117				1,06	31,94

Tabla 4.10 Consumo energético LED alumbrado público por luminaria

En la Tabla 4.11 se detalla el consumo total de las luminarias ubicadas en cada zona con el sistema de ahorro dimerizado.

Energía consumida con dimerización			
	Zona rural	Zona urbana	Zona vial
Consumo 100%(MWH)	132,60	958,80	9.652,50
Consumo 80%(MWH)	42,43	306,82	3.088,80
Consumo 50%(MWH)	66,30	479,40	4.826,25
Total consumo del mes (MWH)	241,33	1745,02	1767,55

Tabla 4.11 Consumo energético para la totalidad de luminarias en cada zona

4.4.10 Calculo de los costos de energía por consumo eléctrico

Los costos de energía mensual de la Tabla 4.11 se calculan empezando desde que la tarifa del KWh es de \$0.0783 ctvs. impuesto por la empresa suministradora CNEL. EP Guayas - Los Ríos, segundo se tomara en cuenta la cantidad de luminaria por zona de estudio.

Luminarias sodio	Cantidad	KWh/mensual	\$/mes
Zona Rural	13	41,40	42,14
Zona Urbana	94	60,84	447,79
Zona Vial	550	100,44	4325,44

Tabla 4.12 Costos del consumo energético estimado en luminarias de sodio

Los costos de energía mensual para las luminarias LED se estimarán relacionando la cantidad de luminarias con los KWh de consumo en las distintas zonas y sin olvidar el costo de la tarifa del KWh impuesto por la empresa suministradora de energía.

Luminarias LED	Cantidad	KWh/mensual	\$/mes
Zona Rural	13	18,56	18,89
Zona Urbana	94	18,56	136,63
Zona Vial	550	31,94	1375,53

Tabla 4.13 Costo de energía de luminaria LED estimado

4.4.11 Parámetros actuales de las vías en las zonas de estudio

En esta sección se verificará el consumo de energía con las luminarias ya existentes como son las luminarias de sodio, el valor de las emisiones por CO2 al año, ver en el Anexo A6.

Luminarias de Sodio					
Zonas	Cantidad	Potencia consumida (W)	Kw /año	Costo de energía anual	Costo por emisiones de CO2 al año
Rural	13	115	6458,40	\$ 505,69	\$ 23,93
Urbana	94	169	68627,52	\$ 5.373,53	\$ 254,30
Vial	550	279	662904	\$ 51.905,38	\$ 2.456,61
TOTAL					\$2.734,61

Tabla 4.14 Parámetros de situación actual

4.4.12 Parámetros propuestos con la tecnología LED

En esta sección se verificará el consumo de energía con las luminarias tipo LED, el valor de las emisiones por CO2 al año se detalla en el Anexo A6 y los costos de energía anual por zona.

Luminarias LED					
Zonas	Cantidad	Potencia consumida (W)	Kw /año	Costo de energía anual	Costo de emisiones por CO2 al año
Rural	13	68	2895,98	\$ 226,76	\$ 10,73
Urbana	94	68	20940,19	\$1.639,62	\$ 77,59
Vial	550	117	210810,60	\$ 16.506,47	\$ 781,15
TOTAL					\$869,48

Tabla 4.15 Parámetros de situación propuesta con luminaria LED

4.4.13 Costos de la situación actual y propuesta

Cómo se calcula el mantenimiento de las luminarias de sodio se detalla en la siguiente ecuación, que se utilizara

$$\text{Costo mantenimiento anual} = \left(\frac{A*(B-1)}{C} \right) * \text{cantidad} \quad (4.8)$$

Dónde:

A: Costo de repuesto + valor de mano de obra

B: Vida útil LED / Vida útil sodio

C: (vida útil LED – vida útil sodio) / (horas diarias * días al mes*12)

En la tabla 4.16 se calcula la suma total de los costos de consumo de energía anual de las tres zonas de estudio en sodio. Así como también se verifica los costos de mantenimiento para luminarias de las diferentes zonas. Y por último se hará la suma del total del mantenimiento del proyecto.

Tradicional			
Costo total de energía anual	\$57.784,61		
Zonas	Rural	Urbana	Vial
Costo mant. Anual	\$284,70	\$2.140,94	\$13.008,60
Costo total mant. Anual	\$15.434,24		

Tabla 4.16 Luminaria tradicional costo – consumo

En luminarias Shark LED se calcula la suma del total del consumo energético de las diferentes zonas en la que se prestará el servicio de alumbrado, se considerará como mantenimiento al plan de datos requerido para la comunicación de los maestros con el servidor central, el costo referencial por el plan de datos de CNT el cual se considera el valor de \$ 1,50 por cada dispositivo maestro. Cabe destacar que tanto en la zona rural como en la urbana se tendrá operando un solo dispositivo maestro por zona, sin embargo, por el alto número de luminarias LED en la zona vial se considerará un total de 5 dispositivos maestros para dicha zona.

L E D			
Costo total energía anual	\$18.372,84		
Zonas	Rural	Urbana	Vial
Costo mant. Anual	\$18,00	\$18,00	\$90,00
Costo total mant. Anual	\$126,00		

Tabla 4.17 Luminaria LED costo – consumo con dimerización

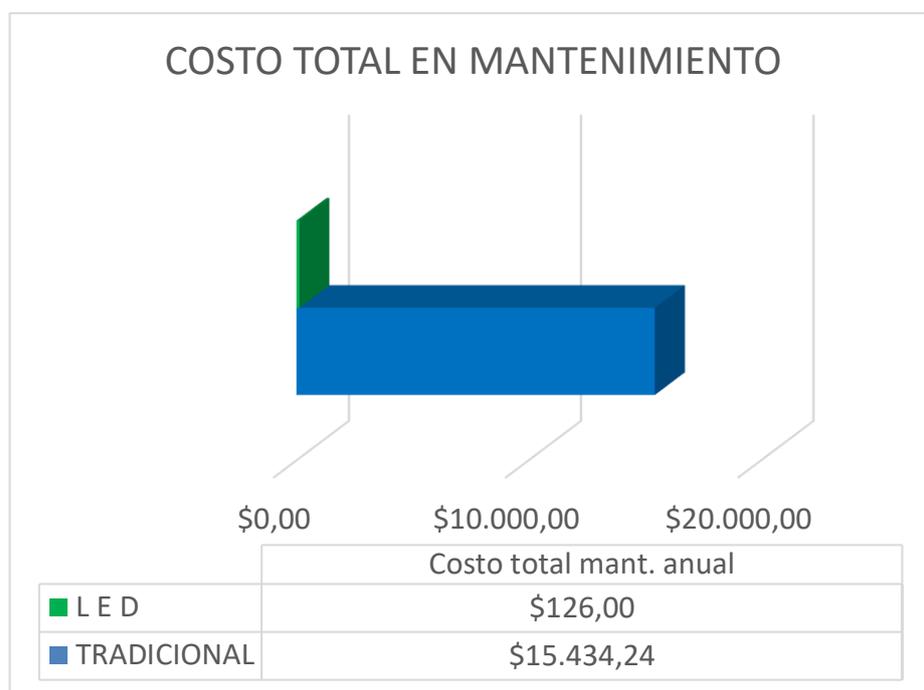


Figura 4.19 Costo total en mantenimiento

En la figura 4.19 se hará la comparación de los costos totales de mantenimiento anual entre la luminaria de sodio existente en el proyecto y la luminaria LED propuestas en las zonas de estudio por medio de un diagrama de barras.

4.4.14 Ahorro energético

La forma de cómo se deduce el ahorro de energía por la sustitución a luminarias LED fue detallado en la sección 4.4.8. También se deduce estos valores con la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro total energía} = \text{CTEAS} - \text{CTEAL} \quad (4.9)$$

Dónde:

CTEAS: Costo total de energía anual de sodio

CTEAL: Costo total de energía anual del LED

La Tabla 4.18 siguiente brinda una mejor perspectiva de lo que se plantea, mencionando también que estos valores representan al ahorro total del proyecto que se contempla.

Costo de energía		
Costo de energía sodio anual	\$	57.784,61
Costo de energía LED anual	\$	18.372,84
Ahorro total de energía	\$	39.411,77

Tabla 4.18 Calculo del ahorro de energía

De manera sencilla se puede observar que el costo con energía LED desciende prácticamente a la tercera parte del costo del consumo de energía de sodio.

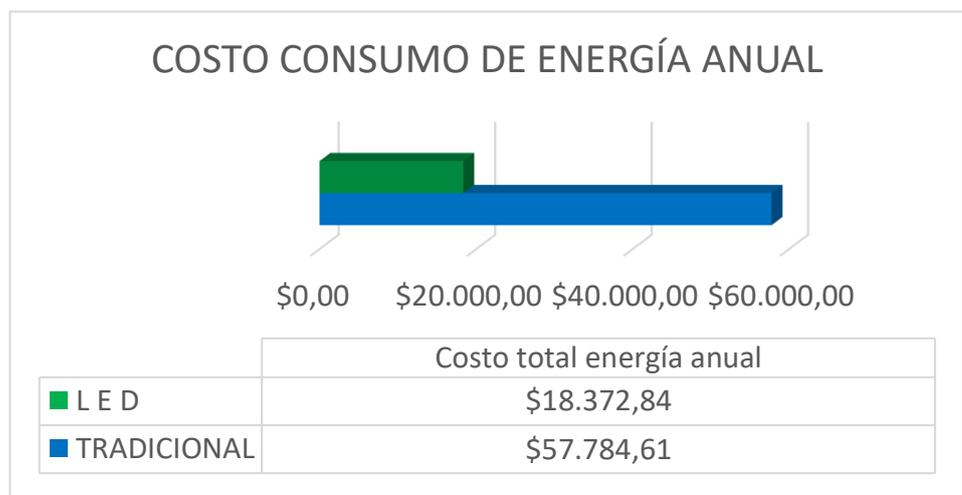


Figura 4.20 Costo consumo de energía anual de las tres zonas de estudio

La figura 4.20 representa un diagrama comparativo para los costos de energía tanto para las luminarias de sodio como para LED.

4.4.15 Tiempo de vida del proyecto

La vida útil de la luminaria de sodio existente en el servicio de alumbrado público, para este estudio en particular se estima aproximadamente la cuarta parte del tiempo de vida útil para la luminaria propuesta (LED). Se recuerda que las luminarias trabajarán un periodo diario de 12 horas durante los 30 días del mes y los 12 meses del año dando un total de 4320 horas de operación anual.

$$vida\ util_{NA} = \frac{25000\ horas}{4320\ horas/año} = 5.78 \approx 6\ años \quad (4.10)$$

$$vida\ util_{LED} = \frac{100000\ horas}{4320\ horas/año} = 23.14 \approx 24\ años \quad (4.11)$$

Cabe recalcar que el tiempo de vida útil (años) en las luminarias de sodio será el tiempo de reposición de la luminaria representado en el respectivo flujo de caja ver Anexo A7.

4.4.16 Análisis económico de las alternativas

Se ha hecho el análisis de las ventajas y desventajas por la sustitución de luminarias en el sistema de alumbrado público, así como también los beneficios económicos, de iluminación, medio ambiental y por último y no menos importante la disminución del consumo energético, ahora se analizará la alternativa más recomendable entre sí.

La tasa interés activa efectiva referencial vigente para el segmento productivo empresarial será de 9,71% anual, para el mes de febrero 2018, siendo este el valor porcentual impuesto por el Banco Central del Ecuador.

Se deberá tener en cuenta que se ha obviado factores que puedan afectar este estudio financiero como por el ejemplo los costos por deshacerse de las luminarias de sodio en el supuesto de ser sustituidas, así como también que en el tiempo de vida del proyecto no habrá sustitución de postes, sean por accidentes o cumplimiento del ciclo de vida de los postes.

- **ALTERNATIVA # 1** Permanecer con el uso de las luminarias de Sodio

Las luminarias de Sodio ya se encuentran operando dando el servicio de alumbrado, los detalles de los valores de mantenimiento como de reposición fueron establecidos por CNEL. EP Guayas - Los Ríos.

- INVERSIÓN

Inversión: \$ 0 dólares se considerará este valor debido a que estas luminarias ya existen en el servicio de alumbrado, los detalles del cálculo de esta alternativa se especifican el Anexo A7

- REPOSICIÓN

En un lapso de 6 años de trabajo óptimo algunos componentes serán sustituidos por haber cumplido su ciclo de vida.

Costo de **reposición** en la totalidad de luminarias: \$ 54.859,5, ver Anexo A7

- Indicadores de alternativa # 1

Indicador	Sodio
VAC con emisión CO2	\$ 763.394,19
VAC sin emisión CO2	\$ 738.277,66

Tabla 4.19 Indicadores de la alternativa #1

Ver Anexo A7

- **ALTERNATIVA # 2** Sustitución por luminarias LED

El valor de las luminarias de las diferentes zonas de trabajo se detalla en el Anexo A5.

- **INVERSIÓN**

El valor total de inversión se calcula tomando en cuenta los costos de cada luminaria, sin olvidar adicionar a cada luminaria el costo del respectivo dispositivo de telegestión, el desglose de costos de los dispositivos se verifica en el Anexo A5.

Los costos de operación con Tecnología LED están en el Anexo A8

La inversión para la alternativa de sustitución será de \$ 297.274,14 dólares.

El detalle de estos valores se verificará en la Tabla 4.9 y el valor total por la adición de estos costos los hallamos en el Anexo A8.

- **Indicadores de alternativa # 2**

Indicador	LED
VAC con emisión CO2	\$ 475.166,29
VAC sin emisión CO2	\$ 467.180,39

Tabla 4.20 Indicadores de la alternativa # 2

Ver Anexo A8

4.4.17 Comparación de indicadores de ambas alternativas propuestas

Indicador	Sodio	LED
VAC con emisión CO2	\$ 763.394,19	\$ 475.166,29
VAC sin emisión CO2	\$ 738.277,66	\$ 467.180,39

Tabla 4.21 Resultados Finales

La alternativa #2 de sustitución de luminarias propuestas tiene indicadores con valores menores a la alternativa #1, motivo por el cual generaría menor uso de recursos económicos y energéticos tanto por operación como por mantenimiento en el tiempo de vida estipulado del proyecto en la sección 4.4.20 para luminarias LED.

CONCLUSIONES

Basado en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Que los valores del VAC para la alternativa 2 es son menores existiendo un ahorro de un 38% por lo tanto, esta sería la alternativa más viable, aun teniendo en cuenta la gran cantidad en inversión que se hace en la alternativa 2.

Se determinó que el uso de luminarias LED con el sistema de telegestión aplicando el control dimerizable representa un ahorro de energía de 503,34 MWh/año.

Los porcentajes de emisiones de CO₂ por el uso de luminarias LED representan el 70% de disminución en emisiones respecto a la cantidad total de emisiones de luminarias de sodio.

Incluir o no los costos por emisiones CO₂ en el flujo de caja de ambas alternativas, no afecta de manera significativa en la toma de decisión de realizar el proyecto.

El proyecto de alumbrado público con tecnología LED con vida útil de 100000 horas hace factible su uso; a medida que se incrementa el uso de esta tecnología los costos de las luminarias empiezan a disminuir.

Los beneficios corroborados por llevar acabo la alternativa #2 en este informe son:

Ahorro económico significativo de consumo energético de \$ 39.411,77. Un alto índice de mejora en la seguridad debido a una mejor observación de los objetos y personas. Disminución de emisiones de toneladas de CO₂ al medio ambiente por el menor consumo de recursos eléctricos siendo 374,6 ton CO₂/año para sodio y 119,11 ton CO₂/año para LED.

RECOMENDACIONES

Para usuarios en la zona rural el costo del consumo de energía para la luminaria de sodio es \$ 505,68 mientras que para luminarias LED es de \$ 226,68 existiendo un ahorro energético recomendándose mantener la iluminación existente de sodio en la zona y cuando estas cumplan su vida útil realizar la sustitución paulatinamente por luminarias LED.

Se recomienda que para realizar cualquier proyecto que implique sustitución de cualquier tipo de luminaria se realicen estudios con ayuda de un software de simulación.

Antes de colocar luminarias ya sean de sodio o tipo LED en un proyecto lumínico se recomienda realizar las pruebas mecánicas, fotométricas y ambientales respectivas en un laboratorio de alumbrado público certificado para verificar que cumplan con las certificaciones mencionadas por el proveedor.

Uno de los factores por el que se recomienda el uso de luminarias tipo LED es por el bajo costo de mantenimiento de \$126 comparado con el mantenimiento en luminarias de sodio \$15.434,24.

En el sistema de telegestión el dispositivo conocido como maestro puede controlar 300 dispositivos esclavos según el proveedor, pero en la práctica se recomienda que el dispositivo maestro controle no más de 100 dispositivos esclavos, debido a la interdistancia que existen y por la disposición geográfica.

Al realizar un estudio técnico se recomienda la prevención de la contaminación lumínica de este modo se evita la emisión de luz sobre la luminaria.

En un área adyacente a un sistema de alumbrado público, se recomienda mantener los mismos criterios y disposiciones que el proyecto ya establecido para obtener una máxima uniformidad en el aspecto estético y uniformidad lumínica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] INER, «Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables,» 2015. [En línea]. Available: www.inec.gob.ec/alumbrado-público/. [Último acceso: 2017].
- [2] INEN, «REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO 069 DE ALUMBRADO PUBLICO,» QUITO, 2011.
- [3] CONELEC, «Regulacion N° CONELEC 005/14,» 2014.
- [4] V. A.M.E.Pereira, «Some Considerations about LED Technology in Public Lighting,» *IEEE*, 2015.
- [5] G.Harper, El abc del alumbrado y las instalaciones electricas en baja tension, MEXICO: LIMUSA S.A, 2004.
- [6] V. C. Bender, F. B. Mendes, T. Maggi, M. A. Dalla Costa y T. B. Marchesan, «Design methodology for street lighting luminaires based on a photometrical analysis,» *IEEE*, 2013.
- [7] Grupo Adapta, «Lámparas de alumbrado público con LEDs,» *Adapta Eco Generacion SA de CV*, 2010.
- [8] B. C. Mishra, A. S. Panda, N.K.Rout and S. K. Mohapatra, "A novel efficient design of Intelligent Street Lighting monitoring system using ZigBee network of devices and sensors on Embedded Internet Technology," in *2015 International Conference on Information Technology (ICT)*, Bhubaneswar, 2015.
- [9] A. Lavric, V. Popa y S. Sfichi, «Street Lighting Control System Based On Large Scale WSN: A Step Towards A Smart City,» de *2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering* , Iasi, 2014.
- [10] Ministerio de Electricidad y Enegia Renovable, *Especificaciones Tecnicas de Materiales y Equipos del sistema de Distribucion*.

- [11] «EXCELEC,» [En línea]. Available: <http://www.excelec.com>. [Último acceso: 15 Noviembre 2017].
- [12] M. F. Pinto, T. R. F. Mendoza, C. A. D. Braga y H. A. C., «Street Lighting System for Power Quality Monitoring and Energy - Efficient Illumination Control,» *IEEE*, 2016.

ANEXOS

Anexo A1

Tecnología LED	Bombillas halógenas	Tubos tb Fluorescentes	Lámparas de vapor de sodio de alta presión	Lámparas de vapor de sodio sin balastro	Lúmenes (lum)
60 W	400 W	120 W	100 W	300 w	4800 - 5400
80 W	450 W	160 W	120 W	380 w	6400 - 7200
90 W	550 W	180 W	150 W	450 w	7200 - 8100
120 W	750 W	240 W	200 W	600 w	9600 - 10080
150 W	900 W	300 W	250 W	750 w	12000 - 13500
160 W	950 W	320 W	250 W	750 w	12800 - 14400

Tabla A0.1 Tabla comparativa de potencias entre tecnologías de iluminación

Anexo A2

			ZONA RURAL	ZONA URBANA
Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (Vp)	Vp seleccionado	Vp seleccionado
Velocidad	Elevada	1	0	0
	Alta	0,5		
	Moderada	0		
Volumen del Tráfico	Elevado	1	-0,5	-0,5
	Alto	0,5		
	Moderado	0		
	Bajo	-0,5		
Composición de Tráfico	Muy Bajo	-1	1	1
	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2		
	Mezclado	1		
	Solamente motorizado	0		
Separación de vías	No	1	1	0
	Si	0		
Densidad de intersección	Alta	1	0	1
	Moderada	0		
Densidad de intersección	Alta	1	0	1
	Moderada	0		
Vehículo Parqueados	Se permite	0,5	0	0,5
	No se permite	0		
Iluminación Ambiental	Alta	1	-1	0
	Moderada	0		
	Baja	-1		
Guías Visuales	Pobre	0,5	0,5	1
	Moderado o Bueno	1		
		$\sum Vps$	1	3

Tabla A0.2 Valores Vps seleccionados para zonas rural y urbana motorizadas [3]

Anexo A3

Parámetro	Opciones	Valores de Ponderación (Vp)	Vp seleccionado
Velocidad	Elevada	1	1
	Alta	0,5	
	Moderada	0	
Volumen del Tráfico	Elevado	1	1
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy Bajo	-1	
Composición de Tráfico	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	1
	Mezclado	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	1
	Si	0	
Densidad de intersección	Alta	1	1
	Moderada	0	
Vehículo Parqueados	Se permite	0,5	0
	No se permite	0	
Iluminación Ambiental	Alta	1	-1
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías Visuales	Pobre	0,5	1
	Moderado o Bueno	1	
		$\sum Vps$	5

Tabla A0.3 Valor Vps seleccionado para zona urbana peatonal

Anexo A4

DISPOSICIÓN DE POSTES PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Disposición unilateral

Como su nombre lo indica este tipo de configuración se instala en un solo lado de la vía. Comúnmente usada cuando el ancho de la calzada (W) es menor o igual a la altura de la luminaria (H) usando luminarias apropiadas que cumplan con los requisitos fotométricos.

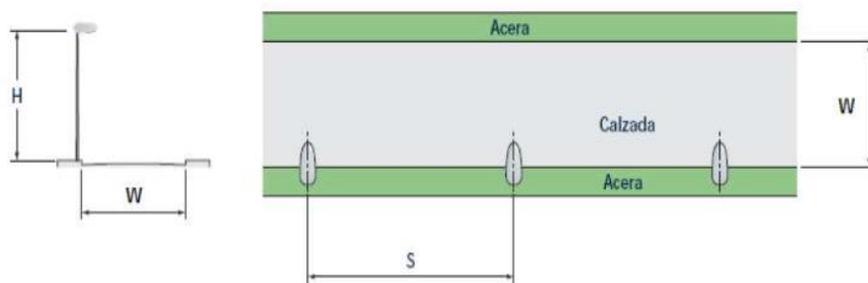


Figura A0.1 Disposición unilateral

Disposición central doble

Los carriles tanto de un sentido de circulación como del otro en dirección contraria se encuentran separados por un parterre, como recomendación se fija que el ancho del parterre (b) no sea menor a 1.5 m.

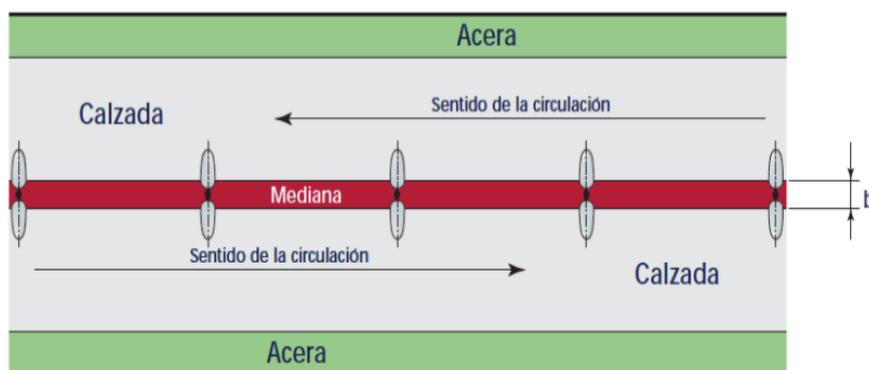


Figura A0.2 Disposición central doble

Disposición bilateral alterna

Esta configuración es necesaria cuando el ancho de la calzada (A) es mayor a la altura H de la luminaria ($1 < A/h < 1.50$), se sitúan a ambos lados de la vía.

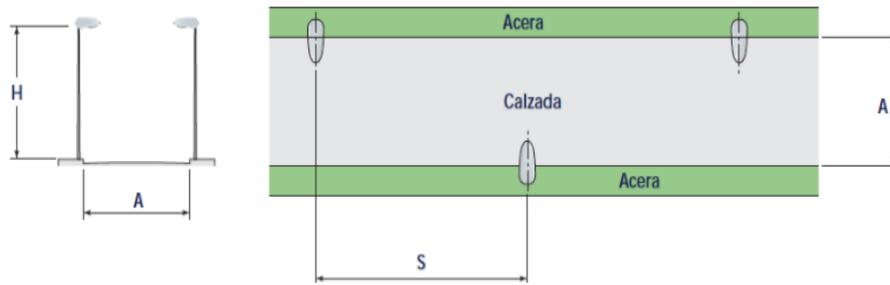


Figura A0.3 Disposición bilateral alternada

Disposición bilateral opuesta sin parterre

El ancho de la calzada (W) es mayor a 1.5 veces la altura de la luminaria (H) y se colocan a ambos lados de la vía de tráfico. Se recomienda cuando la anchura supera 1.3 veces la altura de la luminaria.

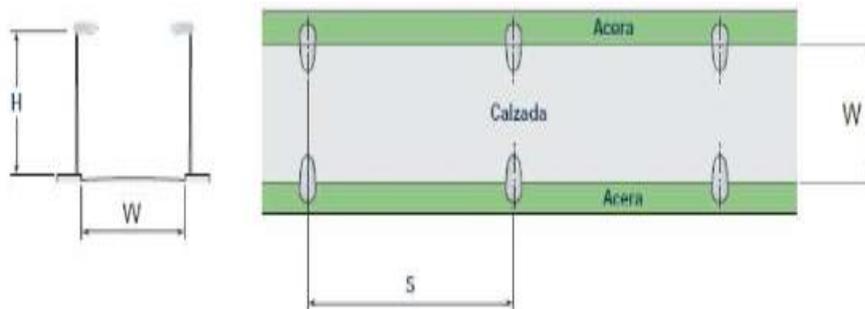


Figura A0.4 Disposición bilateral opuesta sin parterre

Disposición bilateral opuesta con parterre

Ancho de la de la vía (W) superior a la altura de la luminaria ($1.25 < W/H < 1.75$), se recomienda usar luminarias clasificadas como tipo III o de dispersión ancha. Cada luminaria se encuentra frente con frente en las dos aceras usualmente usada para iluminación peatonal y vehicular.

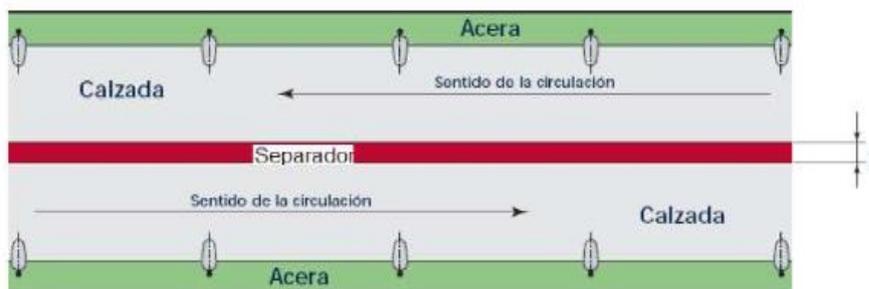


Figura A0.5 Disposición bilateral opuesta con parterre central

Anexo A5

Precio de luminarias con sistema telegestión						
	Zona rural		Zona urbana		Zona vial	
	Dispositivo Esclavo	Dispositivo Maestro	Dispositivo Esclavo	Dispositivo Maestro	Dispositivo Esclavo	Dispositivo Maestro
Unidades	12	1	93	1	545	5
Precio dispositivo, luminaria y base de 7 pines	\$ 406,60	\$ 469,00	\$ 406,60	\$ 469,00	\$ 460,60	\$ 523,00
Precio total por lum. + telegestión	\$ 4879	\$ 469	\$ 37813,8	\$469	\$ 251027	\$ 2615
Precio total sistema esclavo + maestro	\$ 5348,2		\$ 38282,8		\$ 253642	
Precio individual del sistema	\$ 411,4		\$ 407,26		\$ 461,17	

Tabla A0.4 Precios de luminarias con sistemas de telegestión en zonas de estudio

Anexo A6

Factor de emisiones de la región (ton CO2/MWh)	Energía consumida al año NA (MWh/año)	Emisiones por consumo eléctrico NA (ton CO2/año)	Costo de emisiones de CO2 al año NA
0,5076	737,99	374,60	\$ 2.734,61
Precio de bono de carbono	Energía consumida al año LED (MWh/año)	Emisiones por consumo eléctrico LED (ton CO2/año)	Costo de emisiones de CO2 al año LED
\$ 7,30	234,65	119,11	\$ 869,48

Tabla A0.5 Emisiones CO2

Anexo A7

Año	Inversión NA	Costo Energía NA	Reposición	Costo Emisión CO2	Costo Mantenimiento	TOTAL	VAC
0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 69.231,12
2		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 63.103,75
3		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 57.518,68
4		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 52.427,93
5		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 47.787,74
6		\$ 57.784,61	\$ 54.859,50	\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 130.812,96	-\$ 75.019,38
7		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 39.703,07
8		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 36.189,11
9		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 32.986,15
10		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 30.066,68
11		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 7.405,59
12		\$ 57.784,61	\$ 54.859,50	\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 130.812,96	-\$ 43.022,55
13		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 22.769,15
14		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 20.753,94
15		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 18.917,09
16		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 17.242,81
17		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 15.716,72
18		\$ 57.784,61	\$ 54.859,50	\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 130.812,96	-\$ 24.672,83
19		\$ 57.784,61		\$ 2734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 13.057,78
20		\$ 57.784,61		\$ 2.734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 11.902,09
21		\$ 57.784,61		\$ 2.734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 10.848,68
22		\$ 57.784,61		\$ 2.734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 9.888,51
23		\$ 57.784,61		\$ 2.734,61	\$ 15.434,24	- \$ 75.953,46	-\$ 9.013,32
24		\$ 57.784,61	\$ 54.859,50	\$ 2.734,61	\$ 15.434,24	- \$ 130.812,96	-\$ 14.149,52
						- \$ 2.042.321,08	-\$ 763.394,19

Tabla A0.6 Flujo de caja del proyecto cuando se usa luminarias de sodio

Anexo A8

Año	Inversión LED	Costo Energía LED	Reposición	Costo Emisión CO2	Costo Mantenimiento (plan datos)	TOTAL	VAC
0	\$ 297.274,14						- \$ 297.274,14
1		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 17.654,11
2		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 16.091,61
3		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 14.667,41
4		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 13.369,25
5		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 12.185,99
6		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 11.107,46
7		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 10.124,38
8		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 9.228,31
9		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 8.411,55
10		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 7.667,08
11		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 6.988,49
12		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 6.369,97
13		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 5.806,19
14		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 5.292,31
15		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 4.823,91
16		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 4.396,96
17		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 4.007,80
18		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 3.653,09
19		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 3.329,77
20		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 3.035,06
21		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 2.766,44
22		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 2.521,59
23		\$ 18.372,84		\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 2.298,42
24		\$ 18.372,84	\$ 0	\$ 869,48	\$ 126	- \$ 19.368,32	- \$ 2.094,99
						- \$ 64.839,72	- \$ 475.166,29

Tabla A0.7 Flujo de caja del proyecto cuando se usa la tecnología LED