



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE ELÉCTRICA

**“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE UNA
ARTERIA DE CIRCULACIÓN VEHICULAR DE LA CIUDAD DE CUENCA,
MEDIANTE LA SUSTITUCIÓN POR TECNOLOGIA LED (LIGHT EMITTING
DIODE)”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTORES:

LUIS MIGUEL LOJANO LEÓN

FRANKLIN RENÉ ORELLANA LOJANO

DIRECTOR:

ING. HERNANDO EFRAÍN MERCHÁN MANZANO

CUENCA – ECUADOR

2014



RESUMEN

El alumbrado público es una parte importante del sector eléctrico, contribuyendo en la vida del ser humano, influyendo en su desarrollo y aportando a su seguridad.

El presente estudio pretende analizar técnica y económicamente una alternativa tecnológica como la que utiliza luminarias LED (LIGHT EMITTING DIODE), para el mejoramiento del sistema del alumbrado público, que no es nueva, pero debido a sus avances en los últimos años nos impulsan a realizar un análisis respectivo.

En el capítulo 2 se dará a conocer los conceptos básicos, fenómenos, y normas que rigen la iluminación específicamente en el alumbrado público.

En los capítulos 3 y 4 se hará una descripción del tipo de luminarias más usadas actualmente para el alumbrado público así como un análisis de la tecnología LED con sus respectivas ventajas y desventajas entre las lámparas.

En los capítulos 5 y 6 se dará a conocer la situación actual del sistema del alumbrado público de la ciudad de Cuenca, así como la de la arteria vial elegida para su respectivo análisis técnico y económico, que compara una instalación totalmente nueva de lámparas de sodio a alta presión en contra de una instalación de lámparas LED`s.

Finalmente se presentan los resultados, conclusiones y recomendaciones para la elección de la tecnología más adecuada a ser utilizada en los sistemas de alumbrado público.

Palabras claves: Alumbrado público, LED, Arteria vial, energía, contaminación, economía.



ABSTRACT

Public lighting is an important part of the electrical sector because of its contribution to people's daily lives and its influence on the development and security of our society.

The aim of the current research is to analyze techniques and technological alternatives such as the use of LED lights (LIGHT EMITTING DIODE) in order to improve the public lighting system, which is not so new, but due to recent progress, we must perform a corresponding analysis.

In chapter 2, we present some basic concepts, phenomena, and standards which control lighting, especially public lighting.

In chapters 3 and 4 we will give a description of the most commonly used kinds of lighting today. Also, we will analyze the LED technology and the respective advantages and disadvantages among different sorts of lamps.

In chapters 5 and 6, we will talk about the current situation of public lighting in our city. Likewise, we will compare the installation of high pressure sodium lamps to LED lamp installation on a previously chosen road or street.

Finally, results, conclusions and recommendations are presented in order to choose the most convenient technology to be used in public lighting systems.

Key Words: Public lighting, LED, Street system, pollution, and economy.



ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
CAPITULO 1	20
1. INTRODUCCIÓN	20
1.1. CONSIDERACIONES GENERALES	20
1.2. ANTECEDENTES	20
1.3. ALCANCE	20
1.4. JUSTIFICACIÓN	21
1.5. OBJETIVO GENERAL	21
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
CAPÍTULO 2	22
2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO	22
2.1. LA LUZ.....	22
2.1.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	22
2.1.2. PROPIEDADES DE LA LUZ.....	24
2.2. MAGNITUDES, UNIDADES Y CONCEPTOS BASICOS.....	27
2.2.1. FLUJO LUMINOSO (ϕ)	27
2.2.2. INTENSIDAD LUMINOSA (I)	27
2.2.3. LA ILUMINANCIA (E).....	28
2.2.4. LA LUMINANCIA (L)	28
2.2.5. DESLUMBRAMIENTO.....	29
2.2.6. RENDIMIENTO LUMINOSO.....	29
2.3. EL COLOR EN LAS FUENTES DE LUZ.....	29
2.3.1. ATRIBUTOS DEL COLOR.....	30
2.3.2. DIAGRAMA CROMÁTICO DEL CIE (COMISIÓN INTERNACIONAL DE LA ILUMINACIÓN).....	30
2.3.3. TEMPERATURA DEL COLOR	31
2.3.4. ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (CRI)	31



2.3.5. EFECTOS PSÍQUICOS DE LOS COLORES Y SU ARMONÍA	32
2.4. SENTIDO DE LA VISIÓN.....	33
2.4.1. FACTORES DE LA VISIÓN.....	35
2.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA VISIÓN HUMANA	35
2.4.3. LA VISIÓN HUMANA EN LA ILUMINACIÓN.....	35
CAPÍTULO 3.....	36
3. TIPOS DE FUENTES DE ILUMINACIÓN PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO.....	36
3.1. LÁMPARA.....	36
3.2. LUMINARIAS	37
3.3. BALASTOS	37
3.4. CEBADORES.....	38
3.5. SISTEMAS DE CONTROL	38
3.6. FUENTES DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO	38
3.6.1 LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESIÓN	38
3.6.2 LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN	40
3.6.3 LUMINARIAS LED.....	44
CAPITULO 4.....	49
4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA LED FRENTE A LAS LÁMPARAS EXISTENTES EN LA CIUDAD.....	49
4.1 CONSIDERACIONES GENERALES	49
4.2 PARÁMETROS DE COMPARACIÓN.....	49
4.2.1. FILAMENTO	49
4.2.2. FACTOR DE POTENCIA.....	49
4.2.3. TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	50
4.2.4 VIDA UTIL.....	51
4.2.5 TIEMPO DE ENCENDIDO.....	51
4.2.6 TEMPERATURA DEL COLOR	52
4.2.7 ÍNDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR	53
4.2.8 EFICACIA	54



4.2.9 PARPADEO	55
4.2.10 CONTENIDO DE MERCURIO	55
4.2.11. DISTORSIÓN ARMÓNICA	56
4.2.12 TABLA COMPARATIVA	56
4.3. CONSUMO	56
4.4. DURABILIDAD	57
4.5. MAYOR CONTROL DE DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ.....	57
4.6. VISIÓN NOCTURNA.....	57
4.6.1. LÚMENES VISUALMENTE EFECTIVOS O VEL.....	58
4.7. RELACION LUMEN PUPILA	59
4.8. CONTROL	60
4.9. CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	60
4.10 IMPACTO AMBIENTAL	60
4.11 MANTENIMIENTO	61
4.12 DESVENTAJAS	61
CAPITULO 5	62
5. ANÁLISIS TÉCNICO.....	62
5.1 INTRODUCCIÓN	62
5.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA CIUDAD DE CUENCA	62
5.3 EL ALUMBRADO PÚBLICO	63
5.3.1. OBJETIVOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO	63
5.3.2. FACTORES DETERMINANTES DE UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO	64
5.3.3. NIVEL DE ILUMINACIÓN Y FACTOR DE UNIFORMIDAD	64
5.3.4. ALTURA DEL PUNTO DE LUZ.....	65
5.3.5. RELACIÓN ENTRE LA SEPARACIÓN Y LA ALTURA DE LOS PUNTOS DE LUZ	66
5.3.6. DISPOSICIÓN DE LOS PUNTOS DE LUZ.....	66
5.3.7. FACTOR DE UTILIZACIÓN (fu).....	67



5.3.8. FACTOR DE CONSERVACIÓN o FACTOR DE MANTENIMIENTO (fc)	68
5.4. TIPOS DE CALCULOS	70
5.4.1. CÁLCULO DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE EL MÉTODO DEL FLUJO LUMINOSO NECESARIO	70
5.4.2. CÁLCULO DEL NÚMERO DE LUMINARIAS	71
5.4.3. CÁLCULO DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE EL MÉTODO DE PUNTO POR PUNTO	71
5.5 PROYECTO PILOTO.....	72
5.5.1. ARTERIA DE CIRCULACION VIAL EL VALLE	72
5.5.2. SITUACIÓN ACTUAL	73
5.5.3. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACION DE LA VÍA... ..	74
5.6 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	76
5.6.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACION	77
5.7 CLASIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	78
5.8. CLASE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ACTUAL Y PROYECTADA DE LA VÍA AL VALLE	79
CAPITULO 6	80
6. ESTUDIO FINANCIERO.....	80
6.1. IDENTIFICACION DELOS BENEFICIOS	80
6.1.1. BENEFICIOS POR DISMINUCION DE COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	81
6.1.2. BENEFICIOS POR DISMINUCION DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	81
6.1.3. BENEFICIOS POR DISMINUCION DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	81
6.1.4. BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE LÁMPARAS CONTAMINANTES.....	81
6.2. CUANTIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN DE BENEFICIOS	82
6.2.1. AHORROS EN COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO..	82



6.2.2. CUANTIFICACIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA	83
6.2.3. VALORIZACIÓN DE AHORRO ENERGÉTICO	84
6.2.4. AHORRO POR EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	84
6.2.5. AHORRO POR CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	85
6.2.6. CUANTIFICACIÓN DE BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE LÁMPARAS CONTAMINANTES	86
6.3. CUANTIFICACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN	86
6.3.1. ANALISIS DE RENTABILIDAD	87
6.4. CONSUMO DE ENERGÍA	89
6.4.1. AHORRO DE ENERGÍA	90
6.4.2. COSTOS DE ENERGÍA.....	90
6.4.3. ESTADO ACTUAL DE LA ARTERIA VÍA AL VALLE	90
6.5. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO.....	91
6.6. ANALISIS FINANCIERO	91
6.6.1. SUPUESTOS Y CONDICIONES	91
6.6.2. ESCENARIO.....	92
6.6.3. CUADRO DE RESULTADOS	93
CAPITULO 7	96
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
7.1. CONCLUSIONES	96
7.2. RECOMENDACIONES	97
CAPITULO 8	99
8. BIBLIOGRAFIA.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS	102
ANEXO 1. INVERSION INICIAL DE LÁMPARAS DE SODIO DE 250W DE DOBLE NIVEL DE POTENCIA	103
ANEXO 2. SUSTITUCION DE LÁMPARAS DE SODIO DE 250W FIN DE VIDA UTIL.....	104



ANEXO 3. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 1(SODIO_ PERIODO DE 14 AÑOS).....	105
ANEXO 4. INVERSION INICIAL DE LÁMPARAS LED's DE 120 W	106
ANEXO 5. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 2(LED _ PERIODO DE 14 AÑOS).....	107
ANEXO 6. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 1(SODIO_ PERIODO DE 28 AÑOS).....	108
ANEXO 7. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 2(LED _ PERIODO DE 28 AÑOS).....	109
ANEXO 8. DIAGRAMA DE FLUJOS DE FONDO EN UN PERIODO DE 14 AÑOS.....	110
ANEXO 9. DIAGRAMA DE FLUJOS DE FONDO EN UN PERIODO DE 28 AÑOS.....	112



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Espectro electromagnético.....	23
Figura 2.2. Curvas de sensibilidad espectral para V_{λ} el observador CIE en condiciones fotópicas; V'_{λ} el observador Cie en condiciones escotópicas (CIE, 1970, 1978).	24
Figura 2.3. Tipos de reflexión.....	25
Figura 2.4. Refracción.....	25
Figura 2.5. Tipos de transmisión.....	26
Figura 2.6. Absorción de la luz.....	26
Figura 2.7. Intensidad luminosa emitida por una fuente puntual.....	27
Figura 2.8. Iluminancia.....	28
Figura 2.9. Luminancia e iluminancia.....	28
Figura 2.10. Rendimiento luminoso.....	29
Figura 2.11. Triangulo cromático CIE.....	31
Figura 2.12. Ojo humano.....	33
Figura 2.13. Las sensibilidades espectrales de los bastones y los conos.....	34
Figura 2.14. Campo visual del ojo humano.....	35
Figura 3.1. Cantidad de luminarias por tipo instaladas en el Ecuador (a) y por empresas eléctricas (b).....	36
Figura 3.2. Luminarias con lámpara de sodio de alta presión.....	37
Figura 3.3. Lámpara de vapor de mercurio a alta presión.....	39
Figura 3.4. Energía espectral de mercurio a alta presión.....	40
Figura 3.5. Lámpara de vapor de sodio a alta presión.....	41
Figura 3.6. Energía espectral de Sodio a alta presión.....	42
Figura 3.7. Control de doble nivel de potencia.....	43
Figura 3.8. Ciclo de funcionamiento de los equipos de doble nivel de potencia.....	43
Figura 3.9. Elementos que componen un LED.....	44
Figura 3.10. Disposición de los electrones en bandas de energía.....	45
Figura 3.11. Fosforo convertido.....	46
Figura 3.12. Síntesis aditiva del color.....	47
Figura 3.13. Enfoque híbrido.....	47
Figura 3.14. Modificación de la longitud de onda por fosforescencia.....	48



Figura 3.15. Espectro luminoso LED.....	48
Figura 4.1. Factor de potencia.....	50
Figura 4.2. Temperatura de funcionamiento.....	50
Figura 4.3. Vida útil.	51
Figura 4.4. Tiempo de encendido.....	52
Figura 4.5. Temperatura el Color.	52
Figura 4.6. Índice de reproducción cromática CRI.	53
Figura 4.7. Mejora de la calidad de la iluminación mediante LED.....	53
Figura 4.8. Evolución de la eficacia del LED.....	54
Figura 4.9. Eficacia.....	54
Figura 4.10. Contenido de mercurio.	55
Figura 4.11. Manejo del flujo- lentes.	57
Figura 4.12. Respuesta espectral de la visión fotópica y escotópica en relación a la longitud de onda.	58
Figura 4.13. Relación S/P (lúmenes escotopicos/lúmenes fotópicos).	59
Figura 5.1. Luminarias de Cuenca.	63
Figura 5.2. Disposición del alumbrado público.	67
Figura 5.3. Determinación del coeficiente de utilización.....	68
Figura 5.4. Curvas del coeficiente de utilización.	68
Figura 5.5. Resumen general.....	70
Figura 5.6. Método punto por punto.	72
Figura 5.7. Vía al Valle.	72
Figura 5.8. Luxómetro utilizado para las mediciones.	73
Figura 5.9. Curva del coeficiente de utilización.	75
Figura 5.10. Separación entre luminarias.....	76
Figura 5.11. Etiquetado de eficiencia energética.....	79
Figura 6.1. Beneficios de tipos de proyecto.....	80
Figura 6.2. Costo anual equivalente.....	94
Figura 6.3. Ahorro de beneficios.	95



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Niveles de reproducción cromático según DIN 5035.....	32
Tabla 3.1. Compuestos empleados en la construcción de Led.	45
Tabla 4.1. Factor de potencia utilizado por la CENTROSUR.	49
Tabla 4.2. Temperatura de funcionamiento.....	50
Tabla 4.3. Vida útil.....	51
Tabla 4.4. Tiempo de encendido.	51
Tabla 4.5. Temperatura de color.	52
Tabla 4.6. Índice de reproducción cromática.....	53
Tabla 4.7. Eficacia.....	54
Tabla 4.8. Contenido de mercurio.	55
Tabla 4.9. Características de comparación.	56
Tabla 4.10. Relación lumen pupila.	59
Tabla 5.1. Luminarias de Cuenca.....	62
Tabla 5.2. Niveles de Iluminación para vías de tráfico.	65
Tabla 5.3. Niveles de Iluminación para vías peatonales.	65
Tabla 5.4. Niveles de Iluminación para zonas de conflicto.....	65
Tabla 5.5. Factor de depreciación del flujo de la lámpara.	69
Tabla 5.6. Factor de supervivencia de la lámpara.....	69
Tabla 5.7. Factor de depreciación de la luminaria.....	69
Tabla 5.8. Mediciones realizadas.	73
Tabla 5.9. Calculo por el método de lúmenes necesario Sodio AP.....	74
Tabla 5.10. Calculo por el método de lúmenes necesario LED AP.....	76
Tabla 5.11. Eficiencia energética vía funcional.	78
Tabla 5.12. Eficiencia energética vía ambiental.	78
Tabla 5.13. Eficiencia energética para valores de iluminancia media proyectada.....	79
Tabla 5.14. Clase de energía.	79
Tabla 5.15. Clase de eficiencia actual y proyectada.	79
Tabla 6.1. Consumo estimado de energía Sodio AP.....	89



Tabla 6.2. Consumo estimado de energía LED AP.....	89
Tabla 6.3. Ahorro de energía por remplazo directo.	90
Tabla 6.4. Ahorro de energía por cálculos luminotécnicos.....	90
Tabla 6.5. Costos estimados de energía.....	90
Tabla 6.6. Estado actual de la vía al Valle.	91
Tabla 6.7. Horas equivalentes de operación diaria.	91
Tabla 6.8. Indicadores alternativa 1.	93
Tabla 6.9. Indicadores alternativa 2.	93
Tabla 6.10. Resultados.	93
Tabla 6.11. Ahorro incrementando la vida útil a 100000 horas.	93
Tabla 6.12. Ahorro por disminución de precios de las lámparas LED's.	94
Tabla 6.13. Ahorro por 100000 horas de vida útil y disminución de precios. ...	94
Tabla 6.14. Resultados Costos Anual Equivalente.....	94
Tabla 6.15. Resultados de beneficios.	95



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Luis Miguel Lojano León, autor de la tesis "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE UNA ARTERIA DE CIRCULACIÓN VEHICULAR DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LA SUSTITUCIÓN POR TECNOLOGIA LED (LIGHT EMITTING DIODE)", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 18 de Marzo del 2014

Luis Miguel Lojano León

010471053-8

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Luis Miguel Lojano León, autor de la tesis "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE UNA ARTERIA DE CIRCULACIÓN VEHICULAR DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LA SUSTITUCIÓN POR TECNOLOGIA LED (LIGHT EMITTING DIODE)", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 18 de Marzo del 2014

Luis Miguel lojano León

010471053-8

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Fundada en 1867

Yo, Franklin René Orellana Lojano, autor de la tesis "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE UNA ARTERIA DE CIRCULACIÓN VEHICULAR DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LA SUSTITUCIÓN POR TECNOLOGIA LED (LIGHT EMITTING DIODE)", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 18 de Marzo del 2014

Franklin René Orellana Lojano
010431734-2



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Fundada en 1867

Yo, Franklin René Orellana Lojano, autor de la tesis "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE UNA ARTERIA DE CIRCULACIÓN VEHICULAR DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LA SUSTITUCIÓN POR TECNOLOGIA LED (LIGHT EMITTING DIODE)", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 18 de Marzo del 2014

Franklin René Orellana Lojano

010431734-2

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



DEDICATORIA

Dedico primero a Dios por brindarme salud, inteligencia, sabiduría, una linda familia y grandes amigos.

Con mucho amor dedico a mi mamita “Cumanda León” por brindarme su apoyo en todo momento, por ser un ejemplo a seguir , y por convertirme en un hombre de bien.

A mi padre por brindarme su apoyo incondicional en el transcurso de mi formación académica.

A mis hermanos, mis tíos Christian y Fabián, mi novia Diana y a toda mi familia quienes me brindaron todo su apoyo y su amistad.

Luis Lojano

Dedico este trabajo a mi mami Laura por todo el cariño, esfuerzo y apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de estos años.

A mis hermanos, hermana y a mis tíos Juan, Hortencia por confiar siempre en mi triunfo.

A mi abuelita Rosa que aunque ya no esté físicamente con nosotros siempre me cuida.

A toda mi familia y amigos que estuvieron presentes en cada etapa de mi vida brindándome su apoyo y su amistad incondicional.

Franklin Orellana



AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por la vida y la salud que nos ha dado para poder realizar nuestra formación académica y terminar con el proyecto de tesis.

Al Ing. Hernando Merchán Director de la tesis, quien con voluntad y entrega contribuyó en el desarrollo del Tema.

Al Ing. David Medveczky, que con sus conocimientos e ideas apporto en la culminación del Trabajo.

A todos mis maestros de la Escuela de Ingeniería Eléctrica por el afán de enseñar e instruir de una manera correcta a sus alumnos.

A nuestros padres, hermanos y amigos por su apoyo incondicional en todo momento para la culminación de este proyecto.

A la Universidad de Cuenca la cual nos ha forjado como hombres profesionales, para servir y ayudar a la Comunidad.



CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El alumbrado público en la ciudad de Cuenca ha ido evolucionando desde candiles de petróleo en farolas hasta las lámparas de sodio de alta presión. Esta evolución se da, debido a la necesidad de conseguir un sistema de alumbrado público eficiente.

1.2. ANTECEDENTES

El alumbrado público es parte importante en el desarrollo y convivencia de quienes habitan en una ciudad ya que una iluminación adecuada ofrece seguridad en la movilidad de bienes y personas, el transporte en todas sus áreas de actividad y, adicionalmente, es un factor que hace llamativos a bienes públicos, monumentos, etc., por su característica decorativa.

La optimización de los sistemas de alumbrado público de una ciudad, es un desafío ineludible de la sociedad actual y futura, pues permite reducir el consumo eléctrico, los niveles de impacto ambiental, y contaminación lumínica, contribuyendo así a la disminución de las emisiones de los gases de efecto invernadero GEI.

La implantación de nuevas tecnologías desarrolladas en el campo de las luminarias y sistemas de alumbrado público, representa un componente fundamental en el consumo de energía y en los impactos ambientales en el país y en el mundo.

1.3. ALCANCE

La tesis tiene la siguiente proyección:

- Analizar la situación actual del sistema del alumbrado público de la ciudad de Cuenca.
- Estudiar la tecnología LED aplicada al sistema de alumbrado público, sus ventajas, desventajas además su consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero.



- Realizar un análisis técnico-financiero para la sustitución de lámparas en una de las arterias principales de circulación vehicular en la ciudad de Cuenca.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales objetivos del sistema de alumbrado público es brindar una iluminación adecuada tanto para los vehículos como la seguridad para las personas, minimizando el consumo de energía eléctrica y los daños que podría provocarse al entorno.

La instalación de las lámparas LED en el sistema de alumbrado público de una ciudad ha recibido un impulso inusitado en los últimos años como una buena opción para reducir estos impactos y mejorar la calidad de un servicio que es vital para el desenvolvimiento de una comunidad.

Es importante también, analizar la diferencia que existe entre la eficiencia del alumbrado público actual de la ciudad, así como la eficiencia que se obtendría con la instalación de lámparas de nuevas tecnologías como la LED, tanto en el aspecto económico como en el ambiental.

1.5. OBJETIVO GENERAL

Analizar técnica y económicamente una alternativa tecnológica como la LED, para el mejoramiento del sistema del alumbrado público de una arteria de circulación vehicular de la ciudad de Cuenca.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la delimitación de la investigación, los objetivos, su justificación e importancia.
- Citar términos básicos necesarios para el entendimiento de análisis de iluminación y eficiencia del alumbrado público.
- Identificar las características de las lámparas de vapor de sodio de alta presión además estudiar las cualidades de las lámparas LED.
- Análisis financiero de la propuesta de cambio de luminarias de una arteria principal de circulación vehicular en la ciudad de Cuenca.



CAPÍTULO 2

2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO

2.1. LA LUZ

Se denomina luz a la manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas capaces de ser percibidas por el órgano visual, las longitudes de onda de estas radiaciones electromagnéticas están comprendidas en el rango de 380 y 770 nm, conocido como espectro visible.

2.1.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Consiste en la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas, que viajan a través del vacío y se encuentran ordenadas de acuerdo a la longitud de onda (λ) y frecuencias (f).

La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por la siguiente ecuación: (1)

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

Ecuación 2.1

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío ($c = 3 * 10^8 m/s$).

Las radiaciones electromagnéticas se clasifican en:

- ondas de radio,
- microondas,
- infrarrojos,
- visible (espectro visible para el ojo humano)
- ultravioleta,
- rayos X y
- rayos gamma

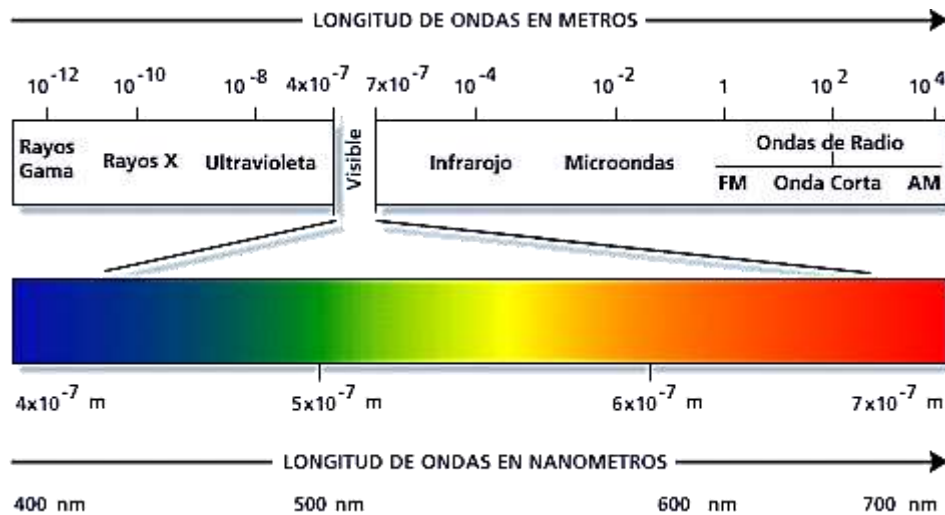


Figura 2.1. Espectro electromagnético.

El efecto visual de la radiación, en el rango visible, depende de la longitud de onda. Las magnitudes fotométricas se obtienen mediante factores de peso que corresponden a la sensibilidad espectral relativa del sistema visual humano, basada en la diferente percepción de claridad para cada longitud de onda en la región visible. Debido a las diferencias individuales, y a la dependencia de esta curva de sensibilidad espectral de las condiciones experimentales, y en especial del nivel de iluminación, ha sido necesario lograr acuerdos internacionales entre representantes de los distintos países, los que han sido canalizados por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE). La CIE (1970, 1978) adopta dos curvas de sensibilidad espectral relativa, V_λ , para el observador CIE estándar, en **condiciones fotópicas**¹ (visión de día), es decir para niveles de iluminación altos en el año 1924, y en **condiciones escotópicas**² (visión nocturna), es decir para niveles de iluminación bajos, en el año 1951. (2)

En la Figura 2.2 se muestran estas dos curvas, que están relacionadas a los dos sistemas de fotorreceptores que tiene el sistema visual humano, el de los conos, que opera fundamentalmente en condiciones fotópicas, y el de los bastones, que opera en condiciones escotópicas. El ojo muestra su máxima

¹Cuando hablamos de **visión fotópica** se hace posible la percepción del color, ya que disponemos de conos sensibles a cada uno de los tres colores primarios: rojo, verde y azul. (23)

²La **visión escotópica** es aquella percepción visual que se produce con niveles muy bajos de iluminación. (24)

sensibilidad para 555nm en condiciones fotópicas, mientras que para condiciones escotópicas este máximo se desplaza hacia los 507nm.

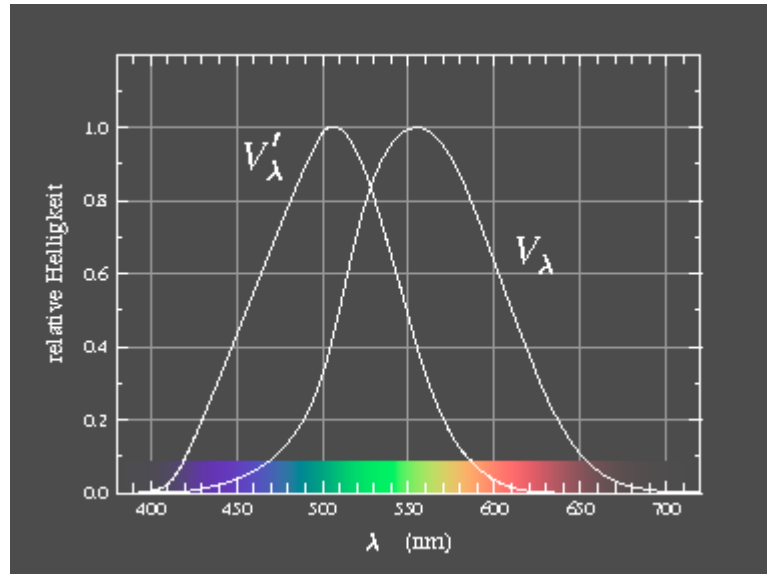


Figura 2.2. Curvas de sensibilidad espectral para V_{λ} el observador CIE en condiciones fotópicas; V'_{λ} el observador CIE en condiciones escotópicas (CIE, 1970, 1978).

2.1.2. PROPIEDADES DE LA LUZ

En el instante en el que la luz llega a un objeto se producen los siguientes fenómenos:

- Reflexión.
- Transmisión-refracción.
- Absorción.

2.1.2.1. REFLEXIÓN

La reflexión es un fenómeno que ocurre cuando la luz incide sobre una superficie, cambiando así su dirección. Este fenómeno está regido por la ley de reflexión.

La dirección en la que sale reflejada la luz depende del tipo de superficie. Si la superficie es brillante toda la luz sale en una dirección única; es decir se produce una reflexión especular. Si la superficie es mate y la luz es reflejada en todas las direcciones se conoce como reflexión difusa. Se conoce como reflexión mixta al fenómeno que ocurre en superficies metálicas sin pulir en el que predomina una dirección sobre las demás.

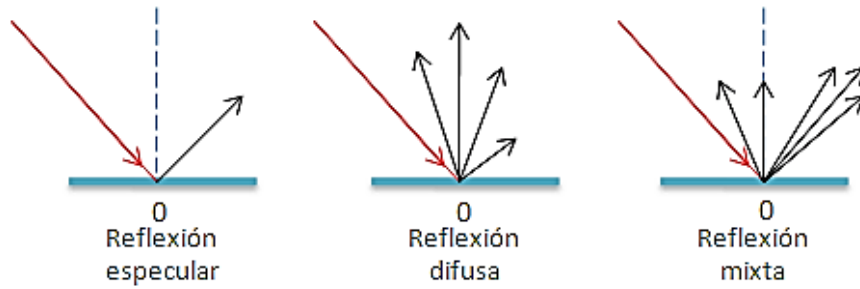


Figura 2.3. Tipos de reflexión.

2.1.2.2. REFRACCIÓN

Este fenómeno se produce cuando un haz de luz atraviesa de un medio material a otro, desviando así su trayectoria según la ley de refracción. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente.

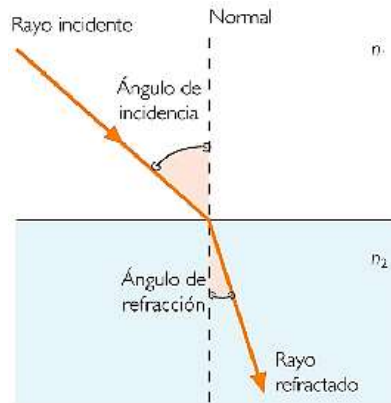


Figura 2.4. Refracción.

2.1.2.3. TRANSMISIÓN

La transmisión es el fenómeno que ocurre cuando la luz atraviesa una superficie o un objeto, en este fenómeno la luz cambia su dirección por refracción al pasar de un medio a otro que tiene distinta densidad.

Existen 3 casos de transmisión:

1. **Transmisión regular:** Cuando el rayo de luz no es desviado de su trayectoria (Vidrios transparentes).
2. **Transmisión difusa:** Cuando el rayo de luz se difunde en todas las direcciones (Vidrios translucidos).
3. **Transmisión mixta:** Cuando predomina una dirección sobre las demás (vidrios Orgánicos).

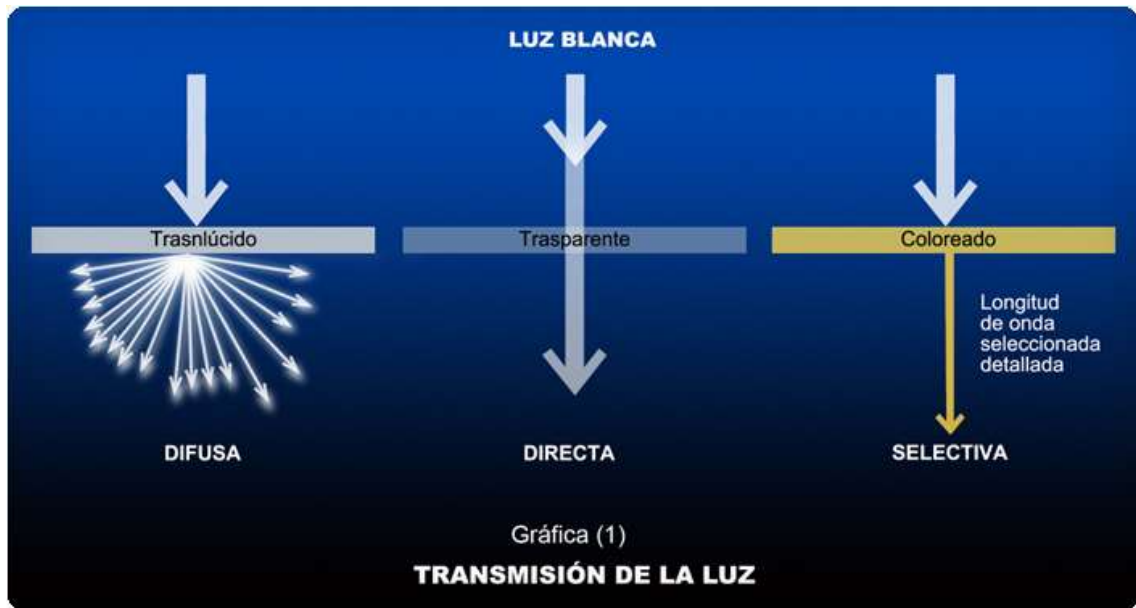


Figura 2.5. Tipos de transmisión.

2.1.2.4. ABSORCIÓN

El ojo humano es sensible en un intervalo del espectro electromagnético denominado espectro visible, son los colores que mezclados forman la luz blanca.

La absorción es un proceso que se presenta al incidir luz blanca a un objeto, una parte de los componentes de la luz es absorbida por la superficie y el resto son reflejadas. Estas últimas son las que determinan el color que percibimos. Si absorbe a todas es negro y si las refleja a todas es blanco.



Figura 2.6. Absorción de la luz.

2.2. MAGNITUDES, UNIDADES Y CONCEPTOS BASICOS

La radiación del espectro electromagnético se cuantifica con la ayuda de las **magnitudes radiométricas**³. Si se trata de cuantificar solo el espectro visible las magnitudes radiométricas se convierten en magnitudes fotométricas.

2.2.1. FLUJO LUMINOSO (ϕ)

Cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz a la que el ojo humano es sensible, su unidad de medida es el lumen (lm).

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

Ecuación 2.2

Dónde:

ϕ = Flujo luminoso en Lúmenes.

Q = Cantidad de luz emitida en Lúmenes x seg.

t = Tiempo en segundos.

2.2.2. INTENSIDAD LUMINOSA (I)

Es la relación del flujo luminoso de una fuente puntual de luz proyectada en una determinada dirección dentro de un **ángulo sólido (ω)**⁴. Su unidad de medida es la candela (cd).

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

Ecuación 2.3

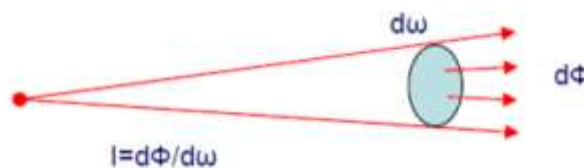


Figura 2.7. Intensidad luminosa emitida por una fuente puntual.

³ **Magnitudes Radiométricas:** medidas de las radiaciones electromagnéticas.

⁴ **Ángulo sólido (ω):** es el ángulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado, que se corresponde con la zona del espacio limitada por una superficie cónica. Mide el tamaño aparente de ese objeto. Su unidad es el estereorradián (sr). (1)

2.2.3. LA ILUMINANCIA (E)

Iluminancia es el flujo luminoso recibido por una superficie (S) independientemente de la dirección, su unidad es el lux (lx) que equivale a un lm/m^2 .

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

Ecuación 2.4

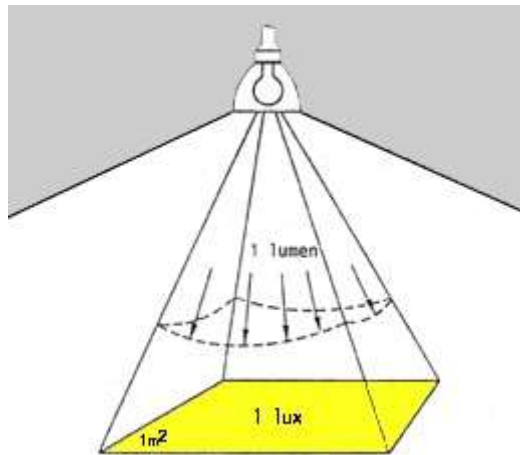


Figura 2.8. Iluminancia.

2.2.4. LA LUMINANCIA (L)

Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la cd/m^2 . (3)

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

Ecuación 2.5

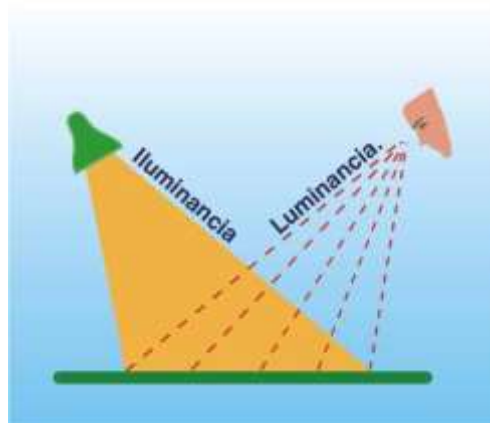


Figura 2.9. Luminancia e iluminancia.

2.2.5. DESLUMBRAMIENTO

Condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo. La excesiva luminancia de lámparas y de superficies iluminadas, puede generar deslumbramiento y reducir el contraste de los objetos. (4)

- a) **Deslumbramiento perturbador** conocido también como fisiológico, este reduce el contraste sobre los objetos observados este tipo de deslumbramiento es el utilizado en alumbrado exterior.
- b) **Deslumbramiento molesto** llamado también psicológico, es molesto a la vista, sin embargo no dificulta la percepción de los objetos.

2.2.6. RENDIMIENTO LUMINOSO.

El rendimiento luminoso o eficacia luminosa se define como al relación entre el flujo luminoso de una fuente de luz y la potencia eléctrica consumida por ella. En este proceso parte de energía se pierde por calor, radiaciones no visibles como las infrarrojas, ultravioletas, etc.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{lm}{W} \right]$$

Ecuación 2.6



Figura 2.10. Rendimiento luminoso.

2.3. EL COLOR EN LAS FUENTES DE LUZ

El color está definido, por la composición espectral de la radiación que llega al ojo, esta región, denominada espectro visible, comprende longitudes de onda desde los 380 nm hasta los 760 nm del espectro electromagnético, además, hay que tener en cuenta los procesos de adaptación del sistema visual del ojo.



2.3.1. ATRIBUTOS DEL COLOR

2.3.1.1. EL TONO.

El tono está asociado al color predominante, sea este espectral o no, es decir es el atributo asociado con el nombre de los colores básicos: rojo, amarillo, naranja, verde, azul o púrpura. En el caso de un color no espectral como el púrpura, que resulta de una suma de luces rojas y azules, que no se corresponde con una longitud de onda, el tono se describe como la longitud de onda de su color complementario. (5)

2.3.1.2. LA SATURACIÓN.

La saturación corresponde a la pureza del color que determina el tono. Un color monocromático espectral tiene la mayor saturación, mientras la luz blanca, es una luz completamente no saturada. (5)

2.3.1.3. LA CLARIDAD.

La claridad denominada también luminosidad es una propiedad de los colores, asociada al nivel de la intensidad que emite una fuente de luz.

2.3.2. DIAGRAMA CROMÁTICO DEL CIE (COMISIÓN INTERNACIONAL DE LA ILUMINACIÓN)

Los colores del espectro visible, así como las mezclas de distintos colores, se pueden representar matemáticamente por medio de un diagrama de colores, conocido como el triángulo cromático aprobado por la CIE, el cual se emplea para tratar el color de las fuentes de luz y otros materiales. Todos los colores están ordenados respecto a los valores de tres coordenadas cromáticas x , y , z para cada uno de ellos, cumpliéndose la igualdad: $x + y + z = 1$. De esta forma, dos coordenadas cualesquiera son suficientes para determinar el punto representativo o lugar geométrico de un color o mezcla de colores.

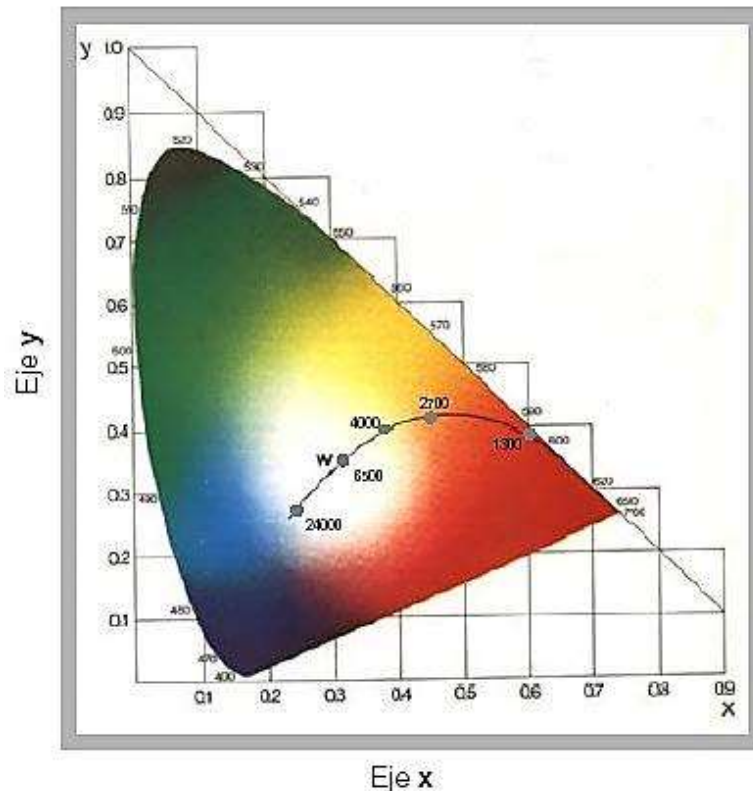


Figura 2.11. Triángulo cromático CIE.

2.3.3. TEMPERATURA DEL COLOR

Es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz es decir define sólo color y sólo puede ser aplicada a fuentes de luz que tengan una gran semejanza de color con el cuerpo negro. El cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura, adquiriendo al principio, el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo y finalmente el blanco, el blanco azulado y el azul.

Por lo tanto la temperatura de color no es en realidad una medida de temperatura.

2.3.4. ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (CRI)

El concepto de reproducción cromática de una fuente luminosa se define como el aspecto cromático que presentan los cuerpos iluminados con esta, en comparación con el que presentan bajo una luz de referencia; como referencia se toma la del cuerpo negro y como ideal se toma la luz día homologada por la CIE.



Convencionalmente, el CRI varía entre 0 y 100, pero no debe entenderse como un porcentaje de fiabilidad de reproducción de cada uno de los colores, ya que se obtiene como promedio de las reproducciones efectuadas en los colores de una muestra. (1)

Dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido y poseer al mismo tiempo unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes.

Índices de reproducción recomendados según la DIN 5035 (Instituto Alemán De Normalización):

Nivel	CRI
Excelente	85-100
Bueno	70-84
Regular	40-69
Mala	Hasta 39

Tabla 2.1. Niveles de reproducción cromático según DIN 5035.

2.3.5. EFECTOS PSÍQUICOS DE LOS COLORES Y SU ARMONÍA

Está comprobado que el color del medio ambiente produce en el observador reacciones psíquicas o emocionales. Por ello, el emplear los colores de forma adecuada es un tema del mayor interés para los psicólogos, arquitectos, luminotécnicos y decoradores.

No se pueden establecer reglas fijas para la elección del color apropiado con el fin de conseguir un efecto determinado, pues cada caso requiere ser tratado de una forma particular. Sin embargo, existe una serie de experiencias en las que se ha comprobado las sensaciones que producen en el individuo determinados colores.

Una de las primeras sensaciones es la de calor o frío, y por eso se habla de “colores cálidos” y “colores fríos”.

Los colores cálidos son los que en el espectro visible van desde el rojo al amarillo verdoso, y los fríos desde el verde al azul.

Los colores cálidos son dinámicos, excitantes y producen una sensación de proximidad, mientras que los colores fríos calman y descansan, produciendo una sensación de lejanía.

Asimismo, la claridad del color también tiene sus efectos psicológicos. Los colores claros animan y dan sensación de ligereza, mientras que los colores oscuros deprimen y producen sensación de pesadez.

Cuando se combinan dos o más colores y producen un efecto agradable, se dice que armonizan. La armonía de colores se produce mediante la elección de una combinación de colores que es agradable y placentera para el observador en una situación determinada.

2.4. SENTIDO DE LA VISIÓN

Este sentido se basa en la capacidad que tiene el ojo para absorber la luz del exterior y transmitirla a través del nervio óptico al cerebro y así extraer información útil para los individuos a partir de imágenes obtenidas de mundo externo.

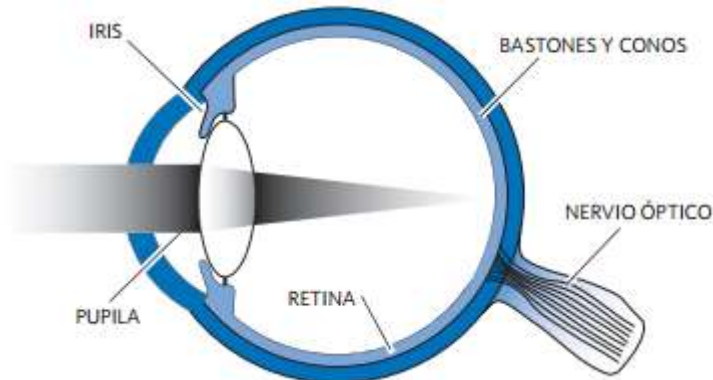


Figura 2.12. Ojo humano.

La visión comienza cuando la luz de una escena penetra en nuestro ojo. La lente de nuestro ojo enfoca la luz como una imagen sobre nuestra retina. La retina humana utiliza dos tipos de células para detectarla luz: bastones y conos. Estos sensores microscópicos están distribuidos por la retina y cada tipo sirve para una finalidad muy diferente. Los bastones y conos convierten la luz en impulsos eléctricos minúsculos que viajan por a través de fibras nerviosas hasta el cerebro. En el cerebro, se convierten en una impresión de la forma y el color del objeto observado. (6)

Todos los bastones tienen la misma sensibilidad a las longitudes de onda de la luz y, por tanto, no pueden ver el color de un objeto. Los bastones ven todos los objetos como tonos del gris. Los conos nos permiten ver en niveles de luz muy bajos. En escenas de alta luminosidad sólo los conos suministran una información útil para el cerebro mientras que los bastones se inundan con la luz y cesan de producir la señal.

Existen tres tipos de conos: uno tiene la mayor sensibilidad a las longitudes de onda largas de la luz visible; vemos el rojo; otro tiene la mayor sensibilidad a las longitudes de onda medias de la luz visible; vemos el verde; y otro tiene la mayor sensibilidad a las longitudes cortas de la luz visible; vemos el azul.

Percibimos el brillo según sea el nivel total de la señal proveniente de todos los conos. Percibimos el color según sean los niveles relativos de la señal proveniente de los tres tipos de conos.

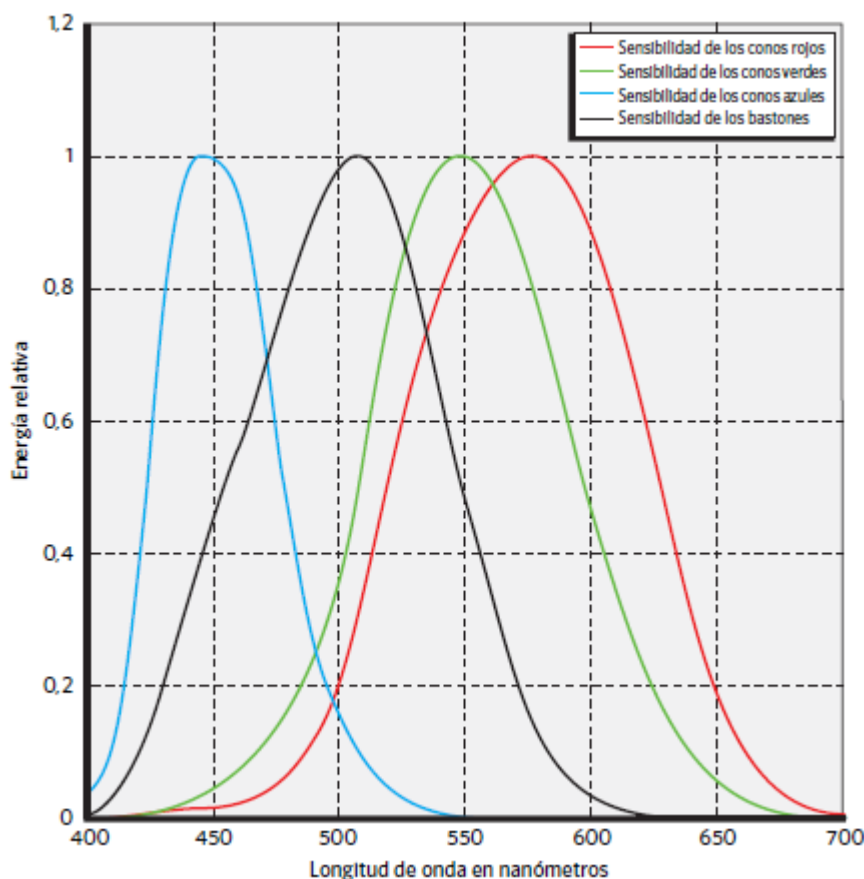


Figura 2.13. Las sensibilidades espectrales de los bastones y los conos.

2.4.1. FACTORES DE LA VISIÓN

- **La acomodación visual:** es la capacidad del ojo para enfocar a diferentes distancias.
- **La adaptación visual:** proceso de adaptación del ojo a distintos niveles de luminosidad. Es más rápida de niveles de iluminación bajos a altos que viceversa.
- **La agudeza visual:** capacidad de percibir y discriminar visualmente los detalles más pequeños. (7)

2.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA VISIÓN HUMANA

Cada ojo ve aproximadamente 150° sobre el plano horizontal y con la superposición de ambos se abarcan los 180° . Sobre el plano vertical sólo son unos 130° , 60° por encima de la horizontal y 70° por debajo.

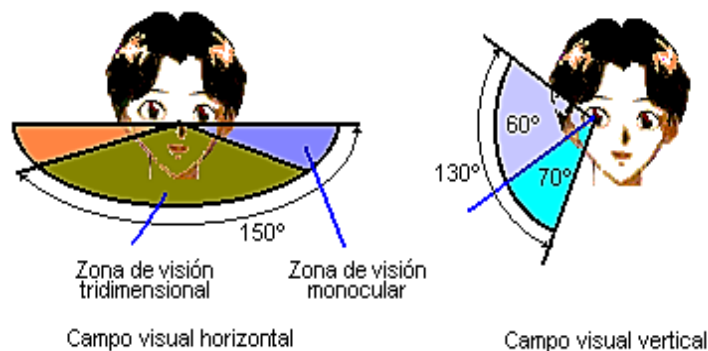


Figura 2.14. Campo visual del ojo humano.

El campo visual se extiende en las siguientes direcciones: alto (de arriba abajo), ancho (de derecha a izquierda) y profundo que es la máxima distancia alcanzada por la vista proyectada al frente y perpendicularmente al que mira.

2.4.3. LA VISIÓN HUMANA EN LA ILUMINACIÓN

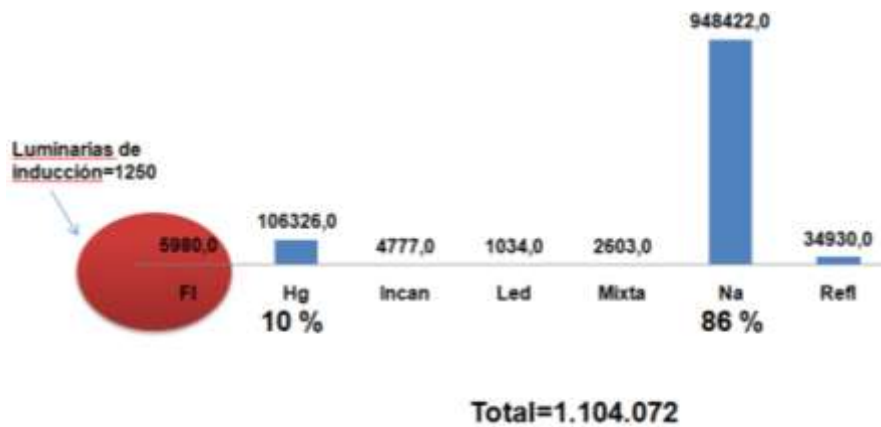
La visión humana está afectada por varios factores mencionados anteriormente como intensidad luminosa, color, contraste, reflexión, deslumbramiento, observador, etc.

Por esta razón existe la necesidad de considerar en el diseño de iluminación a la fisiología de la visión que requiere el desarrollo de modelos simplificados del sistema visual.

CAPÍTULO 3

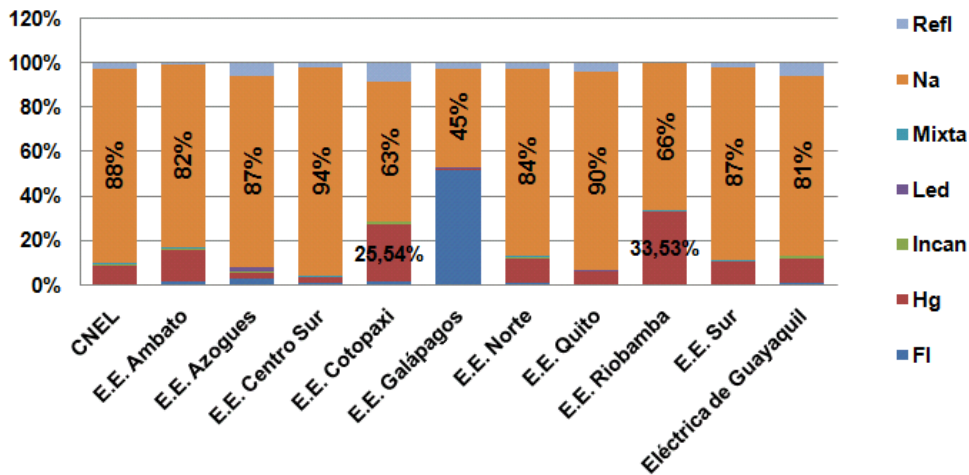
3. TIPOS DE FUENTES DE ILUMINACIÓN PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO

En el Ecuador a Diciembre del 2012, se encontraban instaladas 1.104.072 luminarias, de las cuales el 86 % son de Sodio de alta presión, el 10 % de Mercurio, y 0,1% de LED.



a)

% Cantidad de Luminarias por Tipo Dic.2012



b)

Figura 3.1. Cantidad de luminarias por tipo instaladas en el Ecuador (a) y por empresas eléctricas (b).

3.1. LÁMPARA

Las lámparas son los encargados de generar la luz, actualmente se utilizan lámparas de descarga de vapor de sodio y en menor cantidad de vapor de



mercurio para alumbrado público ya que poseen buenas prestaciones y un mayor ahorro energético con relación a las lámparas incandescentes.

3.2. LUMINARIAS

Las luminarias, son los aparatos que albergan, soportan y protegen a la lámpara y a sus elementos auxiliares, además están encargadas de concentrar y dirigir el flujo luminoso hacia una determinada superficie.

En el alumbrado de calles y carreteras las luminarias de distribución asimétrica son las de mayor aplicación generalmente, al ser la longitud de estas mayor que el ancho ofrecen un mejor aprovechamiento del flujo luminoso. Para el alumbrado de plazas y grandes espacios son más adecuadas las luminarias de distribución simétrica.



Figura 3.2. Luminarias con lámpara de sodio de alta presión.

3.3. BALASTOS

El balasto es un dispositivo eléctrico utilizado por bombillas de descarga eléctrica, para obtener las condiciones necesarias del circuito en el encendido y operación de las bombillas, es decir que limita la corriente que atraviesa la lámpara estabilizando el circuito.

Los balastos representan un consumo que varía entre el 10% y 20% del consumo total de la lámpara, además existen dos tipos de balastos: Electromecánicos (para corriente alterna con frecuencia de 50 o 60 Hz) y los Electrónicos (para altas frecuencias).



3.4. CEBADORES

También se los conoce como ignitores, este es un dispositivo que provee las condiciones eléctricas necesarias para iniciar la descarga y así el arranque de lámparas.

3.5. SISTEMAS DE CONTROL

Estos sistemas tienen las funciones de encendido, apagado y/o atenuación (control del flujo luminoso) de la lámpara de alumbrado público.

En el sistema de iluminación vial se utilizan:

- Fotocontroles instalados en las luminarias.
- Fotocontroles instalados a relés que controlan circuitos de iluminación mediante hilo piloto.

3.6. FUENTES DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO

En esta parte se describen los tipos de fuentes de iluminación artificial utilizados por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR C.A. para el alumbrado público y aquellas opciones que por desarrollo tecnológico representan una opción de uso y de remplazo.

3.6.1 LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESIÓN

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se añaden sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara, la temperatura de color se mueve entre 3500 y 4500 °K con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es

posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible. (8)

Las lámparas de vapor de mercurio están constituidas por una pequeña ampolla de cuarzo, provista de dos electrodos principales y uno o dos auxiliares, en cuyo interior se encuentra una cierta cantidad de argón y unas gotas de mercurio. Los electrodos auxiliares llevan una resistencia en serie que limita la corriente que circula por ellos.



Figura 3.3. Lámpara de vapor de mercurio a alta presión.

La pequeña ampolla está contenida dentro de otra de mucho mayor tamaño, de vidrio, cuya misión es la de proteger a la pequeña ampolla, establecer equilibrio térmico, así como también la de ser un depósito de sustancias fluorescentes encargadas de darle una cierta tonalidad roja.

Como todas las lámparas de descarga, la lámpara de vapor de mercurio debe llevar un elemento limitador de corriente, balasto. Cuando se conecta a la red de alimentación, se produce inicialmente una descarga entre el electrodo principal y el auxiliar, que se encuentran muy próximos, lo que ioniza el argón, haciéndolo conductor y estableciendo un tenue arco entre los dos electrodos principales; el calor generado por esta descarga va progresivamente evaporando el mercurio de la ampolla, y poco a poco se va convirtiendo en el conductor principal.



A medida que aumenta la temperatura en el tubo de descarga, aumenta la presión del vapor de mercurio y con ella la potencia activa consumida y el flujo luminoso emitido, hasta alcanzar, al cabo de 3 o 4 minutos, los valores normales de régimen. La intensidad absorbida por el circuito se inicia con un valor del orden del 40 al 50% mayor que el nominal, y va reduciéndose progresivamente.

Esta variación de la intensidad durante el arranque de la lámpara tiene una influencia en el circuito, ya que en un alumbrado de este tipo, el limitador deberá estar dimensionado para poder aguantar dicha intensidad.

Si por algún motivo se apaga la lámpara, y seguidamente queremos volver a encenderla, ello no resulta posible debido a que el vapor de mercurio no se habrá enfriado y estará con una presión elevada.

Transcurridos tres o cuatro minutos, la lámpara se habrá enfriado y reanudará el periodo de encendido; esto supone un serio inconveniente para este tipo de lámparas. (9)

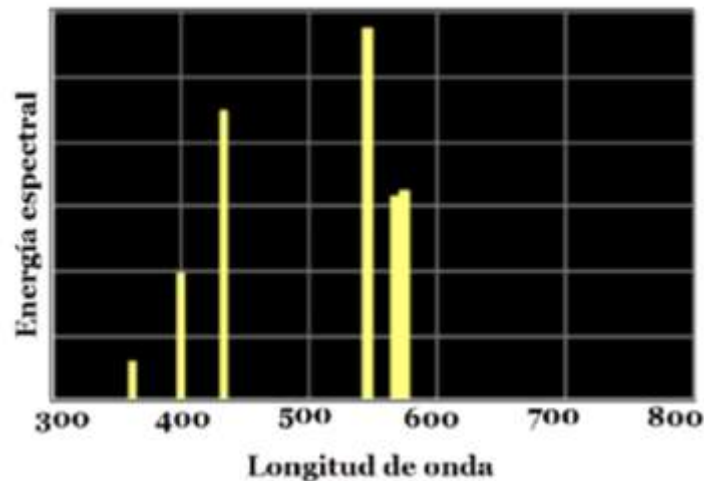


Figura 3.4. Energía espectral de mercurio a alta presión.

3.6.2 LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN

La lámpara de vapor de sodio a alta presión radia en todo el espectro visible además posee en una temperatura de color entre 1900 a 2200 °K y un índice de rendimiento de color de 22 esto para las lámparas de vapor de sodio estándar.

Al aumentar la presión del vapor de sodio incrementa el porcentaje de longitudes de onda larga emitidas y mejora el índice de rendimiento del color hasta un valor de 65, aunque la eficacia y la vida disminuyen, estas lámparas tienen una vida útil entre 8000 y 12000 horas.

El fallo por fugas en el tubo de descarga y el incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria limitan la duración de la lámpara.

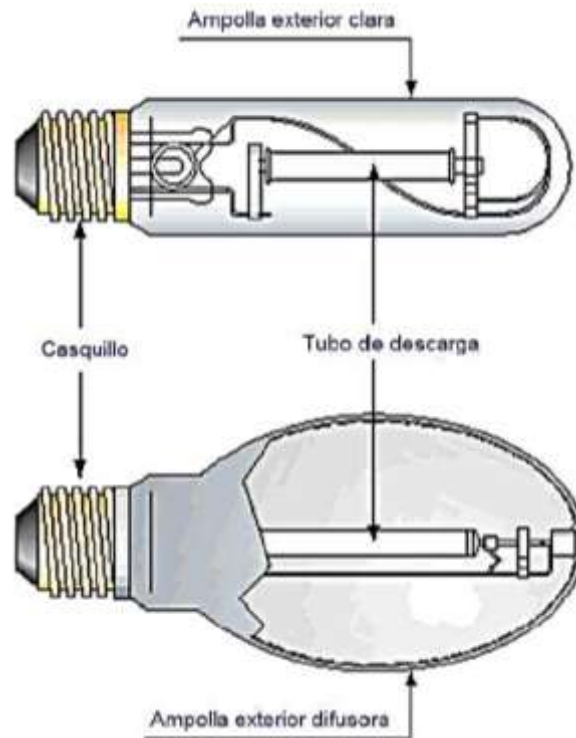


Figura 3.5. Lámpara de vapor de sodio a alta presión.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas (1000 °C), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.

Debido a que estas lámparas no tienen un electrodo de encendido por su menor diámetro, se suministra un pulso de alta tensión, entre 1,5 a 5 kV, mediante un ignitor, para ionizar al gas de encendido que es el xenón. Una vez

encendida, la lámpara se calienta en 10 minutos aproximadamente, durante el cual va cambiando de color.

Una vez que se ha establecido el arco, la tensión del mismo es baja (por la baja presión de vapor). El color inicialmente es blanco por la descarga del xenón, cambiando luego a amarillo después de unos 20 segundos. Durante este tiempo el sodio se evapora y poco a poco se involucra en la descarga.

La eficacia de estas lámparas está en un rango entre 80 a 130 lm/W, dependiendo de su potencia y de las propiedades de reproducción del color. La lámpara de sodio “blanco” tiene una eficacia de 43 lm/W y un valor un 45 % menor de las de sodio de alta presión estándar, las mismas poseen un tubo de descarga de óxido de aluminio sintetizado, alojado en una envoltura tubular de vidrio transparente al vacío.

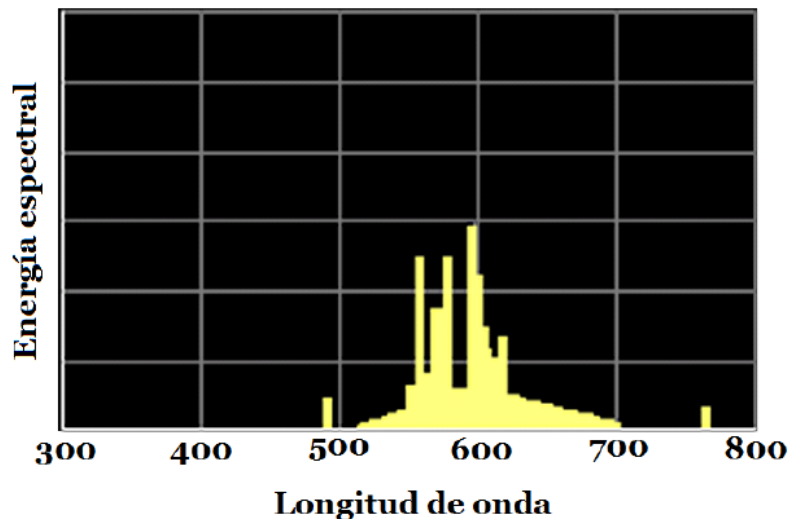


Figura 3.6. Energía espectral de Sodio a alta presión.

3.6.2.1 EQUIPOS DE DOBLE NIVEL DE POTENCIA PARA LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN

La aplicación de estos equipos está destinada a reducir el nivel de iluminación sin una disminución importante de la visibilidad pero con un ahorro de energía.

Este control consiste en una reactancia electromagnética que tiene dos bobinados en serie. Uno de ellos (el principal) proporciona la corriente y potencia nominales a la lámpara y cuando se desea obtener una reducción de

iluminación se conecta el otro aumentando la impedancia y por lo tanto disminuyendo la intensidad y potencia en la lámpara, con lo cual se disminuye el flujo luminoso.

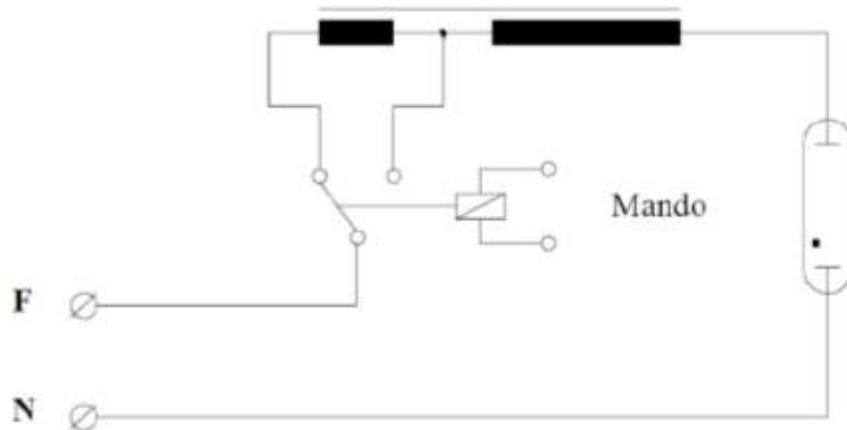


Figura 3.7. Control de doble nivel de potencia.

"Desde el año 2002, se encuentran en el mercado ecuatoriano luminarias de doble nivel de potencia que disminuyen el consumo energético de entre 30 % al 34 %, luego de las 11h30 pm, razón por la que ha tenido mucha acogida en potencias superiores a las de 150 W, siendo actualmente los principales proveedores de estas luminarias las empresas SCHREDER y GENERAL PUBLIC LIGHTING." (10)

El control de doble nivel es un temporizador electrónico que mediante un relé incluido en este circuito conmuta la entrada de corriente pasándola a una bobina de mayor impedancia.

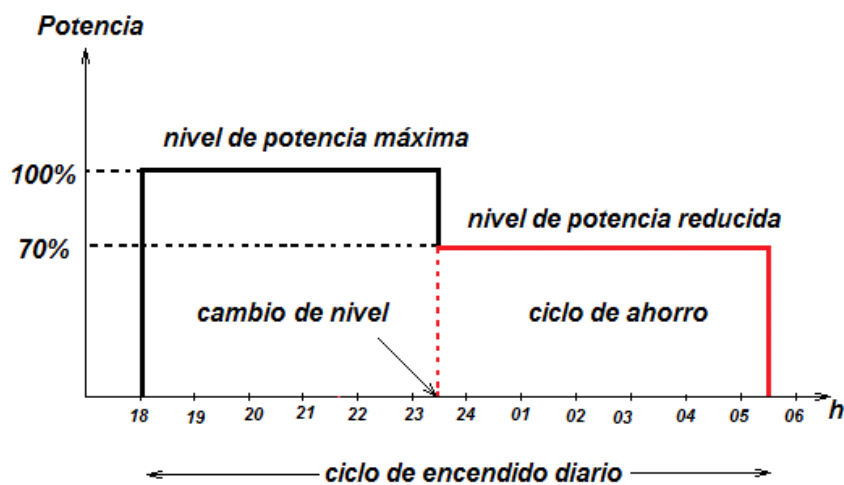


Figura 3.8. Ciclo de funcionamiento de los equipos de doble nivel de potencia.

3.6.3 LUMINARIAS LED

En los últimos años el sistema de alumbrado público ha recibido un impulso inusitado en lo referente a la instalación de lámparas LED (Diodo Emisor de Luz) por sus diferentes prestaciones.

En el país es previsible que la utilización de los LED se incremente, debido a que sus aplicaciones son superiores a las lámparas incandescentes y al tubo fluorescente, desde diversos puntos de vista. La iluminación con LED tiene ventajas para el alumbrado público como el ahorro energético que varía entre un 60% y 80% en relación con la iluminación tradicional.

3.6.3.1 EL LED COMO ELEMENTO GENERADOR DE LUZ

El diodo LED emite fotones de luz al paso de una corriente eléctrica en un sentido determinado (Ánodo-Cátodo), si utilizamos la convención eléctrica de la circulación de electrones.

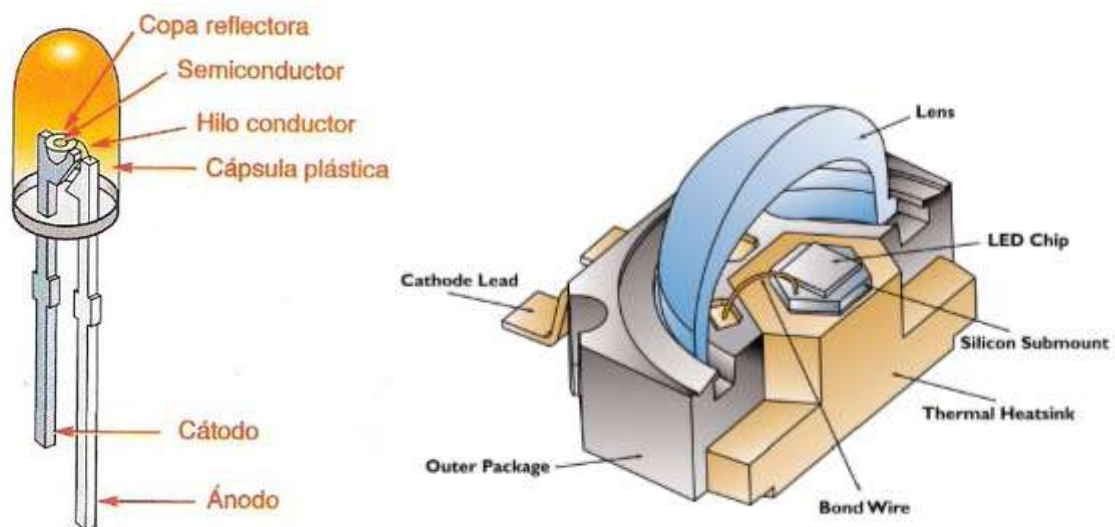


Figura 3.9. Elementos que componen un LED.

3.6.3.2 PRINCIPIO FÍSICO

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. (11)

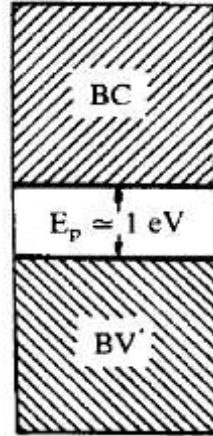


Figura 3.10. Disposición de los electrones en bandas de energía.

Las lámparas actuales, incluidos las LED's, tienen entre 95 o 150lm/w de rendimiento luminoso. (12)

3.6.3.3 COMPOSICIÓN DE LOS LED's (COLORES DE LOS LED's)

Existen LED's de distintos colores, incluso de colores que los humanos no podemos ver, los colores dependen del material semiconductor con el que fueron fabricados y del tipo de dopante (impurezas) que se le agregue.

Compuesto	Color	Long. de onda
arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940 nm
arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	rojo e infrarrojo	890 nm
arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	rojo, anaranjado y amarillo	630 nm
fosfuro de galio (GaP)	verde	555 nm
nitruro de galio (GaN)	verde	525 nm
nitruro de galio e indio (InGaN)	azul	450 nm
carburo de silicio (SiC)	azul	480 nm

Tabla 3.1. Compuestos empleados en la construcción de Led.

A continuación se describe como se encuentran formado el LED de color blanco que es el que se utiliza para alumbrado público.



3.6.3.3.1 COLOR DEL LED BLANCO

En un principio, solo se podían construir LED's de color rojo, verde y amarillo, con poca intensidad de luz, lo que limitaba su utilización, después se crearon LED's de casi todos los colores, excepto los de luz blanca, debido a que no se descubría el material que permitiera desarrollar un LED de luz azul.

En 1995 que se inventaron los LED's ultravioleta y azul, y esto dio paso al desarrollo del tan ansiado LED de luz blanca.

Desde ese momento el LED blanco ha evolucionado rápidamente en lo relacionado a la tecnología de iluminación y será probablemente la fuente dominante de luz en el futuro.

Los componentes del LED de luz blanca y las luminarias se basan en uno de los tres siguientes enfoques:

a) **Modificación de la longitud de onda por fosforescencia o conversión de fosforo (UV+ fósforo)**

Se modifica la radiación UV a una longitud de onda visible mediante adición de una serie de fósforos en el encapsulado que absorben dicha radiación y emiten luz blanca.

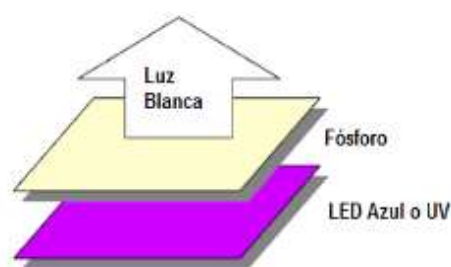


Figura 3.11. Fosforo convertido.

b) **El procedimiento RGB (Red-Green-Blue) o mezcla de colores**

Mediante la combinación en partes iguales de luz de los tres colores (roja, verde y azul) y controladas con mucha precisión mediante dispositivos adecuados permite obtener la luz blanca.

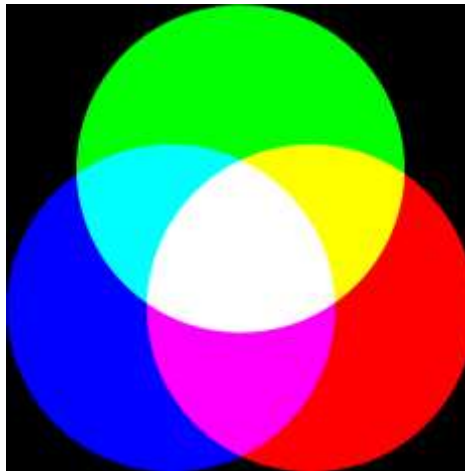


Figura 3.12. Síntesis aditiva del color.

c) Un enfoque híbrido que combina la conversión del fósforo y la mezcla de colores

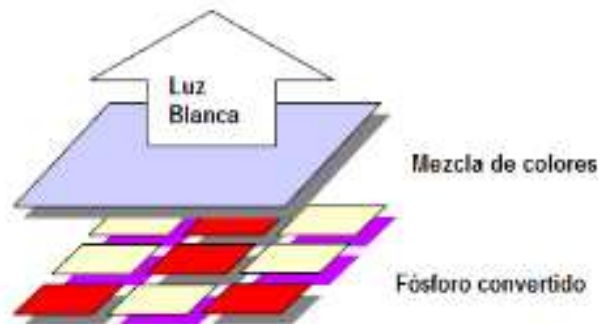


Figura 3.13. Enfoque híbrido.

La mayoría de los LED's utilizan el enfoque de fósforo convertido para crear luz blanca. La luz blanca se genera mediante la mezcla de una porción de luz azul emitida directamente desde un molde de Nitruro de Galio (GaN) LED con luz amarilla de conversión descendente emitida por un fósforo.

El fósforo puede estar situado en la superficie de emisión del diodo emisor de luz, dentro del encapsulado, o separado del mismo. Muchos fabricantes han logrado bajar la Temperatura de Color (CCT) e incrementar el Índice de Reproducción Cromática (CRI) mediante la mezcla de fósforo rojo con fósforo amarillo.

Dependiendo de la cantidad de fósforos y el tipo de éstos, se consigue que la luz blanca sea más o menos fría, o lo que es lo mismo, con más o menos temperatura de color.

De esta manera se pueden conseguir LED's de luz blanca con temperaturas de 7.000 °K (luz fría), a 2.700 °K (luz cálida). (13)



Figura 3.14. Modificación de la longitud de onda por fosforescencia.

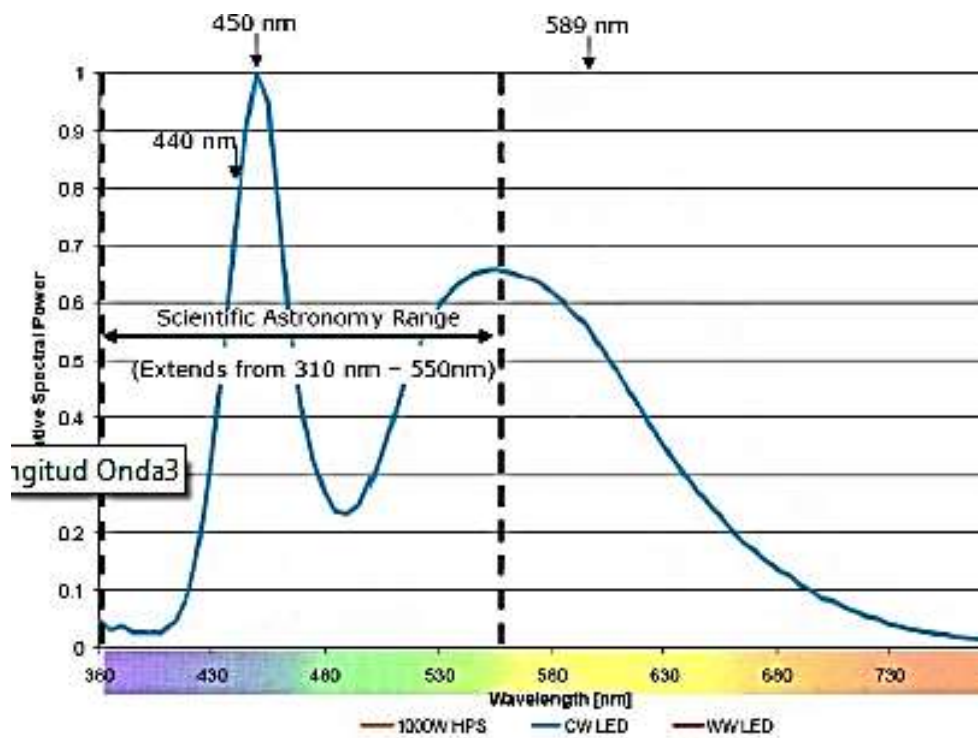


Figura 3.15. Espectro luminoso LED.



CAPITULO 4

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

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Las comparaciones serán analizadas entre la lámpara de tecnología LED, la lámpara de mercurio a alta presión y la lámpara de sodio a alta presión, por ser cada una de estas usualmente utilizadas y consideradas como una competencia tecnológica y de eficiencia dentro del alumbrado de vías públicas en la ciudad de Cuenca.

4.2 PARÁMETROS DE COMPARACIÓN

4.2.1. FILAMENTO

Es el componente más sensible de una lámpara, ya que durante su funcionamiento, cualquier vibración o perturbación eléctrica puede causar su rotura. Además este componente determina la vida de la lámpara y suele ser la causa de fracaso prematuro y aumento del costo de sustitución.

4.2.1.1. MERCURIO A ALTA PRESIÓN:

Posee dos electrodos uno principal y el otro de arranque.

5.2.1.2. SODIO A ALTA PRESIÓN:

Posee un electrodo principal.

4.2.1.4. LED:

No poseen electrodo.

4.2.2. FACTOR DE POTENCIA

Es la relación de la potencia activa P , respecto a la potencia aparente S , y nos da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa.

	Factor de Potencia
Mercurio AP	0,8
Sodio AP	0,92
LED	0,98

Tabla 4.1. Factor de potencia utilizado por la CENTROSUR.

Factor de Potencia

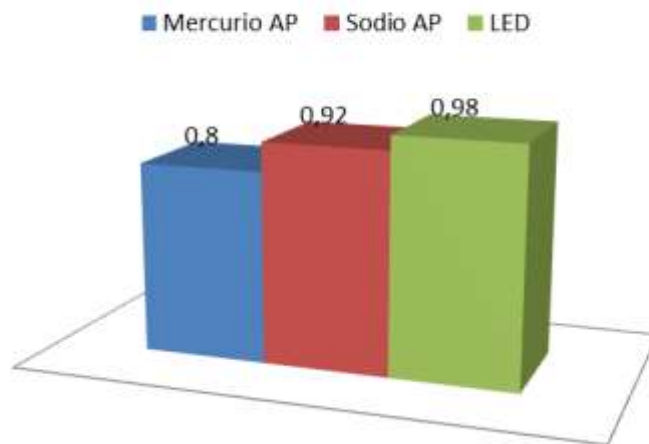


Figura 4.1. Factor de potencia

4.2.3. TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO

Vienen determinada por las pérdidas por efecto joule que estas presentan las lámparas.

	Temperatura de funcionamiento °C
Mercurio AP	300
Sodio AP	350
LED	40

Tabla 4.2. Temperatura de funcionamiento.

Temperatura de funcionamiento °C

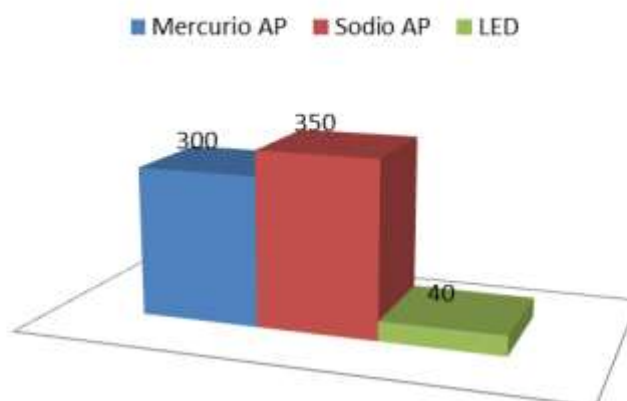


Figura 4.2. Temperatura de funcionamiento.



4.2.4 VIDA UTIL

	Vida útil (h) (14)
Mercurio AP	10000
Sodio AP	10000-28000
LED	>50000

Tabla 4.3. Vida útil

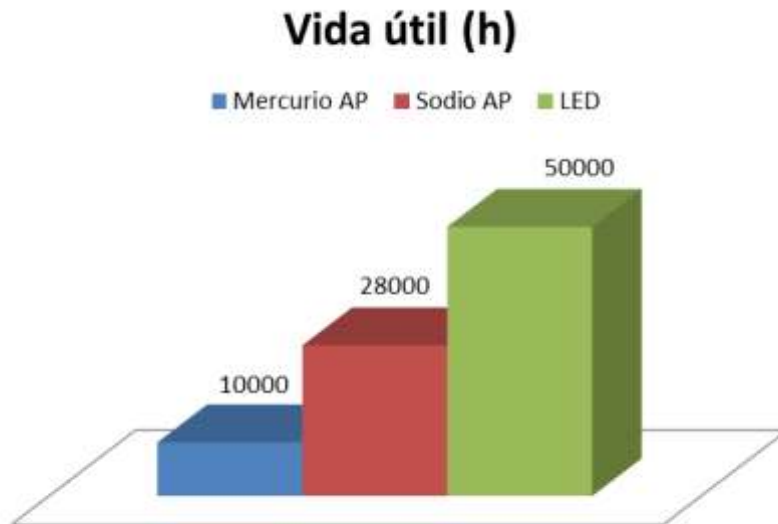


Figura 4.3. Vida útil.

4.2.5 TIEMPO DE ENCENDIDO

	Tiempo de encendido (min)
Mercurio AP	4-5
Sodio AP	5-10
LED	0

Tabla 4.4. Tiempo de encendido.

Tiempo de encendido (min)

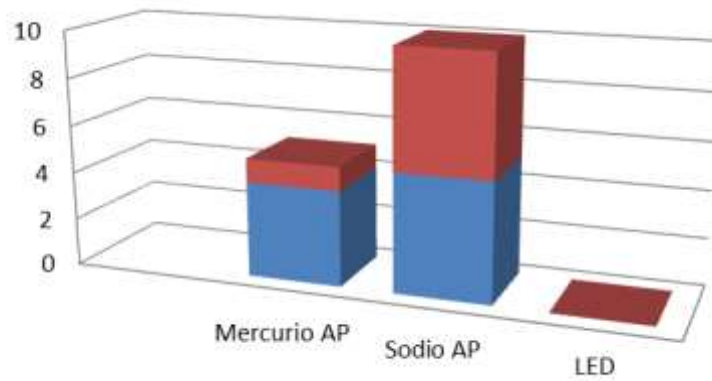


Figura 4.4. Tiempo de encendido.

4.2.6 TEMPERATURA DEL COLOR

	Temperatura del color °K
Mercurio AP	3500 y 4500
Sodio AP	2000-3500
LED	3000-6000

Tabla 4.5. Temperatura de color.

Temperatura del color °K

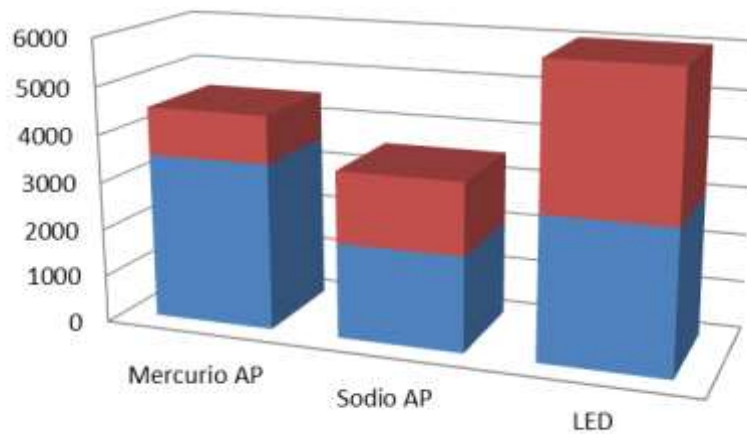


Figura 4.5. Temperatura el Color.

4.2.7 ÍNDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR

	Índice de Rendimiento del color %
Mercurio AP	40 a 45
Sodio AP	<50
LED	65-90

Tabla 4.6. Índice de reproducción cromática.

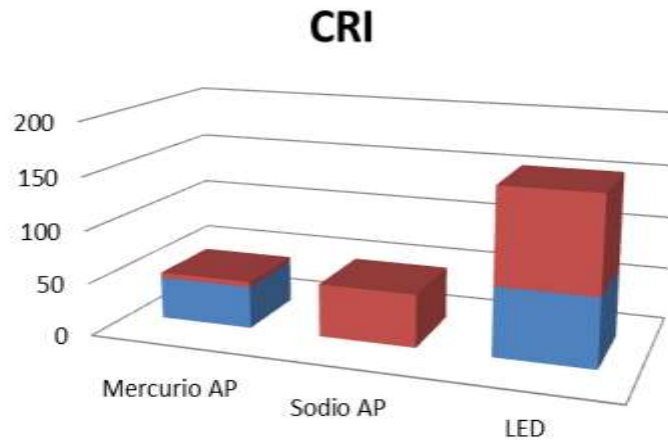


Figura 4.6. Índice de reproducción cromática CRI.

Un valor de CRI > 60% permite que la visión del ojo humano se adapte mejor a la luz de este tipo de luminarias.



Figura 4.7. Mejora de la calidad de la iluminación mediante LED.

4.2.8 EFICACIA

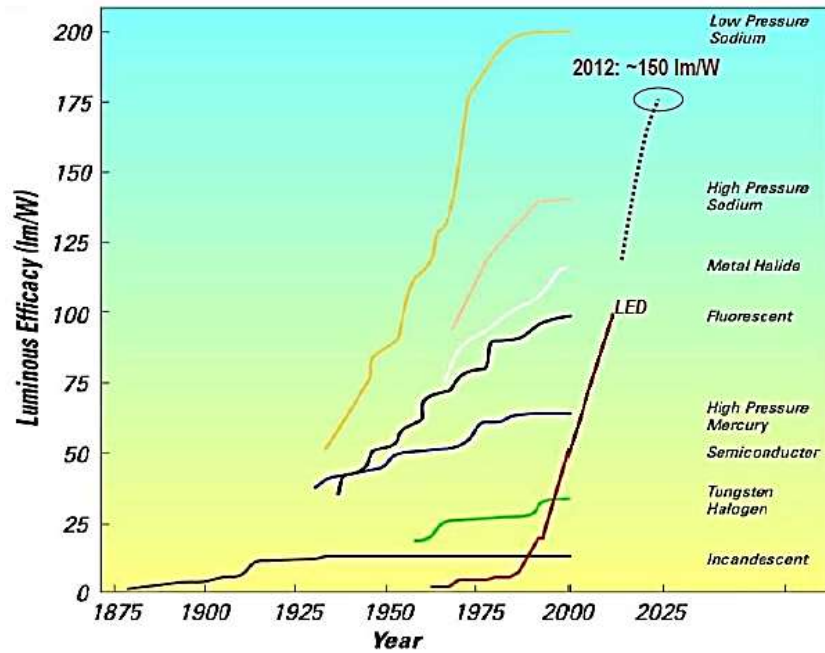


Figura 4.8. Evolución de la eficacia del LED.

	Eficacia (lm/w)
Mercurio AP	31-52
Sodio AP	80-130
LED	>60

Tabla 4.7. Eficacia.

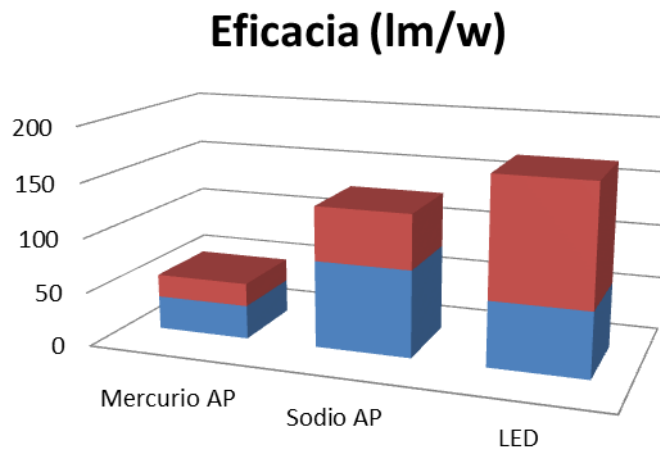


Figura 4.9. Eficacia.

Cabe indicar que en el caso de las luminarias de tipo LED la eficacia sigue aumentando con el avance de la tecnología.



4.2.9 PARPADEO

El parpadeo o “flicker”, es como la impresión subjetiva de la fluctuación luminosa causada por las variaciones de la tensión, estas variaciones implican en el cerebro del conductor una continua molestia con sensación de mareo. (15)

4.2.9.1. MERCURIO A ALTA PRESIÓN:

Estas presentan mucho parpadeo cuando hay fluctuaciones de voltaje.

4.2.9.2. SODIO A ALTA PRESIÓN:

Estas presentan poco parpadeo cuando hay fluctuaciones de voltaje.

4.2.9.4. LED:

No producen parpadeo.

4.2.10 CONTENIDO DE MERCURIO

	Contenido de Mercurio (mg)
Mercurio AP	10-100
Sodio AP	10-50
LED	0

Tabla 4.8. Contenido de mercurio.

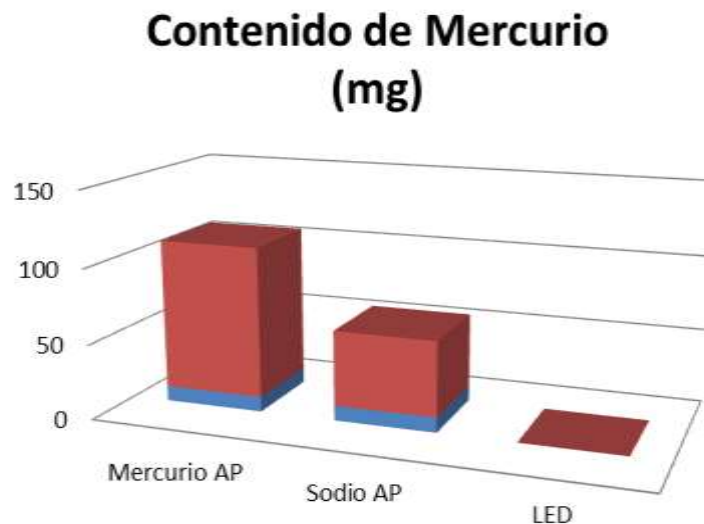


Figura 4.10. Contenido de mercurio.



4.2.11. DISTORSIÓN ARMÓNICA

Distorsión indica la cantidad de armónicos de corriente que está fluyendo en las líneas de energía. Los armónicos son corrientes no deseadas en múltiplos de 5 de la frecuencia de la línea fundamental (por ejemplo, 50 ó 60 Hz).

Las corrientes armónicas pueden crear tensiones adicionales y pérdidas de potencia.

En las luminarias de vapor de mercurio al igual que las de vapor de sodio se produce una distorsión armónica menor al 35%.

Con un factor de potencia del 0,9 y una distorsión armónica inferior al 20%, los LED superan cualquier combinación de lámpara AP(alta presión) + reactancia + condensador, incluso cuando se pueden utilizar balastos electrónicos.

4.2.12 TABLA COMPARATIVA

	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 - 45	<50	>65
Eficacia (lm/W)	31-52	80-150	>60
Parpadeo	mucho	Poco	Ninguno
Contenido de mercurio (mg)	10-100	10-50	Ninguno
Billo	Mucho	Mucho	Ninguno
Distorsión armónica	<35%	<35%	< 10%

Tabla 4.9. Características de comparación.

4.3. CONSUMO

Este es uno de los puntos más importantes de la iluminación mediante LED's, ya que el flujo luminoso conseguido por vatio consumido es superior a los sistemas actuales lo que implica un menor consumo de energía y por ende un ahorro significativo de dinero.

4.4. DURABILIDAD

Al ser dispositivos en estado sólido, los LED's son rígidos sin componentes frágiles (como la bombilla de las demás tecnologías) teniendo así una mayor durabilidad.

4.5. MAYOR CONTROL DE DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ

Los LED's emiten luz en una dirección que luego puede esparcirse (mejor que las otras fuentes de las cuales la luz se emite hacia todas direcciones y debe ser reflejada hacia la dirección deseada).

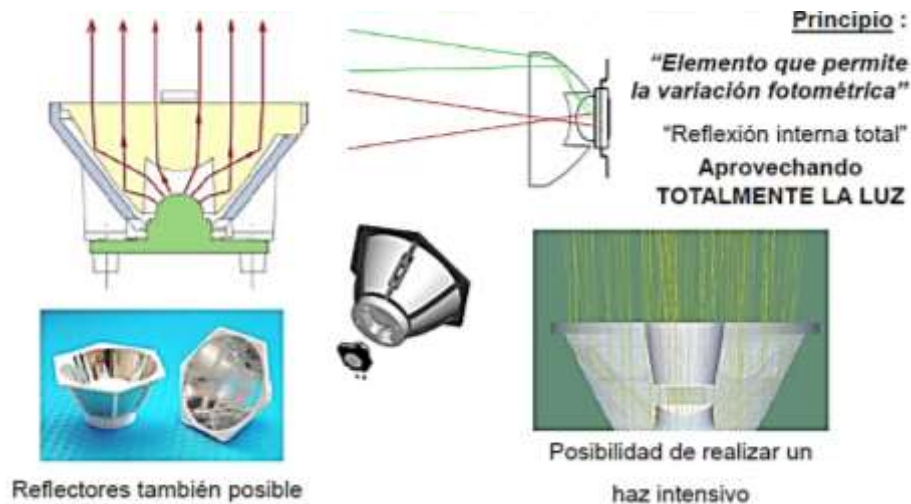


Figura 4.11. Manejo del flujo- lentes.

4.6. VISIÓN NOCTURNA

Las condiciones de iluminación fijan los tipos de visión:

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

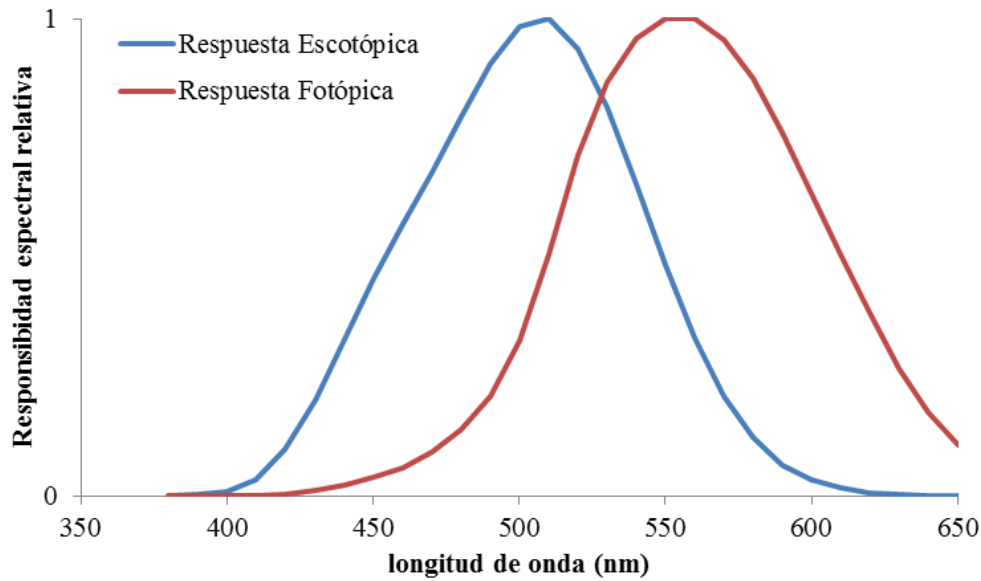


Figura 4.12. Respuesta espectral de la visión fotópica y escotópica en relación a la longitud de onda.

Valoración del comportamiento escotópico de la una fuente de luz

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

Ecuación 4.1

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 (>5.000K) produce mayores valores S/P, que una fuente de luz cálida (<3.300K), 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.

	S/P	$(S/P)^{0,78}$
Lámpara fluorescente 7500K	2,47	2,02
Soly cielo (CIE D65) 6500K	2,47	2,02
Sol (CIE D55) 5500K	2,28	1,90
Lámpara Inducción 6500K	2,22	1,86
Fluorescente "Daylight"	2,22	1,86
Fluorescente RE865 6500K	2,14	1,81
Lámpara Inducción 5000K	1,96	1,69
Fluorescente RE850 5000K	1,96	1,69
Lámpara Inducción 4100K	1,62	1,46
Fluorescente RE841 4100K	1,62	1,46
Fluorescente RE741 4100K	1,54	1,40
Halógena cuarzo 3200K	1,50	1,37
Halogenuro metálico	1,49	1,36
Fluorescente Blanco Frio	1,46	1,34
Incandescente 2850K	1,41	1,31
Lámpara Inducción 3500K	1,30	1,23
Fluorescente RE735 3500K	1,30	1,23
Sodio Alta Presión Blanco	1,14	1,11
Fluorescente luz cálida	1,00	1,00
Vapor de mercurio (clara)	0,80	0,84
Sodio Alta Presión (50W)	0,62	0,69
Sodio Alta Presión (35W)	0,40	0,49
Sodio Baja Presión (SOX)	0,35	0,44

Figura 4.13. Relación S/P (lúmenes escotopicos/lúmenes fotopicos).

4.7. RELACION LUMEN PUPILA

Esta relación 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.

fuelle 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	66,8	1,28
LED	93,3	156	1,67

Tabla 4.10. Relación lumen pupila.



4.8. CONTROL

El control utilizado para las lámparas de vapor de sodio es el de doble nivel de potencia el cual disminuye la potencia de la lámpara hasta un 70% en las horas cuando no es mucha su exigencia.

El control usado en los led es Electrónico – Dimerizable o mediante telegestión.

4.9. CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Es “La emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se han instalado las luminarias”.

La polución lumínica es producida 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 la luz a lugares no deseados.

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

En comparación con las lámparas mencionadas anteriormente la alta eficiencia energética de los LED's aseguran alumbrar sólo el lugar deseado, evitando así que luz se proyecte hacia el cielo y evitando que se desperdicie la energía en forma de contaminación lumínica.

4.10 IMPACTO AMBIENTAL

En cuanto a lo que tiene que ver con el impacto ambiental lo principal es que:

- La tecnología LED, genera menor cantidad de residuos debido a su larga duración.
- Las lámparas de LED, a diferencia de las demás, no necesitan de vapores o gases contaminantes para su operación.
- La reducción de emisiones de CO₂ debido a la generación de electricidad a partir de combustibles fosiles.

A un nivel general se tiene que:

- Las lámparas LED generan ahorros en combustibles para desplazamientos y usan menos componentes como cables, soldaduras, etc. debido a que el mantenimiento es menor en comparación a las convencionales
- Las lámparas LED no contienen mercurio, ya que este representa un grave peligro al medio ambiente y por ende a la sociedad.



4.11 MANTENIMIENTO

El alumbrado público reciben durante su vida útil la influencia de las condiciones de operación y del entorno en el cual está operando, esta influencia afecta las condiciones iniciales de su funcionamiento y las características físicas o químicas existentes inicialmente, disminuyendo su vida útil, por lo que es importante llevar a cabo inspecciones y mantenimiento a todos los elementos de la instalación.

Durante el tiempo de operación, la lámpara de sodio de alta presión aumenta su tensión de arco y disminuye su corriente de operación sobre el valor inicial, hasta que alcanza valores no aptos de operación, para los cuales la lámpara deja de ser estable produciéndose apagados intempestivos, en estos casos la lámpara se considera agotada y se recomienda su reemplazo.

Las bombillas de descarga de alta intensidad, como la bombilla de vapor de sodio alta presión, deben cambiarse cuando la emisión del flujo luminoso haya descendido al setenta por ciento (70%) de su valor inicial.

En cuanto a las lámparas LED es conocida la poca o ninguna necesidad de mantenimiento.

4.12 DESVENTAJAS

Como desventajas de la tecnología LED podemos mencionar las siguientes:

- Elevado costo, aunque se espera una disminución progresiva para que pueda convertirse en una tecnología competitiva.
- A elevadas temperaturas los LED tienden a estropearse por lo que requieren una alta disipación de calor. Si bien generan poco calor es importante disiparlo para poder garantizar un mayor tiempo de vida.
- Variedad limitada comparada con las demás tecnologías



CAPITULO 5

5. ANÁLISIS TÉCNICO

5.1 INTRODUCCIÓN

El alumbrado público es el complemento fundamental para el crecimiento de la sociedad por lo que requiere un análisis luminotécnico que cumpla con las normas establecidas en la región, proporcionando así la iluminación adecuada para el tránsito seguro de vehículos, peatones en vías públicas, parques, plazas, plazoletas, jardines y demás espacios de libre circulación.

Los sistemas han sido constituidos utilizando la infraestructura de las redes de distribución eléctrica, no así los sistemas de iluminación para uso ornamental o para parques, plazas y áreas deportivas que generalmente cuentan con sistemas expresos de alumbrado público.

5.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA CIUDAD DE CUENCA

La ciudad de Cuenca, a diciembre del 2012 contaba con 32.773 luminarias cuyo consumo fue de 37.809.519 kWh, de las cuales el 90 % corresponde a luminarias de Sodio de alta presión; de éstas, el 61 % son de doble nivel de potencia que se utilizan para ahorrar energía, e iluminan principalmente las vías públicas. Del total de luminarias, el 1,28 % son de Mercurio de alta presión utilizadas también en iluminación vial, y el 8,72 % restante corresponde a luminarias de luz mixta, LED y proyectores de Sodio y de Mercurio, que se utilizan en la iluminación pública ornamental. (10)

Aplicación	Total luminarias	100%
Vía	Vapor de sodio de alta presión	90%
	vapor de sodio de alta presión de doble nivel	61%
	Vapor de mercurio de baja presión	1,28%
Ornamental	Mixta (LED y proyectores de Sodio y de Mercurio)	8,72%

Tabla 5.1. Luminarias de Cuenca.

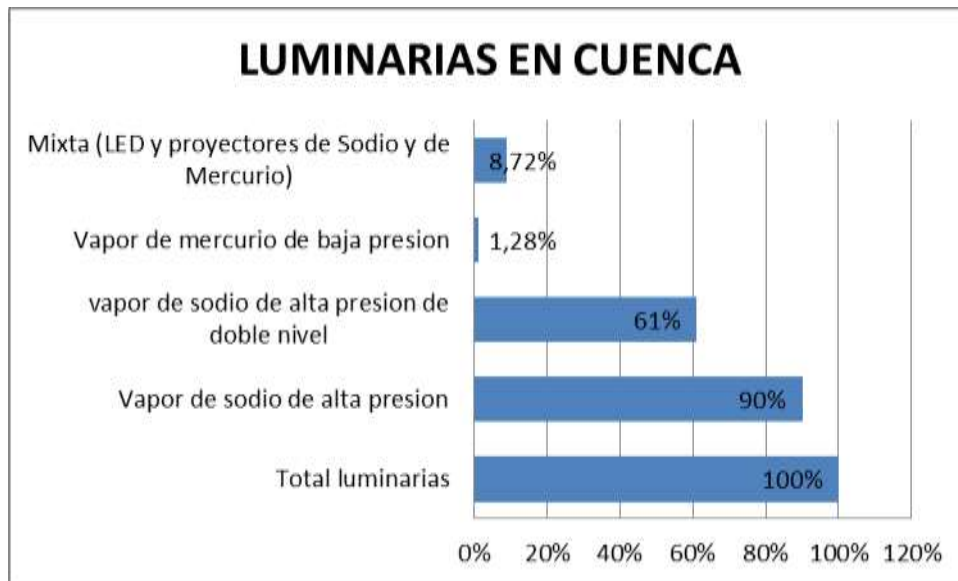


Figura 5.1. Luminarias de Cuenca.

Los sistemas de control para el alumbrado vial son principalmente mediante hilo piloto. También se utilizan luminarias autocontroladas con fotocontroles.

El control del alumbrado ornamental se realiza mediante un reloj con omisión de días para programar el encendido y apagado de los sistemas.

Para parques, plazoletas, glorietas, y áreas deportivas, también se utilizan sistemas de control con relojes con omisión de días que mediante relés accionan el encendido y apagado de estos sistemas. (10)

El sistema de alumbrado público de la ciudad de Cuenca, es administrado por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR C.A.

5.3 EL ALUMBRADO PÚBLICO

5.3.1. OBJETIVOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Los principales objetivos que se buscan cumplir al realizar una instalación de alumbrado público son:

- Brindar la iluminación necesaria para conseguir la máxima seguridad y comodidad de circulación, tanto vehicular como de peatones, procurando minimizar todo tipo de problemas visuales, principalmente el deslumbramiento y la contaminación lumínica.
- Contribuir al control de la delincuencia y el vandalismo.
- Estimular el desarrollo cívico, turístico y comercial.



5.3.2. FACTORES DETERMINANTES DE UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO

En el alumbrado público existen factores como la eficiencia, la iluminación, la seguridad, la estética y el tráfico; los cuales determinan la exigencia que se debe cumplir; siendo este ultimo de gran importancia debido a su incremento.

5.3.3. NIVEL DE ILUMINACIÓN Y FACTOR DE UNIFORMIDAD

La iluminación de una vía pública está en razón directa de la intensidad del tráfico rodado o la velocidad media de los vehículos, depende de la distribución de la luz de la luminaria, el flujo luminoso de las lámparas y de las propiedades de reflexión de la calzada.

5.3.3.1. UNIFORMIDAD GENERAL DE LUMINANCIA DE LA CALZADA (U_0)

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía.

5.3.3.2. UNIFORMIDAD LONGITUDINAL SOBRE LA CALZADA (U_L)

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, medidas o calculadas en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril de circulación. Se mide o se calcula de acuerdo con la norma CIE 140-2000. (4)

5.3.3.3. RELACIÓN DE ALREDEDORES (SR)

Es la relación de la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o menor en espacios que no permite) cada una adyacente a los dos bordes de la calzada (fuera de la calzada) para la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o la mitad del ancho si es inferior) dentro de la calzada. Para calzadas dobles, ambas calzadas se deben tratarse conjuntamente como si fueran una única, a menos que estén separadas por más de 10 m. (4)

En los casos donde exista una iluminación propia de los alrededores, la utilización de la relación SR no es necesaria (4)

5.3.3.4. NIVELES DE ILUMINACIÓN ESTABLECIDOS POR EL AGENTE REGULADOR CONELEC



TIPO DE VÍA	CALZADAS VEHICULARES				RELACIÓN DE ALREDEDORES
	Lprom	Uo	UL	TI	SR
Clase De Iluminación	cd/m ²	>%	>%	<%	%
M1	2	40	70	10	50
M2	1,50	40	70	10	50
M3	1	40	60	15	50
M4	0,75	40	60	15	50
M5	0,5	0,35	40	15	50
M6	0,3	0,35	40	20	50

Tabla 5.2. Niveles de Iluminación para vías de tráfico.

Clases de Iluminación	TIPO DE APLICACIÓN	
	Iluminancia Horizontal (lx)	
	Referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio	Mínimo
P1	15.00	3.00
P2	10.00	2.00
P3	7.50	1.50
P4	5.00	1.00
P5	3.00	0.60
P6	2.00	0.40

Tabla 5.3. Niveles de Iluminación para vías peatonales.

Clases de Iluminación	Iluminancia Promedio E (lux) ⁵	Uniformidad de la Iluminancia Uo (E)	Incremento de Umbral (%) ⁶	
			Moderada y Alta Velocidad	Baja y muy baja velocidad
C0	50	0.40	10	15
C1	30		10	15
C2	20		10	15
C3	15		15	20
C4	10		15	20
C5	7.5		15	25

Tabla 5.4. Niveles de Iluminación para zonas de conflicto.

5.3.4. ALTURA DEL PUNTO DE LUZ

En alumbrado público la altura del punto de luz tiene una gran influencia sobre la calidad de la iluminación y sobre sus costos.

La altura de montaje se obtiene tomando en cuenta elementos como la intensidad luminosa de la luminaria y anchura de la calzada.

Además al situar el punto de luz a una gran altura tiene ventajas como también inconvenientes.

Entre las ventajas podemos citar:

- Mejor distribución de luminancias sobre la calzada
- Menor deslumbramiento, lo cual permite instalar lámparas de mayor potencia luminosa por punto de luz.

⁵ Sobre toda la superficie utilizada. (4)

⁶ Aplicado donde las tareas visuales son consideradas de importancia para la iluminación de vías de tráfico motorizado. (4)



- Mayor separación entre puntos de luz con la consiguiente reducción del número de unidades luminosas y del costo total de la instalación.

Así mismo los inconvenientes que se generan:

- El mantenimiento de la instalación se torna más difícil y se incrementa los costos.
- El factor de utilización disminuye, debido a que gran parte del flujo luminoso emitido incide fuera de la zona que se pretende iluminar.

5.3.5. RELACIÓN ENTRE LA SEPARACIÓN Y LA ALTURA DE LOS PUNTOS DE LUZ

Esta relación afecta directamente a la uniformidad de la iluminación que se consigue sobre la calzada, a los valores absolutos de las luminancias y a las características fotométricas de la luminaria.

A medida que esta relación disminuye, la uniformidad de la iluminación es más elevada y mejor el reparto de luminancias, consiguiéndose una mayor comodidad visual para los usuarios de la vía, pero esto lleva consigo un aumento en el costo de la instalación, ya que es necesario distanciar menos la unidades luminosas o situar los puntos de luz a una mayor altura. De aquí que esta relación debe ser un compromiso entre las necesidades cualitativas de la iluminación y las posibilidades económicas para satisfacerlas. (16)

5.3.6. DISPOSICIÓN DE LOS PUNTOS DE LUZ

La disposición de los puntos de luz en una vía pública se puede realizar de las siguientes formas:

5.3.6.1. UNILATERAL

Este tipo de configuración se utiliza cuando los puntos de luz se sitúan en un mismo lado de la vía de tráfico. Se utilizará generalmente cuando la anchura de la calzada es relativamente estrecha es decir cuando el ancho de la calzada sea menor o igual a la altura de montaje de las luminarias.

5.3.6.2. BILATERAL TRESBOLILLO

En esta configuración los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de en zigzag. Esta se utiliza cuando el ancho de la calzada sea de 1 a 1,5 veces

la altura de montaje de las luminarias, considerándose más idóneo el intervalo de 1 a 1,3 la altura de la luminaria.

5.3.6.3. BILATERAL PAREADA

Esta disposición es cuando los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico, uno al frente del otro y se utiliza cuando el ancho de la calzada es mayor de 1,5 veces la altura de montaje de las luminarias, y se considera más adecuado utilizarlo cuando la anchura supere 1,3 veces la altura de las luminaria.

5.3.6.4. AXIAL

Este tipo de disposición no es muy recomendada ya que se necesita de cables para sujetar las luminarias, además los conductores tienden a ir por el centro de la vía.

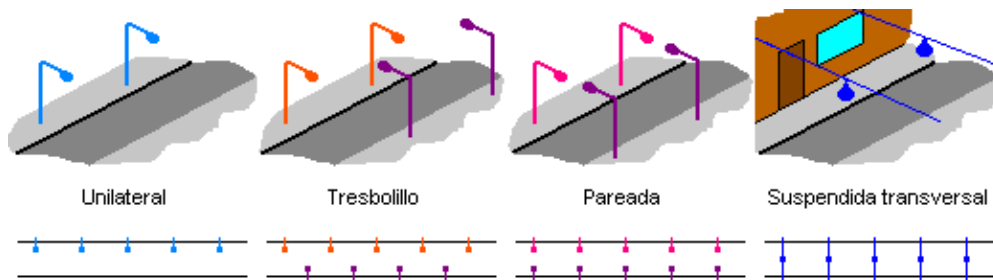


Figura 5.2. Disposición del alumbrado público.

5.3.7. FACTOR DE UTILIZACIÓN (f_u)

El factor de utilización es la relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie dada, y el nominal emitido por la lámpara instalada, es una medida del conjunto lámpara-luminaria. Este factor se obtiene de las curvas de utilización de la luminaria las cuales son facilitadas por el fabricante.

$$f_u = \frac{\Phi_{utilizado}}{\Phi_{lampara}}$$

Ecuación 5.1

5.3.7.1. CALCULO DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN

Una luminaria de alumbrado público tiene dos curvas k. La primera, denominada k_1 , representa el flujo luminoso hacia el frente, hacia adelante, hacia la calzada. La segunda, denominada k_2 , representa el flujo luminoso hacia atrás, hacia las casas, hacia el andén.

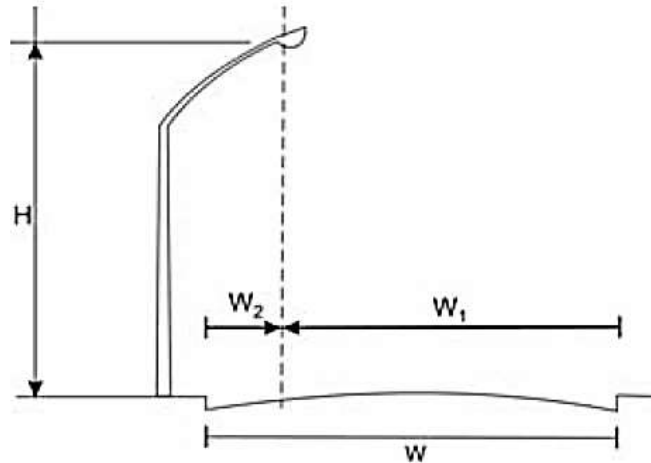


Figura 5.3. Determinación del coeficiente de utilización.

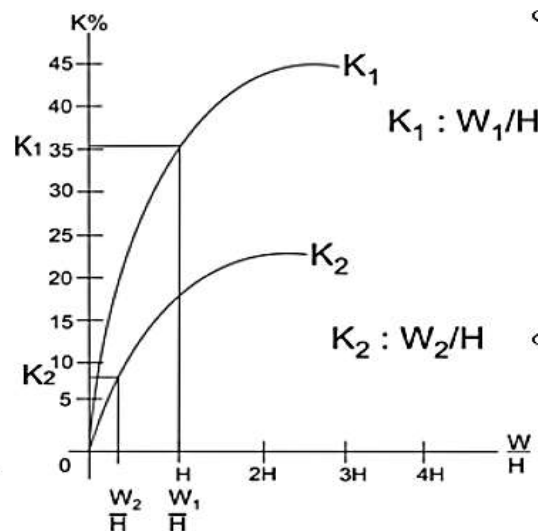


Figura 5.4. Curvas del coeficiente de utilización.

En la ordenada de la Figura 5.4, se indica el valor del k en porcentaje y en la abscisa se indica el ancho de la calzada expresada en función de la altura de montaje H. Con el fin de facilitar su uso en diferentes esquemas de montaje.

Para calcular k_1 se calcula la relación W_1/H , se ubica el valor en la abscisa de la Figura 5.4 y se sigue verticalmente hasta cortar la curva k_1 . En este punto, horizontalmente se lee el valor k_1 . Igual procedimiento se sigue para el cálculo de k_2 pero utilizando el valor W_2 y la curva k_2 .

Resultando la suma de los valores de k_1 y k_2 el coeficiente de utilización total k_T

5.3.8. FACTOR DE CONSERVACIÓN o FACTOR DE MANTENIMIENTO (f_c)

En el alumbrado público como en cualquier otro tipo de alumbrado se debe tener en cuenta la depreciación luminosa, causada por el envejecimiento de la



lámpara y de la luminaria, y a la pérdida de luz, por la suciedad que se va depositando sobre ambos elementos.

Por lo que el factor de conservación puede considerarse como el producto de tres factores: depreciación del flujo luminoso, supervivencia de la lámpara y depreciación de la luminaria.

$$fm = FDL \times FSL \times FDLU$$

Ecuación 5.2

Dónde:

FDFL: Factor de depreciación del flujo de la lámpara.

FSL: Factor de supervivencia de la lámpara.

FDLU: Factor de depreciación de la luminaria.

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4.000 h	6.000 h	8.000 h	10.000 h	12.000 h
Sodio alta presión	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Sodio baja presión	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
Halogenuros metálicos	0,82	0,78	0,76	0,76	0,73
Vapor de mercurio	0,87	0,83	0,80	0,78	0,76
Fluorescente tubular Trifosforo	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Fluorescente tubular Halofosfato	0,82	0,78	0,74	0,72	0,71
Fluorescente compacta	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84

Tabla 5.5. Factor de depreciación del flujo de la lámpara.

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4.000 h	6.000 h	8.000 h	10.000 h	12.000 h
Sodio alta presión	0,9S	0,96	0,94	0,92	0,89
Sodio baja presión	0,92	0,86	0,80	0,74	0,62
Halogenuros metálicos	0,9S	0,97	0,94	0,92	0,88
Vapor de mercurio	0,93	0,91	0,87	0,82	0,76
Fluorescente tubular Trifosforo	0,99	0,99	0,99	0,9S	0,96
Fluorescente tubular Halofosfato	0,99	0,9S	0,93	0,86	0,70
Fluorescente compacta	0,9S	0,94	0,90	0,7S	0,50

Tabla 5.6. Factor de supervivencia de la lámpara.

Grado protección sistema óptico	Grado de contaminación	Intervalo de limpieza en años				
		1 año	1,5 años	2 años	2,5 años	3 años
IP 2X	<i>Alto</i>	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
	<i>Medio</i>	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	<i>Bajo</i>	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
IP 5X	<i>Alto</i>	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
	<i>Medio</i>	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	<i>Bajo</i>	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
IP 6X	<i>Alto</i>	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83
	<i>Medio</i>	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	<i>Bajo</i>	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90

Tabla 5.7. Factor de depreciación de la luminaria.

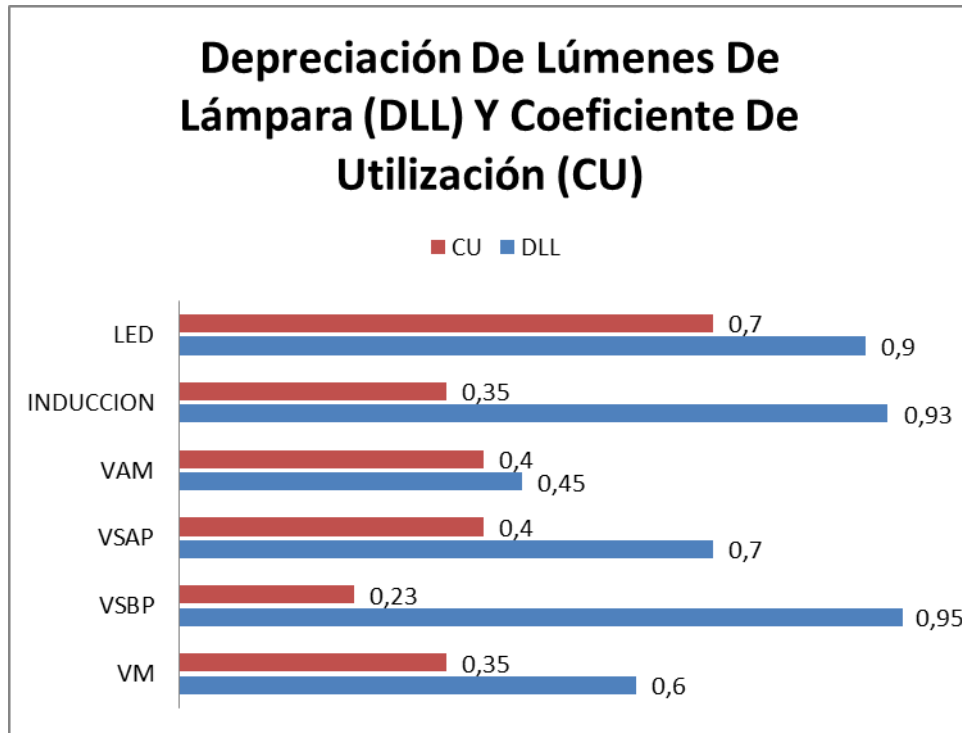


Figura 5.5. Resumen general.

5.4. TIPOS DE CALCULOS

5.4.1. CÁLCULO DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE EL MÉTODO DEL FLUJO LUMINOSO NECESARIO

Con este método lo que se calcula es el flujo luminoso para un tramo de vía utilizando la siguiente ecuación.

$$\Phi_T = \frac{E_{med} \times A \times D}{f_u \times f_c}$$

Ecuación 5.3

Φ_T = flujo luminoso total necesario en lm

E_{med} = iluminancia media en lux

A = ancho de la calzada en metros

D = Distancia entre dos puntos de luz en metros

f_u, f_c = factor de utilización y factor de conservación

La solución de esta ecuación puede considerarse como válida si su resultado es igual o inferior a la cantidad de lúmenes dado por las lámparas.



5.4.2. CÁLCULO DEL NÚMERO DE LUMINARIAS

El número de luminarias está dado por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{L}{D} + 1$$

Ecuación 5.4

Dónde:

L = longitud de la vía a iluminar

h = Altura del punto de luz con respecto a la calzada

R = Relación separación/altura

D = R × h Separacion entre los puntos de L

5.4.3. CÁLCULO DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE EL MÉTODO DE PUNTO POR PUNTO

Este método consiste en calcular las iluminancias de algunos puntos de la vía aplicando la siguiente ecuación:

$$E_{\alpha} = \frac{I_{\alpha} \times \cos^3 \alpha}{h^2}$$

Ecuación 5.5

Dónde:

E_α = Iluminancia en un punto de la calzada en lux

I_α = Luminancia en candelas obtenido de la curva de distribución

h = altura del punto de luz sobre la calzada en metros

α = Angulo que forma el rayo incidente con la vertical que pasa por

la luminaria

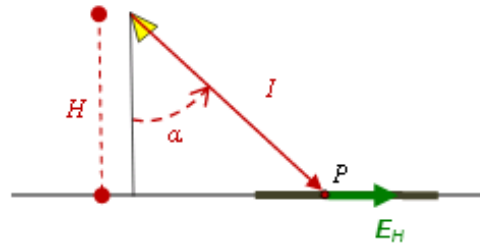


Figura 5.6. Método punto por punto.

Una vez conocidos los valores de la iluminancia en varios puntos se procede a obtener la iluminancia media, que afectada por el factor de conservación debe ser igual o mayor a la que se fija en un principio.

5.5 PROYECTO PILOTO

5.5.1. ARTERIA DE CIRCULACION VIAL EL VALLE

La arteria de circulación vial para este estudio se tomó en consideración los siguientes parámetros como:

- Longitud.
- Flujo vehicular.
- Velocidad del tráfico.

La Vía El Valle desde el puente de la autopista al centro del Valle tiene un longitud aproximada de 4.36 Km, con un flujo vehicular promedio de 1243 veh/h y una velocidad promedio 35 km/h.

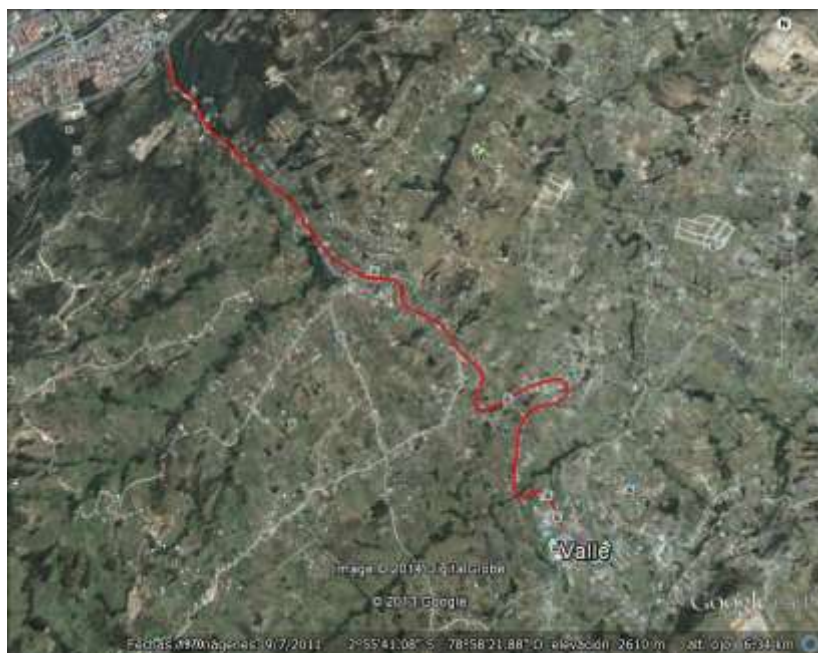


Figura 5.7. Vía al Valle.

5.5.2. SITUACIÓN ACTUAL

Hoy en día la vía el Valle cuenta con un sistema de iluminación de 124 luminarias de sodio de alta presión de doble nivel de 250W (22000 lm).

Las mediciones a continuación fueron obtenidas en el campo por medio de un luxómetro.



Figura 5.8. Luxómetro utilizado para las mediciones.

Aplicación	Altura (m)	Distancia de separación promedio (m)	Iluminancia máxima (lux)	Iluminancia promedio (lux)	Iluminancia mínima (lux)
Calzada	12	35,45	34	15	5
Acera 1	12	35,45	24	10	5
Acera 2	12	35,45	16	7	5

Tabla 5.8. Mediciones realizadas.

Resultados de la simulación realizada en el software Ulysse.

Calzada principal

Lmed [cd/m²] : 1,14

Uo [%] : 30,8

Emín [lux] (Z positivo) : 7,3

Emed [lux] (Z positivo) : 15,5

Ti [%] : 6,4

Uniformidad longitudinal

UI 1 [%] : 79,5

UI 2 [%] : 72,4

Según el CONELEC el tipo de vía es M4, P4, C3 por lo cual no cumple los requerimiento establecidos en la norma citada en el numeral 5.3.3.4.



5.5.3. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACION DE LA VÍA

5.5.3.1. ALTERNATIVA DE SODIO DE ALTA PRESIÓN DE 250 W DOBLE NIVEL DE POTENCIA.

Mediante el cálculo luminotécnico por el método del flujo luminoso necesario se obtiene los siguientes resultados: 126 lámparas de sodio de 250W (32000lm).

datos	Longitud total de la vía	L (m)	4360
	Anchura de la calzada	A(m)	9,5
	Intensidad media de trafico	Veh/hora	1249
	Acera	m	2
	Emed	lux	24
	uniformidad		0,4
Vapor de sodio en alta presión de 250 W			
dato Lámpara	Flujo luminoso es lúmenes.	lum	32000
	CRI	23	
Factor de utilización en la vía			curva
<i>Relación calzada+ acera opuesta</i>		0,958	0,35
<i>Relación acera próxima</i>		0,167	0,026
		0,376	
Factor de conservación			0,665
Altura del punto de luz			
h(m)	12	m	
Separación entre puntos de luz			
	35,0	m	
Flujo luminosos necesario			
φt=	24*9,5*35	31923,05Lm	
	0,376*0,66483		
Luminarias requeridas			
4360/35+1	126	unidades	
Disposición de los puntos de luz			
h=	12	1,263157895	
A=	9,5		
Disposición de las luminarias es unilateral			
Aceras			
Acera1	lux_med	16	
Acera2	lux_med	9	

Tabla 5.9. Calculo por el método de lúmenes necesario Sodio AP.

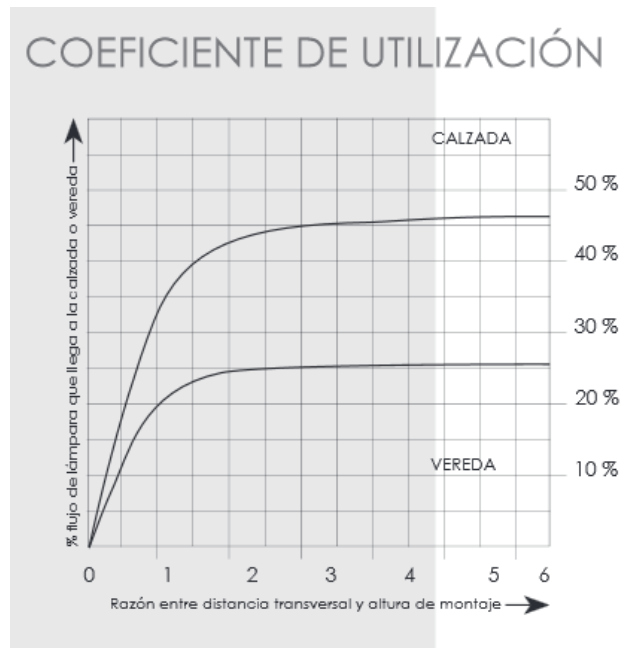


Figura 5.9. Curva del coeficiente de utilización.

Con la simulación realizada en el software Ulysse se obtuvieron los siguientes resultados:

Calzada principal

L_{med} [cd/m^2] : 1,57

U_o [%] : 48,4

$E_{mín}$ [lux] (Z positivo) : 13,6

E_{med} [lux] (Z positivo) : 23,4

T_i [%] : 8,9

Uniformidad longitudinal

U_1 [%] : 82,5

U_2 [%] : 75,0

Aceras

Acera 1 E_{med} [lux] : 15

Acera 2 E_{med} [lux] : 9

Cumpliendo así con los niveles de iluminación establecidos por el CONELEC.

5.5.3.2. ALTERNATIVA CON TECNOLOGÍA LED DE 120 W.

Con el mismo método anteriormente utilizado se obtiene los siguientes resultados: 133 lámparas LED's de 120W con una eficacia mínima requerida de 94 lm/w; estableciendo como luminancia promedio de 24lux. La luminaria estará ubicada a una altura de 11m sobre la calzada y debido a su ángulo de apertura de 120° (catálogos) permitirá mayor separación entre lámparas,

siendo esta de 38m pero para los cálculos se considera el 13% menos de la distancia para mantener la uniformidad necesaria.

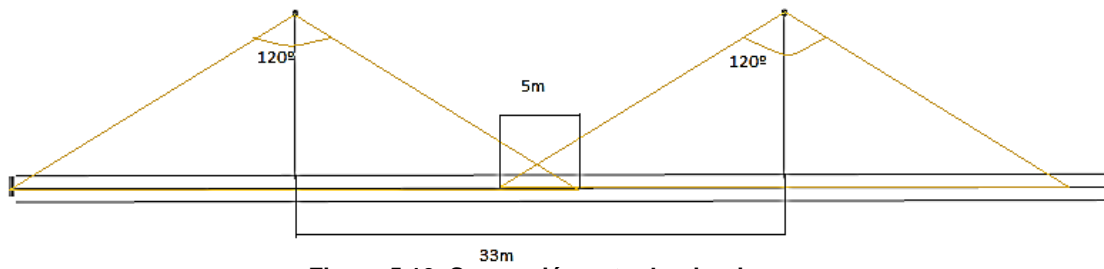


Figura 5.10. Separación entre luminarias.

Debido a que no existe una norma reguladora del uso de los LED's y a las fotometrías no justificadas, se utiliza las ventajas teóricas para establecer el flujo luminoso a utilizar.

datos	Longitud total de la vía	L (m)	4360
	Anchura de la calzada	A(m)	9,5
	Intensidad media de trafico	Veh/hora	1243
	Acera	A(m)	2
	Emed	lux	24
	uniformidad		0,7
	Lámpara Led 120W	Eficacia	>94lm/W
	Flujo luminoso de lúmenes necesario.	lum	>11997
	CRI	>75	
	Factor de utilización	0,7	
	Factor de conservación	0,9	
	Altura del punto de luz		
11	m		
Separación entre puntos de luz			
Angulo de apertura	120	60	1,0472
	19	m	
Distancia	33	m	
Flujo luminoso necesario			
$\phi_t =$	$24 \cdot 9,5 \cdot 33,15$	11997,14Lm	
	$0,7 \cdot 0,9$		
Luminarias requeridas			
$4360/33,15+1$	133	unidades	
Disposición de los puntos de luz			
h=	11	1,157894737	
A=	9,5		
Disposición de las luminarias es unilateral			
Aceras			
Acera1	lux_med	22	
Acera2	lux_med	17	

Tabla 5.10. Calculo por el método de lúmenes necesario LED AP.

5.6 EFICIENCIA ENERGÉTICA

El uso racional de energía permite reducir la producción de desechos contaminantes por lo que se realiza la práctica de la eficiencia, logrando así un gran impacto en la sociedad, con beneficios económicos y ambientales.



Todas las actividades requieren energía. La iluminación, tanto de espacios públicos como en los hogares, juega un rol fundamental en la eficiencia energética ya que representa un importante consumo de energía eléctrica. Es posible reducir el consumo de energía en iluminación sin reducir el nivel de confort, de producción o la seguridad que nos brinda este servicio.

5.6.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACION

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada. (1)

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P} \left[\frac{m^2 * lx}{W} \right]$$

Ecuación 5.6

Dónde:

ε = Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior.

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

S = Superficie iluminada (m^2).

E_m = Iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux).

La eficiencia energética también se puede determinar considerando la eficiencia de las lámparas y los siguientes factores como: el factor de mantenimiento y el factor de utilización de una instalación.

$$\varepsilon = \varepsilon_L * f_m * f_u \left[\frac{m^2 * lx}{W} \right]$$

Ecuación 5.7

Dónde:

ε_L : **Eficiencia de la lámpara**⁷

f_m : Factor de mantenimiento.

f_u : Factor de utilización.

⁷ **Eficiencia de la lámpara:** Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar.



5.6.1.1. VALORES MÍNIMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN FUNCIÓN DE LA ILUMINACIÓN MEDIA CONSEGUIDA

Iluminación media en servicio E_m (lux)	Eficiencia Energética de referencia $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$
≥ 30	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	9,5

Tabla 5.11. Eficiencia energética vía funcional.

Iluminación media en servicio E_m (lux)	Eficiencia Energética de referencia $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$
≥ 20	9
15	7,5
10	6
7,5	5
≤ 5	3,5

Tabla 5.12. Eficiencia energética vía ambiental.

5.7 CLASIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrado de señales y anuncios luminosos, festivos y navideños, se calificarán en función de su índice de eficiencia energética o su inversa (ICE, índice de consumo). El índice de eficiencia energética ($I\varepsilon$) se define como el cociente entre la eficiencia energética de la instalación ε y el valor de eficiencia energética de referencia (ε_R) en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada.

$$I\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} \quad y \quad ICE = \frac{1}{I\varepsilon}$$

Ecuación 5.8

Los valores de ε_R se definen en función de los tipos de alumbrado y del nivel E_m proyectado según la siguiente tabla.

VÍA FUNCIONAL		VÍA AMBIENTAL	
Iluminación media proyectada E_m (lux)	Eficiencia Energética de referencia $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$	Iluminación media proyectada E_m (lux)	Eficiencia Energética de referencia $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$
≥ 30	32	-	-
25	29	≥ 20	13
20	26	15	11
15	23	10	9
10	18	7,5	7
$\leq 7,5$	14	≤ 5	5

Nota: Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

Tabla 5.13. Eficiencia energética para valores de iluminancia media proyectada.

La calificación se completa mediante las letras A-G presentada en la siguiente tabla y el etiquetado se realiza según la figura 5.11

Calificación Energética	índice de consumo energético	índice de Eficiencia Energética
A	$ICE < 0,91$	$I\epsilon > 1,1$
B	$0,91 < ICE < 1,09$	$1,1 > I\epsilon > 0,92$
C	$1,09 < ICE < 1,35$	$0,92 > I\epsilon > 0,74$
D	$1,35 < ICE < 1,79$	$0,74 > I\epsilon > 0,56$
E	$1,79 < ICE < 2,63$	$0,56 > I\epsilon > 0,38$
F	$2,63 < ICE < 5,00$	$0,38 > I\epsilon > 0,20$
G	$ICE > 5,00$	$I\epsilon < 0,20$

Tabla 5.14. Clase de energía.

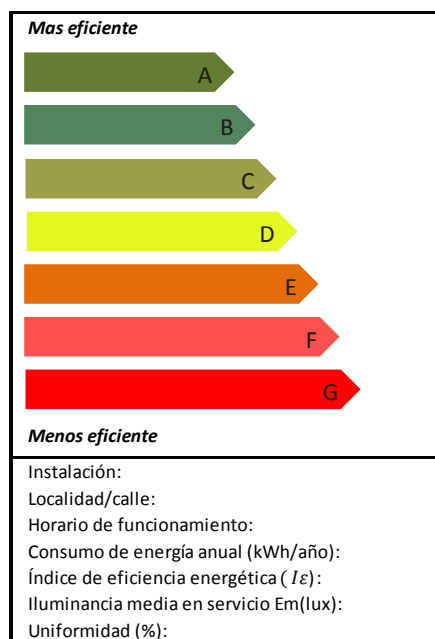


Figura 5.11. Etiquetado de eficiencia energética.

5.8. CLASE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ACTUAL Y PROYECTADA DE LA VÍA AL VALLE

Estado	Actual	Proyectada	
	SODIO	SODIO	LED
Tipo			
Consumo real (w)	275	275	127,20
Flujo luminoso (lm)	22000	32000	12000
Factor de utilización	0,376	0,376	0,7
Factor de mantenimiento	0,67	0,67	0,9
Iluminancia media (lux)	15	24	24
Eficiencia de la lámpara ϵ_L	80	116	94
Eficiencia energética ϵ	20	29	59
Eficiencia energética de referencia ϵ_R	15	28,4	28,4
Índice de eficiencia energética ($I\epsilon$)	1,34	1,03	2,09
Índice de consumo energético (ice)	0,74	0,97	0,48
Etiqueta de energía	A	B	A

Tabla 5.15. Clase de eficiencia actual y proyectada.

CAPITULO 6

6. ESTUDIO FINANCIERO

Esta sección describe la evaluación financiera del cambio de sistema de iluminación de alumbrado público de una arteria de circulación vial de la ciudad; que implica la renovación del sistema considerándola independiente a la distribución de energía para usuarios. Por ello el objetivo principal es el de proveer información para decidir sobre el remplazo de equipos por alternativas que mejoren la calidad de servicio, el consumo de energía y los impactos al medio ambiente.

6.1. IDENTIFICACION DE LOS BENEFICIOS

Los beneficios corresponden a los valores monetarios que nos ayuda a medir el **desempeño financiero**⁸ futuro que tendrá un proyecto una vez puesto en operación, así como la liberación de recursos de los insumos que el proyecto genera.

Con los proyectos de ampliación y aumento de capacidad, los beneficios corresponden al aumento en el consumo de bienes y servicios.

En la evaluación de proyectos de remplazo, los beneficios son por la liberación de recursos de producción atribuida a la mejora tecnológica.

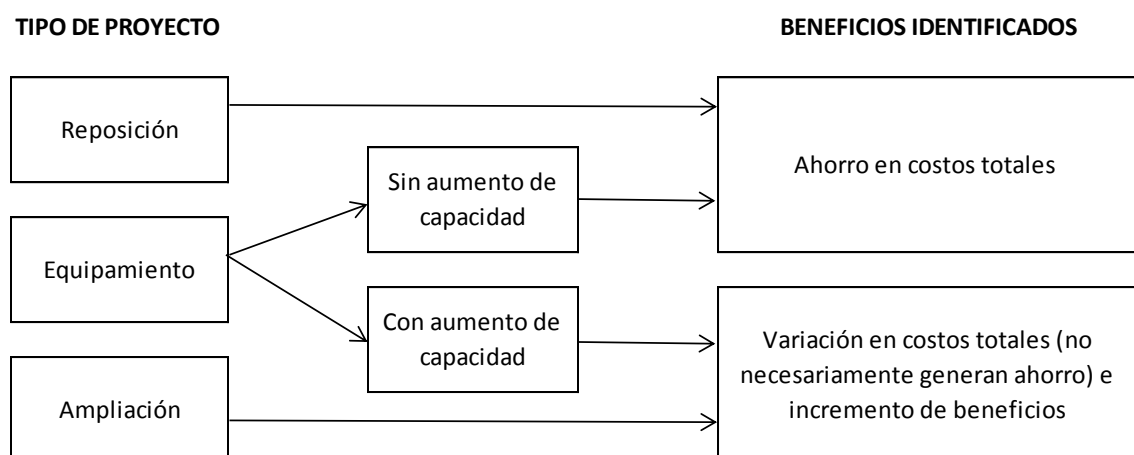


Figura 6.1. Beneficios de tipos de proyecto.

⁸**Desempeño financiero**: da a conocer si un proyecto es rentable o no mediante indicadores financieros.



Hay beneficios asociados a los proyectos de reemplazo y ampliación de alumbrado público. Algunos son medibles y existen otros que son usualmente identificados como intangibles, o no cuantificables, tales como adaptación del sistema de alumbrado con el paisaje y concientización del problema ambiental.

6.1.1. BENEFICIOS POR DISMINUCION DE COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El uso de nuevas tecnologías de iluminación en el alumbrado público permite disminuir el consumo eléctrico con el mismo o mejor nivel de iluminación. Además, las características constructivas de los equipos aumentan su vida útil y requirieren menor mantenimiento durante su operación, obteniendo así mayor beneficio financiero.

6.1.2. BENEFICIOS POR DISMINUCION DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) contribuyen al cambio climático, un aumento del efecto invernadero sobre su valor normal representa un gasto para los proyectos de alumbrado público, que se da a través del consumo de energía eléctrica generada a partir de combustibles fósiles. Una alternativa tecnológica que tenga asociada disminución de consumo de electricidad, podrá reconocer los beneficios por ahorro en emisiones.

6.1.3. BENEFICIOS POR DISMINUCION DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La contaminación lumínica es toda la luz que se emite o escapa por encima de la horizontal de las luminarias en una instalación de alumbrado público.

Debido a esta contaminación se produce un derroche energético, deslumbramiento, Intromisión en la vida privada de las personas, Dificulta y llega a impedir la visión del cielo estrellado.

Por ello las nuevas tecnologías en iluminación de exteriores que eviten o disminuyan la emisión de luz hacia el cielo, podrá incorporar beneficios por ahorro en contaminación lumínica.

6.1.4. BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE LÁMPARAS CONTAMINANTES

La prestación del servicio de iluminación pública requiere la utilización de ampollas que contiene contaminantes altamente peligrosos, que una vez



cumplida su periodo de vida estas son desechadas y liberadas al ambiente que contribuye al calentamiento global.

Por medio de tecnologías en iluminación sin utilizar contaminantes en su interior se obtendrá beneficios tales como la seguridad para las personas y protección al ecosistema.

6.2. CUANTIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN DE BENEFICIOS

La cuantificación de los beneficios consiste en asignar valores o unidades de medida a los beneficios identificados.

6.2.1. AHORROS EN COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación son aquellos que ocurren durante el periodo de vida del proyecto, desde el momento en que los equipos del sistema de alumbrado público estén listos para su funcionamiento.

Los costos fijos corresponden a los siguientes.

- Insumos y materiales necesarios para la prestación del servicio de iluminación.
- Remuneración del personal (operarios, profesionales, ayudantes, etc.).
- Gastos generales.

Los costos variables corresponden a los siguientes:

- Consumo de energía.
- Mantenimiento.

El costo total de operación es igual a los costos fijos más los costos variables, siendo estos últimos utilizados para simplificación de los cálculos, los costos fijos se mantendrán constantes razón por la cual no generaran beneficios.

Los costos por menor suministro de energía y menor mantenimiento al proyecto tendrán beneficios, debido a que se espera que las nuevas tecnologías sean energéticamente eficientes y tengan su vida útil más prolongada.

Los costos por mantenimiento deben ser determinados en función de un programa propuesto que debe tener en consideración lo siguiente:



- Vida útil de la lámpara.
- Depreciación luminosa de la lámpara.
- Ensuciamiento de la luminaria en función de su hermeticidad y costo de limpieza.
- Grado de contaminación atmosférica de la zona en que se encuentra la instalación.
- Pintado de los soportes.
- Revisión e inspección de los circuitos eléctricos de la instalación.
- Revisión, inspección, limpieza, asistencia, conservación y reemplazo de los componentes instalados.
- Intervalo y costo de reemplazo de los componentes del sistema de iluminación.

La información de costos es generalmente proporcionada por las mismas empresas que venden o reparan los componentes del sistema de alumbrado. Puede especificarse como un porcentaje del valor inicial del equipo y generalmente los gastos de mantención crecen a medida que el equipo se hace más antiguo. (1)

6.2.2. CUANTIFICACIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA

Para estimar el consumo de energía eléctrica del proyecto se aplica lo siguiente:

$$e_k = \frac{n_k * P_l}{P_k} * h$$

Ecuación 6.1

e_k : Es la energía anual consumida por las luminarias tipo k para un nivel de potencia dado (kWh/año).

n_k : Es el número de luminarias tipo k.

P_k : Es la potencia total del conjunto de luminarias tipo k (KW).

P_l : Es la potencia de la luminaria (W). Ésta considera la potencia de la lámpara además del consumo de todo el equipo eléctrico necesario para que la luminaria funcione correctamente.



h : Son las horas anuales de uso de la luminaria.

6.2.3. VALORIZACIÓN DE AHORRO ENERGÉTICO

Para valorizar el ahorro de energía se utilizara la siguiente ecuación:

$$Ae = p_s * \Delta e$$

Ecuación 6.2

Ae : Ahorro de energía (\$/año).

p_s : Precio establecido por la empresa suministradora de energía (\$/KWh).

Δe : Diferencia entre la energía consumida de la tecnología alternativa y de la energía consumida de la tecnología convencional (KWh/año).

6.2.4. AHORRO POR EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

6.2.4.1. CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES

Para cuantificar las emisiones asociadas a distintas actividades, es a través del uso de los factores de emisión y que corresponden a valores representativos que relacionan la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión de dicho contaminante. Las emisiones del sector energético se componen principalmente por emisiones derivadas de la combustión, en el caso del Ecuador el factor de emisión de CO₂ para el 2012 es $F_r=0.5689$ (ton CO₂/MWh). (17)

Para calcular las emisiones atribuibles a cada alternativa para el alumbrado público se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$EE_r = F_r * e$$

Ecuación 6.3

EE_r : son las emisiones procedentes de la energía eléctrica consumida por el alumbrado público en la región (ton CO₂/año).

F_r : Factor de emisiones de la región (ton CO₂/MWh)

e : Energía consumida por el alumbrado público (MWh/año).

6.2.4.2. VALORIZACIÓN DE AHORRO DE EMISIONES



Varios países han realizado estimaciones del costo social de carbono, de las cuales la varianza sigue siendo muy grande.

Para simplicidad de cálculos, se supondrá que el mercado captura en forma completa y perfecta lo que la comunidad mundial percibe como efecto del cambio climático. De este modo, las transacciones realizadas en el “mercado del carbono” en el que se compran y venden derechos de emisión de agentes en todas partes del mundo, derivan en un precio de equilibrio “ $P_c = 7.30 \text{ USD}$ ”.

(18)

Con esta estimación, podemos valorar el ahorro por emisiones mediante la siguiente ecuación:

$$A_{em} = P_c * \Delta EE_r$$

Ecuación 6.4

A_{em} : Ahorro de emisiones producidas por el menor consumo de energía.

P_c : Precio de los bonos de carbono en el mercado spot.

ΔEE_r : es el cambio de emisiones asociadas al consumo de electricidad.

6.2.5. AHORRO POR CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Para la contaminación lumínica se requiere utilizar técnicas de estimaciones indirectas. Debido a que no existe un mercado que pueda ofrecer una referencia sobre el valor que las personas asignan a los ambientes con menor contaminación.

El método o técnica a utilizar se basa en preferencias declaradas, es decir información proporcionada por personas sobre la valorización de no uso del cielo sin contaminación, este método es conocido como valorización contingente que sirve para valorar bienes sin mercado.

Por la dificultad de la encuesta y de los recursos necesarios, no se incluirá en los cálculos referentes a este estudio.



6.2.6. CUANTIFICACIÓN DE BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE LÁMPARAS CONTAMINANTES

Para cuantificar los beneficios por disminución de lámparas contaminantes hay que considerar que no todos poseen elementos tóxicos, variando así su forma en que debe ser realizada su disposición final.

- Las ampollitas que contiene mercurio deben ser dispuestas en un relleno de seguridad para desechos altamente peligrosos.
- Las que no contiene mercurio son desechadas en rellenos sanitarios.
- Las que contienen mercurio solido reutilizable debe ser cuantificado el proceso de reutilización.

No existe una normativa sobre el ingreso, manejo y disposición de productos que contiene mercurio por lo que no se considera en este estudio, tomando en cuenta que es un contaminante peligroso y que ayude en la toma de decisiones al momento de adquirir elementos para el alumbrado público.

6.3. CUANTIFICACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión corresponden a la adquisición de equipos en el mercado, instalación de los materiales adquiridos, puesta en funcionamiento, y las modificaciones e incorporaciones de infraestructuras requeridas. Todos estos gastos se les asignan en el momento inicial del proyecto.

Los costos en considerar en este estudio son:

- Mano de obra no calificada.
- Montaje.
- Materiales.

Los costos como por desmontaje, gastos administrativos se considera como costos fijos, no generan beneficios en la propuesta.

Dentro de los costos por mano de obra no calificada se encuentran los siguientes:

- Limpieza de excavación.
- Desalojo de material sobrante por m³.



- Suministro y acopio de piedra para postes de hasta 12m.
- Pintura de código en poste.
- Excavación de zanja en terreno normal y/o conglomerado m³.

Los costos por montaje tenemos los que a continuación se presentan:

- Montaje e instalación de la luminaria.
- Izado, retacado poste H.A. Hasta 12m.
- Carga, transporte y descarga poste H.A. de 12m.
- Tendido, calibración y amarre conductor dúplex 2*6 AWG.
- Montaje e instalación de la estación de transformación.
- Estructuras.

Y los costos en materiales será desglosados según lo que se requiera para el proyecto.

Los costos de operación y mantenimiento son aquellos que se debe incurrir periódicamente para efectos de mantener el equipo en buen estado de funcionamiento y produzca o entregue los servicios previstos.

A fines de la evaluación socioeconómica, los costos de inversión, operación y mantenimiento deberán ajustarse a precios sociales.

6.3.1. ANALISIS DE RENTABILIDAD

El análisis de rentabilidad permite estimar los indicadores para la toma de decisión y recomendación de la ejecución del proyecto, su aceptación o su rechazo. La evaluación o valoración de los beneficios del proyecto implica la realización de dos etapas consecutivas: primero, la evaluación a precios privados y luego, la evaluación social.

La evaluación a precios privados permite estimar la factibilidad y viabilidad de las inversiones privadas asociadas al proyecto, estimar la conveniencia de establecer mecanismos de transferencias (subsidios o impuestos) cuando el valor actual neto de los beneficios privados es diferente del valor actual neto de los beneficios sociales. Asimismo, la evaluación a precios privados permite identificar la potencialidad de financiamiento del proyecto por parte del sector privado.



La evaluación social tiene por objetivo desarrollar el análisis comparado de la conveniencia de realizar el proyecto desde el punto de vista social y considerando todos los propósitos. La evaluación desde el punto de vista de la sociedad puede hacerse a precios de mercado, siempre que dichos precios reflejen adecuadamente la escasez de insumos y productos desde el punto de vista social. En caso contrario, deberían hacerse todos los ajustes correspondientes.

Para establecer el beneficio del reemplazo del equipo por una nueva tecnología, se realiza la actualización a valor presente de todos los costos y gastos en los que interviene.

Se compararán alternativas de proyectos que tienen iguales beneficios y solo se diferenciarán los costos. Por ello, debe usarse el Valor **Actual de Costos (VAC)** como indicador para seleccionar la alternativa de mínimo costo.

El VAC corresponde al flujo de costos constante para todos los períodos de la vida útil del equipo y se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$VAC = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Ecuación 6.5

VAC: es el valor actual de los costos.

C_i : Son los costos directos, secundarios e indirectos asociados a la inversión, además de las externalidades derivados de la operación y mantenimiento del equipo durante su vida útil.

r : Es la tasa activa de descuento.

n : Es el horizonte de evaluación del proyecto.

Cuando deben compararse alternativas de proyecto con distinta vida útil y mismo nivel de servicio, el indicador utilizado para compararlas debe ser el Costo Anual Equivalente (CAE), que se estima de la siguiente forma:



$$CAE = VAC * \left(\frac{(1 + r)^n * r}{(1 + r)^n - 1} \right)$$

Ecuación 6.6

CAE: es el costo anual equivalente.

VAC: es el valor actual de costos.

r: Es la tasa activa de descuento.

n: Es el horizonte de evaluación del proyecto.

La alternativa recomendable es aquella que minimiza el CAE, y para establecer una comparación entre alternativas, se utiliza el beneficio adicional neto (BAN).

$$BAN = CAE_{actual} - CAE_{propuesto}$$

Ecuación 6.7

BAN: Es el beneficio adicional neto.

CAE_{actual}: Es el costo anual equivalente de la alternativa de mayor costo.

CAE_{propuesto}: Es el costo anual equivalente de la alternativa de menor costo.

6.4. CONSUMO DE ENERGÍA

La luminaria con lámpara de vapor de sodio de alta presión 250 w doble nivel de potencia funciona a 5.5 horas a potencia nominal y el resto del tiempo a potencia que disminuyen el consumo energético de entre 30 % al 34 %. (10)

Considerando que el sistema funciona 11.5 horas al día. (10)

Lámpara	Consumo real	hrs P. N.	hrs P. R.	kwh/día	kwh/mensual
Sodio	275	5,5	6	2.67	81.14

Tabla 6.1. Consumo estimado de energía Sodio AP.

Ahora suponiendo el mismo funcionamiento de las lámparas LED's de 120 W a las de sodio de doble nivel. Estableciendo así una base mínima de operación de la alternativa tecnológica.

Lámpara	Consumo real	hrs P. N.	hrs P. R.	kwh/día	kwh/mensual
led	127,20	5,5	6	1,23	37,53

Tabla 6.2. Consumo estimado de energía LED AP.



6.4.1. AHORRO DE ENERGÍA

Si el remplazo es directo, una lámpara por otra entonces se generaría un ahorro superior al 54% de energía.

Ahorro de Energía	43,61 kwh/mes
	54%

Tabla 6.3. Ahorro de energía por remplazo directo.

Debido a que no existen proyectos operando actualmente con lámparas LED's no es posible afirmar que se pueda remplazar directamente a las de sodio, por lo que es necesario cálculos luminotécnicos.

Cuyos resultados dieron 126 luminarias de sodio y 133 lámparas LED's, por lo que el remplazo de una de sodio equivaldría a 1.056 veces las de LED's, obteniendo así un ahorro superior al 51% de energía.

Ahorro de Energía	41,52 kwh/mes
	51%

Tabla 6.4. Ahorro de energía por cálculos luminotécnicos.

6.4.2. COSTOS DE ENERGÍA

Debido a que los conceptos de operación, restricciones horarias, y distribución de luminarias es el mismo para toda el área de concesión y a que no se tiene el alumbrado separado por áreas urbanas en los catastros de la Empresa, hemos realizado una interpolación de la facturación para estimar el costo promedio del kWh, obteniendo el siguiente resultado: Costo promedio de kWh \$ 0,116. (10)

Lámpara	unidades	Kwh/mes	\$/mes
Sodio	126	10.223,19	\$ 1.185,89
Led	133	4.991,40	\$ 579,00

Tabla 6.5. Costos estimados de energía.

6.4.3. ESTADO ACTUAL DE LA ARTERIA VÍA AL VALLE

De lo mencionado anteriormente en el numeral 5.5.2 se obtiene los siguientes resultados:

Sodio de alta presion, CRI 23							
N°	Consumo real	hrs P. N.	hrs P. R.	kwh/día	kwh/mes	kwh/año	Em. Co2_ton/año
124	275	5,5	6	330,77	10.060,92	120.731,05	68,68
Costo				\$ 38,37	\$ 1.167,07	\$ 14.004,80	\$ 501,39
Costo Total				\$			14.506,19



Tabla 6.6. Estado actual de la vía al Valle.

6.5. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO

Debido a la reducción de la potencia al 70% de todas las lámparas (funcionamiento a doble nivel de potencia), se va a considerar por facilidad de cálculo que la vida útil de estas se ve afectada por esta modalidad de funcionamiento, cabe mencionar que es en el arranque y no en el funcionamiento nominal cuando las cualidades iniciales de las lámparas de descarga se van perdiendo de a poco.

Horas potencia nominal	Horas potencia reducida	Equivalencia de potencia reducida en horas nominales	Horas nominal de funcionamiento diaria
5,5	6	4,2	9,7

Tabla 6.7. Horas equivalentes de operación diaria.

Las horas equivalentes en un año será:

$$hpa = 9,7 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} = 3540,5 \text{ horas/año}$$

La vida útil promedio de las de sodio de alta presión es de 28000 horas y las de LED's es mayor a 50000 horas (1)

$$vida\ util_{sodio} = \frac{28000 \text{ horas}}{3540,5 \text{ horas/año}} = 7.9 \approx 8 \text{ años}$$

$$vida\ util_{LED} = \frac{50000 \text{ horas}}{3540,5 \text{ horas/año}} = 14.12 \approx 14 \text{ años}$$

6.6. ANALISIS FINANCIERO

Anteriormente se describió los beneficios, las ventajas y desventajas de la tecnología de iluminación para el alumbrado público.

Se elegirá la alternativa que resulte más redituable a ser comparada entre sí.

6.6.1. SUPUESTOS Y CONDICIONES

Para realizar este estudio se hace necesario establecer varios supuestos en cuanto a los factores que podrían afectar el análisis, entre ellos se encuentra principalmente el costo de mantenimiento de cada uno de los sistemas



planteados al finalizar su vida útil, para el primero se realizó la estimación de un 11% del costo de la energía en el caso de sodio a alta presión, el 1% para el caso de los LED's, todo esto con ayuda de investigación en páginas web y a criterios personales.

6.6.1.1 Tasa De Oportunidad

Según el Banco Central del Ecuador la Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento productivo empresarial para el mes de junio del 2012 es de 9,53% anual.

6.6.2. ESCENARIO

Se compara las instalaciones de las diferentes alternativas desde cero.

6.6.2.1 ALTERNATIVA 1: INSTALACIÓN CON LÁMPARAS DE SODIO DE 250W DE DOBLE NIVEL DE POTENCIA

Esta instalación se realiza en cero en la vía al valle, se usará los precios unitarios y materiales establecidos por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR C.A.

6.6.2.1.1 INVERSIÓN

La inversión para este proyecto es de: \$ 132.015,48.

Los detalles de su cálculo se Muestran en el ANEXO 1.

6.6.2.1.2. SUSTITUCIÓN

Al cabo de 8 años como se estimó en el tiempo óptimo de funcionamiento, se debe realizar el cambio de luminarias, para esto se toman en cuenta tan solo los costos de las partes que se deben cambiar, debido a que generalmente los postes y algunos componentes duran aproximadamente 25 años.

Costo por sustitución: \$ 12.411,50

Ver ANEXO 2.



6.6.2.1.3. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 1

INDICADOR	SODIO
VAC	-\$ 261.265,60
CAE	\$ 34.562,19

Tabla 6.8. Indicadores alternativa 1.

Detalles del cálculo en el ANEXO 3.

6.6.2.2 ALTERNATIVA 2: INSTALACIÓN CON LÁMPARAS LED'S DE 120W

Suponiendo que la alternativa LED tiene un precio de \$ 900 usd/cu. (19)

6.6.2.2.1. INVERSIÓN

La inversión para este proyecto es de: \$ 217.475,59

Los detalles de su cálculo se Muestran en el ANEXO 4.

6.6.2.2.2. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 2

INDICADOR	LED
VAC	-\$ 272.403,30
CAE	\$ 36.035,57

Tabla 6.9. Indicadores alternativa 2.

Detalles del cálculo en el ANEXO 5.

6.6.3. CUADRO DE RESULTADOS

INDICADOR	SODIO	LED	Ahorro
VAC	-\$ 261.265,60	-\$ 272.403,30	-\$ 1.473,38
CAE	\$ 34.562,19	\$ 36.035,57	-4%

Tabla 6.10. Resultados.

La alternativa LED para el alumbrado público, no generan un ahorro en 14 años.

- Si las lámparas incrementaran su vida útil a 100000 horas obtendríamos aproximadamente un ahorro del 4% en 28 años.

INDICADOR	SODIO	LED	Ahorro
VAC	-\$ 300.017,70	-\$ 287.761,08	\$ 1.267,11
CAE	\$ 31.016,43	\$ 29.749,31	4%

Tabla 6.11. Ahorro incrementando la vida útil a 100000 horas.



- Si los costos de las lámparas LED's es competitivo a las de sodio se genera beneficios ahorrando un 28% en 14 años.

INDICADOR	SODIO	LED	Ahorro
VAC	-\$ 261.265,60	-\$ 187.131,15	\$ 9.807,07
CAE	\$ 34.562,19	\$ 24.755,13	28%

Tabla 6.12. Ahorro por disminución de precios de las lámparas LED's.

- Si en el caso que la tecnología led incrementara su vida útil y disminuyera sus precios se generará un ahorro de 33%.

INDICADOR	SODIO	LED	Ahorro
VAC	-\$ 300.017,70	-\$ 202.488,93	\$ 10.082,72
CAE	\$ 31.016,43	\$ 20.933,71	33%

Tabla 6.13. Ahorro por 100000 horas de vida útil y disminución de precios.

6.6.3.1. RESULTADOS COMPARATIVOS

	SODIO	LED	AHORRO	
PRECIO ACTUAL	\$ 34.562,19	\$ 36.035,57	-\$ 1.473,38	14 años
PRECIO COMPETITIVO	\$ 34.562,19	\$ 24.755,13	\$ 9.807,06	14 años
PRECIO ACTUAL	\$ 31.016,43	\$ 29.749,31	\$ 1.267,12	28 años
PRECIO COMPETITIVO	\$ 31.016,43	\$ 20.933,71	\$ 10.082,72	28 años

Tabla 6.14. Resultados Costos Anual Equivalente.

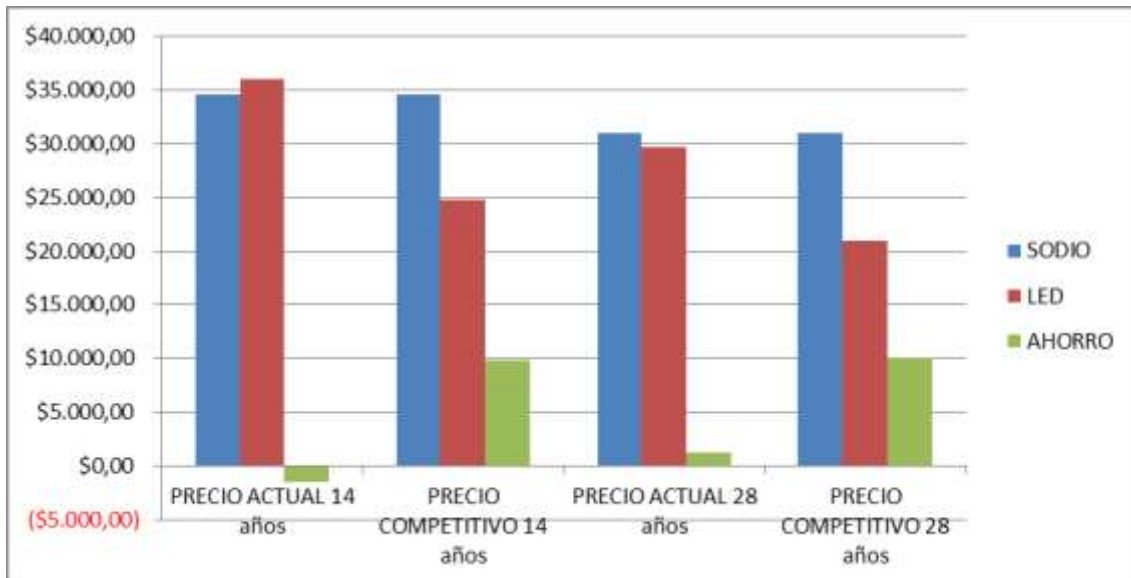


Figura 6.2. Costo anual equivalente.



6.6.3.2. BENEFICIO NETO

AHORRO-BENEFICIO		
Tipo/años	14 años	28 años
Energía	51%	51%
CO2	51%	51%
Mantenimiento	96%	96%
Vida útil	58%	59%
Total a precio actual led	-4%	4%
Total a precio competitivo led	28%	33%

Tabla 6.15. Resultados de beneficios.

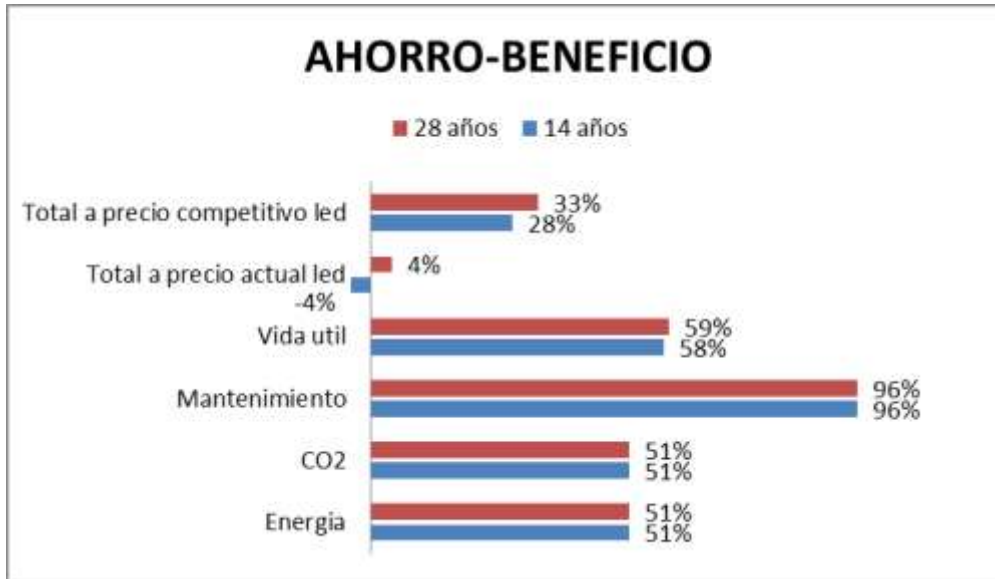


Figura 6.3. Ahorro de beneficios.



CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

1. El conocimiento de la curva de distribución espectral de las fuentes de luz es imprescindible para conseguir el efecto cromático deseado y el nivel de confort necesario.
2. En el Ecuador las lámparas más adquiridas son las de sodio a alta presión de doble nivel de potencia debido a que generan ahorro energético comparadas a las de mercurio a alta presión, por ende los avances tecnológicos deberán dar prestaciones más elevadas que la tecnología actual.
3. En los últimos años el sistema de alumbrado público ha recibido un impulso inusitado en lo referente a la instalación de lámparas LED por lo que no sería raro que en el país la utilización de estos se incremente debido a que sus prestaciones son superiores a las lámparas instaladas actualmente siendo las más relevantes el ahorro energético, la reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero.
4. Si bien las lámparas de sodio a alta presión son altamente eficientes en lúmenes por vatio que la tecnología LED, sin embargo esta es más eficiente en la relación lumen vatio pupila por el índice de reproducción cromático que es más alto que el sodio y el pico de la curva de distribución espectral se encuentra en la zona de mejor visibilidad nocturna (en el rango de 310nm a 550nm).
5. Del análisis luminotécnico realizado en este estudio con lámparas LED's mediante el método de lúmenes necesario se tomó los factores de utilización y conservación teóricos, si en la práctica estos valores disminuyen se necesitará una lámpara de mayor eficacia.
6. Los beneficios identificados por la implementación de un sistema de iluminación usando lámparas LED's son:
 - Reducción del consumo de energía eléctrica.
 - Reducción de efectos tóxicos en la salud de las personas.
 - Disminución de contaminación lumínica.



- Aumento del confort visual.
 - Cuidado del ambiente.
 - Aumento de la seguridad.
7. La alternativa tecnológica LED presentada en este estudio, produce un ahorro de energía y de emisiones de CO₂ del 51% que la convencional.
 8. No existe un beneficio adicional neto en 14 años de la tecnología LED en comparación a la convencional, en el mismo periodo mencionado si los costos de adquirir lámparas LED's son competitivos a las actuales se obtiene un beneficio adicional neto de 28%, un 4% si la vida útil del equipo de iluminación es de 100000 horas (28 años de durabilidad) y un 33% de la mezcla de estos 2 últimos.
 9. La tecnología LED no solo se presenta con el tipo de control Dimerizable sino también puede utilizarse la telegestión que permitirá controlar las horas de funcionamiento e incrementar los años de vida de la lámpara obteniendo un aumento del beneficio adicional neto.
 10. Si bien actualmente la inversión para cambiarlas es significativa, el ahorro en energía es importante y podría ser mayor considerando los avances tecnológicos y el tiempo para pagar la inversión podría ser cada vez menor.
 11. En general los proyectos de alumbrado público con la tecnología LED y con estas condiciones: vida útil de 50000 horas y precios elevados (\$900 USD/cu.) no hace factible su utilización basado en la conclusión 8; por lo que se espera que los precios disminuyan un 10% o su vida útil se incrementen a 70000 horas o ambas.

7.2. RECOMENDACIONES

1. Establecer una norma reguladora para el uso adecuado de la tecnología LED en sistemas de alumbrado público.
2. Las instituciones educativas deberían incentivar a los estudiantes y sus docentes a la investigación de tecnologías para el alumbrado público con mejores prestaciones que las actuales siendo este un factor importante en la vida del ser humano.
3. Buscar apoyo de organizaciones nacionales e internacionales para obras de eficiencia energética, en el financiamiento de proyectos que evitan la



contaminación ambiental.

4. Realizar proyectos pilotos para tener una visión real de la operación de la tecnología LED aplicada en el alumbrado público.



CAPITULO 8

8. BIBLIOGRAFIA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **GONZALO, ZALDUMBIDE CEVALLOS EFRAÏN.** *TESIS DE GRADO: "PLAN DE MEJORAMIENTO DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS PRINCIPALES AVENIDAS DE LA CIUDAD DE QUITO MEDIANTE LA SUSTITUCIÓN POR LÁMPARAS DE INDUCCIÓN"*. Quito-Ecuador : ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2012.
2. **ESPINOZA, OSWALDO JAVIER ENCALADA.** *TESIS DE GRADO: "PLAN PILOTO DE TELEGESTIÓN PARA EL CONTROL DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA VÍA CUENCA – DESCANSO"*. Cuenca-Ecuador : UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2012.
3. **<http://edison.upc.edu>.** [En línea]
<http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/magnitud.html>.
4. **CONELEC.** *PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL.* ECUADOR : CONELEC, REGULACIÓN No. 008/11.
5. **<http://www.edutecne.utn.edu.ar>.** [En línea] <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap02.pdf>.
6. **<http://motion.kodak.com>.** [En línea]
http://motion.kodak.com/motion/uploadedFiles/plugins_acrobat_es_motion_newsletters_fil mEss_03_Nature-of-Light.pdf.
7. **<http://www.icv.csic.es>.** [En línea]
<http://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/breves/FREMAP/iluminacion.pdf>.
8. **<http://www.monografias.com>.** [En línea]
<http://www.monografias.com/trabajos71/concepto-historia-lamparas-electricas/concepto-historia-lamparas-electricas2.shtml>.
9. **<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar>.** [En línea]
http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/InstalacionesIndustriales/Art_Interes/LampCom p.pdf.
10. **PULLA, GALINDO GIOVANI SANTIAGO.** *"EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE CUENCA"*. Cuenca-Ecuador : UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013.
11. **<http://repositorio.bib.upct.es>.** [En línea]
<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1766/1/pfm145.pdf>.
12. **<http://www.imporgal.es>.** [En línea]
http://www.imporgal.es/web4/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=5.



13. <http://dspace.ucuenca.edu.ec>. [En línea]
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/345/1/TESIS.pdf>.
14. **TOBAR, DANIEL y CHANTERA, PEDRO.** *TESIS DE GRADO: "ESTUDIO DE LÁMPARAS LEDS PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA CON CONTROL AUTOMÁTICO ON/OFF"*. Quito- Ecuador : UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, 2013.
15. <http://www.congresos.unlp.edu.ar>. [En línea]
<http://www.congresos.unlp.edu.ar/index.php/CCMA/7CCMA/paper/viewFile/775/319>.
16. **TABOADA, J.A.** *MANUAL DE LUMINOTECTIA*. Madrid-España : DOSSAT, S.A., 4ª EDICION-1983.
17. <http://www.ambiente.gob.ec>. [En línea] <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/Informe-de-Factor-de-Emission-de-CO2-20121.pdf>.
18. <http://www.eex.com/en>. European Emission Allowances | Global Environmental Exchange. [En línea] <http://www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/spot-market/european-emission-allowances#!/2014/02/05>.
19. <http://redes.iner.gob.ec>. [En línea] http://redes.iner.gob.ec/alumbrado-publico/files/06_02_led_ap_eep_guayaquil.pdf.
20. <http://www.ehu.es>. [En línea]
http://www.ehu.es/alfredomartinezargote/tema_4_archivos/luminotecnia/04%20EI%20color.pdf.
21. <http://www.slideshare.net>. [En línea] http://www.slideshare.net/hildel/espectro-electromagnetico-14687856?from_search=4.
22. **MADRID, UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID.** *APOYO PARA LA PREPARACION DE LOS ESTUDIOS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA "NATURALEZA DE LA LUZ"*. Madrid-España : UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, 2010.
23. <http://www.axoled.com>. [En línea] <http://www.axoled.com/vision-e-iluminacion/vision-fotopica-mesopica-y-escotopica/>.
24. <http://es.wikipedia.org>. [En línea]
http://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n_escot%C3%B3pica.
25. <http://www.capecodextension.org>. [En línea]
<http://www.capecodextension.org/library/2012/10/Mercury-in-Lighting.pdf>.
26. <http://tesis.bnct.ipn.mx>. [En línea]
<http://tesis.bnct.ipn.mx:8080/bitstream/handle/123456789/12501/ANALISIS%20COMPARATIVO%20SOBRE%20LUMINARIAS%20DE%20LEDS%20CONTRA%20VAPOR%20DE%20SODIO%20DE%20ALTA%20PRESION%20Y%20ADITIVOS%20METALICOS%20EN%20ALUMBRADO%20PUBLICO.pdf?sequence=1>.



27. <http://webs.uvigo.es>. [En línea]

http://webs.uvigo.es/grupo_ene/publicaciones/Bloque%20Iluminaci%C3%B3n%20Exterior%2010_presentacion.pdf.

28. <http://www.labplan.ufsc.br>. [En línea]

<http://www.labplan.ufsc.br/congressos/Induscon%202010/fscommand/web/docs/I0258.pdf>.

29. <https://www.dspace.espol.edu.ec>. [En línea]

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20026/2/Estudio%20de%20Normas%20para%20el%20Etiquetado%20Energ%C3%A9tico%20de%20I%C3%A1mparas%20en%20Ecuador.pdf>.

30. <http://repositorio.utp.edu.co>. [En línea]

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2571/1/62132G216.pdf>.

31. LOOR, ROSANNA. s.l. : INER, 2013.



ANEXOS



ANEXO 1. INVERSION INICIAL DE LÁMPARAS DE SODIO DE 250W DE DOBLE NIVEL DE POTENCIA

INVERSION INICIAL DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PUBLICO DE LA VIA AL VALLE CONSIDERANDO UN SISTEMA INDEPENDIENTE					
				\$ 117.871	\$ 132.015,48
Item	Unidad	p.u (dolares)	Unidades	Subtotal	Total
Mano de obra no calificada					
LIMPIEZA DE EXCAVACION	U	\$ 7,61	126,00	\$ 959	
DESALOJO DE MATERIAL SOBRENTE POR M3	M3	\$ 15,98	12,60	\$ 201	
SUMINISTRO Y ACOPIO DE PIEDRA D<=50M, PARA POSTES DE HASTA 12M	U	\$ 10,35	126,00	\$ 1.304	
PINTURA DE CODIGO EN POSTE	U	\$ 1,85	126,00	\$ 233	
EXCAVACION DE ZANJA EN TERRENO NORMAL Y/O CONGLOMERADO M3	M3	\$ 17,43	47,25	\$ 824	
				\$ 3.520,98	
Montaje					\$ 422,52 12%IVA
MONTAJE E INST. LUMINARIA CERRADA NA. 250W. DNP, AUTOCONTR.	U	\$ 20,22	126,00	\$ 2.548	
IZADO, RETAC. POSTE H.A. HASTA 12M, CON MAQUINA DESPLAZ. O<=50M	U	\$ 28,28	126,00	\$ 3.563	
CARGA-TRANSP.-DESCARGA POSTE H.A.12M.	U	\$ 26,65	126,00	\$ 3.358	
TENDIDO, CALIBRACION, AMARRE CONDUCTOR DUPLEX 2*6	Km	\$ 211,57	4,36	\$ 922	
MONTAJE E INST. ESTAC. TRANSFORMACION 1F AUTOPROTEG. DE 5KVA	U	\$ 76,80	10,00	\$ 768	
ESTRUCTURA TIPO E1P	U	\$ 6,67	106,00	\$ 707	
ESTRUCTURA TIPO (E1)R	U	\$ 6,67	20,00	\$ 133	
				\$ 11.999,77	
Materiales					\$ 1.439,97 12%IVA
Conductor Cu. aislado tipo TW 14	M	\$ 0,25	882,00	\$ 221	
Conector de aleacion de Al. Tipo H	U	\$ 1,24	252,00	\$ 312	
Lumin. Na cerr. 250W; brazo foco, foto DNP	U	\$ 327,55	126,00	\$ 41.271	
POSTES DE HORMIGON ARMADO CIRCULAR DE 12 MTS.	U	\$ 321,29	126,00	\$ 40.483	
CONDUCTOR DUPLEX 2*6 AWG	M	\$ 0,53	4.360,00	\$ 2.311	
Abrazad simple di. 130-150mm	U.	\$ 4,37	10,00	\$ 44	
Abrazad simple di. 180-190 mm	U.	\$ 4,64	10,00	\$ 46	
Abrazad U de vari, di. 16x152mm.	U.	\$ 3,65	10,00	\$ 37	
Conduc de Cu desn. cableado 2.	M.	\$ 4,72	110,00	\$ 519	
Conduc de Cu desn. solido 4 AWG	M.	\$ 0,36	30,00	\$ 11	
ConductorCu. aislado tipo TW 2.	M.	\$ 4,47	70,00	\$ 313	
Conector de aleación de Al. Tipo H	U.	\$ 1,24	50,00	\$ 62	
Cruceta metálica galavzde l,2m en L	U.	\$ 52,15	10,00	\$ 522	
Estribo de aleación de Cu-Sn, para derivación	U.	\$ 15,83	10,00	\$ 158	
Grapa de aleación de Al, derivación en linea caliente	U.	\$ 2,17	10,00	\$ 22	
Pernomáq.Ty arand ; de 16x38mm	U.	\$ 1,35	10,00	\$ 14	
Pie amg plet de Fe de 38x38x6x700mm.	U.	\$ 8,66	10,00	\$ 87	
Seccionad fusib. tipo ab, 15 KV,	U.	\$ 61,43	10,00	\$ 614	
Tiraf. tipo H, con cabz rose de 2 A.	U.	\$ 1,67	10,00	\$ 17	
Trafo 1F. autopr. 5 KVA; 12.7 KV	U.	\$ 1.341,33	10,00	\$ 13.413	
Tubo EMT, di. 13mm.x3000mm.	U.	\$ 70,30	10,00	\$ 703	
Varilla copperw con conect. 16x2400mm.	U.	\$ 18,31	10,00	\$ 183	
Abrazad simple di. 130-150mm	U.	\$ 4,37	126,00	\$ 551	
Aislador rollo ANSI 53-2	U.	\$ 0,69	126,00	\$ 87	
Bastidor galv. 1 via.	U.	\$ 2,79	126,00	\$ 352	
				\$ 102.350,22	
				\$ 12.282,03	12%IVA



ANEXO 2. SUSTITUCION DE LÁMPARAS DE SODIO DE 250W FIN DE VIDA UTIL.

INVERSION INICIAL DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PUBLICO DE LA VIA AL VALLE CONSIDERANDO UN SISTEMA INDEPENDIENTE						\$ 11.082	\$ 12.411,50
Item	Unidad	p.u (dolares)	Unidades	Subtotal	Total		
Montaje							
MONTAJE E INST. LUMINARIA CERRADA NA. 250W. DNP, AUTOCONTR.	U	\$ 20,22	126,00	\$ 2.548			
						\$ 2.547,72	
Materiales						\$ 305,73	12%IVA
Conductor Cu. aislado tipo TW 14	M	\$ 0,25	882,00	\$ 221			
Conector de aleacion de Al. Tipo H	U	\$ 1,24	252,00	\$ 312			
Ampolleta ,fotoce'lula,brazo	U	\$ 63,50	126,00	\$ 8.001			
						\$ 8.533,98	
						\$ 1.024,08	12%IVA



ANEXO 3. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 1(SODIO_ PERIODO DE 14 AÑOS)

Tasa activa de descuento 0,0953

Año	Inversion	Costo de energia consumida	Reposicion	Costo de emisiones CO2	Mantenimiento	Total	VAC(Valor Actual de Costos)
0	\$ 132.015,48						-\$ 132.015,48
1		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 14.886,83
2		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 13.591,55
3		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 12.408,98
4		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 11.329,29
5		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 10.343,55
6		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 9.443,58
7		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 8.621,91
8		\$ 14.230,69	\$ 12.411,50	\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 28.717,04	-\$ 13.863,57
9		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 7.186,83
10		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 6.561,52
11		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 5.990,61
12		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 5.469,38
13		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 4.993,50
14		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 4.559,02
						-\$ 240.689,07	-\$ 261.265,60



ANEXO 4. INVERSION INICIAL DE LÁMPARAS LED's DE 120 W

INVERSION INICIAL DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PUBLICO DE LA VIA AL VALLE CONSIDERANDO UN SISTEMA INDEPENDIENTE					\$ 194.175	\$ 217.475,59
Item	Unidad	p.u (dolares)	Unidades	Subtotal	Total	
Mano de obra no calificada						
LIMPIEZA DE EXCAVACION	U	\$ 7,61	133,00	\$ 1.012		
DESALOJO DE MATERIAL SOBRENTE POR M3	M3	\$ 15,98	13,30	\$ 213		
SUMINISTRO Y ACOPIO DE PIEDRA D<=50M, PARA POSTES DE HASTA 12M	U	\$ 10,35	133,00	\$ 1.377		
PINTURA DE CODIGO EN POSTE	U	\$ 1,85	133,00	\$ 246		
EXCAVACION DE ZANJA EN TERRENO NORMAL Y/O CONGLOMERADO M3	M3	\$ 17,43	49,88	\$ 869		
					\$ 3.716,59	
Montaje						
MONTAJE E INST. LAMPARA LED	U	\$ 20,22	133,00	\$ 2.689		
IZADO,RETAC. POSTE H.A. HASTA 12M, CON MAQUINA DESPLAZ. O<=50M	U	\$ 28,28	133,00	\$ 3.761		
CARGA-TRANSP.-DESCARGA POSTE H.A.12M.	U	\$ 26,65	133,00	\$ 3.544		
TENDIDO, CALIBRACION, AMARRE CONDUCTOR DUPLEX 2*6	Km	\$ 211,57	4,36	\$ 922		
MONTAJE E INST.ESTAC.TRANSFORMACION 1F AUTOPROTEG. DE 5KVA	U	\$ 76,80	7,00	\$ 538		
ESTRUCTURA TIPO E1P	U	\$ 6,67	119,00	\$ 794		
ESTRUCTURA TIPO (E1)R	U	\$ 6,67	14,00	\$ 93		
					\$ 12.342,11	
Materiales						
					\$ 1.481,05	12%IVA
Conductor Cu. aislado tipo TW 14	M	\$ 0,25	931,00	\$ 233		
Conector de aleacion de Al. Tipo H	U	\$ 1,24	266,00	\$ 330		
Luminaria Led de 120 W	U	\$ 900,00	133,00	\$ 119.700		
POSTES DE HORMIGÓN ARMADO CIRCULAR DE 12 MTS.	U	\$ 321,29	133,00	\$ 42.732		
CONDUCTOR DUPLEX 2*6 AWG	M	\$ 0,53	4.360,00	\$ 2.311		
Abrazad simple di. 130-150mm	U.	\$ 4,37	7,00	\$ 31		
Abrazad simple di. 180-190 mm	U.	\$ 4,64	14,00	\$ 65		
Abrazad U de vari, di. 16x152mm.	U.	\$ 3,65	7,00	\$ 26		
Conduc de Cu desn. cableado 2.	M.	\$ 4,72	77,00	\$ 363		
Conduc de Cu desn. solido 4 AWG	M.	\$ 0,36	21,00	\$ 8		
ConductorCu. aislado tipo TW 2.	M.	\$ 4,47	49,00	\$ 219		
Conector de aleación de Al. Tipo H	U.	\$ 1,24	35,00	\$ 43		
Cruceta metálica galavzde l,2m en L	U.	\$ 52,15	7,00	\$ 365		
Estribo de aleación de Cu-Sn, para derivación	U.	\$ 15,83	7,00	\$ 111		
Grapa de aleación de Al, derivación en línea caliente	U.	\$ 2,17	7,00	\$ 15		
Pernomáq.Ty arand ; de 16x38mm	U.	\$ 1,35	7,00	\$ 9		
Pie amg plet de Fe de 38x38x6x700mm.	U.	\$ 8,66	7,00	\$ 61		
Seccionad fusib. tipo ab, 15 KV,	U.	\$ 61,43	7,00	\$ 430		
Tiraf. tipo H, con cabz rose de 2 A.	U.	\$ 1,67	7,00	\$ 12		
Trafo 1F. autop. 5 KVA; 12.7 KV	U.	\$ 1.341,33	7,00	\$ 9.389		
Tubo EMT, di. 13mm.x3000mm.	U.	\$ 70,30	7,00	\$ 492		
Varilla copperw con conect. 16x2400mm.	U.	\$ 18,31	7,00	\$ 128		
Abrazad simple di. 130-150mm	U.	\$ 4,37	133,00	\$ 581		
Aislador rollo ANSI 53-2	U.	\$ 0,69	133,00	\$ 92		
Bastidor galv. 1 via.	U.	\$ 2,79	133,00	\$ 371		
					\$ 178.115,94	
					\$ 21.373,91	12%IVA



ANEXO 5. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 2(LED _ PERIODO DE 14 AÑOS)

Tasa activa de descuento	0,0953	LED	\$ 217.475,59	<i>Precios actuales</i>
			\$ 132.203,43	<i>Precios competitivo a las de sodio</i>

Año	Inversion	Costo de energia consumida	Reposicion	Costo de emisiones CO2	Mantenimiento	Total	VAC(Valor Actual de costos)
0	\$ 217.475,59						-\$ 217.475,59
1		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 6.634,03
2		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 6.056,82
3		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 5.529,82
4		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 5.048,68
5		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 4.609,41
6		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 4.208,35
7		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 3.842,19
8		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 3.507,89
9		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 3.202,67
10		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.924,02
11		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.669,60
12		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.437,33
13		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.225,26
14		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.031,64
						-\$ 101.727,56	-\$ 272.403,30



ANEXO 6. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 1(SODIO_ PERIODO DE 28 AÑOS)

Tasa activa de descuento

0,0953

Año	Inversion	Costo de energia consumida	Reposicion	Costo de emisiones CO2	Mantenimiento	Total	VAC(Valor Actual de Costos)
0	\$ 132.015,48						-\$ 132.015,48
1		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 14.886,83
2		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 13.591,55
3		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 12.408,98
4		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 11.329,29
5		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 10.343,55
6		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 9.443,58
7		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 8.621,91
8		\$ 14.230,69	\$ 12.411,50	\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 28.717,04	-\$ 13.863,57
9		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 7.186,83
10		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 6.561,52
11		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 5.990,61
12		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 5.469,38
13		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 4.993,50
14		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 4.559,02
15		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 4.162,35
16		\$ 14.230,69	\$ 12.411,50	\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 28.717,04	-\$ 6.692,84
17		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 3.469,55
18		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 3.167,67
19		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 2.892,05
20		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 2.640,42
21		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 2.410,68
22		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 2.200,94
23		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 2.009,44
24		\$ 14.230,69	\$ 12.411,50	\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 28.717,04	-\$ 3.231,06
25		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 1.674,97
26		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 1.529,24
27		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 1.396,18
28		\$ 14.230,69		\$ 509,48	\$ 1.565,38	-\$ 16.305,54	-\$ 1.274,70
						-\$ 493.789,65	-\$ 300.017,70



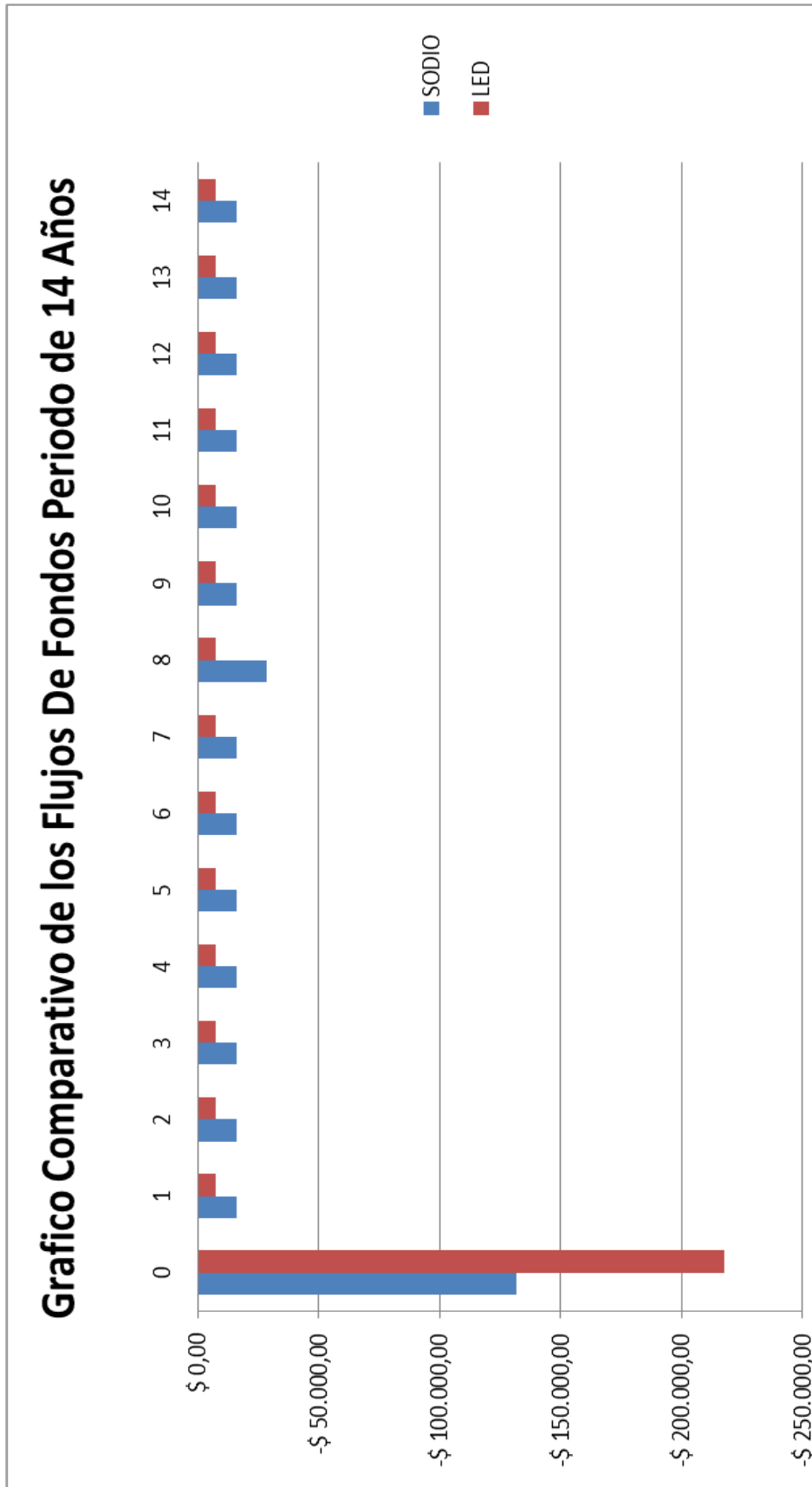
ANEXO 7. INDICADORES DE LA ALTERNATIVA 2(LED _ PERIODO DE 28 AÑOS)

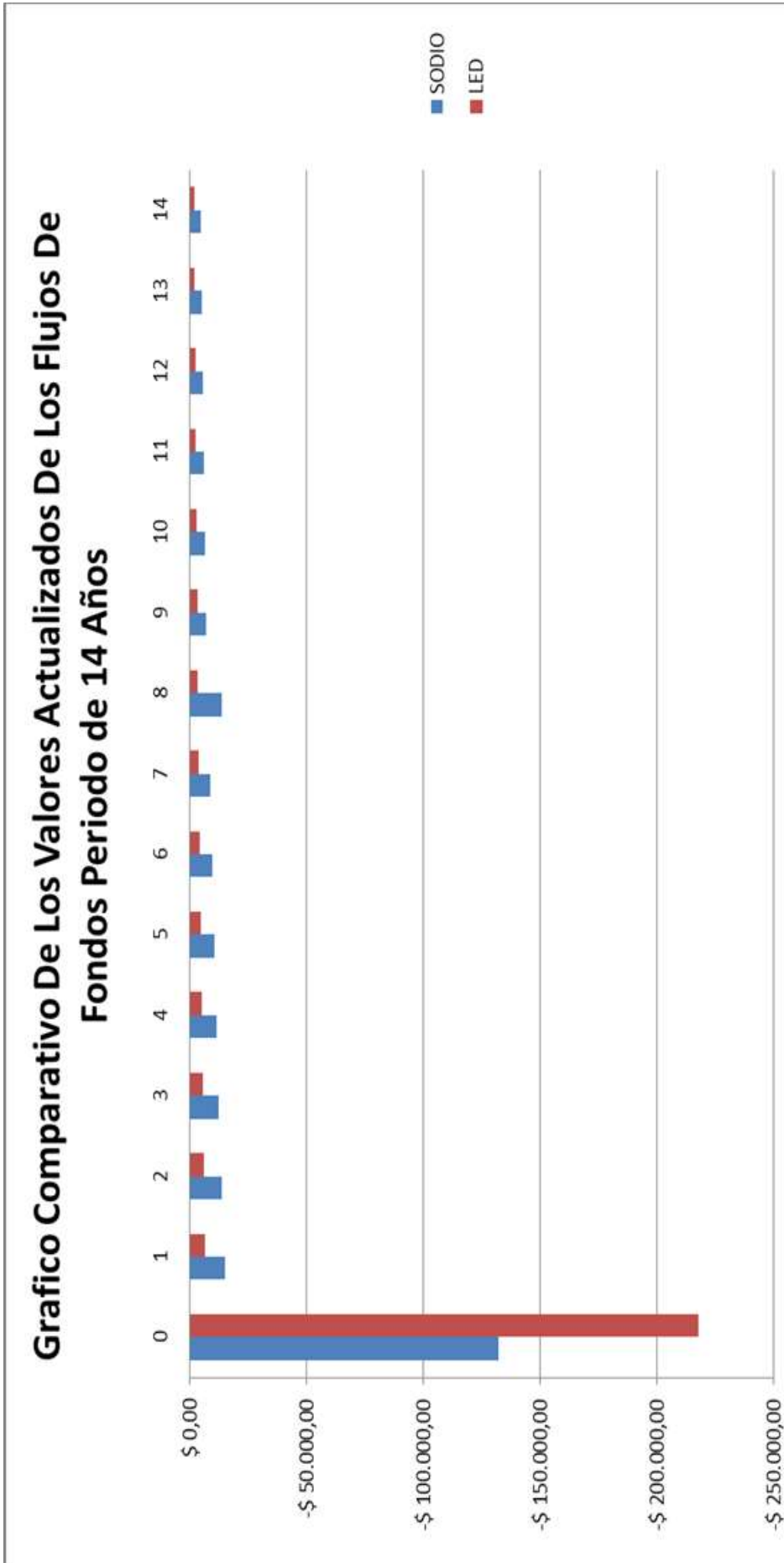
Tasa activa de descuento	0,0953	LED	\$ 217.475,59	Precios actuales
			\$ 132.203,43	Precios competitivo a las de sodio

Año	Inversion	Costo de energia consumida	Reposicion	Costo de emisiones CO2	Mantenimiento	Total	VAC(Valor Actual de costos)
0	\$ 217.475,59						-\$ 217.475,59
1		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 6.634,03
2		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 6.056,82
3		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 5.529,82
4		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 5.048,68
5		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 4.609,41
6		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 4.208,35
7		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 3.842,19
8		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 3.507,89
9		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 3.202,67
10		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.924,02
11		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.669,60
12		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.437,33
13		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.225,26
14		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 2.031,64
15		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 1.854,87
16		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 1.693,48
17		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 1.546,14
18		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 1.411,61
19		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 1.288,79
20		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 1.176,65
21		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 1.074,28
22		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 980,80
23		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 895,47
24		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 817,55
25		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 746,42
26		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 681,48
27		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 622,18
28		\$ 6.948,02		\$ 248,75	\$ 69,48	-\$ 7.266,25	-\$ 568,05
						-\$ 203.455,12	-\$ 287.761,08



ANEXO 8. DIAGRAMA DE FLUJOS DE FONDO EN UN PERIODO DE 14 AÑOS







ANEXO 9. DIAGRAMA DE FLUJOS DE FONDO EN UN PERIODO DE 28 AÑOS

