



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TEMA:

**“ANÁLISIS DE COSTO Y AHORRO ENERGÉTICO CON LA
IMPLEMENTACION DE LUMINARIAS TIPO LED PARA ALUMBRADO
PÚBLICO EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA URBANIZACIÓN
LA PUNTILLA HASTA LA URBANIZACIÓN VILLA ITALIA”**

AUTOR:

ORDOÑEZ MUÑIZ RUSSELL ANDY

PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

ING. HIDALGO AGUILAR JAIME RAFAEL

**GUAYAQUIL, ECUADOR
2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Russell Andy Ordoñez Muñiz, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial.

TUTOR

Ing. Hidalgo Aguilar Jaime Rafael

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Heras Sánchez Miguel Armando

Guayaquil, Marzo del año 2015



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Russell Andy Ordoñez Muñiz

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “Análisis de costo y ahorro energético con la implementación de luminarias tipo Led para alumbrado público en el tramo comprendido entre la Urbanización La Puntilla hasta La Urbanización Villa Italia” previa a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, Marzo del año 2015

EL AUTOR

Russell Andy Ordoñez Muñiz



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Russell Andy Ordoñez Muñiz

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “Análisis de costo y ahorro energético con la implementación de luminarias tipo Led para alumbrado público en el tramo comprendido entre la Urbanización La Puntilla hasta La Urbanización Villa Italia”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, Marzo del año 2015

EL AUTOR

Russell Andy Ordoñez Muñiz



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

**INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

CALIFICACIÓN

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar con éxito una etapa más de vida.

A mis padres, Ing. Ramón Ordoñez Noboa y Lcda. Yeya Muñiz López por su amor, por su perseverancia, su dedicación y apoyo incondicional.

A mi hermana Victoria Ordoñez Muñiz por ser parte de mi vida, gracias por preocuparte por mí y por estar en otro momento tan importante en mi vida.

A mi tutor el Ing. Rafael Hidalgo Aguilar por su entusiasmo y esfuerzo, quien con su experiencia, su conocimiento, su temple y su motivación me ha ayudado a finalizar el trabajo de titulación.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por haberme preparado en el transcurso de mi vida estudiantil, permitir mi formación profesional y a superar mis expectativas.

RUSSELL ANDY ORDOÑEZ MUÑIZ

DEDICATORIA

A mis abuelos Elías Muñiz Plúas y Luisa López Acosta por ser unas personas excepcionales, que ayudaron en mi crianza e hicieron de mí, un hombre de bien. Gracias por su paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por sus valiosos consejos y por el amor que me han dado.

RUSSELL ANDY ORDOÑEZ MUÑIZ

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO 1.....	3
INTRODUCCIÓN	3
1.1 Justificación	3
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Tipo de investigación	5
1.5 Hipótesis	6
1.6 Metodología	6
CAPÍTULO II.....	9
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO	9
2.1 La Luz	9
2.1.1 Espectro Electromagnético	9
2.1.2 Propiedades de la Luz	12
2.2 Magnitudes, Unidades de Medida y Conceptos básicos	15
2.2.1 Flujo Luminoso	16
2.2.2 Intensidad Luminosa	16
2.2.3 Iluminancia	17
2.2.4 Luminancia	18
2.2.5 Deslumbramiento	19
2.2.6 Rendimiento Luminoso o Eficiencia Luminosa	20
2.2.7 Cantidad de Luz	21
2.3 El Color en fuentes de luz	21
2.3.1 Atributos del Color	21
2.3.2 Diagrama Cromático de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE)	24
2.3.3 Temperatura del Color	26

2.4	Sentido de la Visión	27
2.4.1	La Visión Humana en la Iluminación	28
CAPÍTULO III.....		30
CLASES DE FUENTES DE ILUMINACIÓN DISPONIBLES PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO		30
3.1	Tipos de Fuentes de Iluminación	30
3.1.1	Lámparas	33
3.1.2	Luminarias	33
3.1.3	Balastos	34
3.2	Clases de Iluminación Artificial para Alumbrado Público utilizados en el Ecuador	35
3.2.1	Lámpara de Vapor de Sodio	35
3.2.2	Definición y características de la lámpara de sodio a baja presión	36
3.2.3	Definición y características de la lámpara de sodio a alta presión	38
3.3	Lámpara de Vapor de Mercurio a Alta Presión	40
3.3.1	Ignición	41
3.3.2	Descripción del encendido	41
3.3.3	Luminarias Led	43
CAPÍTULO IV.....		50
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA LED FRENTE A LAS LÁMPARAS EXISTENTES EN LA CIUDAD		50
4.1	Consideraciones Generales	50
4.2	Parámetros de la comparación	50
4.2.1	Filamento	50
4.2.2	Electrodos	50
4.2.3	Factor de Potencia	51
4.2.4	Temperatura de Funcionamiento	52
4.2.6	Tiempo de Encendido	54
4.2.7	Temperatura del Color	55
4.2.8	Índice de Rendimiento del Color	55
4.2.9	Eficacia	57
4.2.10	Parpadeo	58
4.2.11	Contenido de Mercurio	59

4.2.12	Distorsión Armónica	60
4.2.13	Comparaciones entre Mercurio de alta presión, Sodio de alta presión y LED	60
4.3	Consumo	61
4.4	Durabilidad	61
4.5	Mejor control de Distribución de Luz	61
4.6	Visión Nocturna	62
4.6.1	Lúmenes visualmente efectivos o VEL	63
4.7	Relación Lumen Pupila	63
4.8	Control	64
4.9	Desventajas	64
CAPÍTULO V		65
ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LUMINARIAS LED		65
5.1	Contaminación Lumínica	65
5.2	Impacto ambiental	65
5.3	Mantenimiento	66
5.4	Análisis del Área de Estudio	67
5.5	Estudio Técnico del Alumbrado Público actual	69
5.6	Funcionamiento de un equipo de doble nivel de potencia	72
5.7	Especificaciones Técnicas	73
5.8	Propuesta Luminarias Led	74
5.8.1	Luminaria Ledex 150w	75
5.8.2	Luminaria Sylvania Nova Led	76
5.8.3	Lumec Street Light Led 150w	78
5.9	Selección De Luminaria	79
5.10	Análisis Económico	81
5.10.1	Ahorro de Consumo	81
5.10.2	Ahorro de energía	84
5.10.3	Ahorro Energético	85
CONCLUSIONES		86
RECOMENDACIONES		88
LISTA DE REFERENCIAS		89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama del Espectro Electromagnético.....	10
Figura 2.2 Clases de Reflexión de Luz.....	13
Figura 2.3 Refracción de la Luz.....	13
Figura 2.4 Clases de Transmisión de Luz.....	14
Figura 2.5 Absorción de Luz (a. Color Blanco y b. Color Negro).....	15
Figura 2.6 Intensidad Luminosa emitida por una fuente de luz.....	17
Figura 2.7 Iluminancia.....	18
Figura 2.8 Muestra de Iluminancia y Luminancia.....	19
Figura 2.9 Diagrama del Rendimiento Luminoso.....	20
Figura 2.10 Tono del Color.....	22
Figura 2.11 Muestra de Luminosidad del Color.....	23
Figura 2.12 Escala de saturación del color.....	24
Figura 2.13 Triángulo Cromático CIE.....	25
Figura 2.14 Representación aproximada de la temperatura según ciertos colores.....	26
Figura 2.15 Muestra del ojo humano.....	28
Figura 3.1 Energía consumida por diferente sectores a Diciembre 2012.....	30
Figura 3.2 Tipos de luminarias y su cantidad instaladas en el Ecuador.....	32
Figura 3.3 Cantidades de luminarias instaladas en el Ecuador por empresas eléctricas 2012.....	32
Figura 3.4 Muestra de una Lámpara de Sodio de Baja Presión.....	38
Figura 3.5 Muestra gráfica de una Lámpara de Sodio a Alta Presión.....	39
Figura 3.6 Modelo de una Lámpara de Mercurio de Alta Presión.....	43

Figura 3.7	Muestra de comparación de la luminosidad de lámparas de vapor de sodio y las leds.....	45
Figura 3.8	Composición de una luminaria tipo LED.....	46
Figura 3.9	Disposición de los electrones en bandas de energía.....	47
Figura 3.10	Rango De Longitudes De Ondas Para Colores.....	48
Figura 3.11	Compuestos empleados en la construcción de la led.....	48
Figura 4.1	Factores de potencia utilizados por CNEL Guayas-Los Ríos.....	51
Figura 4.2	Temperatura de Funcionamiento.....	52
Figura 4.3	Vida útil lámparas en horas (h).....	53
Figura 4.4	Tiempo de Encendido de Lámparas en minutos (min).....	54
Figura 4.5	Temperatura del Color °K.....	55
Figura 4.6	Índice de rendimiento del color.....	56
Figura 4.7	Mejor calidad de iluminación mediante lámparas LED a 120W (lado derecho) vs lámparas de Sodio a 250W (lado izquierdo).....	56
Figura 4.8	Evolución de la eficacia del LED.....	57
Figura 4.9	Eficacia.....	58
Figura 4.10	Contenido de mercurio.....	59
Figura 4.11	Mejor control de distribución de luz LED (derecha).....	61
Figura 4.12	Respuesta espectral de la visión fotópica y escotópica en relación a la longitud de onda.....	62
Figura 5.1	Sector donde se instalarán las luminarias LED.....	67
Figura 5.2	Longitud de postes a utilizarse.....	68
Figura 5.3	Distancia entre luminarias.....	68
Figura 5.4	Lámpara CalimaII.....	69
Figura 5.5	Distribución de la luminaria Calima II 250W DNP.....	71
Figura 5.6	Ledex 150W.....	75
Figura 5.7.	Distribución fotométrica de la luminaria Ledex 150W.....	76

Figura 5.8 Sylvania Nova LED 150W.....	76
Figura 5.9 Distribución fotométrica de la luminaria Sylvania Nova Led 150W.....	77
Figura 5.10 Street Light LED 150W.....	78
Figura 5.11 Distribución fotométrica de la luminaria Street Light LED 150W.....	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Factores de potencia utilizados por CNEL Guayas-Los Ríos.....	51
Tabla 4.2 Temperatura de Funcionamiento.....	52
Tabla 4.3 Vida útil lámparas en horas (h).....	53
Tabla 4.4 Tiempo de Encendido de Lámparas en minutos (min).....	54
Tabla 4.5 Temperatura del Color °K.....	55
Tabla 4.6 Índice de rendimiento del color.....	55
Tabla 4.7 Eficacia.....	57
Tabla 4.8 Contenido de mercurio.....	59
Tabla 4.9 Características de comparación.....	60
Tabla 4.10 Relación Lumen pupila.....	64
Tabla 5.1 Características Técnicas de la luminaria Calima II.....	70
Tabla 5.2 Características Técnicas Ledex 150W.....	75
Tabla 5.3 Características Técnicas Sylvania Nova LED 150W.....	77
Tabla 5.4 Características Street Light LED 150W.....	78
Tabla 5.5 HPS 250W DNP.....	81
Tabla 5.6 LUMINARIAS LED 150W.....	81
Tabla 5.7 (Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz).....	82
Tabla 5.8 (Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz).....	83
Tabla 5.9 (Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz).....	83
Tabla 5.10 (Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz).....	84

RESUMEN

El presente trabajo de graduación, pretende analizar técnica y económicamente la implementación de luminarias LED para mejorar el sistema de alumbrado público en el tramo comprendido entre la Urbanización La Puntilla hasta La Urbanización Villa Italia en la provincia del Guayas, beneficiando el tránsito de los habitantes de mencionado sector.

En el capítulo 1, se dará a conocer la justificación, planteamiento del problema, metodología, hipótesis y objetivos.

En el capítulo 2, se mostrarán conceptos básicos, fenómenos y normas de iluminación que se tienen en el alumbrado público del país.

En los capítulos 3 y 4, se realizará una descripción de los tipos de luminarias que se utilizan en la actualidad en el alumbrado público, también se conocerá más de la tecnología LED, así como sus ventajas.

En el capítulo 5, se efectuará un análisis técnico y económico sobre el uso de luminarias LED.

Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones para la utilización de las mencionadas luminarias.

ABSTRACT

The aim of the current search is to analyze technical and economic implementation of luminaires with LED technology, to improve public lighting system on a stretch of La Puntilla and Villa Italia, and benefit mentioned transit sector.

In Chapter 1, will be announced justification, problem statement, methodology, assumptions and objectives.

In Chapter 2, Basic concepts, phenomena and lighting standards used in Ecuador.

In Chapters 3 and 4, we will give a description of the types of luminaires currently used for public lighting, and analyze LED technology with advantages and disadvantages that we have between each types of lamps listed.

In Chapter 5, we will talk about a technical and economic analysis on the use of LED luminaires shall be kind.

Finally, conclusions and recommendations for the use of luminaires that were presented above.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

En la actualidad, un adecuado sistema de alumbrado público es esencial para el tránsito de vehículos y personas por diferentes motivos (prevención de siniestros, robos, etc.), pero también es importante el costo que se va a incurrir al querer realizar dicha inversión (costo / beneficio).

Es por eso, que este trabajo de graduación tiene como principal contribución, realizar el análisis de costos además del ahorro energético que se tendrá al implementar luminarias de tipo LED, esto con el afán de ver los beneficios que se obtendrán tanto en la parte monetaria, como también en la eficiencia al implementar este tipo de luminarias (reducción de contaminación ambiental).

También es importante, realizar un análisis de diferencias que existen entre el alumbrado público que está instalado en la ciudad actualmente, y los beneficios que se lograrían con la instalación de lámparas con tecnología LED, tanto en el aspecto económico como en el ambiental.

1.2 Planteamiento del Problema

El alumbrado público es una parte fundamental en el desarrollo de una ciudad.

Una iluminación adecuada, brinda seguridad en la movilización de vehículos

(buses, autos, motocicletas, etc.) y personas, también resaltan espacios físicos tales como parques, monumentos, etc., esto en la parte estética de la misma.

Una adecuada optimización de los sistemas de alumbrado público en una ciudad, es un reto en la actualidad, pues permitirá una reducción en el consumo eléctrico, contaminación lumínica, salvaguardará el medio ambiente, aportando también a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

Implementar nuevas tecnologías en el campo de los sistemas de alumbrado público, figuran un componente esencial en el consumo de energía eléctrica y en los impactos ambientales de la ciudad y el mundo en general.

Por lo descrito en los párrafos anteriores, se desea realizar un análisis de costos y ahorro energético en la implementación de luminarias tipo LED; para poder reemplazar las luminarias que se usan en la actualidad ya que las mismas tienen un alto consumo energético, además de una vida útil limitada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar el costo del ahorro energético provocado por la implementación de luminarias tipo LED en el alumbrado público en el tramo comprendido entre la Urbanización La Puntilla hasta La Urbanización Villa Italia, mediante la aplicación de técnicas de investigación y herramientas de costos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar sobre la tecnología de iluminación tipo LED y su aplicabilidad para beneficio de la sociedad.
- Analizar los diferentes dispositivos tipo LED que actualmente se ofertan en el mercado y seleccionar el más idóneo para la implementación del proyecto.
- Identificar la situación actual del sector de la Avenida Samborondón y la Avenida León Febres Cordero Rivadeneira en referencia al alumbrado público.
- Realizar un análisis económico del uso de luminarias tipo LED y su aplicabilidad en el sector de estudio.

1.4 Tipo de investigación

En el desarrollo de este proyecto se utilizarán los siguientes tipos de investigación basado en su propósito, nivel de conocimiento, y estrategia.

Con respecto al propósito que se desea alcanzar con los resultados obtenidos en este proyecto, se manejará la Investigación Aplicada, la misma que a partir de la búsqueda del conocimiento con respecto a la tecnología de las luminarias LED, se desea presentar una opción para la iluminación del sector de la Avenida Samborondón y la Avenida León Febres Cordero Rivadeneira y así beneficiar a su población.

De acuerdo al nivel de conocimiento, se enfocará en determinar la relación causa y efecto entre el ahorro energético con la aplicación de luminarias tipo LED, y su costo de implementación, que influye en el buen vivir de la población.

En cuanto a lo referente a la estrategia a utilizar, en este proyecto se empleara la investigación de campo, mediante la cual se obtendrá datos e información proveniente de manera directa del lugar en donde se presenta la realidad del estudio.

1.5 Hipótesis

- El ahorro energético obtenido influirá al momento de seleccionar el tipo de luminaria a instalar en el tramo comprendido entre la Avenida Samborondón y la Avenida León Febres Cordero Rivadeneira.
- Las repercusiones en la comunidad de influencia del estudio, con la aplicabilidad de luminarias tipo LED serán beneficiosas.
- Resulta idóneo el sector de la Avenida Samborondón y la Avenida León Febres Cordero Rivadeneira para la implementación del alumbrado público.
- Los resultados obtenidos por el cálculo del ahorro del consumo, el ahorro de energía y el ahorro energético orientaran a la toma de decisión hacia la luminaria LED.

1.6 Metodología

En el periodo investigativo previo al desarrollo, se trabajará con el método analítico, para el estudio de trabajos o proyectos similares que se hayan

implementado en otras ciudades, provincias, países inclusive, esto con el afán de poder tener referencias, así como un soporte y ayuda de experiencias anteriores para la realización de la tesis de graduación.

Se efectuará un estudio visual que pueda comprobar que las luminarias tipo LED son la mejor elección para el alumbrado público, para poder demostrar así las ventajas que se obtendrían al usar estos luminarios en instalaciones futuras en otras partes de la ciudad y del país.

Se analizará la evolución de los diferentes dispositivos LED que se encuentran en el mercado actualmente, para poder evaluarlos, compararlos. Esto se realizará para seleccionar el más idóneo para la implementación del proyecto.

Se analizarán los costos y beneficios de las luminarias tipo LED versus la luminaria que se utiliza en la actualidad, esto, para poder demostrar los beneficios de la nueva tecnología que se quiere utilizar para el alumbrado público.

Se realizarán los cálculos de ahorro energéticos necesarios para poder demostrar que las luminarias tipo LED son la mejor elección en la implementación de alumbrado público.

También se realizará un análisis de encuestas, la misma que se efectuaría de forma aleatoria a una muestra de población de los habitantes de la ciudad de

Samborondón y Daule. Esto con el afán de poder obtener conclusiones y recomendaciones más confiables.

CAPÍTULO II

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO

2.1 La Luz

Se conoce como luz, a la forma de energía que permite visualizar al ser humano lo que le rodea. Es toda radiación electromagnética que se propaga en formas de ondas en cualquier espacio, ésta es capaz de viajar a través del vacío a una velocidad de aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo. La luz también es conocida como energía luminosa.

Existen diferentes fuentes de luz, las mismas son clasificadas como naturales y artificiales. La principal fuente de luz natural sobre la Tierra es el Sol. En el caso de fuentes de luz artificiales, se encuentran la generada por un foco, una vela, lámparas de aceite, entre otras.

2.1.1 Espectro Electromagnético

El rango que comprende a las radiaciones electromagnéticas se conoce como espectro electromagnético, el mismo que consiste en una distribución de la radiación de un objeto determinado, el cual se extiende a partir de frecuencias bajas mismas que son utilizadas por la radio (onda larga), hasta llegar a los rayos gamma, que abarcan longitudes de onda extremadamente grandes (miles de kilómetros) o demasiado pequeños (átomo).

Longitud de onda corta se encuentra relacionada con la longitud Planck, y el límite de la longitud de onda larga corresponde al tamaño del universo.

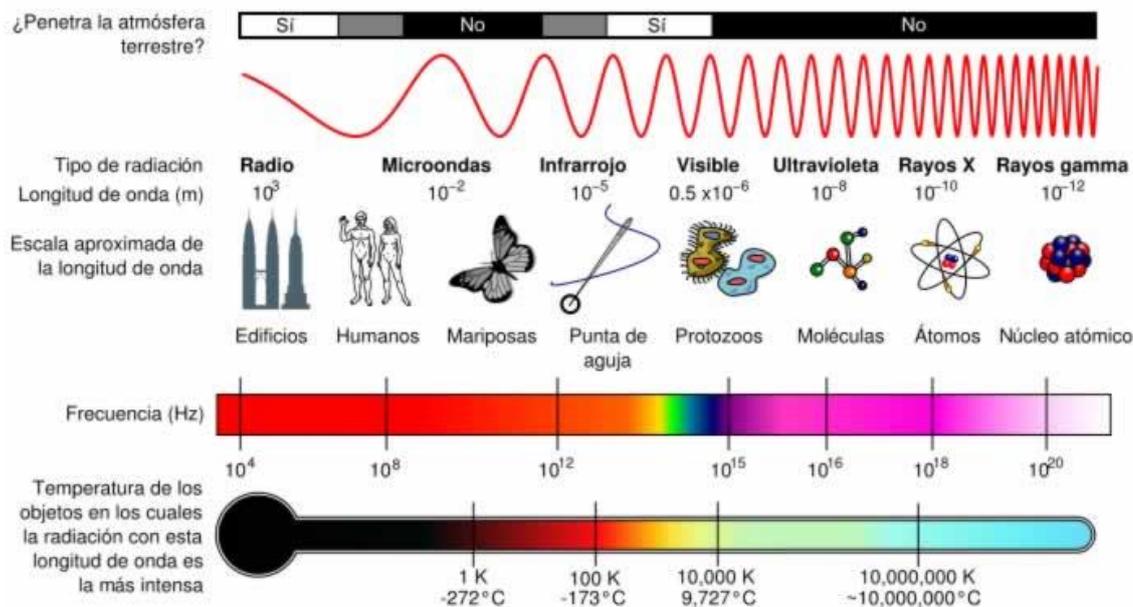


Figura 2.1 Diagrama del Espectro Electromagnético

Fuente: Espectrometría (2012)

2.1.1.1 Rango del espectro

El rango del espectro electromagnético abarca una variedad de longitudes de onda. Dentro de esta variación se comprenden frecuencias de 30Hz y hasta menores, mismas que son influyentes al momento de realizar el estudio de ciertos tipos de nebulosas. Se ha realizado el hallazgo de frecuencias de 2.9×10^{27} Hz a partir de fuentes astrofísicas.

La energía electromagnética en una longitud de onda λ (que se encuentra en el vacío) posee una frecuencia f y energía fotónica E . Entonces, se puede expresar al espectro electromagnético en términos de cualquiera de estas tres variables, mismas que son relacionadas en ecuaciones.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Ecuación 2.1 Expresión de espectro electromagnético

Dónde: λ = longitud de onda, $c=299.792.248$ m/s (velocidad de la luz),

f = frecuencia

Por ende, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia poseen una longitud de onda corta y energía alta; sucediendo lo contrario con las ondas de frecuencia baja.

Las ondas de luz u otros tipos de ondas electromagnéticas que se encuentren en un medio o materia, tendrán una reducción en su longitud de onda. Las longitudes de onda de radiación electromagnética, independientemente del medio por el cual se transporten, son citadas generalmente en términos de longitud de onda en el vacío.

La clasificación consiste en: longitud de onda, ondas de radio, microondas, infrarrojas y región visible, lo cual se percibe como luz, rayos x, ultravioleta y gamma. (Ver Figura 2.1)

La manera o la forma en la que actúa la radiación electromagnética está basada directamente en su tipo de longitud de onda, siendo así que las longitudes de onda más cortas tienen frecuencias más altas y sucediendo lo contrario con las de onda larga.

2.1.2 Propiedades de la Luz

En el momento en el que la luz choca contra la superficie de cualquier obstáculo, una parte de ella se refleja. En cuerpos opacos o transparentes, la luz será absorbida, y el resto que traspasa al mismo se transmitirá. Así pues, tenemos tres posibilidades:

- Reflexión
- Transmisión-refracción
- Absorción

2.1.2.1 Reflexión de la Luz

Sucede cuando la luz incide sobre una superficie ocasionando en ese preciso instante que ocurra un cambio en su dirección. La superficie en donde se refleja la luz al tener algún tipo de brillo provoca que la luz salga hacia una sola dirección produciendo así un tipo de reflexión especular, por el contrario al ser opaca la superficie, la luz que se refleja sobre ella se difundirá en todas las direcciones, lo cual se conoce como reflexión difusa; la reflexión mixta se da por el reflejo de la luz en superficies metálicas pulidas. (Ver Figura 2.2)

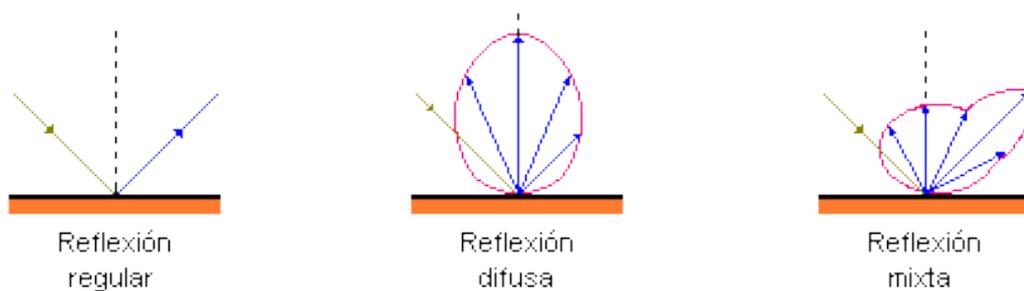


Figura 2.2 Clases de Reflexión de Luz

Fuente: Educaplus (2012)

2.1.2.2 Refracción

Sucede cuando un haz de luz atraviesa más de un material, ocasionado un desvío en su trayectoria según ley de refracción, se da esto debido a que la velocidad de propagación de la luz es diferente en cada material que atraviesa. (Ver Figura 2.3).

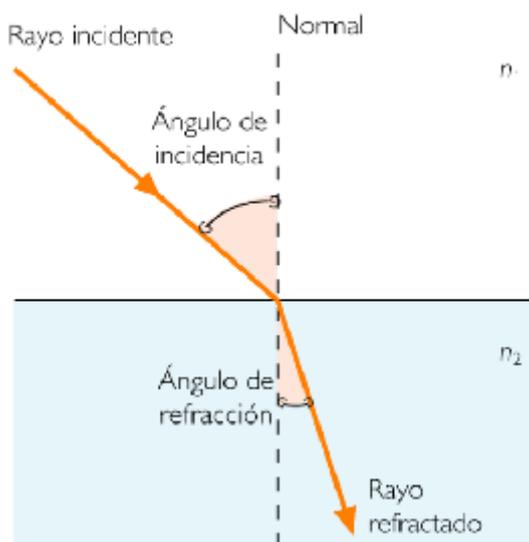


Figura 2.3 Refracción de la Luz

Fuente: Educaplus (2012)

2.1.2.3 Transmisión

Se denomina transmisión, al fenómeno que se da cuando la luz atraviesa una superficie u objeto, ocasionando un cambio de dirección por refracción al pasar por medios de diferente densidad (Ver Figura 2.4). Existen tres tipos de transmisión:

- a. **Regular:** Cuando el rayo de luz no sufre desviación de su trayectoria. (Ej. Vidrios Transparentes)
- b. **Difusa:** El rayo de luz se propaga en todas direcciones. (Ej. Vidrios Traslúcidos)
- c. **Mixta:** Predomina una dirección sobre el resto (Ej. Vidrios Orgánicos)

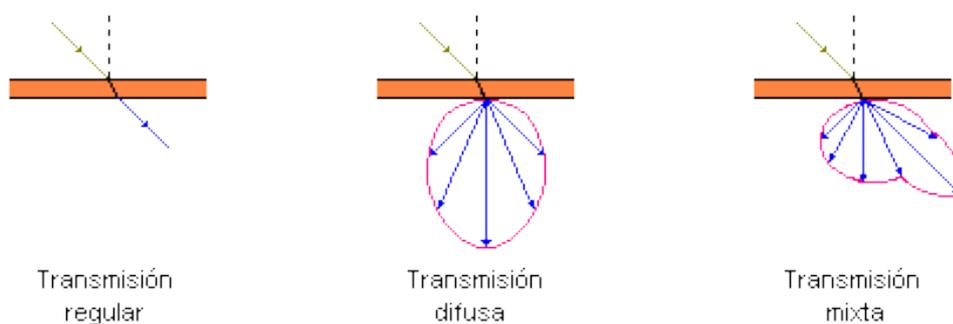


Figura 2.4 Clases de Transmisión de Luz

Fuente: Educaplus (2012)

2.1.2.4 Absorción

Se presenta al incidir a un objeto de luz blanca, ocasionado que una parte de esta sea absorbida y el resto se refleje. Las que se reflejan determinarán el color que percibiremos; si absorbe a todas

obtendremos el color negro; caso contrario sucede si se reflejan todas ya que el blanco es el color que se obtendrá (Ver Figura 2.5).

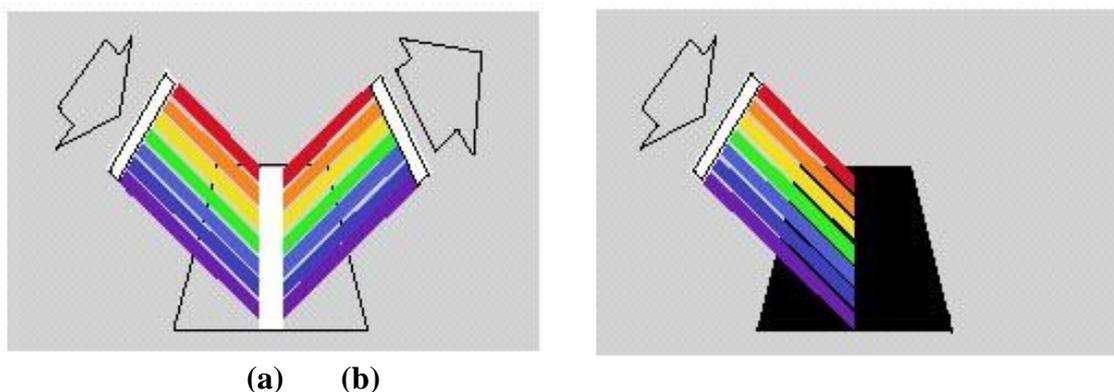


Figura 2.5 Absorción de Luz (a. Color Blanco y b. Color Negro)

Fuente: Educaplus (2012)

2.2 Magnitudes, Unidades de Medida y Conceptos básicos

La luz es una forma de energía, tal como lo son los rayos X y gamma. No toda la luz que se emite por una fuente llega al ojo ni ocasiona sensaciones luminosas, tampoco se consume toda la energía, podemos indicar como ejemplo a una bombilla la misma que se convierte en luz. Entonces no basta saber que la energía se mide en Joules (J) según el Sistema Internacional, sino que también se tienen que definir nuevos tipos de magnitudes como son el flujo luminoso, intensidad luminosa, luminancia e iluminancia, cantidad de luz, el rendimiento o eficiencia luminosa.

2.2.1 Flujo Luminoso

Se denomina así, a la medida de la potencia luminosa percibida. Su unidad de medida es el lumen (lm) según el Sistema Internacional de Unidades.

$$\phi = \frac{Q}{t}$$

Ecuación 2.2 Flujo Luminoso

En donde:

ϕ = Flujo luminoso en Lúmenes

Q= Cantidad de luz emitida en Lúmenes x seg.

t= Tiempo en segundos.

2.2.2 Intensidad Luminosa

Es la concentración de luz en una dirección específica, misma que es radiada por segundo. Su unidad de medida es la candela (cd) y se la identifica con la I (ver Ecuación 2.3 y Figura 2.6).

$$I = \frac{\phi}{\omega}$$

Ecuación 2.3 Intensidad Luminosa (I)



Figura 2.6 Intensidad Luminosa emitida por una fuente de luz

Fuente: Educaplus (2012)

2.2.3 Iluminancia

Es el flujo luminoso obtenido por una superficie sin importar su dirección, la unidad de medida es el lux (lx), misma que tiene una equivalencia de un lm/m^2 . (Ver ecuación 2.4 y Figura 2.7)

$$E = \frac{\phi}{S}$$

Ecuación 2.4 Iluminancia (E)

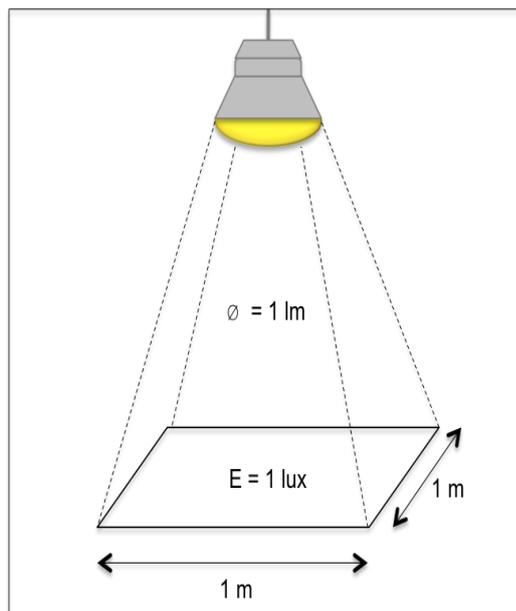


Figura 2.7 Iluminancia

Fuente: Educaplus (2012)

2.2.4 Luminancia

Toma el nombre de luminancia la relación que existe entre la intensidad luminosa y la superficie en una dirección específica. Se la determina con la letra L y su unidad según el Sistema Internacional de Medidas es la cd/m^2 . (Ver ecuación 2.5 y Figura 2.8).

$$L = \frac{I}{S}$$

Ecuación 2.5 Ecuación cálculo de Luminancia (L)

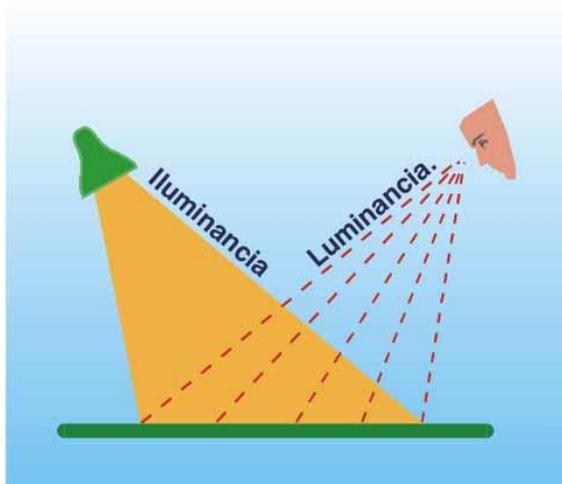


Figura 2.8 Muestra de Iluminancia y Luminancia

Fuente: Educaplus (2012)

2.2.5 Deslumbramiento

El estado de la visión en donde se produce disminución o incapacidad para distinguir objetos provocado por la incorrecta distribución de la luminaria, o como resultado de excesivos contrastes dado en el espacio o en el tiempo lo que se conoce como deslumbramiento.

a) Deslumbramiento perturbador, también bajo el nombre de fisiológico, disminuye el contraste que se puede dar sobre objetos observados, normalmente esto es utilizado en el alumbrado exterior.

b) Deslumbramiento molesto, también conocido como psicológico, resulta molesto a la vista, pero a pesar de ello no resulta dificultoso al momento de percibir los objetos.

2.2.6 Rendimiento Luminoso o Eficiencia Luminosa

Se define como rendimiento luminoso al resultado que se obtiene entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica que se ha consumido, lo que viene dado en las características de las lámparas de 25W, 60W entre otras.

La unidad de medida del rendimiento luminoso es el volumen por watt (lm/W).

$$\eta = \frac{\phi}{p} \left[\frac{lm}{W} \right]$$

Ecuación 2.6 Rendimiento Luminoso o Eficiencia Luminosa



Figura 2.9 Diagrama del Rendimiento Luminoso

Fuente: Educaplus (2012)

2.2.7 Cantidad de Luz

Es únicamente de importancia para poder conocer el flujo luminoso que un flash fotográfico es capaz de dar o para poder realizar diferentes comparaciones entre lámparas de acuerdo a la luz que estas emiten durante un determinado periodo de tiempo. La simbología utilizada es Q y su unidad de medida es el lumen por segundo (lm·s). (Ver ecuación 2.7)

$$Q = \phi \cdot t$$

Ecuación 2.7 Cantidad de Luz (Q)

2.3 El Color en fuentes de luz

El color se define o se forma en base a la composición espectral de la radiación que se proyecta al ojo, esta área toma el nombre de espectro visible, la cual abarca distancias de onda que oscila entre los 380 nm hasta los 760 nm del espectro electromagnético, adicional a esto hay que tener en consideración los procesos que sirven de adaptación del sistema visual del ojo.

2.3.1 Atributos del Color

2.3.1.1 Tono

Los colores que se distinguen en el espectro de la luz visible toma el nombre de Tono.

También conocido como tinte, matiz o croma. En cada tono se encuentra una gran diversidad o variedad de matices o colores como por ejemplo el color rojo, pero sus matices son el rosa, el burdeos entre otros que nacen del rojo.

El Tono se caracteriza por ser una cualidad del color, es decir, ayuda a diferenciar, colocar un nombre designando los colores, por ejemplo, al mencionar color azul, en realidad lo que se está haciendo es definir una de las cualidades, es decir el Tono.

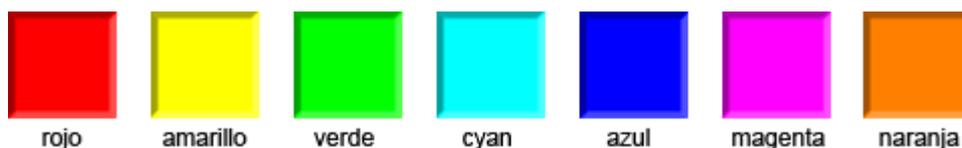


Figura 2.10 Tono del Color

Fuente: Aulapc (2013)

2.3.1.2 Luminosidad

La Luminosidad refiere al grado o nivel de claridad u oscuridad que puede tomar un color, esto es por ejemplo cuando un color determinado se lo mezcla con blanco se obtiene el mismo color pero con un tono más claro.

La luminosidad en un color crea una escala cromática de valor que llega al blanco.

Cada color cuenta con su propia luminosidad, así el caso del color azul su luminosidad es más baja que la del color

amarillo, el rojo tiene luminosidad más fuerte que el violeta, entre otros colores y su luminosidad.

En la figura 2.10 se puede observar el inicio de la demostración con el color verde RGB con número 0,255,0; conforme se va aclarando la tonalidad su número se mantiene en 255 pero entre más claro su valor cambia hasta llegar a blanco.

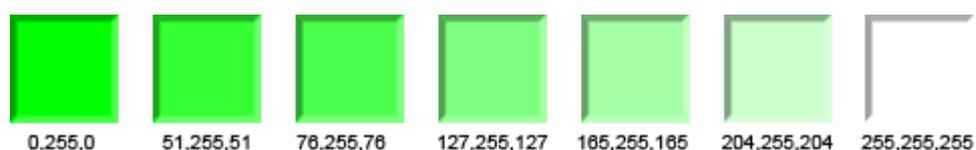


Figura 2.11 Muestra de Luminosidad del Color

Fuente: Aulapc (2013)

2.3.1.3 Saturación

El grado o calidad de pureza que obtiene un color se conoce como saturación, el mismo que se refiere a la fuerza de un tono adicional a su brillantez pura. La máxima saturación se alcanza cuando un color no contiene ningún tipo de mezcla.

A continuación se presenta un ejemplo claro del nivel de saturación que se le da al color azul. Si a este se le añade el color blanco, como resultado presenta un aumento en su

luminosidad pero un disminución en la saturación, es decir una relación inversa entre estos puntos.

Cabe recalcar que en el caso de querer quitarle la saturación a un color sin tener que variar la luminosidad del mismo, es necesario que se le agregue el color gris.

En el siguiente cuadro se crea una escala de saturación sin tener que cambiar la luminosidad, que culmina con una tonalidad gris.

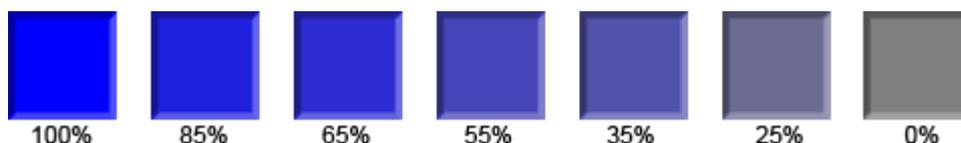


Figura 2.12 Escala de saturación del color

Fuente: Aulapc (2013)

2.3.2 Diagrama Cromático de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE)

El sistema CIE caracteriza los colores por un parámetro de luminancia Y , y dos coordenadas de color x e y , las cuales especifican un punto sobre el diagrama de cromaticidad. Este sistema ofrece más precisión en la medida del color que los sistemas Munsell y Ostwald, porque los parámetros están basados en la distribución de energía espectral (SPD) de la luz emitida por el objeto coloreado, y está factorizado por las

curvas de sensibilidad, las cuales han sido medidas por el ojo humano. (Ver Figura 2.12). (M Olmo R Nave, *Sistema de Color C.I.E.*, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vision/cie.html>)

Los colores que se pueden obtener por combinación de un determinado conjunto de tres colores primarios (tales como azul, verde y rojo de una pantalla de televisión a color) están representados sobre el diagrama de cromaticidad por el triángulo construido uniendo las coordenadas de los tres colores. (M Olmo R Nave, *Sistema de Color C.I.E.*, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vision/cie.html>)

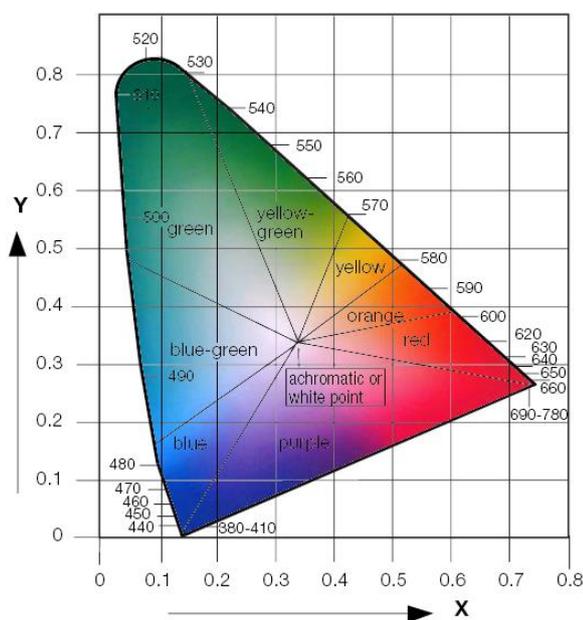


Figura 2.13 Triángulo Cromático CIE

Fuente: Laszlo (2012)

2.3.3 Temperatura del Color

La temperatura de color se determina al comparar el color dentro del espectro luminoso, con el de la luz que se obtendría de un cuerpo negro calentado a una determinada temperatura.

La temperatura de color es expresada en kelvin por el motivo anteriormente indicado, a pesar de no reflejar una medida de temperatura expresamente, es solo una medida relativa. (Ver Figura 2.13)



Figura 2.14 Representación aproximada de la temperatura según ciertos colores

Fuente: *Laszlo (2012)*

Por lo general esta representación no se percibe a simple vista, sino se da por el contraste directo de dos luces, como por ejemplo al observar una hoja de papel normal bajo luz que promueve una lámpara incandescente y otra hoja de papel bajo la luz de un tubo fluorescente, ambas al mismo tiempo.

2.4 Sentido de la Visión

La luz al ser procesada por el ojo e interpretada por el cerebro toma el nombre de Visión.

El proceso del paso de la luz por el ojo, inicia a través de la superficie transparente del ojo o córnea, la abertura negra se denomina pupila, la misma que es un orificio que va hacia la parte interior del ojo, esta puede agrandarse o reducirse dependiendo de la cantidad de luz que entra.

El músculo que controla el tamaño de la pupila es el Iris y se caracteriza por ser una porción coloreada. En la parte interna del ojo se encuentra una sustancia líquida gelatinosa.

El área cristalina transparente del ojo sirve para enfocar la luz para que esta llegue hacia la parte posterior del ojo o retina. La retina transforma la energía lumínica en impulsos nerviosos que son transmitidos hacia el cerebro para posteriormente ser interpretados.

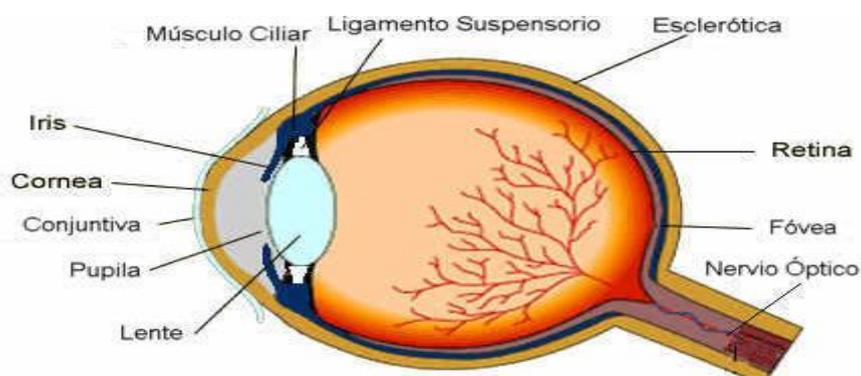


Figura 2.15Muestra del ojo humano

Fuente: Scientificpsychic (2012)

2.4.1 La Visión Humana en la Iluminación

La manera en que el ser humano visualiza algún objeto y como resultan afectadas en lo psicológico por el tipo, calidad y cantidad de luz que se emite ha sido este un tema de análisis e investigación, lo que ha llevado años.

La metodología más comúnmente utilizada para determinar cuanta luz se requiere para desarrollar diferentes actividades, es la de determinar a la luz como salida de lúmenes y ser media como luxes en una superficie.

Con los cambios progresivos en la tecnología del alumbrado, y a esto se suma la variedad de tipos de colores en luminarias, la medida de lúmenes no ayuda a pronosticar la calidad en la visión del ser humano, para explicarlo se detalla un ejemplo, una lámpara de sodio que es de baja presión, puede ser capaz de producir cantidades de lúmenes, pero aun así reflejar solo dos colores el amarillo y el gris. Al utilizar este tipo de luminaria, el objeto se puede revelar en su forma pero no en detalle.

La visión del ser humano es influenciada de varias formas, por la intensidad de la luminosidad, distribución o color, el contraste y reflexión, deslumbramiento, calidad del área, posición y movimiento, entre otros.

Los ojos de los seres humanos poseen conos y bastones los cuales fueron diseñados para trabajar en condiciones contrarias.

Los conos manejan la visión de color, detalle, cuando existe gran cantidad de luz, y los bastones proveen visión de color y detalle pero en condiciones adversas es decir cuando hay poca luz.

Cuando existe mucha luz, esto provoca que las pupilas se contraigan, pudiendo observar más detalladamente los objetos, mientras que la profundidad de campo y su brillo se perciben en mayor proporción.

Cuando existe poca luz, las pupilas de ojo se dilatan, esto provoca que puedan ingresar más luz.

CAPÍTULO III

CLASES DE FUENTES DE ILUMINACIÓN DISPONIBLES PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO

3.1 Tipos de Fuentes de Iluminación

El sistema de alumbrado consiste en el conglomerado de elementos en donde se origina la entrega de energía eléctrica, llegando a la luminaria que ha sido instalada en un determinado punto o espacio.

Los elementos que forman parte del alumbrado público tienen características individuales que los diferencian ya sea por la funcionalidad de sus partes y la fuente de la cual proveen energía (Ver Figura 3.1).

SECTORES DE CONSUMO	Residencial	Comercial	Industrial	Alumbrado Público	Otros
2006	33,48%	22,33%	28,64%	6,37%	9,18%
2007	33,60%	21,61%	28,54%	6,28%	9,98%
2008	34,65%	19,91%	27,02%	6,37%	12,05%
2009	35,35%	19,16%	31,38%	6,20%	7,91%
2010	36,33%	18,98%	31,38%	5,77%	7,54%
2011	35,09%	19,38%	31,46%	5,79%	8,27%
2012	34,66%	19,78%	31,23%	5,63%	8,70%

Figura 3.1 Energía consumida por diferentes sectores a Diciembre 2012

Fuente: *INER (2012)*

En el año 2012 de acuerdo a los datos presentados en el cuadro anterior se puede observar que la utilización del alumbrado público alcanzo el 5,63% del total de energía que se consume en los tres sectores industrial, residencias, comercial y otros.

Existe un variedad de luminarias que se utiliza para el alumbrado público, en el Ecuador, la más principal en cuanto a su uso es la de Sodio de alta presión, lo misma que de acuerdo a datos facilitados por el INER, este tipo de luminaria llevo a una cantidad de uso de 948.422 lo cual representa el 86% de uso en relación a los demás tipos de luminarias.

Otro tipo de luminaria empleada en el País es la de Mercurio, la cual representa el 10% de uso en comparación a las demás, y llega a 106.326 luminarias de uso. Es así que el total de luminarias utilizadas en el país asciende a 1.104.072 lo cual comprende lámparas de Sodio, Mercurio, Incandescente, Led, Mixta, Reflectores, otras.

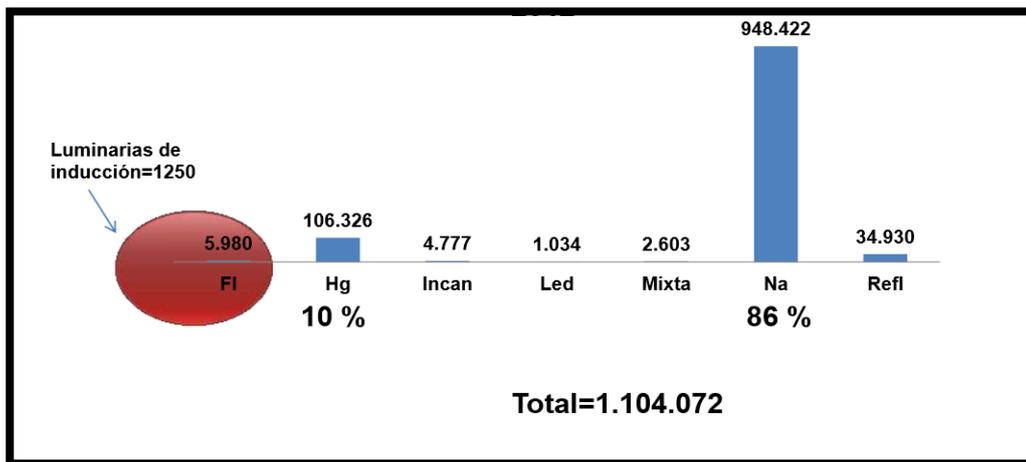


Figura 3.2 Tipos de luminarias y su cantidad instaladas en el Ecuador

Fuente: INER (2012)

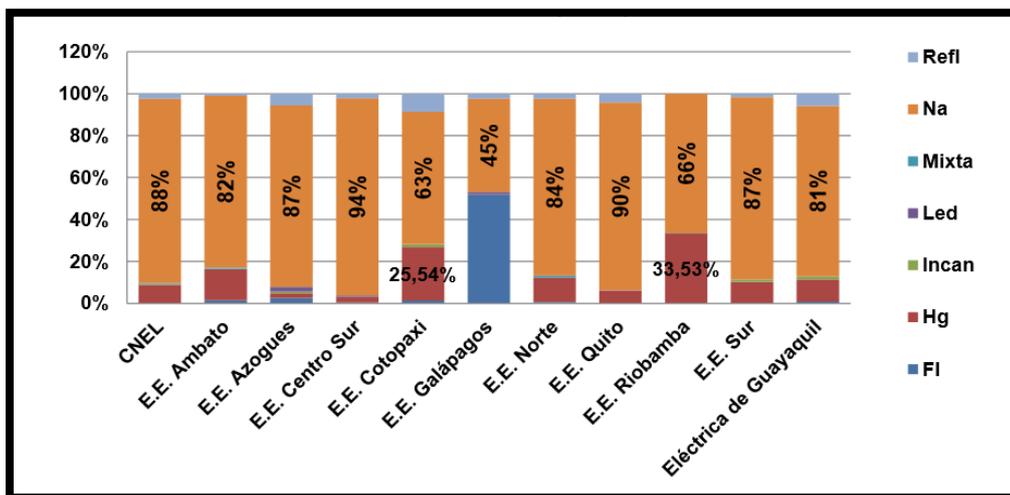


Figura 3.3 Cantidades de luminarias instaladas en el Ecuador por empresas eléctricas 2012

Fuente: INER (2012)

La figura 3.3 muestra los resultados que corroboran el hecho de que en el país el tipo de luminaria más utilizada por los diferentes sectores es la de Sodio, seguida por la de mercurio y las todas las restantes en mínima cantidad.

3.1.1 Lámparas

La lámpara es un objeto encargado de producir luz o actuando como soporte para una o varias luces artificiales, logrando de esta manera que los dispositivos que se encargan de generar luz se puedan conectar a la red eléctrica.

Aquellas lámparas que son tomadas para mayor uso son las de vapor de sodio y vapor de mercurio, cuyas cualidades son las de obtener beneficios por el ahorro energético que producen en comparación con las lámparas de tipo incandescentes.

3.1.2 Luminarias

Según la Norma UNE-EN 60598-1*, se define luminaria como aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas,(excluyendo las propias lámparas) y,

en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.

En el grupo de luminarias para instalaciones de iluminación pública tenemos aquellas que son utilizadas en parques, jardines, zonas residenciales, entre otros, y adicionalmente a esto estas aquellas luminarias que sirven para iluminar vías urbanas, autopistas, túneles, entre otros.

Para el caso del alumbrado en las vías urbanas o autopistas, las luminarias que mayor uso se da son las de distribución asimétrica, cuya característica es que se aprovecha de mejor manera el flujo luminoso que brindan las mismas, esto se debe a la longitud ya que es mayor que el ancho de las mismas.

Para el alumbrado de espacios grandes y plazas, lo que más se recomienda en cuanto al alumbrado público son las luminarias de distribución simétrica.

3.1.3 Balastos

Dispositivo eléctrico el cual es utilizado en las bombillas de descarga eléctrica, y sirve como estabilizador del circuito limitando así la corriente que se propaga por la lámpara, además también sirve de soporte para el encendido y operación de la bombilla. El rango de consumo energético de este tipo de

dispositivo varía entre el 10% y el 20% del consumo total que tiene la lámpara.

Dentro de los balastos existen dos tipos, los Electromecánicos y los Electrónicos; los primeros son adecuados para corrientes alternas con frecuencias de 50 a 60 Hz, y los segundos son utilizados en altas frecuencias.

Los Balastos se utilizan primordialmente en las lámparas fluorescentes, lo que se encarga de tres fundamentales tareas, las mismas que son:

- Presta el voltaje adecuado con el cual se forma un arco entre los electrodos encargados de realizar el encendido de la lámpara.
- Sirve como regulador de la corriente eléctrica el mismo que recorre por medio de la lámpara y de esa manera logra estabilizar la salida de la luz.
- Suministra un voltaje adecuado que provee la corriente de operación necesaria para las lámparas.

3.2 Clases de Iluminación Artificial para Alumbrado Público utilizados en el Ecuador

3.2.1 Lámpara de Vapor de Sodio

El tipo de luminaria más utilizado es la Lámpara de Vapor de Sodio, la misma que es utilizado en gran parte del alumbrado público en diferentes áreas del país. Esta clase de lámparas se subdivide en:

Lámpara de Sodio de Baja presión, y Lámpara de Sodio de Alta Presión.

3.2.2 Definición y características de la lámpara de sodio a baja presión

En esta clase de lámpara se produce una radiación visible la misma que provoca una descarga de sodio directa.

Las características físicas de una lámpara de sodio de bajo presión son: Forma del tubo de la lámpara, en U con una cubierta de vidrio exterior tubular vacío, en la superficie interna una capa de óxido de indio, el vacío tubular junto con la capa de óxido trabajan como reflectores selectivos de infrarrojo, lo cual provoca que la pared del tubo de descarga se puede estabilizar y mantener a una adecuada temperatura de trabajo.

Cada una de las características expuestas de la Lámpara son importantes y necesarias porque permite que cuando el sodio se condensa, este se pueda depositar en hendiduras de vidrio, evaporándose provocando una pérdida mínima de calor, consiguiendo con esto alcanzar una mayor eficiencia luminosa.

El gas de neón que se encuentra en la lámpara, ayuda a dar inicio a la descarga y de esta manera que el calor necesario se desarrolle con el

objetivo de vaporizar el sodio, lo que se denota por la luminiscencia de color rojo-anaranjada que se origina en los primeros pocos minutos de labor.

El sodio metálico con el que trabajan las lámparas se evapora de manera progresiva, es así que se produce la luz amarilla monocromática, formada por líneas de 589 nm y 589'6 nm en el espectro.

El color rojo-anaranjado que en un inicio se originaba, es reducido a lo largo del funcionamiento debido a que los potenciales de ionización y de excitación del sodio son menores que los que contiene el neón.

El tiempo para que una lámpara llegue a alcanzar el flujo luminoso es alrededor de 10 minutos. En el caso en que el suministro de alimentación se interrumpa de manera momentánea, éste volverá a arrancar inmediatamente, porque la presión que tiene el vapor es muy baja, esto junto con el voltaje necesario provoca que puede restablecerse el arco.

La eficiencia en cuanto a la luminosidad alcanzada es de hasta 200 lm/W, y una vida larga de duración. Estas lámparas son utilizadas en lugares en que la producción de color no es de gran importancia, lo que en realidad cuenta es el reconocimiento del contraste. La capacidad de potencia de estas lámparas varía desde 18W a 180W.

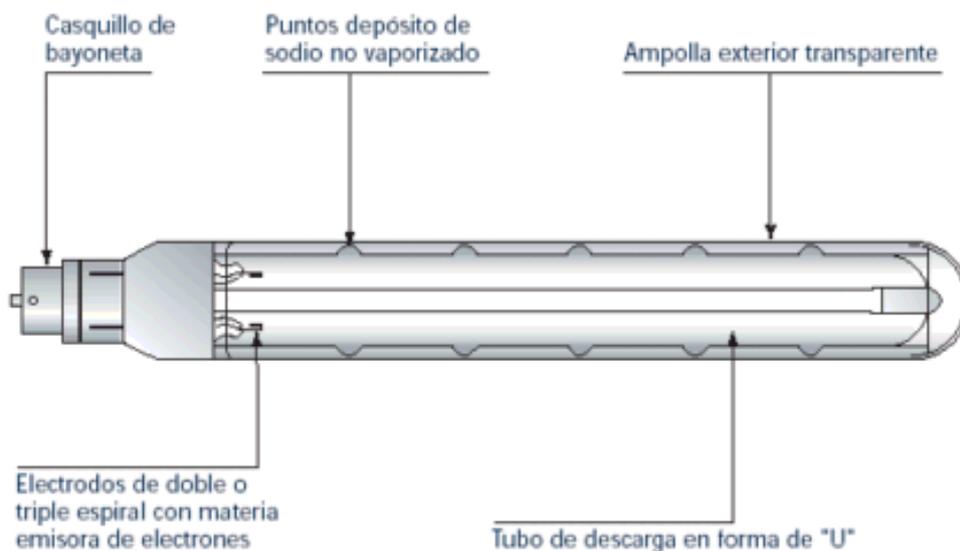


Figura 3.4 Muestra de una Lámpara de Sodio de Baja Presión

Fuentes: Tuveras (2012)

3.2.3 Definición y características de la lámpara de sodio a alta presión

Las lámparas de sodio de alta presión transmiten la energía mediante una gran parte de su espectro visible, es por ello que la reproducción de color que brindan estas lámparas es muy aceptable si la comparamos con la lámpara de sodio de baja presión.

El tubo de descarga que se encuentra en una lámpara de sodio de alta presión se encuentra cargado de sodio en exceso, esto es para cuando la lámpara se encuentre en funcionamiento que el exceso de sodio se muestre como vapor saturado.

Adicional al exceso de sodio, también contiene abundante mercurio para de esta manera proporcionar gas amortiguador, a este proceso se incluye xenón con el objetivo de hacer más fácil el encendido y poner límites a la conducción de calor partiendo desde el arco en donde se realiza la descarga hasta llegar a la pared del tubo.

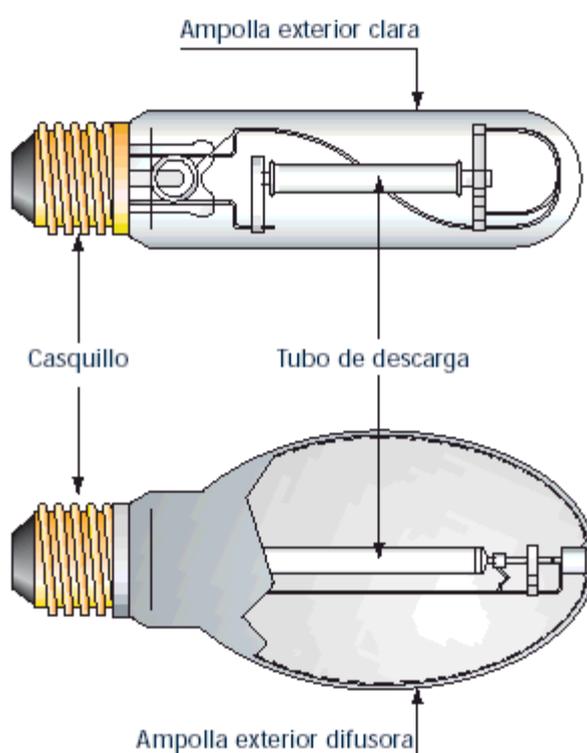


Figura 3.5 Muestra gráfica de una Lámpara de Sodio a Alta Presión

Fuentes: Tuveras (2012)

La temperatura de color que este tipo de lámparas alcanza oscila en un rango de 1900 a 2200 °K, y su índice de rendimiento que proporciona el color es de 22, pudiendo este llegar a 65 debido a que en estas

lámparas ese da el caso de aumentos de presión en el sodio. La vida útil de este tipo de lámparas se encuentra entre 8000 y 12000 horas.

3.3 Lámpara de Vapor de Mercurio a Alta Presión

Estas lámparas contienen mercurio en pequeña cantidad y adicional un relleno de gas inerte por lo general argón. El mercurio se encuentra en un tubo de descarga de cuarzo y es ahí por donde la lámpara realiza la descarga, y el argón es la sustancia que facilita el encendido.

Parte de la radiación de la descarga se produce en la parte visible del espectro en forma de luz, y otra parte es emitida en la ultravioleta. Para que la lámpara refleje una mayor iluminación se cubre la superficie interior de la ampolla exterior en donde se encuentra ubicado el tubo por el cual se realiza la descarga, y con un polvo fluorescente que provoca que la radiación ultravioleta se convierta en radiación visible.

Para controlar el correcto funcionamiento de una lámpara de mercurio de alta presión, es necesario tomar en consideración tres fases fundamentales las mismas que se las detalla a continuación: Ignición, Encendido, y Estabilización.

3.3.1 Ignición

Para lograr obtener o llegar a la Ignición es necesario emplear un electrodo auxiliar o uno de arranque, el cual está muy cercano al electrodo principal conectados mediante un resistencia de alto valor.

En el momento de que la lámpara enciende, entre los electrodos que esta contiene se da origen a un gradiente de alta voltaje.

La descarga que resulta llamada luminiscente se expande a lo largo del tubo de descarga influenciada por el campo eléctrico que se origina por los dos electrodos principales.

Al darse la descarga luminiscente esta alcanza el electrodo más distante, origina que la corriente se incremente en condiciones considerables, como consecuencia de esto los principales electrodos son caldeados hasta el punto en que la emisión aumenta de manera suficiente como para facilitar a la descarga luminiscente cambiarse totalmente a una descarga tipo arco.

En esta etapa que se ha descrito, la lámpara cumple la función de de descarga de baja presión. En esta etapa, la lámpara funciona como una descarga de baja presión similar a la de una lámpara fluorescente.

3.3.2 Descripción del encendido

El tiempo de encendido es el tiempo determinado durante su proceso desde la ejecución de la ionización del gas inerte, cuando se tiene solo este primer

punto la lámpara aún no se encuentra en posibilidad de quemar en la manera deseada y así no transmite una producción máxima de luz, sino hasta el momento en que el mercurio que se descarga este totalmente vaporizado.

El caldeo se produce por la descarga de arco en el gas inerte, y esto ocasiona que la temperatura del tubo de la descarga se incremente, causando así una vaporización del mercurio que va aumentando su presión y orientando dicha descarga a una banda estrecha que se encuentra localizada a lo largo del eje del tubo.

El tiempo que transcurre desde el instante de la ignición para llegar a un 80% de la producción máxima de luz, alcanza alrededor de 4 minutos, a esto se lo conoce como tiempo de encendido.

Las lámparas de mercurio de alta presión, se caracterizan por tener resistencia negativa y esto induce a que la operatividad de la misma no se pueda dar de manera propia, sino por el uso de un balasto que ayude a estabilizar la corriente en ella.

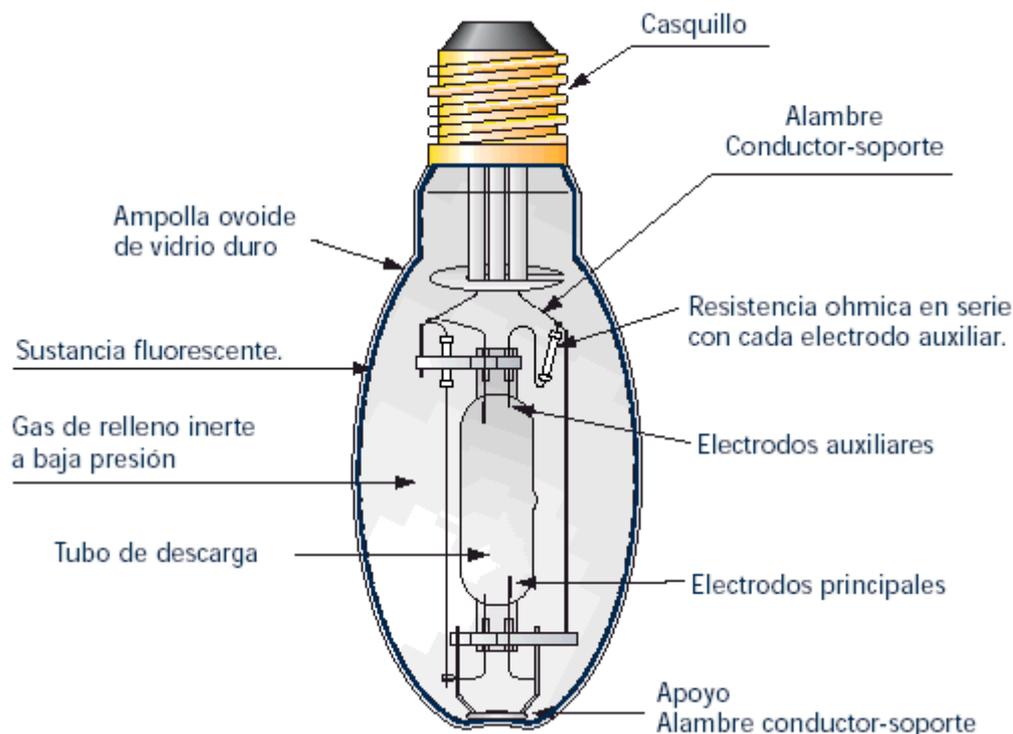


Figura 3.6 Modelo de una Lámpara de Mercurio de Alta Presión

Fuentes: Tuveras (2012)

3.3.3 Luminarias Led

Lighting Emiting Diode (Diodo emisor de luz), corresponde al significado de las siglas LED.

Las luminarias LED dispositivos que se encuentran en estado sólido capaces de generar luz de manera diferente a otras fuentes de energía, es un diodo semiconductor que es atravesado por una corriente eléctrica y como resultado de lo mismo genera luz.

De la composición química del material semiconductor que es utilizado en este tipo de luminarias depende la longitud de onda de luz que se emite y por

ende el color, al atravesar la corriente el diodo libera energía en forma de fotón, del cual la luz que se emite puede ser infrarroja, visible, casi ultravioleta.

Dentro de las ventajas que se presentan con el uso de luminarias LED están las siguientes:

- La vida útil del dispositivo es más larga que los otros tipos de luminarias llegando a cubrir hasta 50.000 horas de uso.
- El costo de mantenimiento de este tipo de luminarias es menor en comparación a los otros tipos.
- El ahorro de energía es mayor que con las actuales fuentes de iluminación, en especial por la eficiencia óptima de su sistema.
- La tecnología utilizada en estos dispositivos es de bajo voltaje, lo cual beneficia la instalación, resulta más sencilla y segura, y adicional a esto no contiene radiación IR, UV y tampoco contiene mercurio.
- Las temperaturas en las cuales pueden ser utilizados los LEDs es hasta un -40°C y la eficacia en las ambientes fríos es alta.
- Convierten en luz gran parte de la energía consumida.
- Provocan muy poco calor, no son atractivos para insectos.
- El rendimiento luminoso y de tensión de alimentación se mantienen en un 20%.

- No es necesario la instalación de circuitos adicionales para llegar a aprovechar la energía que es suministrada por la red eléctrica.
- Aportan con el cuidado del planeta al ser ecológicos al terminar la vida útil, está formado por aluminio, plástico y vidrio, los cuales son fácilmente separables y reciclables.
- Aptos para ser utilizados en ambientes explosivos por generar bajas temperaturas al funcionar y no contar con balastos o generadores.

Este tipo de luminarias son aplicables para el alumbrado público como el caso de autopistas, avenidas, calles, túneles, caminos, puentes, descarga, muelles, fábricas, clubes, hipermercados, centros comerciales, ambientes explosivos.



Figura 3.7Muestra de comparación de la luminosidad de lámparas de vapor de sodio y las leds

Fuente: Solaruno (2012)

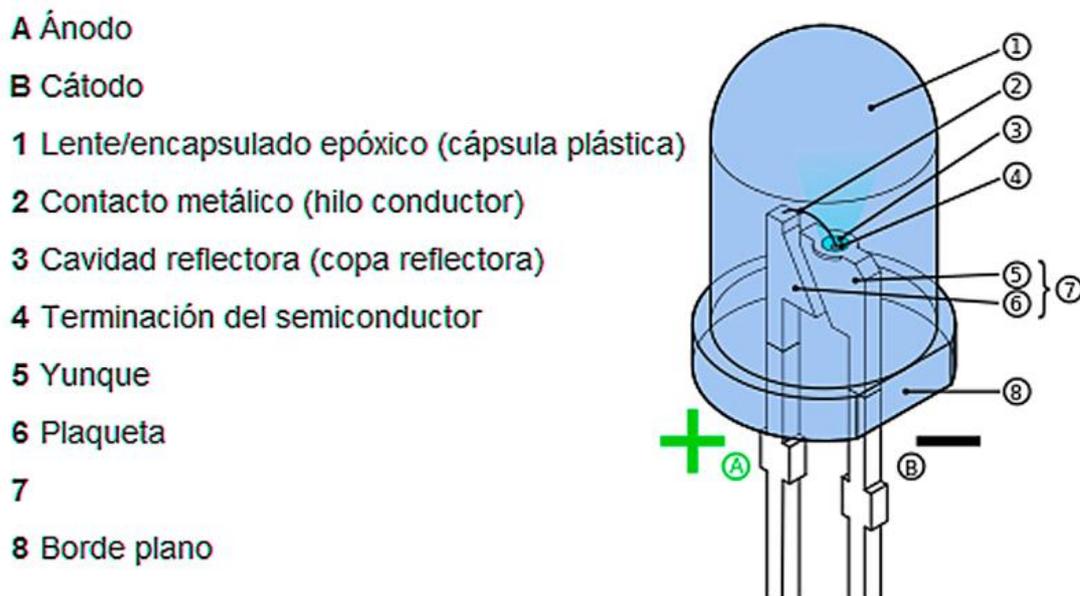


Figura 3.8 Composición de una luminaria tipo LED

Fuente: Luzalcala (2012)

3.3.3.1 Principio físico de los leds

Pedro Díaz (2010), señala que el principio físico de la emisión de fotones por parte de un LED se basa en la teoría atómica de Bohr, que justifica su comportamiento en base a las bandas de energía en la que se encuentran los electrones en un átomo. Por este fenómeno, una tensión externa aplicada a una unión semiconductor p-n polarizada directamente (Ánodo-Cátodo), excita los electrones, de manera que son capaces de atravesar la banda de energía que separa las dos regiones si la energía es lo suficientemente grande, los electrones escapan del material en forma de fotones y pueden ser visibles por el

ojo humano. Las lámparas actuales, incluidos las LED's, tienen entre 95 o 150lm/w de rendimiento luminoso

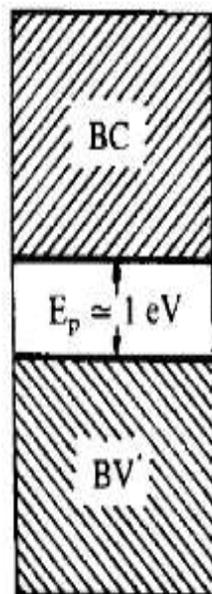


Figura 3.9 Disposición de los electrones en bandas de energía.

Fuentes: Iearobotics (2012)

3.3.3.2 Composición de las Luminarias Led

En el rango del espectro visible se dan subintervalos que provocan uno u otra apariencia de color, esto se da en función a la longitud de onda de tales radiaciones, las zonas que se detallan a continuación representan los siguientes colores:

LONGITUD DE ONDA	MATIZ
400- 450 nm	violeta
450- 500 nm	azul
500- 570 nm	verde
570- 590 nm	amarillo
590- 620 nm	anaranjado
620- 700 nm	rojo

Figura 3.10 Rango De Longitudes De Ondas Para Colores

Fuentes: Iearobotics (2012)

Compuesto	Color	Long. de onda
Arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940nm
Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo	890nm
Arseniuro fosforo de galio (GaAsP)	Rojo, naranja y amarillo	630nm
Fosforo de galio (GaP)	Verde	555nm
Nitruro de galio (GaN)	Verde	525nm
Seleniuro de zinc (ZnSe)	Azul	
Nitruro de galio e indio (InGaN)	Azul	450nm
Carburo de silicio (SiC)	Azul	480nm
Diamante (C)	Ultravioleta	
Silicio (Si)	En desarrollo	

Figura 3.11 Compuestos empleados en la construcción de la led

Fuentes: Iearobotics (2012)

Los límites expuestos anteriormente en las longitudes de onda, para dar paso de un color a otro, no son de carácter absoluto, debido a que tal paso es efectuado de manera progresiva, tal es el caso que el color puede ser definido como la interpretación psicofisiológica del espectro electromagnético visible, no siendo una propiedad única de los cuerpos, ya que no solo depende de las propiedad ópticas que presenta sino también de la composición espectral de la luz que recibe.

El concepto de color se origina en base a tres percepciones visuales, siendo estas:

- **Tono:** Se cataloga al tono por una frecuencia del espectro visible, mostrando la intensidad del rojo, verde, amarillo, entre otros, haciendo referencia a los variados tonos.
- **Luminancia:** La intensidad luminosa con que se percibe al observar un determinado objeto desde un ángulo específico se denomina luminancia. La máxima luminancia es el blanco, y la mínima es el negro.
- **Saturación:** Determina la concentración de un color respecto a un tono del color gris, en el efecto que se presenta cuando los dos son visualizados a un igual nivel de luminancia.

Para dar lugar a cualquier color visible, este se lo obtiene variando o mezclando proporciones de luminancia de colores primarios como es el roja, verde y azul, los resultados de esta variación provocan una luminosidad mayor por el uso de los colores primarios.

CAPÍTULO IV

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA LED FRENTE A LAS LÁMPARAS EXISTENTES EN LA CIUDAD

4.1 Consideraciones Generales

Se realizaron las comparaciones entre las lámparas con tecnología LED, las de mercurio y sodio de alta presión, sabiendo que estas últimas, son las que frecuentemente son utilizadas en las instalaciones del alumbrado público en el país.

4.2 Parámetros de la comparación

4.2.1 Filamento

El filamento es uno de los componentes más sensibles de una lámpara, ya que mientras esta se encuentra trabajando, cualquier tipo de perturbación eléctrica o vibración que pueda existir sobre la misma, puede ocasionar su rompimiento. Éste componente, adicionalmente es el que indica la vida útil de la lámpara y por lo general es el que ocasiona las fallas de la misma por consecuente genera gastos adicionales por su sustitución.

4.2.2 Electrodo

a) Mercurio a alta presión:

Cuenta con dos electrodos, uno principal y el segundo de arranque.

b) Sodio a alta presión:

Contiene solo un electrodo principal.

c) **LED:**

No posee electrodos.

4.2.3 Factor de Potencia

Es denominado como factor de potencia, a la relación que existe entre la potencia activa (P) respecto a la aparente (S), dándonos una medida de la capacidad de una carga para poder absorber potencia activa. (Ver Tabla 4.1 y Figura 4.1)

Tipo de Lámpara	Factor de Potencia
Mercurio de Alta Presión	0.80
Sodio de Alta Presión	0.92
LED	0.98

Tabla 4.1 Factores de potencia utilizados por CNEL Guayas-Los Ríos

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

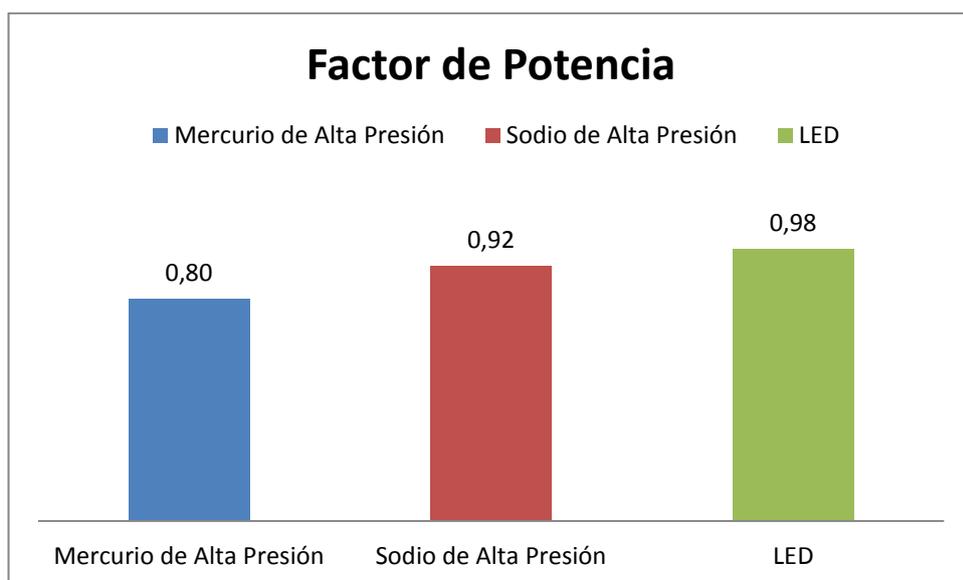


Figura 4.1 Factores de potencia utilizados por CNEL Guayas-Los Ríos

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

4.2.4 Temperatura de Funcionamiento

Se determina a través de las pérdidas que se dan por efecto Joule en las lámparas. (Ver Tabla 4.2 y Figura 4.2)

Tipo de Lámpara	Temperatura de Funcionamiento °C
Mercurio de Alta Presión	300
Sodio de Alta Presión	350
LED	40

Tabla 4.2 Temperatura de Funcionamiento

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

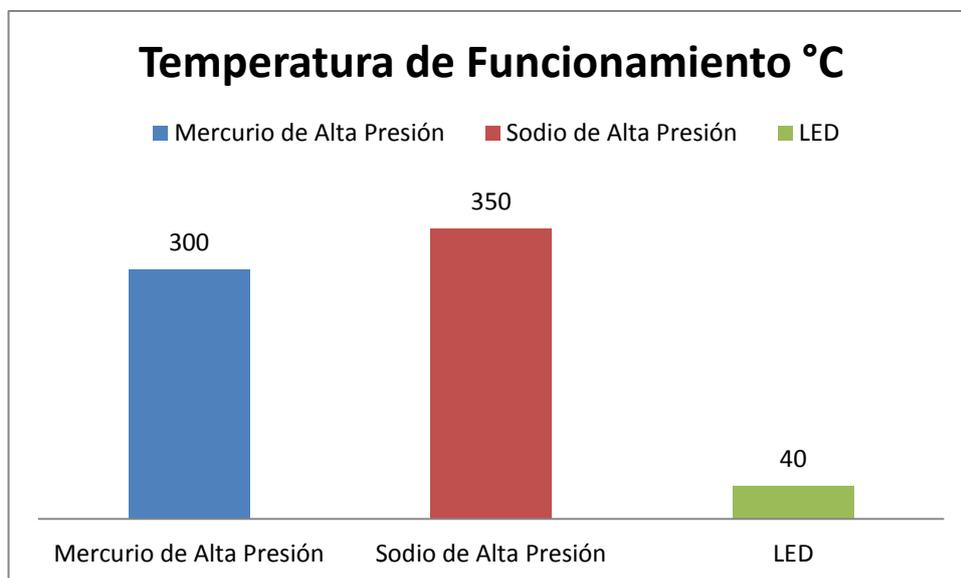


Figura 4.2 Temperatura de Funcionamiento

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

4.2.5 Vida Útil de la Lámparas

Tipo de Lámpara	Vida útil (horas)
Mercurio de Alta Presión	10000
Sodio de Alta Presión	10000 –28000
LED	+50000

Tabla 4.3Vida útil lámparas en horas (h)

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

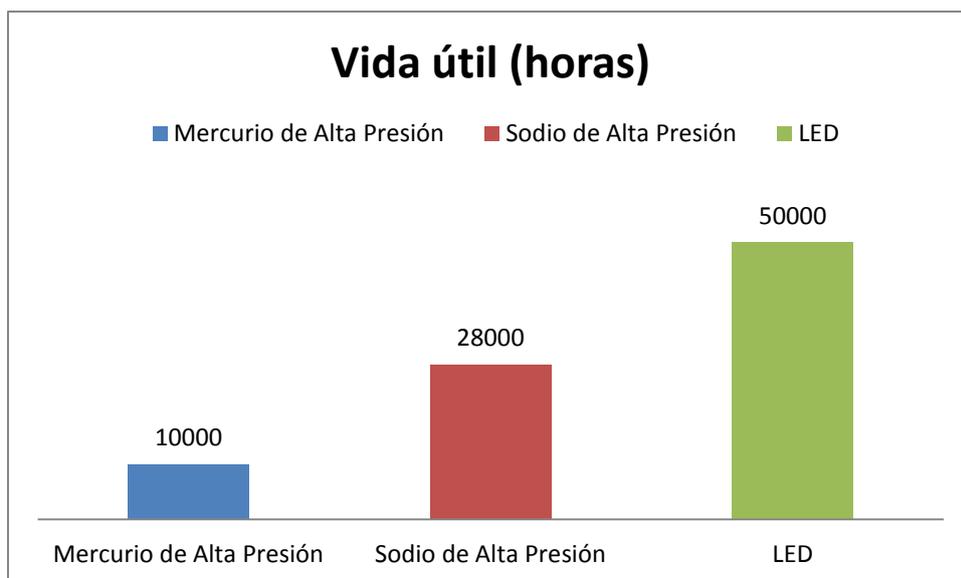


Figura 4.3Vida útil lámparas en horas (h)

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

4.2.6 Tiempo de Encendido

Tipo de Lámpara	Tiempo de Encendido (min)
Mercurio de Alta Presión	4 – 5
Sodio de Alta Presión	5 – 10
LED	0

Tabla 4.4 Tiempo de Encendido de Lámparas en minutos (min)

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

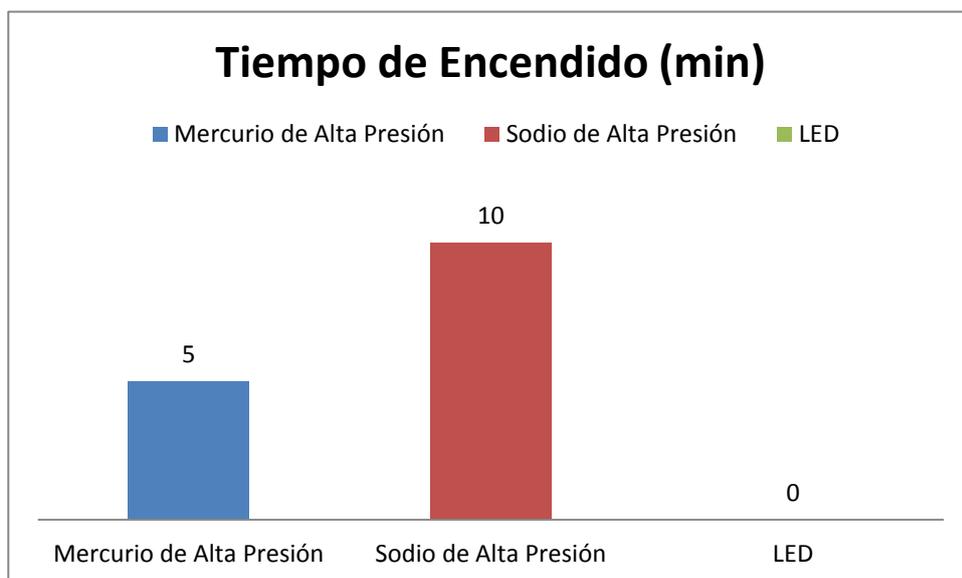


Figura 4.4 Tiempo de Encendido de Lámparas en minutos (min)

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

4.2.7 Temperatura del Color

Tipo de Lámpara	Temperatura del Color °K
Mercurio de Alta Presión	3500 – 4500
Sodio de Alta Presión	2000 – 3500
LED	3000 – 6000

Tabla 4.5 Temperatura del Color °K

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

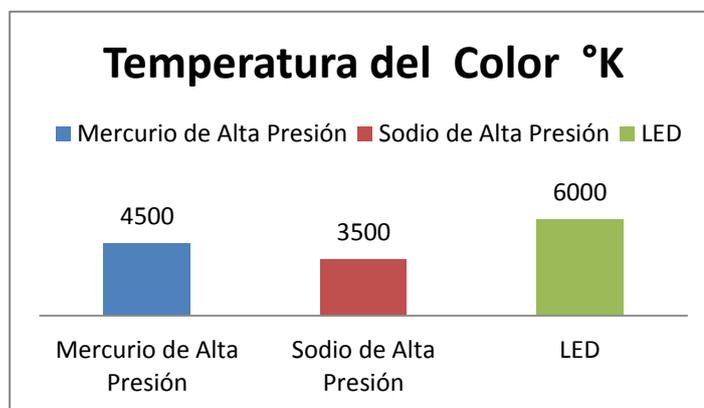


Figura 4.5 Temperatura del Color °K

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

4.2.8 Índice de Rendimiento del Color

Tipo de Lámpara	Índice Rendimiento Color %
Mercurio de Alta Presión	45
Sodio de Alta Presión	50
LED	90

Tabla 4.6 Índice de rendimiento del color

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

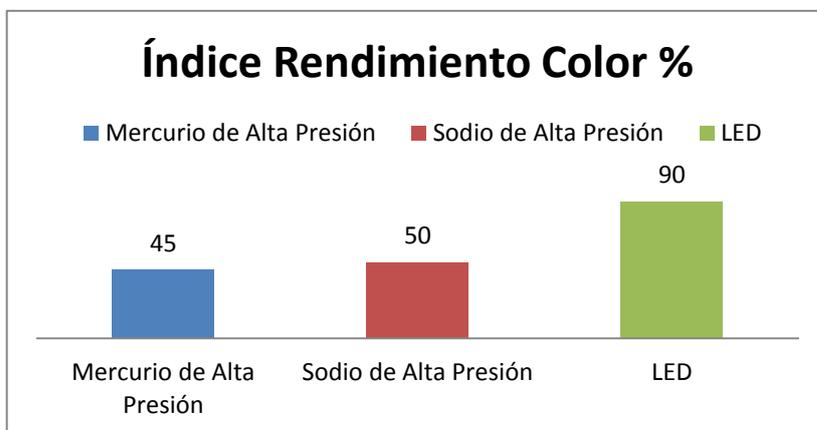


Figura 4.6 Índice de rendimiento del color

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

Un valor de índice de rendimiento de color (CRI) mayor al 60% permitirá una mejor adaptación de la visión del ojo humano en lo que respecta a la luz de las luminarias tipo LED. (Ver Figura 4.7)



Figura 4.7 Mejor calidad de iluminación mediante lámparas LED a 120W (lado derecho) vs lámparas de Sodio a 250W (lado izquierdo)

Fuente: Static.ligtheim (2013)

4.2.9 Eficacia

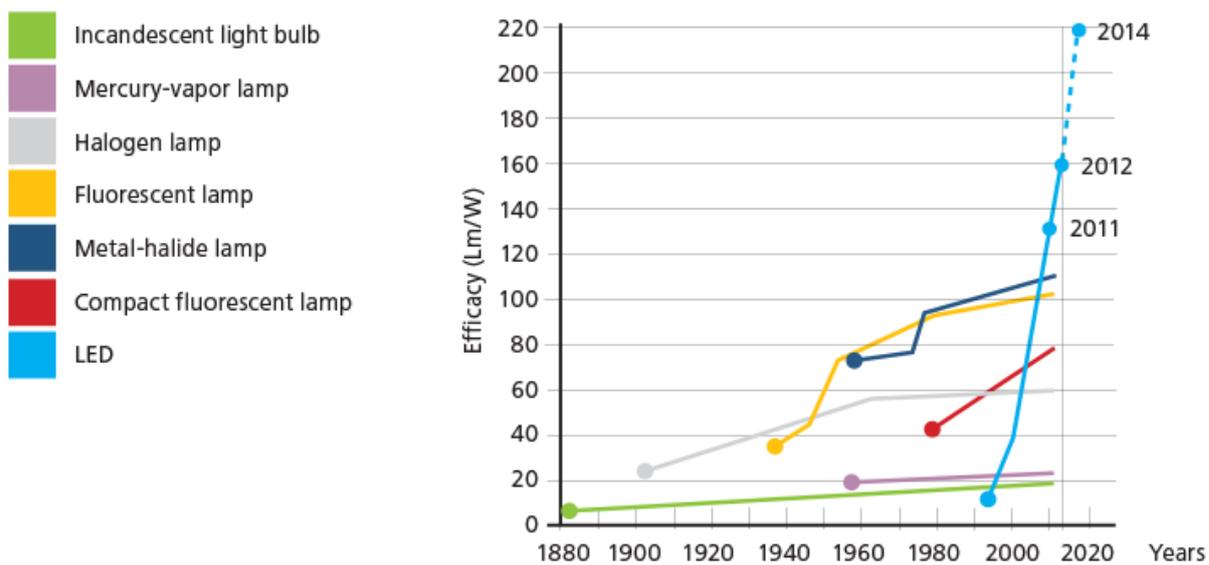


Figura 4.8 Evolución de la eficacia del LED

Fuente: Vpingenieros (2013)

Tipo de Lámpara	Eficacia (lm/w)
Mercurio de Alta Presión	31 - 52
Sodio de Alta Presión	80 - 130
LED	>160

Tabla 4.7 Eficacia

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

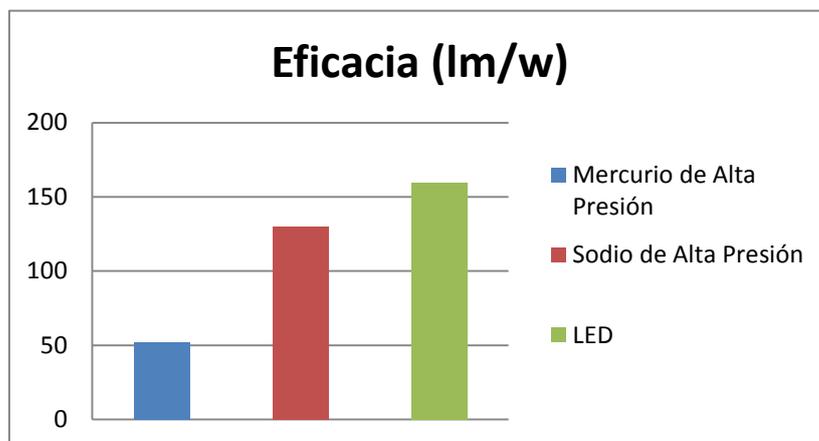


Figura 4.9 Eficacia

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

Recalcamos, que en el caso de las luminarias de tipo LED, la eficacia de las mismas seguirá aumentando con los avances de la tecnología moderna.

4.2.10 Parpadeo

Flicker, como normalmente se conoce al parpadeo, se presenta como una impresión relativa de la fluctuación luminosa que es ocasionada por variaciones de la tensión, mismas que implican en el cerebro humano molestias tales como mareos.

a) Mercurio a alta presión:

Existe mucho parpadeo ante fluctuaciones de voltaje.

b) Sodio a alta presión:

Poco parpadeo presente.

c) LED:

No se genera parpadeo.

4.2.11 Contenido de Mercurio

Tipo de Lámpara	Contenido de Mercurio (mg)
Mercurio de Alta Presión	10 -100
Sodio de Alta Presión	10 - 50
LED	0

Tabla 4.8Contenido de mercurio

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

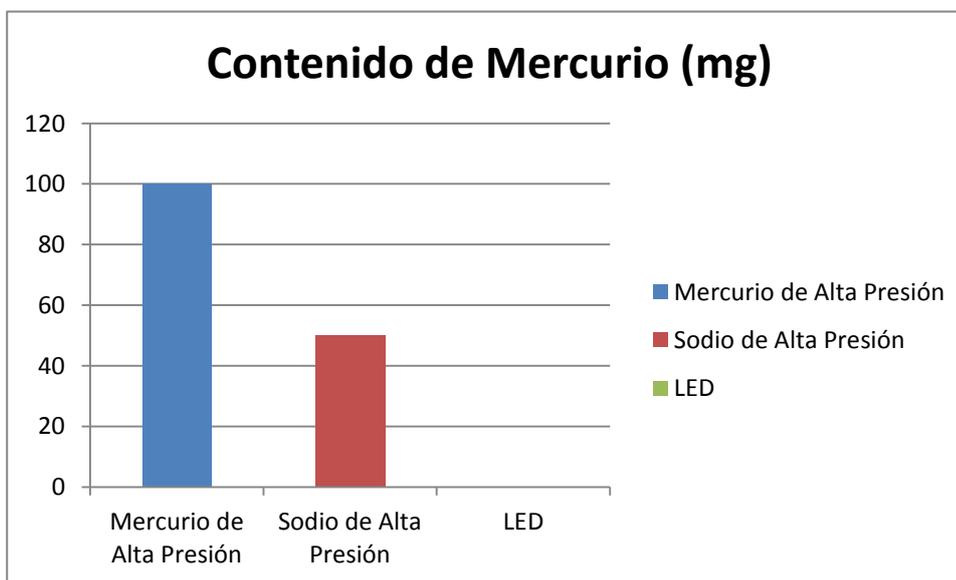


Figura 4.10 Contenido de mercurio

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

4.2.12 Distorsión Armónica

Indica la cantidad de armónicos de corriente que se encuentran fluyendo en las líneas de energía. Los armónicos son corrientes no deseadas en múltiplos de 5 de la frecuencia de la línea fundamental (Ejemplo: 40, 50 o 60 Hz).

Tensiones adicionales y pérdidas de potencia pueden ser creadas por las corrientes armónicas.

En las luminarias de vapor de sodio como en las de mercurio, se produce una distorsión armónica menor al 35%.

Los LED superan cualquier combinación de lámpara de alta presión + reactancia + condensador, con un factor de potencia de 0.9 y una distorsión armónica inferior al 20%, incluso cuando utilizan balastos electrónicos.

4.2.13 Comparaciones entre Mercurio de alta presión, Sodio de alta presión y LED

	Mercurio AP	Sodio AP	LED
Filamento	Si	Si	No
Factor de potencia	0.8	0.92	0.98
Temperatura de funcionamiento (°C)	300	350	40
Vida Útil (Horas)	10000 - 12000	10000 - 28000	>50000
Tiempo de encendido (min)	4 - 5	5 - 10	0
Temperatura del color (°K)	3500 y 4500	2000 - 3500	3000 - 6000
CRI	40 - 50	<50	>65
Eficacia (lm/W)	31 - 52	80 - 150	>60
Parpadeo	mucho	poco	ninguno
Contenido de mercurio (mg)	10 - 100	10 - 50	ninguno
Brillo	mucho	mucho	ninguno
Distorsión armónica	<35%	<35%	>10%

Tabla 4.9 Características de comparación
(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

4.3 Consumo

El flujo luminoso obtenido por vatio consumido es superior a los sistemas actuales lo que significa un menor consumo de energía y por en su efecto un ahorro monetario significativo, siendo uno de los puntos más importantes de la iluminación LED.

4.4 Durabilidad

Por ser dispositivos de estado sólido, los LED son rígidos sin componentes frágiles (como el resto de bombillas conocidas), obteniendo así una mayor durabilidad.

4.5 Mejor control de Distribución de Luz

Los LED emiten luz en una dirección que luego puede esparcirse, al contrario de los otros tipos de luminarias que emiten luz en todas las direcciones; luego ser reflejada hacia la dirección deseada. (Ver Figura 4.11)



Figura 4.11 Mejor control de distribución de luz LED (derecha)

Fuente: Static1.squarespace (2013)

4.6 Visión Nocturna

Las condiciones de iluminación fijan los tipos de visión:

- Escotópica (visión nocturna)
- Mesotópica
- Fotópica (visión diurna)

Valoración del comportamiento escotópico de la una fuente de luz

$$\frac{S}{P} = \frac{\text{lúmenes escotópicos}}{\text{lúmenes fotópicos}}$$

Ecuación 4.1

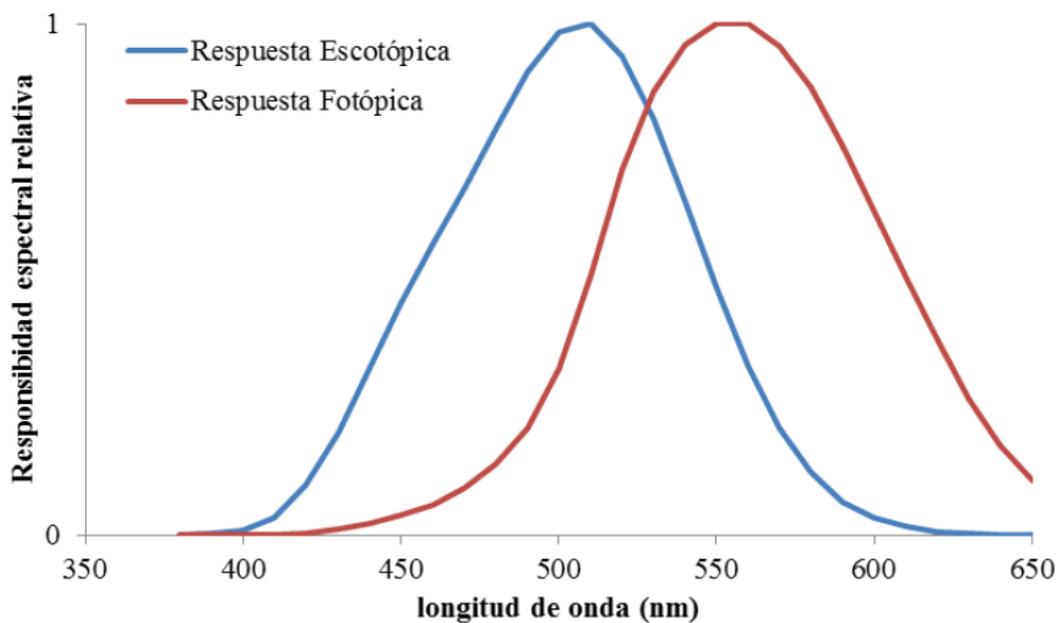


Figura 4.12 Respuesta espectral de la visión fotópica y escotópica en relación a la longitud de onda

Fuente: Astropractica (2013)

4.6.1 Lúmenes visualmente efectivos o VEL

$$VEL = P \left(\frac{S}{P} \right) n$$

Ecuación 4.2

Donde n depende del tipo de actividad:

- n=0 Para situaciones de visión fotópica pura (diurna).
- n=1 Para situaciones de visión escotópica pura (nocturna) o trabajo con ordenadores.
- n=0.78 Lectura (valor habitual).

La luz fría (>5000 K) produce mayores valores S/P, que una fuente de luz cálida (<3300K), de forma aproximada:

- Luz de blanco frío 5000K, S/P=2.1
- Luz de blanco cálido 3000K, S/P=1.4
- Lámpara de vapor de sodio de alta presión, S/P=0.64
- Para el caso de las luminarias LED su valor varía entre 1.4 a 2.1

4.7 Relación Lumen Pupila

Se refiere al efecto de la luz blanca sobre la visión en niveles de iluminación bajos, la luz con componente de azul y un IRC superior a 65 (LED) nos proporciona mejor visibilidad que la luz producida por las lámparas de sodio.

Fuente de Luz	Condición Fotópica (lm/W)	Condición Escotópica (lm/W)	S/P
Incandescentes	14.7	20.3	1.38
Fluorescente (3500K)	84.9	115.9	1.37
Sodio AP	126.9	80.5	0.63
Sodio BP	180	40.8	0.23
Mercurio AP	52.3	36.8	1.28
LED	93.3	156	1.67

Tabla 4.10 Relación Lumen pupila

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

4.8 Control

El control usado en las lámparas LED es electrónico – dimerizable o mediante tele gestión.

Para las lámparas de vapor de sodio el control utilizado, es el de doble nivel de potencia, el mismo que reduce la potencia de la lámpara hasta un 70% en las horas cuando no es mucha su consumo.

4.9 Desventajas

- Tienen elevado costo, a pesar de que en teoría tendría que disminuir progresivamente para volverse una tecnología competitiva y accesible.
- Tienden a estropearse a elevadas temperaturas, debido a que necesitan de una gran disipación de calor. Si bien es cierto que generan menos calor, es importante esparcirlo para poder garantizar un mayor tiempo de vida útil.
- Variedad limitada en comparación con los demás tipos de lámparas.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LUMINARIAS LED

5.1 Contaminación Lumínica

La contaminación lumínica se puede definir, como la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se instalan las luces. La polución es generada por la dificultad de controlar los haces de radiación visible producida por las luminarias, y por la reflectividad de las áreas iluminadas, que producen difusión de luz a lugares no deseados.

Las lámparas de vapor de sodio, consumen aproximadamente la mitad que las de mercurio y contaminan menos lumínicamente.

La alta eficiencia de las lámparas LED, en comparación con las de vapor de sodio y mercurio, aseguran alumbrar sólo el lugar deseado, evitando de esta manera que la luz se proyecte hacia el cielo, eliminando desperdicios de energía en forma de contaminación lumínica.

5.2 Impacto ambiental

- Las lámparas LED, generan menor cantidad de residuos debido a su larga duración.

- A diferencia de los demás tipos de lámparas, las LED, no necesitan de vapores o gases contaminantes para su operación.
- Se reduce la generación de CO₂, ya que genera electricidad a partir de combustibles fósiles.

Generalmente se puede decir que:

- Las lámparas LED, generan ahorro en combustible para desplazarse y usan menos componentes como cables, soldaduras, etc. Debido que el mantenimiento es menor en comparación a las convencionales.
- No contienen mercurio, ya que este compuesto es un peligro para el medio ambiente y también para la sociedad.

5.3 Mantenimiento

El alumbrado público en el trayecto de su vida útil, obtiene la influencia de las condiciones de operación y del medio en el cual se encuentra operando, esto perjudica las condiciones iniciales de su funcionamiento y las características físicas o químicas existentes, reduciendo así su vida útil, por lo que se tiene que realizar inspecciones y mantenimiento a todos los elementos de instalación.

La lámpara de sodio de alta presión, durante su tiempo de operación, aumenta su tensión de arco y disminuye su corriente sobre el valor principal, hasta que llega a valores no aptos de operación, para los que la lámpara deja de ser estable, generando apagados intempestivos, en estos casos la lámpara se considera agotada y se recomienda su cambio.

La bombilla de vapor de sodio de alta presión, así como la bombilla de descarga de alta intensidad, debe reemplazarse cuando la emisión del flujo luminoso ha descendido al 70% de su valor inicial.

Las lámparas LED necesitan de poco o casi nulo mantenimiento.

5.4 Análisis del Área de Estudio

El área de análisis para el estudio propuesto comprende desde la Urbanización La Puntilla, en la Av. Samborondón y la Urbanización Villa Italia en la Av. León Febres Cordero Rivadeneira, esto en los cantones de Samborondón y Daule.

El tramo comprende de 17.8 Kilómetros y se encuentra especificado en el siguiente gráfico.



Figura 5.1 Sector donde se instalarán las luminarias LED

(Recuperada de: Google Maps)

Como información general se tiene que en el presente tramo se encuentran ubicadas en el parterre central con doble brazo, luminarias de 250W alto vapor de sodio con doble nivel de potencia.



Figura 5.2 Longitud de postes a utilizarse

(Tomada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

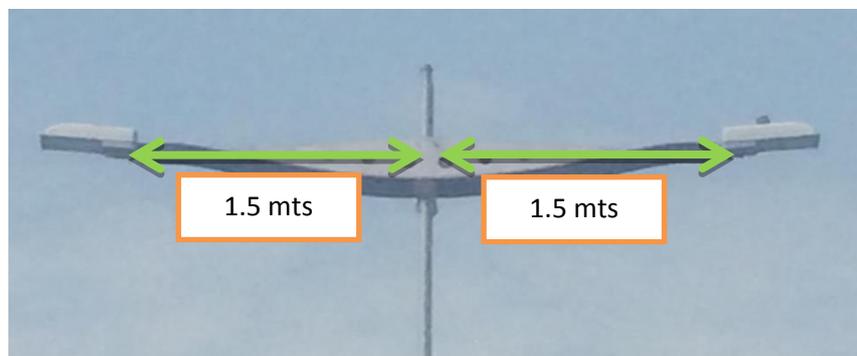


Figura 5.3 Distancia entre luminarias

(Tomada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

En el sector objeto de estudio se cuenta con 354 postes metálicos, de característica cónico galvanizado con una altura de 10 metros, brazo metálico de 1.50 m, la distancia entre los postes es de 35m. Adicional a esto, existen 690 luminarias. Esta información técnica corresponde a las luminarias instaladas en el tramo de la Av. Samborondón y León Febres Cordero.

5.5 Estudio Técnico del Alumbrado Público actual

En la actualidad el sistema de alumbrado público que se está utilizando en el sector al cual está siendo objeto de estudio es el siguiente:

- **Marca:** Roy Alpha Colombia
- **Modelo:** Calima II
- **Comercializada por:** INPROEL S.A.



Figura 5.4 Lámpara CalimaII

Fuente: Roy Alpha (2014)

Voltaje	220/240 V
Frecuencia	60 Hertz
Potencia	250 W
Tipo	DNP
Vida Nominal Promedio	30000 H
Vida Útil	24000 H
Conjunto Óptico	IP 66
Conjunto Eléctrico	IP 44
Resistencia al impacto	IK 08
Temperatura de Color	18000 – 2100 °K
Tiempo de Encendido	5 segundos
Tiempo de Reencendido	5 segundos
Flujo Luminoso	29800 lumes
Eficiencia Luminosa	70-130 lm/W
Contenido de Mercurio	24 mg
Factor de potencia	0,92
Calor a Disipar	38%
Tamaño	605*262*210 mm
Costo	\$ 139,50

Tabla5.1 Características Técnicas de la luminaria Calima II

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

Este tipo de luminarias cumplen con las normas RETILAP – NTC2230-IEC60598- NOM064.

Una explicación gráfica de la distribución de la luminaria Calima II 250W DNP es la siguiente.

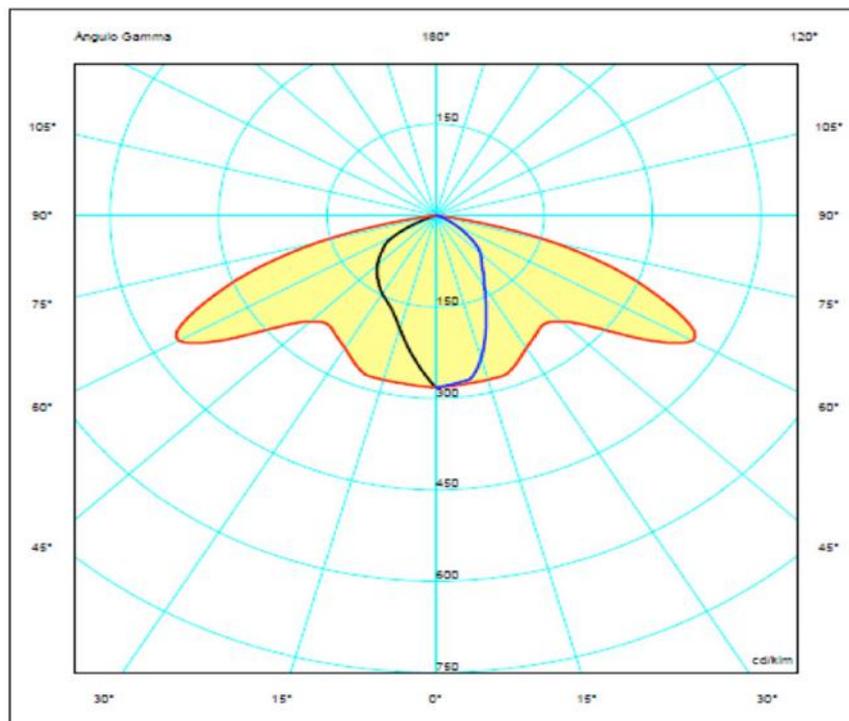


Figura 5.5 Distribución de la luminaria Calima II 250W DNP

Fuente: Roy Alpha-Calima II (2014)

Este equipo es de doble nivel de potencia, la cual está destinada hacia aquellas instalaciones en las cuales a determinadas horas de su funcionamiento, se puede llegar a disminuir el nivel de iluminación sin notarse una reducción en la visibilidad, con un ahorro de energía considerable siendo este que oscila entre el 37 al 40%.

5.6 Funcionamiento de un equipo de doble nivel de potencia

Son balastos especiales, los cuales inicialmente suministran los valores nominales de potencia hacia la lámpara, hasta llegar a un flujo máximo de donde proviene el nombre de nivel máximo de potencia.

A la hora programada en el temporizador electrónico, un relé que se encuentra en el circuito temporizador transforma la entrada de corriente llevándola a una bobina de mayor impedancia, disminuyendo de esta forma la corriente en la lámpara y así la potencia y flujo que emite la misma, llegando así a un Nivel Reducido de Potencia.

Una fotocélula sirve para controlar la conexión y desconexión de la luminaria, mientras que el cambio del nivel lo realiza automáticamente el equipo, la operatividad es independiente en cada lámpara.

5.7 Especificaciones Técnicas

Rango de potencia, para uso con balastos tipo reactor de sodio alta presión de 70 a 250 W.	Voltaje de operación 120 v a 240 v - 60 Hz	Porcentaje de ahorro del 30 al 40%
Con botonera par fijacion de tiempo de operación a nivel nominal	Compensación de factor de potencia en los dos niveles de funcionamiento (a plena potencia y a potencia reducida) $\geq 0,92 \pm 3\%$.	Reserva de memoria a fin de evitar que la programación de tiempos vuelva a cero.
Sistema de desconexión en caso de falla de encendido de la lámpara	Con sistema interno electrónico de desconexión del Ignitor, para portecccion del mismo.	Con sistema de proteccion interna contra descarga.
	Con botonera de prueba para asegurar y verificar el correcto funcionamiento del dispositivo.	

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

5.8 Propuesta Luminarias Led

Las luminarias tipo LED propuestas para el sector de La Puntilla, AV. Samborondón, y Av. León Febres Cordero hasta antes del puente sobre el río Daule, serán analizadas bajo las siguientes características.

- Vida útil
- Temperatura del color
- Eficiencia luminosa
- Flujo lumínico
- Características fotométricas
- Reproducción cromática
- Precio

Para el análisis se ha considerado tres tipos de luminarias tipo LED, cada una de las cuales con sus características independientes, para lo cual fueron visitadas dos empresas comerciales de distribución de estos tipos de luminarias, las cuales serán detalladas a continuación.

5.8.1 Luminaria Ledex 150w



Figura 5.6 Ledex 150W

Fuente: Ledex-Lights (2014)

Voltaje	100-240 VAC
Frecuencia	50-60 Hertz
Potencia	150 W
Vida Nominal Promedio	80000 H
Vida Útil	50000 H
Temperatura de Color	5500 °K
Tiempo de Encendido	1 seg
Tiempo de Reencendido	2 seg
Flujo luminoso	14800 Lm
Eficiencia luminosa	100 Lm/W
Índice de reproducción Cromática	>85
Contenido de Mercurio	0 Mg
Calor a Disipar	3%
Factor de Potencia	0,95
Distorsión Armónica Total (THD)	<20 %
Tamaño	630*330*95 mm
Precio	\$ 650,00

Tabla 5.2 Características Técnicas Ledex 150W

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

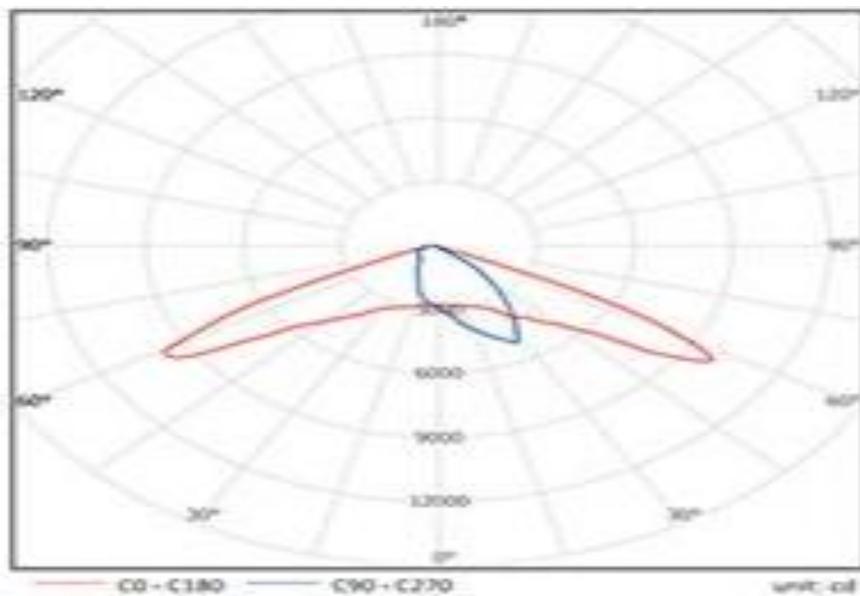


Figura 5.7. Distribución fotométrica de la luminaria Ledex 150W

Fuente: Ledex-Lights (2014)

5.8.2 Luminaria Sylvania Nova Led



Figura 5.8 Sylvania Nova LED 150W

Fuente: Havells-Sylvania (2014)

Voltaje	100-240 VAC
Frecuencia	50-60 Hertz
Potencia	150 W
Vida Nominal Promedio	80000 H
Vida Útil	50000 H
Temperatura de Color	5000-6500 °K
Tiempo de Encendido	1-2 seg
Tiempo de Reencendido	1-2 seg
Flujo luminoso	13500 Lm
Eficiencia luminosa	90 Lm/W
Índice de reproducción Cromática	>70
Contenido de Mercurio	0 Mg
Calor a Disipar	3%
Factor de Potencia	0,98
Distorsión Armónica Total (THD)	<20 %
Tamaño	950*340*60 mm
Precio	\$ 711,00

Tabla 5.3 Características Técnicas Sylvania Nova LED 150W

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

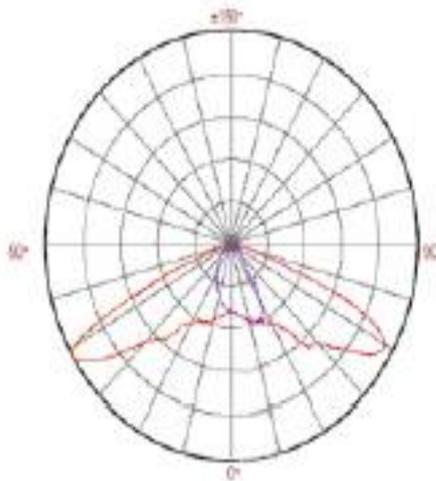


Figura 5.9 Distribución fotométrica de la luminaria Sylvania Nova Led 150W

Fuente: Havells-Sylvania (2014)

5.8.3 Lumec Street Light Led 150w



Figura 5.10 Street Light LED 150W

Fuente: Inproel (2014)

Voltaje	100-220 VAC
Frecuencia	50-60 Hertz
Potencia	150 W
Vida Nominal Promedio	80000 H
Vida Útil	50000 H
Temperatura de Color	2700-6000 °K
Tiempo de Encendido	1 seg
Tiempo de Reencendido	1 seg
Flujo luminoso	14000 Lm
Eficiencia luminosa	100 Lm/W
Índice de reproducción Cromática	>70
Contenido de Mercurio	0 Mg
Calor a Disipar	3%
Factor de Potencia	0,95
Distorsión Armónica Total (THD)	<10 %
Tamaño	950*340*115 mm
Precio	\$ 585,00

Tabla 5.4 Características Street Light LED 150W

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

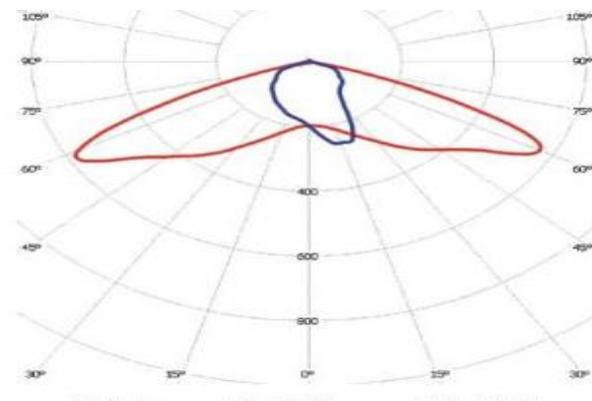


Figura 5.11 Distribución fotométrica de la luminaria Street Light LED 150W

Fuente: Havells-Sylvania (2014)

5.9 Selección De Luminaria

En función de la Norma RTE INEN 069 que especifica la forma de selección de la luminaria y evaluando una por una las luminarias propuestas se escogió la luminaria **LumecStreet Light LED 150W** para el estudio final de iluminación en función de:

Calidad: Street light led 150W de la marca ecuatoriana Lumec (Luminarias Ecuatorianas) comercializado por Inproel que respalda todos sus productos con garantía y servicios técnicos. Sylvania Nova Led de procedencia colombiana comercializada por Inproel, Ledex de procedencia americana comercializada por Almacenes Marriott.

Operatividad: Las características que presenta Street Light Led con respecto a Ledex y Sylvania Nova Led, son superiores en casi todos los aspectos

mencionados en las tablas de características presentadas con anterioridad entre las que resaltan:

- Tiene un menor impacto frente a la red, su distorsión armónica total es inferior al 10%, comparada con las características de Ledex y Sylvania Nova Led que están por valores del 20%.
- Su vida útil, que está en función del flujo luminoso mínimo de operación de un equipo, de 50000h, similar Ledex y Sylvania Nova Led.
- Su vida útil promedio es 80000h semejante Ledex y Sylvania Nova Led.
- Los niveles de potencia del equipo varía entre marca y marca, pero se ve reflejado su superioridad en su flujo luminoso, 14000 lm, incluso más que Ledex que posee una potencia superior y Sylvania Nova Led que posee una potencia inferior.
- Su factor de potencia está por sobre los límites que permiten las normas de alumbrado público (ITC-BT-09 y RTE INEN 069).
- Su eficiencia luminosa es apto, 100 lm/W, similar a Ledex a cambio Sylvania Nova Led su eficiencia luminosa es 90 lm/W.
- Su IRC es de 70, lo cual es aceptable, inferior a Ledex y Sylvania Nova Led.
- No posee mercurio, al igual que las demás lámparas LED propuestas.

Costo: El precio de Street Light Led es la opción más barata de la propuesta, pero se ve respaldada por todos los beneficios evaluados y mencionados antes.

5.10 Análisis Económico

El análisis económico servirá para determinar y detallar los costos de inversión y la rentabilidad que se obtendría por la implementación de un nuevo sistema de alumbrado en la zona de estudio al reemplazar el ya existente en la actualidad por unas luminarias tipo LED.

5.10.1 Ahorro de Consumo

Para el cálculo del ahorro del consumo entre las luminarias de Sodio de Alta Presión 250W doble nivel de potencia y luminarias LED se considera un consumo de 11.5 horas diarias para todas las luminarias que conforman el alumbrado público.

LUMINARIAS HPS 250W DNP

HPS: High Pressure Sodium - Sodio de Alta Presión

DNP: Doble Nivel de Potencia

N° DE LUMINARIAS	POTENCIA DE CONSUMO 282W	POTENCIA DE CONSUMO REDUCIDA 169W	5,5 HORAS (18:30-00:00) Wh	6 HORAS (00:00-06:00) Wh	ENERGIA CONSUMIDA A AL DIA (KWh)	ENERGIA CONSUMIDA AL MES (KWh)	ENERGIA CONSUMIDA AL AÑO (KWh)
690	194.580	116.610	1.070.190	699.660	1.769,85	53.095,50	645.995,25

Tabla 5.5HPS 250W DNP

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

LUMINARIAS LED 150W

N° DE LUMINARIAS	POTENCIA PLENA 150W	11,5 HORAS (18:30-06:00) Wh	ENERGIA CONSUMIDA AL DIA (KWh)	ENERGIA CONSUMIDA AL MES (KWh)	ENERGIA CONSUMIDA AL AÑO (KWh)
690	103500	1190250	1190.25	35707.5	434441.25

Tabla 5.6 LUMINARIAS LED 150W

(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

CONSUMO MENSUAL AHORRADO

Ahorro(KWh)= ECMSodio – ECMLLED

Ahorro(KWh)= 53.095,50 (KWh) - 35.707,50 (KWh)

Ahorro Mensual (KWh)= 17.388 (KWh)

DEMANDA MENSUAL AHORRADO

Demanda Mensual (Kw) = DMSodio– DMLED

Demanda Mensual (Kw) = 4617 (Kw) –3105 (Kw)

Demanda Ahorrada (Kw) = 1512 (Kw)

Para el cálculo del ahorro monetario mensual se considera el consumo (KWh) y la demanda (Kw) mensual correspondiente al pliego tarifario vigente de CNEL Guayas-Los Ríos para el Servicio de Alumbrado Público General (SAPG); el costo de la energía del KWh es \$ 0.105 y el costo de la demanda Kw es \$ 2.94.

COSTO DEL KWh	AHORRO MENSUAL DE ENERGIA	TOTAL(1)
\$ 0,105	17388	\$ 1.825,74

Tabla 5.7(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

COSTO DEL Kw	AHORRO DEMANDA MENSUAL	TOTAL(2)
\$ 2,94	1512	\$ 4.445,28

Tabla 5.8(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

TOTAL(1)+(2)	
SAPG	\$ 6.271,02

Tabla 5.9(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

De acuerdo a la **REGULACIÓN No. CONELEC 008/11**, se tomará en consideración las siguientes definiciones de aquellos términos manejados con anterioridad en los cuadros presentados.

- **Servicio de Alumbrado Público General – SAPG**

Comprende las actividades de: Administración, operación, mantenimiento, modernización, reposición, y expansión del sistema de alumbrado público general.

Dentro de este servicio se incluye los consumos de energía del alumbrado general, alumbrado ornamental, sistemas de semaforización, sistemas de seguridad y alumbrado intervenido.

- **Tarifa del servicio de Alumbrado Público General**

Es aquella que el CONELEC determine como retribución de los gastos realizados por el prestador del servicio y que debe ser recuperado de los consumidores del servicio eléctrico.

- **Pago de SAPG**

Los consumidores del servicio eléctrico, personas naturales o jurídicas, serán los responsables de pago del SAPG, a través de una tarifa que cubra los costos para la prestación de este servicio.

- **Sistema de Alumbrado Público General**

Comprende el conjunto de luminarias, redes y equipos necesarios para la prestación del servicio de alumbrado público, que no formen parte del sistema de distribución.

5.10.2 Ahorro de energía

Ahorro de energía = Energía Consumida HPS 250W – Energía

Consumida LED 150W

	HPS 250W DNP	LED 150W	AHORRO (KWh)
AHORRO EN EL DIA (KWh)	1790.85	1190.25	600.60
AHORRO EN EL MES (KWh)	53095.50	35707.50	17388.00
AHORRO AL AÑO (KWh)	645995.25	434441.25	211554.00

Tabla 5.10(Realizada por: Russell Andy Ordoñez Muñiz)

5.10.3 Ahorro Energético

Al resultar un ahorro de energía también se ve reflejado este en un ahorro energético, el cual provocaría un ahorro de emisiones de CO₂ favorable para el medioambiente.

- **Al Día**

$$600.60 \text{ KWh} \times \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ KWh}} \times \frac{0.485 \text{ tCO}_2}{\text{MWh}} = 0,291 \text{ Toneladas de CO}_2$$

- **Al Mes**

$$17388 \text{ KWh} \times \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ KWh}} \times \frac{0.485 \text{ tCO}_2}{\text{MWh}} = 8,433 \text{ Toneladas de CO}_2$$

- **Al año**

$$211554 \text{ KWh} \times \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ KWh}} \times \frac{0.485 \text{ tCO}_2}{\text{MWh}} = 102,604 \text{ Toneladas de CO}_2$$

CONCLUSIONES

1. En nuestro país, en lo referente a alumbrado público, las lámparas que se utilizan con mucha mayor frecuencia son las de sodio a alta presión de doble nivel de potencia, puesto que estas permiten obtener ahorro energético en comparación a las de mercurio a alta presión, es por este efecto que todo nuevo tipo de lámpara que se fabrique con los avances de la tecnología deberán de cumplir con las funciones de sus posteriores y superarlas
2. De acuerdo al análisis técnico con respecto al uso de lámparas LED, en referencia a la contaminación lumínica, se puede destacar que con el uso de este tipo de luminaria se está evitando desperdicios de energía, lo que se logra por la alta eficiencia de las mismas al alumbrar sólo el lugar deseado evitando así que la luz proyectada se disperse hacia el cielo.
3. El impacto ambiental generado por este tipo de lámparas comprende menor cantidad de residuos, inexistencia de vapores o gases contaminantes, reducción de la generación de CO₂, nulidad de mercurio; todo esto influye en los beneficios que presenta el uso de este tipo de lámparas para el beneficio de la sociedad y preservación del medio ambiente.
4. La selección de la luminaria para este tipo de proyecto, se determinó bajo los parámetros de calidad, operatividad y costo; siendo seleccionada la luminaria

modelo Lumec Street Light 150W, en base a la norma RTE INEN 069, en la cual se especifica la forma de selección de la luminaria más adecuada.

5. El uso de la luminaria LED, en comparación a la de sodio de alta presión (usada actualmente en los trabajos de alumbrado público), refleja un ahorro en el consumo de Kilowatts, de 17388 KWh a favor de la luminaria LED, lo que muestra que se estaría consumiendo menos electricidad y generando un resultado mucho más eficiente en la generación de luz.

RECOMENDACIONES

1. A pesar que el costo de las luminarias de tipo LED sigue siendo mayor a las de sodio y mercurio, se recomienda su uso por su eficiencia, duración y respeto al medio ambiente.
2. Efectuar trabajos de prueba con luminarias LED, para poder tener una idea más real de la operación de las mismas aplicadas en el alumbrado público.
3. Solicitar apoyo del Gobierno Nacional, para el financiamiento de obras en busca de eficiencia energética y disminución de la contaminación ambiental.

LISTA DE REFERENCIAS

Castellanos, A. (2010). *Plan de negocio y análisis de viabilidad de una empresa comercializadora y distribuidora de luminarias para exteriores basadas en LEDS*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid, Es.

Carachure Castañeda, J. & Sandoval Gil, A. (2011). *Análisis comparativos sobre luminarias de leds contra vapor de sodio de alta presión y aditivos metálicos en alumbrado público*. Instituto Politécnico Nacional, México, México DF.

Regulación No. CONELEC 008/11 § 2 (2011)

Freire Loayza, M. & Gordillo Lema, M. (2013). *Alternativas de Iluminación para el Parque El Paraíso de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecu.

Lojano León, L. & Orellana Lojano, F. (2014). *Mejoramiento del Sistema de Alumbrado Público de una arteria de circulación vehicular de la ciudad de Cuenca, mediante la sustitución por tecnología LED*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecu.

Chatera Abarca, P. & Tobar Estrella, D. (2013). *Estudio de lámparas LED para alumbrado Público diseño de un sistema SCADA con control automático ON/OFF*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito, Ecu.

Larrosa, J. (2010). Leds para ciudades habitables. *Electricidad*. Recuperado de: www.lighting.philips.es/.../LED_%20para_ciudades_habitables.pdf

Granotier-Lucibel, F. (2015). El mercado del led, un crecimiento imparable. *Electricidad*. Recuperado de: <http://www.lucescei.com/estudios-y-eficiencia/led/el-mercado-del-led/>

ILUMINET. (2012). Luminarias para alumbrado público de vialidades con módulos de leds. Recuperado de: <http://www.iluminet.com/luminarios-alumbrado-publico-leds/>

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”. (2010)

Berg Heinrich & Salas Coronel, H. *Leds, Iluminación del Futuro* (Delta Volt Energía Renovable).Perú.