

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE  
ALUMBRADO PÚBLICO EN BOGOTÁ DC.  
ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES**

**MARCO AURELIO RUEDA CHAPARRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2006**

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE  
ALUMBRADO PÚBLICO EN BOGOTÁ DC.  
ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES**

**MARCO AURELIO RUEDA CHAPARRO**

**Tesis de grado presentada como requisito final  
para optar al título de Ingeniero Electricista**

**DIRECTOR  
DR. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2006**

*A mis padres Yolanda y Jairo*

*A mi hermana Laura*

*A mi familia...*

## **Agradecimientos**

*El autor expresa sus agradecimientos a:*

*Doctor Gabriel Ordóñez Plata.*

*Doctor Carlos Arturo Flórez Piedrahita.*

*Ing. Hernán Uribe Niño.*

*Ing. Rafael Ortiz Sepúlveda.*

*Ing. Ciro Jurado Jerez.*

*MPE. Wilson Giraldo Picón.*

*Ing. José Garavito.*

*Ing. Hernando Gasca.*

*Ing. Camilo Hernández.*

*Ing. Aldo Marco González.*

*Ing. Julieth Beltrán.*

*Ing. Edwin Delgas.*

*Ing. Jose Eder Patiño.*

*Ing. Yesid Pérez.*

*Tecg. Gustavo Vélez.*

*Tec. Luis Cabrera.*

*Tec. Alfredo Rodríguez.*

*A todas las personas que en una u otra forma colaboraron en el desarrollo de éste trabajo.*

## CONTENIDO

	PAG
Agradecimientos.	
Introducción.	
<b>Capítulo 1. Generalidades</b>	<b>1</b>
1.1 Definiciones.	1
1.2 Retrospectiva del S.A.P Bogotá.	5
1.2.1 Siglo XVI.	5
1.2.2 Siglo XVII.	5
1.2.3 Siglo XVIII.	5
1.2.4 Siglo IXX.	5
1.2.5 Siglo XX.	6
1.2.6 Siglo XXI.	10
1.3 Esquema general de la modernización.	10
1.4 Normatividad relacionada.	13
<b>Capítulo 2. Aspectos técnicos</b>	<b>14</b>
2.1 Especificaciones técnicas de los equipos utilizados en la modernización.	14
2.1.1 Bombillas.	14
2.1.2 Luminarias.	18
2.1.3 Fotocontrol.	32
2.2 Medidas fotométricas.	36
2.2.1 Procedimiento realizado en la medición.	36
2.2.2 Características generales del entorno y del sitio de medida.	39
2.2.3 Medidas realizadas.	42
2.2.3.1 Resultados generales.	43
2.3 Estudio de los armónicos generados por las luminarias.	45
2.3.1 Mediciones en luminarias de 70 W.	46
2.3.2 Mediciones en luminaria de 150 W.	48
2.3.3 Mediciones en la luminaria de 250 W.	50
2.4 El mantenimiento del S.A.P.	52
2.4.1 Descripción del mantenimiento realizado.	53
2.4.2 El mantenimiento del S.A.P. después de la modernización .	55

<b>Capítulo 3. Aspectos medioambientales</b>	<b>58</b>
3.1 Descripción general de la metodología del EsIA.	58
3.1.1 Fases de la metodología del EsIA.	59
3.2 Análisis del proyecto y sus alternativas.	59
3.3 Definición del entorno del proyecto.	59
3.3.1 Localización.	59
3.3.2 Política ambiental de Condensa S.A. ESP.	61
3.3.3 Descripción del proceso de modernización.	62
3.4 Descripción de las Implicaciones medioambientales del proyecto.	63
3.4.1 Residuos sólidos, generalidades.	63
3.4.2 Gestión de los residuos sólidos.	65
3.4.3 Gestión de residuos sólidos en la modernización.	66
3.4.3.1 Disposición final del brazo de la luminaria y del núcleo de balasto.	67
3.4.3.2 Disposición final de la caperuza y la campana de la luminaria.	68
3.4.3.3 Disposición final de la acometida de las luminarias.	68
3.4.3.4 Disposición final de los fotocontroles.	68
3.4.3.5 Disposición final de los bombillos.	69
3.4.3.5.1 Origen del mercurio.	69
3.4.3.5.2 Estados del mercurio, (condiciones naturales).	70
3.4.3.5.3 Fuentes de contaminación por mercurio.	70
3.4.3.5.4 La toxicidad del mercurio.	71
3.4.3.5.5 Efectos directos del mercurio en el medio ambiente.	73
3.4.3.5.6 Gestión de los desechos de mercurio.	74
3.4.3.5.7 Manejo de las capsulas de mercurio en la modernización.	75
3.4.4 Otros aspectos del proceso de modernización.	76
3.4.4.1 Uso racional de la energía, (URE) .	76
3.4.4.1.1 Reducción del consumo energético, por punto luminoso.	76
3.4.4.1.2 Reducción del consumo energético del parque lumínico de la ciudad.	77
3.4.4.2 Emisiones de gases de efecto invernadero.	78
3.4.4.3 Emisión espectral de las bombillas.	80
3.4.4.3.1 Fuentes de contaminación por rayos ultravioleta.	81
3.4.4.3.2 Efectos de los rayos ultravioleta en el ser humano.	82
3.4.4.3.3 Efectos de los rayos ultravioleta en la naturaleza.	83
3.4.4.4 Polución lumínica.	83
3.4.4.4.1 Tipos de polución lumínica .	84
3.4.4.4.2 Proceso físico de la polución lumínica.	84
3.4.4.4.3 Efectos de la polución lumínica.	84
3.4.4.4.4 Opciones para reducir la polución lumínica.	86
3.5 Identificación de acciones del proyecto que pueden causar impactos sobre el medio ambiente o sobre el entorno del proyecto de modernización.	86
3.5.1 Relación entre la fase de ejecución de las obras y las acciones de proyecto.	87

3.5.1.1 Acciones que repercuten sobre la infraestructura.	88
3.5.2 Relación entre la fase de reintegro y las acciones del proyecto.	88
3.5.3 Relación entre la fase de funcionamiento y las acciones del proyecto.	88
3.5.3.1 Acciones que implican la emisión de contaminantes.	88
3.5.3.2 Acciones que implican sobreexplotación de recursos.	88
3.5.3.3 Acciones que implican deterioro del paisaje.	88
3.5.3.4 Acciones que modifican el entorno social, económico y cultural.	88
3.6 Identificación de los factores ambientales del entorno potencialmente impactados.	88
3.6.1 Identificación de los factores ambientales.	88
3.6.2 Valoración de los factores ambientales.	89
3.7 Matriz de importancia.	90
3.7.1 Descripción de los criterios para la valoración cualitativa del impacto ambiental.	91
3.7.2 Obtención de la importancia del impacto (I).	94
3.7.3 Valoración cualitativa de las acciones impactantes y de los factores ambientales impactados.	96
3.8 Informe final del estudio de impacto ambiental de la modernización.	99

#### **Capítulo 4. Aspectos económicos**

4.1 Distribución del costo de alumbrado publico en Bogotá.	103
4.2 Consideraciones generales.	104
4.2.1 Modernización lineal y no lineal.	104
4.2.2 Composición del parque lumínico de la ciudad.	105
4.2.3 Tendencias del proceso de modernización hacia el reemplazo lineal.	106
4.2.4 Eficacia mantenida y consumo de potencia de las luminarias.	107
4.2.5 Costos de la energía.	108
4.2.6 Tasa de reemplazo diario en el proceso de modernización.	110
4.3 Consumo y ahorro energético por punto luminoso.	110
4.4 Ahorro económico del parque lumínico de la ciudad.	111
5. Conclusiones.	113
6. Recomendaciones.	116
7. Trabajos futuros	117
8. Bibliografía.	122
9. Anexos.	118
Anexo A. Tipos de vías.	118
A1. Criterios de selección para el tipo de vía.	118
A2. Requisitos fotométricos de acuerdo al tipo de vía.	120
Anexo B. Norma técnica ambiental 409: Manipulación y disposición final de lámparas de vapor de mercurio.	121

## Listado de Tablas

- Tabla 1 Especificaciones técnicas de las bombillas de vapor de mercurio.
- Tabla 2 Características técnicas de las bombillas de vapor de Sodio a alta presión.
- Tabla 3 Eficacias para diferentes tecnologías.
- Tabla 4 Descripción de los grados de hermeticidad y de protección contra el impacto de la luminarias.
- Tabla 5 Características de la luminaria RA-P de Roy Alpha.
- Tabla 6 Características físicas de la luminaria Calima 1.
- Tabla 7 Características físicas de la luminaria Calima 2.
- Tabla 8 Características físicas de la luminaria Venus.
- Tabla 9 Características físicas de la luminaria Orión.
- Tabla 10 Características generales del fotocontrol PCE-2NC16 A, 2NC32A de Inadisa.
- Tabla 11 Características eléctricas del fotocontrol PCE-2NC16 A, 2NC32A.
- Tabla 12 Características físicas del fotocontrol PCE-2NC16 A, 2NC32A.
- Tabla 13 Características ambientales de Bogotá.
- Tabla 14 Condiciones medioambientales en el momento de la medida.
- Tabla 15 Características de la infraestructura del sitio de medida.
- Tabla 16 Características técnicas del sitio de medida.
- Tabla 17 Resumen general de los resultados de la medición de iluminancia en terreno.
- Tabla 18 Límites de distorsión de corriente armónica para sistemas de distribución (120 V hasta 69000 V).
- Tabla 19 Asignación de prioridades para la ejecución de las obras de Modernización.
- Tabla 20 Clasificación general de los residuos sólidos.
- Tabla 21 Técnicas para la disposición final de residuos sólidos: ventajas y desventajas.
- Tabla 22 Estimaciones de liberaciones atmosféricas globales de mercurio.
- Tabla 23 Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> por concepto de la modernización del S.A.P.
- Tabla 24 Componentes ambientales.
- Tabla 25 Criterios para la valoración cualitativa del impacto ambiental (Matriz de importancia).
- Tabla 26 Valoración de los criterios para los impactos ambientales.
- Tabla 27 Identificación de impactos y determinación de la magnitud (fase de Construcción).
- Tabla 28 Identificación de impactos y determinación de la magnitud (fase de Funcionamiento).
- Tabla 29 Distribución porcentual de los costos de alumbrado público.
- Tabla 30 Costos del servicio de alumbrado público.
- Tabla 31 Equivalencias en potencia de la modernización lineal.
- Tabla 32 Inventario general del parque lumínico de Bogotá DC.
- Tabla 33 Inventario general del parque lumínico de Bogotá DC. (Continuación)
- Tabla 34 Avance de las obras de modernización.

Tabla 35 Tendencias a la linealidad de la modernización.  
Tabla 36 Consumo de potencia y eficacia mantenida por las fuentes luminosas vapor de mercurio y vapor de sodio.  
Tabla 37 Tarifas medias de energía en Bogotá.  
Tabla 38 Proyección de las tarifas para el suministro de energía al alumbrado Público.  
Tabla 39 Consumo de energía por tipo de tecnología.  
Tabla 40 Ahorro energético con modernización lineal.  
Tabla 41 Proyección de puntos lumínicos a intervenir por año.  
Tabla 41 Proyección de puntos lumínicos a intervenir por año, (Continuación).  
Tabla 42 Ahorro energético y económico del parque lumínico, durante la modernización.  
Tabla 43 Ahorro económico y energético del parque lumínico, después de la modernización.  
Tabla A1 Criterios para la selección del tipo de vía.  
Tabla A2 Tipo de vía de acuerdo a la velocidad de circulación y al tránsito de vehículos.  
Tabla A3 Tipos de vía, de acuerdo al ancho de la calzada.  
Tabla A4 Tipos de vías (resumen general).  
Tabla A5 Requisitos fotométricos de acuerdo al tipo de vía.

## Lista de Figuras

- Figura 1 Organigrama de la modernización.
- Figura 2 Bombilla de vapor de mercurio a alta presión.
- Figura 3 Bombilla de vapor de sodio a alta presión.
- Figura 4 Eficacias para diferentes tecnologías.
- Figura 5 Coordenadas de un diagrama polar de intensidad luminosa.
- Figura 6 Luminaria RA-P cuadrada de Roy Alfha.
- Figura 7 Luminaria Calima 1 de Roy Alfha.
- Figura 8 Diagrama polar luminaria Calima 1.
- Figura 9 Vistas lateral y posterior de la luminaria calima1.
- Figura 10 Luminaria Calima 2 de Roy Alfha.
- Figura 11 Diagrama polar de la luminaria Calima 2 con bombilla de 150W.
- Figura 12 Diagrama polar de la luminaria Calima 2 con bombilla de 250W.
- Figura 13 Vistas lateral y posterior de la luminaria Calima 2.
- Figura 14 Luminaria Venus de Celsa.
- Figura 15 Diagrama polar de la luminaria Venus con bombilla de 70W.
- Figura 16 Vistas Lateral, frontal e inferior de la luminaria Venus.
- Figura 17 Luminaria Orión de Celsa.
- Figura 18 Diagrama polar de la luminaria Orión con bombilla de 150W.
- Figura 19 Diagrama polar de la luminaria Orión con bombilla de 250.
- Figura 20 Vista lateral de la luminaria Orión.
- Figura 21 Fotocontrol PCE-2NC16 A, 2NC32A de Inadisa.
- Figura 22 Sistema de control múltiple (lux control).
- Figura 23 Procedimiento para la medición de Iluminancia.
- Figura 24 Grilla de medición para vías rectas.
- Figura 25 Distribución de las medidas sobre la calzada, luminarias con tecnología de vapor de mercurio.
- Figura 26 Distribución de las medidas sobre la calzada, luminaria con vapor de Sodio, cero grados de inclinación.
- Figura 27 Distribución de las medidas sobre la calzada, luminaria con vapor de Sodio, cinco grados de inclinación.
- Figura 28 Datos de entrada al software Alfhalux.
- Figura 29 Distribución sobre la calzada de los datos de salida del software Alfhalux, luminaria con tecnología de vapor de sodio.
- Figura 30 Encendido de la luminaria de 70 W.
- Figura 31 Estado estable de la luminaria de 70 W.
- Figura 32 Estado estable de la luminaria de 70 W.
- Figura 33 Encendido de la luminaria de 150 W.
- Figura 34 Estado estable de la luminaria de 150 W.
- Figura 35 Encendido de la luminaria de 250 W.
- Figura 36 Estado estable de la luminaria de 250 W.
- Figura 37 Comportamiento en corriente.
- Figura 38 Reconexión de la luminaria de 250 W.

Figura 39 Gestión, explotación y mantenimiento del S.A.P.

Figura 40 Mapa de las localidades de Bogotá.

Figura 41 Esquema general de la modernización.

Figura 42 Disposición final del brazo de las luminarias.

Figura 43 Disposición final del núcleo del balasto.

Figura 44 Disposición final de la caperuza y la campana de la luminaria.

Figura 45 Disposición final de la acometida de las luminarias.

Figura 46 Disposición preliminar de las bombillas de Mercurio.

Figura 47 Reducción del consumo energético de un punto luminoso.

Figura 48 Reducción del consumo energético del parque lumínico de la ciudad.

Figura 49 Emisión de gases de efecto invernadero (1990).

Figura 50 Emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores.

Figura 51 Características de la radiación luminosa.

Figura 52 Espectro de luz de mercurio en plasma.

Figura 53 Espectro de luz en plasma de vapor de sodio a alta presión.

Figura 54 Polución lumínica global.

Figura 55 San Miguel de Tucumán, México.

Figura 56 Reflexión y refracción de la Luz en una Gota de Agua.

Figura 57 Disposición óptima de las luminaria en vallas.

Gráfica 58 Variación del impacto en función del tiempo.

Grafica 59 Comparación de la eficacia mantenida.

## RESUMEN

### TITULO

EL ANÁLISIS DE LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO (S.A.P) DE BOGOTÁ; ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES\*

### AUTOR

MARCO AURELIO RUEDA CHAPARRO\*\*

### PALABRAS CLAVES:

Alumbrado público, modernización alumbrado publico.

### DESCRIPCION

El proceso de modernización consiste en la actualización tecnológica cambiando las luminarias de vapor de mercurio a luminarias con vapor de sodio a alta presión.

El análisis de los distintos aspectos técnicos, económicos y ambientales de la modernización del S.A.P muestran lo siguiente:

Técnicamente la modernización del S.A.P implica un mejoramiento de la eficiencia del sistema, puesto que las bombillas con vapor de sodio son, por lo menos, un 40% más eficientes que las de vapor de mercurio; se usan luminarias cuyos diseños, permiten un mejor aprovechamiento de luz producida mejorando la calidad del alumbrado público y se mejoran los niveles de iluminación de las vías; también se reducen los requerimientos de mantenimiento, puesto que los nuevos diseños traen incorporado un sistema de autolimpieza del conjunto óptico exterior y se mejora la hermeticidad y la protección mecánica de las luminarias.

Desde la perspectiva económica, la modernización del S.A.P implica una inversión inicial para la ejecución de las obras y una reducción de los costos del servicio de alumbrado público, pues se estima que una vez se modernice el parque lumínico de la ciudad es posible ahorrar año a año la suma de diez mil setecientos doce millones de pesos (\$10 712 000 000).

Ambientalmente la modernización contribuye al desarrollo sostenible de la capital, presentando implicaciones en varios sentidos: primero, una reducción del consumo energético, lo cual se traduce en uso racional de la energía. Segundo, evita el uso de agentes altamente contaminantes como el mercurio. Tercero, disminuye indirectamente la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingenierías eléctrica, Electrónica y telecomunicaciones. Director: Gabriel Ordóñez Plata.

## ABSTRACT

**TITLE:**

ANALYSIS OF THE MODERNIZATION OF THE SYSTEM OF ILLUMINATION PUBLIC (S.A.P) OF BOGOTÁ; TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASPECTS\*

**AUTHOR:**

RUEDA CHAPARRO, Marco Aurelio \*\*

**KEY WORDS:**

Illumination public, modernization lit public

**DESCRIPTION:**

The modernization process consists on the technological bring up to date changing the stars of vapour of mercury to stars with vapour of sodium to high pressure. The analysis of the different technical, economic and environmental aspects of the modernization of the S.A.P shows the following thing:

Technically the modernization of the S.A.P implies an improvement of the efficiency of the system, since the bulbs with vapour of sodium are, at least, a 40% more efficient that those of vapour of mercury; stars are used whose designs, allow a better use of produced light improving the quality of the public illumination and they improve the levels of illumination of the roads; they also decrease the maintenance requirements, since the new designs bring incorporate a system of auto-cleaning of the external optic group and its improves the staunchness and the mechanical protection of the stars.

From the economic perspective, the modernization of the S.A.P implies an initial investment for the execution of the works and a reduction of the costs of the service of illumination public, because it is considered that once the light park of the city is modernized it is possible to save year to year the sum of ten a thousand seven hundred twelve million pesos (\$10.712.000.000<sup>00</sup>).

Environmentally the modernization contributes to the sustainable development of the capital, presenting implications in several senses: first, a reduction of the energy consumption, that which is translated in rational use of the energy. Second, it avoids the use of highly polluting agents as the mercury. Third, diminish the emission of gases of effect hothouse indirectly to the atmosphere.

---

\* Project of Grade

\*\* Faculty Physical-mechanical Engineering's. School Electric, Electronic Engineering's and Telecommunications. Gabriel Ordóñez Plata

## Introducción

El desarrollo urbanístico, el crecimiento en la infraestructura de Bogotá, la búsqueda de alternativas que garanticen su viabilidad económica y financiera y la necesidad de una mejor calidad de vida de la sociedad capitalina, han llevado a la administración de la ciudad a revisar la gestión del sistema de alumbrado público.

Dicha gestión empezó en el año 2002, con el proyecto de *georeferenciación e inventario del sistema*, logrando la actualización y estructuración de los registros allí almacenados; posteriormente, en el año 2003 y a principios del año 2004, se planteó el proyecto de *modernización del alumbrado público*, el cual consiste en el cambio de la tecnología en las luminarias, pasando de una tecnología de vapor de mercurio a tecnología con vapor de sodio a alta presión; a partir de agosto del año 2004, se empezaron las obras de modernización del sistema de alumbrado público las cuales se proyectaron para una duración de tres años. De este proyecto se pretenden obtener grandes beneficios para la sociedad, el medio ambiente y para la economía de la capital.

En este proyecto se analizan las mejoras que se obtienen con la modernización del sistema de alumbrado público de Bogotá, para lo cual se hace un análisis técnico y ambiental del proyecto y se cuantifican los ahorros de dinero que se obtienen después de la modernización por concepto de la reducción de la potencia consumida por las luminarias.

En el Capítulo primero se hace una breve retrospectiva del sistema desde el siglo XVI, para establecer como ha sido su evolución y cual es su estado actual; también se describe brevemente en que consiste el proceso de modernización, las empresas y las instituciones gubernamentales que han participado en él, y al final del Capítulo, se presenta la normativa nacional e internacional aplicable al proceso.

Lo relacionado con los aspectos técnicos del proyecto se abordan en el Capítulo dos. Se analiza: la eficiencia energética, el uso racional de la energía, el mantenimiento del sistema, la cantidad y calidad de la iluminación y los armónicos generados por las luminarias utilizadas. Antes y después de la modernización.

Los aspectos medioambientales del proyecto son analizados en el Capítulo tres, en el cual se hace un estudio medioambiental simplificado, revisando temas como: el uso racional de la energía, la contaminación lumínica, el manejo de los desechos industriales generados (mercurio, metales y plástico, etc.) y la generación de rayos ultra violeta, entre otros.

Los aspectos económicos relacionados con la modernización se presentan en el Capítulo cuarto. Se aborda el ahorro de dinero obtenido por la ejecución del proyecto dada la reducción del consumo energético, sin detallar los costos generados por las obras como una inversión inicial.

Para finalizar, se destacan algunas de las conclusiones más relevantes, con lo cual se muestra que en términos generales la modernización es un proyecto con un impacto positivo en la sociedad capitalina y en el medio ambiente. Y por último, se hacen sugerencias en torno al proyecto y se indican algunos posibles temas para posteriores estudios.

Adicionalmente se realizaron cuatro anexos para complementar los temas tratados en este documento. En el anexo A hace la clasificación de los tipos de vías, de acuerdo a la norma técnica colombiana, NTC 900; en el anexo B se presenta la norma técnica ambiental 409, aplicable al proceso de modernización; en el anexo C se muestra la matriz de importancia utilizada en el estudio de impacto ambiental.

## Capítulo 1 Generalidades

En este Capítulo se presenta una serie de definiciones de los términos más empleados durante el documento y que se encuentran relacionados con la modernización del alumbrado público, también se hace una breve retrospectiva del sistema de alumbrado público de Bogotá, desde el siglo XVI hasta el presente siglo; hacia el final del Capítulo se describe en que consiste el proceso de modernización, las empresas y las instituciones gubernamentales que han participado en él, y se presenta la normativa nacional e internacional aplicable al proceso.

### 1.1 Definiciones

*Adaptación:* es la capacidad del ojo para acomodarse a diferentes niveles de iluminación[1].

*Altura de montaje:* es la distancia vertical entre la superficie por iluminar y el centro óptico de la fuente de luz de la luminaria[1].

*Arrancador:* dispositivo que por sí solo o en asocio con otros elementos genera pulsos de tensión para iniciar el proceso de encendido de las bombillas de descarga sin recalentamiento de electrodos[2].

*Balasto:* elemento usado con una bombilla de descarga eléctrica, para obtener las condiciones necesarias del circuito (tensión, corriente y forma de onda) para el encendido y operación de la bombilla[1].

*Bombilla:* término genérico para denominar una fuente de luz fabricada por el hombre. Por extensión, el término también es usado para denotar fuentes que emiten radiación en regiones del espectro adyacentes a la zona visible[2].

*Calidad ambiental:* es el mérito del ambiente para que su esencia y su estructura actual se conserven. Se mide en la unidad adecuada (física o monetaria), posteriormente se trasladan a unidades comunes o comparables, mediante una escala común de puntuación, representativa de la calidad ambiental, CA [17].

*Depreciación lumínica:* disminución gradual de emisión luminosa durante el transcurso de la vida útil del elemento considerado[1].

*Diagrama polar:* gráfica que representa en coordenadas polares la distribución de las intensidades en planos definidos. Generalmente, se representan los planos  $C = 0^\circ - 180^\circ$ ,  $C = 90^\circ - 270^\circ$  y plano de intensidad máxima[1].

*Eficacia lumínica de una fuente:* relación entre el flujo luminoso total emitido y la potencia total absorbida por la fuente. La eficacia de una fuente se expresa en lúmenes/vatio. Nota. El término eficiencia luminosa se usaba en el pasado para ilustrar este concepto[1].

*Estudio de impacto ambiental (EsIA):* es el estudio técnico, de carácter interdisciplinario, que incorporado en el procedimiento de la evaluación del impacto ambiental, esta destinado a predecir, identificar, valorar y corregir las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno[17].

*Evaluación del impacto ambiental (EIA):* es el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad, causa sobre el medio ambiente[17].

En este sentido la evaluación del impacto ambiental es un proceso que atiende dos vertientes. Por un lado establece el procedimiento jurídico-administrativo para la aprobación, modificación o rechazo de un proyecto o actividad. Por el otro trata de elaborar un análisis encaminado a predecir las alteraciones que el proyecto o actividad puede producir en la salud humana y en el medio ambiente (EsIA).

*Evaluación estratégica ambiental (EEA):* es un instrumento que tiene por objeto la evaluación de las consecuencias ambientales que determinadas políticas, planes y programas, pueden producir en el territorio, en la utilización de los recursos naturales y en definitiva, en el logro de un desarrollo sostenible y equilibrado[17].

*Factor de uniformidad de iluminancia:* medida de la variación de la iluminancia sobre un plano dado, expresada mediante alguno de los siguientes valores,  
a) Relación entre la iluminancia mínima y la máxima.  
b) Relación entre la iluminancia mínima y la promedio[1].

*Factor de uniformidad general de la luminancia:* relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio sobre la superficie de una calzada[1].

*Factor de uniformidad longitudinal de luminancia:* la medida menor de la relación entre iluminancia mínima e iluminancia máxima, sobre un eje longitudinal paralelo al eje de la vía que pasa por la posición del observador y situado en el centro de uno de los carriles de circulación[1].

*Factores ambientales:* engloba los diversos componentes del medio ambiente entre los cuales se desarrolla la vida en el planeta[17].

- a) El hombre, la flora y la fauna.
- b) El suelo, el agua, el clima y el paisaje.
- c) La interacción entre los anteriores.

*Flujo luminoso:* cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo.

*Flujo luminoso nominal:* flujo luminoso medido a las 100 horas de funcionamiento de la bombilla en las condiciones normales de utilización. Se aplica solo a bombillas de alta intensidad de descarga[1].

*Fotocontrol normalmente cerrado, normalmente abierto:* el concepto de fotocontrol de contactos normalmente cerrados (NC), consiste en que el fotocontrol enciende la bombilla durante la noche y la apaga durante el día. A su vez, el fotocontrol de contactos normalmente abiertos (NA), se asocia con el encendido de la luminaria durante el día y apagado durante la noche, hecho que requiere para invertir la condición de operación de un contactor de contactos normalmente cerrados[2].

*Iluminancia:* densidad del flujo luminoso incidente sobre una superficie. Es el cociente del flujo luminoso por el área de la superficie cuando ésta última está iluminada de manera uniforme[1].

*Impacto ambiental (IA):* cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en algunos de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales[17].

*Indicador de impacto ambiental:* elemento o concepto asociado a un factor que proporciona la medida de la magnitud del impacto, al menos en su aspecto cualitativo y también, si es posible, en el cuantitativo[17].

*Longitud de onda:* distancia en el sentido de la propagación de una onda periódica entre dos puntos sucesivos en los cuales la fase es la misma. Su unidad de medida es el metro (m)[1].

*Lumen:* unidad de medida de flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Fotométricamente, es el flujo luminoso emitido dentro de un ángulo sólido de un estereorradián por una fuente puntual que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela[1].

*Luminancia:* puede expresarse Como: 
$$L = \frac{I * \cos(\alpha)}{s}$$

De lo anterior, la luminancia en un punto de una superficie en una dirección se interpreta como el cociente entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie en un plano perpendicular a la dirección dada[2].

*Lux*: unidad de medida de iluminancia en el Sistema Internacional (SI). Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado;  $1Lux = \frac{1Lumen}{m^2}$ .

*Mantenimiento del alumbrado público*: es la revisión y reparación periódica de todos los dispositivos y redes involucrados en el servicio de alumbrado público, de tal manera que pueda garantizarse a la comunidad del municipio un servicio eficiente y eficaz[6].

*Medio ambiente*: es el entorno vital; el conjunto de factores físico-naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos, que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia[18].

*Modernización lineal*: es el cambio de tecnología de vapor de mercurio por su equivalente en producción lumínica en la tecnología de vapor de sodio a alta presión en el sistema de alumbrado público.

*Percepción*: la percepción del ojo se basa en la cantidad de luz que llega a la retina proveniente del objeto que se pretende ver. Esta cantidad de luz depende adicionalmente de la fuente que ilumina el objeto y de las capacidades reflectoras del objeto observado, por lo que en realidad, el ojo humano distingue niveles de luminancia y brillo y no niveles de iluminancia[1].

*Proyecto de infraestructura eléctrica*: es un proyecto de ampliación, modificación, mantenimiento o actualización de la infraestructura eléctrica, ya sea la generación de energía tanto en termoeléctricas como en hidroeléctricas, sistemas de transmisión o distribución de energía eléctrica, el alumbrado público y las instalaciones industriales.

*Reflector*: elemento usado para redirigir el flujo luminoso de una fuente mediante el proceso de reflexión[1].

*Refractor*: dispositivo utilizado para redireccionar el flujo luminoso de una fuente, por el proceso de la refracción, primordialmente[1].

*Sistema vial*: se estructura como una red jerarquizada de calles en forma anillar y centrípeta desde el centro metropolitano, que articula las zonas residenciales y permite su conexión con la red vial regional y nacional[2].

*Unidades de importancia ambiental (UIP)*: es un peso o índice ponderal que se le asigna a cada factor impactado ambientalmente por el proyecto analizado y que resulta de la distribución relativa de mil unidades asignadas al total de factores ambientales[17].

*Vida promedio:* de un lote de fuentes luminosas. Promedio expresado en horas, después del cual ha dejado de funcionar la mitad del mismo[1].

*Vida útil:* período de servicio efectivo de una fuente que trabaja bajo condiciones y ciclos de trabajo nominales hasta que su flujo luminoso sea el 70 % del flujo luminoso total[1].

## **1.2 Retrospectiva del S.A.P<sup>1</sup> Bogotá.**

A continuación se resumen los últimos cuatro siglos de desarrollo del sistema de alumbrado público (S.A.P) de Bogotá para entender la evolución del sistema y sus diferentes etapas tecnológicas, normativas, económicas y de incidencia social.

### **1.2.1 Siglo XVI**

Durante el desarrollo de este siglo, el sistema de alumbrado público se encontraba en una etapa “*arcaica*”; la única fuente de luz pública en horas de la noche era la luna; sin embargo, para finales de siglo el municipio cobró conciencia de la importancia y la necesidad de un sistema de alumbrado público y asume la responsabilidad en el manejo del mismo [8].

### **1.2.2 Siglo XVII**

Este periodo se vio marcado por el uso masivo de velas de sebo animal (dentro del contexto de alumbrado individual). En lo referente al sistema de alumbrado público no se lograron grandes avances técnicos, pero el consolidado conceptual que se tenía hasta el momento, permitió crear el ambiente necesario para que la clase dirigente del municipio orientara sus políticas al desarrollo del sistema de alumbrado público[8].

### **1.2.3 Siglo XVIII**

Solo hacia finales de este siglo se logró un avance significativo con respecto a los siglos anteriores, por primera vez una calle del municipio estaba provista de alumbrado público; la Calle Real, fue iluminada con lámparas de sebo animal portátiles, por tanto se toma este acontecimiento como el *primer sistema de alumbrado público* que fue posible en Bogotá. A finales de este siglo (1795) se evoluciona parcialmente hacia el uso de Mecheros de Gordana, a través del servicio de alumbrado público y sereno cuyas actividades se encontraban patrocinadas por los dueños de los almacenes[8].

### **1.2.4 Siglo XIX**

Se avanzó, principalmente, en los aspectos técnicos, soportado en un ambiente social, político y económico propicio. En el año de 1800, el municipio destina parte de sus recursos para la compra anual de 3000 velas de sebo animal para ser instaladas como faroles en algunos puntos de la ciudad. Casi medio siglo después (1842) se comienza a utilizar el farol de reverbero.

---

<sup>1</sup> Sistema de Alumbrado Público.

Este es un farol ornamental alimentado por aceite; inicialmente se importaron 100 lámparas cuya finalidad era la de reemplazar las existentes de sebo animal. Posteriormente en 1847, surgió el término *contratación* dentro del sistema de alumbrado público del distrito capital y ocurre entre el inventor Antonio Vargas Reyes y el municipio, con el ánimo de diseñar y desarrollar un sistema de alumbrado público a Gas, el cual se inauguro en 1852, saliendo rápidamente de servicio por problemas técnicos.

*En 1866 se empezó a implementar como fuente de alimentación para los faroles el Petróleo, lo cual significaba un pequeño avance de tipo técnico, ya que esto suponía mayor durabilidad del combustible y por tanto reducción de los costos del sistema de alumbrado público[8].*

*Otro hecho relevante ocurre en el año de 1872, pues se constituye la American Gas Company, de la cual el gobierno suscribiría el 20% de las acciones; cuatro años más tarde se inaugura la primera red de alumbrado público a Gas Carbónico con redes subterráneas de todo el país.*

*En el periodo comprendido entre 1878 y 1889, el sistema de alumbrado público es heterogéneo pues de el formaba parte el Sebo animal, el Gas, el Reverbero y el Petróleo como fuentes energéticas y es aquí donde se dan los primeros pasos para la consolidación de una red de alumbrado público eléctrico, además se consolida la primera gran empresa del sector, the Bogotá Electric Light Co. incorporada a la legislatura de Albany con un capital de \$100.000 con operaciones en Bogotá y sede principal en Nueva York.*

*El 7 de Diciembre de 1889 se inauguró el servicio de alumbrado público eléctrico a cargo de la firma Ospina y Espinosa Guzmán, contratados por el gobierno nacional. Este sistema consistía en 90 lámparas de alta intensidad con generadores movidos por calderas de Carbón, aunque evidencio problemas técnicos su principal desventaja consistía en que el carbón mineral era caro, escaso y de baja calidad[8].*

*Entre los años 1892–1893, se presentaron disturbios populares, orientados por el movimiento de los artesanos ya que los ciudadanos se mostraron renuentes a cancelar el servicio de alumbrado público y la mayoría solicitaban el servicio gratuito.*

### **1.2.5 Siglo XX**

En este periodo se alcanzaron valiosos avances en aspectos tales como: Infraestructura, normatividad, regulación jurídica, tarificación, eficiencia, ahorro energético, desarrollo sostenible y medio ambiente.

*En el año 1900 se inauguro el servicio de alumbrado con energía eléctrica de Bogotá, de la firma de los hermanos Samper Brush, el cual daba menor cantidad de inconvenientes técnicos y en 1906, la compañía de energía de Bogotá asumió el préstamo del servicio del alumbrado público, convirtiéndose posteriormente en una de las funciones de La Empresa de energía de Bogotá, EEB.ESP[8].*

*Posteriormente en 1908, se implementan luminarias con tecnología de tungsteno lo que para la época suponía la tecnología de punta y por tanto un sistema de alumbrado público “moderno”. El 24 de Noviembre de 1913 se reglamento por primera vez la prestación del servicio de alumbrado público, es quizás la primera aproximación al marco jurídico establecido actualmente para efectos del alumbrado público, ya que a través de la ley 97 este queda ordenado como un servicio municipal, donde es el municipio el facultado para establecer el monto de los impuestos correspondientes, la recaudación de los mismos y además destinarlos como mas creía conveniente. Y un año después en 1914 el municipio normaliza el cobro de impuestos a la Compañía de Energía de Bogotá la cual estaba exenta de los mismos desde 1895[8].*

*En 1918 se registra el primer apagón de la historia del sistema de alumbrado público.*

*Para el año 1927 el sistema de alumbrado público se encuentra establecido técnica, jurídica y socialmente. El municipio adquiere el 100% de los activos y derechos de la Compañía Nacional de Electricidad y el 50,42% de las acciones de la Compañía de energía eléctrica S.A[8].*

*En el siguiente periodo se da un avance prominente en el sistema de alumbrado público, puesto que se empieza a utilizar la tecnología de mercurio y la tecnología de sodio; se destinan recursos al mejoramiento del alumbrado público, se empiezan los adelantos del Código Colombiano de Alumbrado público que posteriormente sería ratificado y oficializado y se establecen nuevas estructuras tarifarias para el sostenimiento y desarrollo del sistema.*

*Para el mes de agosto de 1955 el municipio implementa e inaugura el sistema de alumbrado público haciendo uso de la *tecnología de mercurio*.*

*En busca del mejoramiento del sistema de alumbrado público, según el acuerdo 60 del Concejo de Bogotá, del 1º de junio de 1959, en la resolución 13/81 se aprueba un contrato entre el distrito especial y la Empresa de Energía de Bogotá ESP. por medio del cual este destinará el 10% de las utilidades líquidas de la empresa al mejoramiento del alumbrado público del distrito.*

En 1968 se implementa por primera vez en el distrito, en la avenida 68, iluminación viaria con *tecnología de Sodio* y el 27 de Noviembre de 1974, el consejo directivo del Icontec ratifica la norma NTC 900, "*Código Colombiano de Alumbrado Público*"; Un año después, el 25 de Julio, la Superintendencia de Industria y Comercio oficializa el código[8].

10 años después, el 21 de Octubre de 1984 el Ministerio de Minas y Energía da aprobación al Decreto 2545 estableciendo una nueva estructura tarifaria para el sector eléctrico y quedó establecido, lo siguiente:

"Artículo 2.- La expansión del sector eléctrico, su administración, mantenimiento y operación serán financiados preferencialmente mediante el cobro de tarifas y la obtención de créditos".

El desarrollo de la última década del siglo XX forma parte de la historia reciente del sistema de alumbrado público. A continuación se enuncia todo el marco normativo que estableció la Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, con el ánimo de garantizar un mejor servicio de alumbrado público, y se enuncian las modificaciones que se hicieron a la normativa existente con el fin de promover el uso de fuentes más eficientes de iluminación y la aplicación de normas técnicas en el diseño y construcción del sistema de alumbrado público.

A través de la nueva constitución política de Colombia, aprobada el 7 de julio de 1991, se ratificó la responsabilidad de los municipios en la prestación de los servicios públicos incluyendo el servicio de alumbrado.

Durante el curso del año 1994 se modificaron las normativas relacionadas con la iluminación de espacios públicos y vías principales procurando la utilización de fuentes luminosas más eficientes principalmente el sodio.

Además se expidieron las primeras resoluciones por parte de la CREG relacionadas con el tema de alumbrado público y las empresas de energía.

En *enero de este año* se modificó la normativa existente para la iluminación de espacios públicos nuevos; en julio las modificaciones hechas por el distrito capital por medio de la Empresa de Energía de Bogotá, exigía que para la iluminación de vías y espacios públicos nuevos, *solo se usara* como fuente de iluminación el *sodio a alta presión* en todas las áreas.

El 27 de mayo la CREG modificó la resolución N° 148 de 1987 de la junta nacional de tarifas de servicios públicos, en particular se referían al artículo 17 literal A, que establecía el factor de utilización para determinar el consumo de los usuarios que nunca han contado con equipo de medición para los mismos.

El *11 de julio* se aprueban las leyes 142, de servicios públicos, y 143, ley eléctrica, que obligan a estructurar las empresas del sector eléctrico, para facilitar la competencia en el mercado y propiciar la vinculación del capital privado y el *12 de septiembre*: La empresa de Energía de Bogotá, saca a la venta el manual de alumbrado público; por otra parte en 1995 se prohíbe en los Estados Unidos de Norteamérica la fabricación de bombillas de mercurio para el consumo local, debido, principalmente, al envenenamiento que sobre el

Medio ambiente producen los desechos de esta bombillería cuando son manejados irresponsablemente. El *23 de octubre* la CREG expidió la Resolución 043 "Por el cual se regula de manera general el suministro y el cobro que efectúen las empresas de servicios públicos domiciliarios a municipios por el servicio de energía eléctrica que se destine para el alumbrado público".

*24 de junio de 1996* la CREG modificó la resolución 043, "mediante la cual se amplía el plazo para dar aplicación a lo dispuesto por la resolución CREG 043-95 relacionada con el servicio de alumbrado público y para que pueda ajustarse la carga instalada en luminarias, cuando parte de estas se encuentran fuera de uso."

El *15 de octubre del mismo año* la CREG expidió la resolución 089, "mediante la cual se ha considerado posible establecer un régimen de tarifas de libre negociación entre las empresas distribuidoras y comercializadoras, los municipios y distritos que adquieran energía eléctrica con destino al alumbrado público".

Es de principal interés para la CREG asegurar el suministro de energía eléctrica para el servicio de alumbrado público, el mantenimiento del sistema y la expansión del mismo. Por este motivo, el *4 de abril de 1997* la CREG expidió la resolución 076, teniendo en cuenta que: "Existen municipios que no han suscrito contratos, convenios o acuerdos con empresas distribuidoras y comercializadoras de energía eléctrica para el suministro de energía con destino al alumbrado público". Posteriormente el *20 de abril*: la EEB S.A. ESP, suscribió con el Distrito Capital un convenio ínter administrativo mediante el cual se garantizaba el suministro de energía para el servicio de alumbrado público, así como su mantenimiento y expansión. Dicho convenio establece los términos y procedimiento que se aplicarían en 1997 y los años subsiguientes.

Durante 1998 se logró un avance relevante en el control, planeación y supervisión de la prestación del servicio de alumbrado público en la jurisdicción del Distrito Capital, a través de la UESP; además se logró establecer por medio de la resolución 070 de la CREG, las características técnicas de la prestación del servicio de alumbrado público.

El 8 de abril según el decreto distrital N° 399 se le asignó a la UESP la responsabilidad de planear, coordinar, supervisar y controlar la prestación del servicio de alumbrado público dentro del perímetro urbano y el área rural comprendida en la jurisdicción del distrito capital.

El 28 de mayo la CREG expidió la resolución 070, en la cual se estableció que se deberían cumplir "la norma NTC 900 o aquella que la reemplace o modifique o en su defecto con una cualquiera de las siguientes normas internacionales: CIE 115, CIE 30-2 (TC-42); IES RP-8, IES LM-50" [8].

Finalmente el 22 de julio de 1998 el Consejo del ICONTEC ratificó la primera actualización de la Norma NTC 900: Reglas generales y especificaciones para el alumbrado público.

### 1.2.6 Siglo XXI

El desarrollo de los últimos cuatro años del sistema de alumbrado público son el resultado de una constante "*Renovación*"; Como se vió antes se hicieron ajustes graduales para lograr que técnica, social, política y normativamente se creara el escenario propicio y se obtuviera un sistema de Alumbrado Público de calidad, con seguridad y acorde a las necesidades de los usuarios.

El 25 de enero de 2002 se firmó un acuerdo entre el Distrito Capital por medio de la UESP y Codensa S.A. ESP con el objeto de establecer la metodología para calcular la remuneración del prestador del servicio de alumbrado público de Bogotá; convenir la forma de pago y la ejecución de otras actividades tendientes al mejoramiento de la calidad del servicio, entre ellas *la modernización del sistema de alumbrado público de la ciudad*, cuyo principal objetivo planteado fue el uso racional de la energía eléctrica.

En el año 2003 Codensa S.A. ESP empezó la planeación estratégica para el desarrollo de la modernización del sistema de alumbrado público, desarrollando el proyecto de georeferenciación del sistema, y la rotulación de las luminarias que lo componen.

El 9 de mayo de este año se dió el primer debate del proyecto de acuerdo 050 de 2003 en el Concejo de Bogotá: "Por el cual se establece la tasa de alumbrado público para el distrito capital de Bogotá".

Finalmente, el 10 de febrero del año 2004 el gerente general de la UESP, en cumplimiento del decreto 500 de 2003, resuelve la adopción del manual único de alumbrado público, para la ciudad y en julio se comenzó la ejecución de las obras de modernización del sistema de alumbrado público, con un plazo máximo para su ejecución de tres años de acuerdo a lo previsto en la planeación hecha por Codensa S.A. ESP.

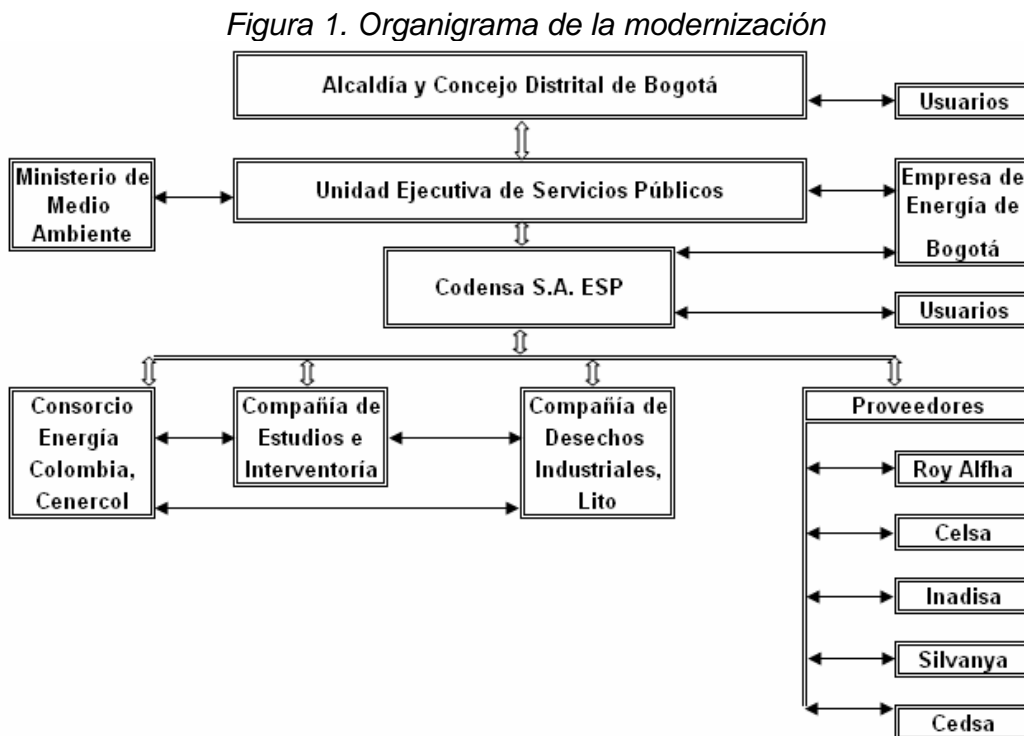
### 1.3 Esquema general de la modernización

La modernización del sistema de alumbrado público de Bogotá se planteó en el año 2002, como resultado del progreso que en materia de alumbrado público ha presentado la ciudad y acorde al proceso de modernización urbanístico de la capital.

Durante el año 2003 se realizó la planeación de la modernización, en ella se contempló todo lo relacionado al tiempo de ejecución de las obras, la normativa de referencia, las instituciones implicadas en el proceso, se realizó el estudio económico-financiero del proyecto, así como la definición de los proveedores y las fechas y métodos para la adquisición de materiales; se establecieron, además, los métodos de control y los parámetros de calidad de las obras a entregar.

Una vez definido el proceso de modernización, en el mes de agosto del año 2004, se empezó la ejecución de las obras en las diferentes localidades de la ciudad, empezando por la localidad de Santa Fe.

En la figura 1 se muestran las diferentes empresas y los organismos gubernamentales que se encuentran relacionados con el proceso de modernización, así como la interrelación entre ellos.



A continuación se describen las funciones básicas de cada una de estas instituciones y la importancia que tienen dentro de proceso.

*Alcaldía Mayor de Bogotá:* junto a la gobernación de Cundinamarca son el ente gubernamental mas importante dentro del proceso, actualmente es quien asume el costo de la facturación por concepto de alumbrado público. Además, dentro del proceso de modernización ejerce control sobre la ejecución de obras.

*Concejo Distrital:* este es el ente de máxima autoridad en materia administrativa, ejerce el control político a la administración distrital y expide normas para promover el desarrollo integral de la ciudad y sus habitantes; actualmente en el se debate un proyecto de acuerdo que busca trasladar el cobro del alumbrado público a los usuarios.

*Usuario:* para efectos de la modernización del AP, se define usuario como: aquella persona que hace uso de la iluminación de las vías públicas, parques públicos y demás espacios de libre circulación que no se encuentran a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, diferente del municipio; por vías públicas se entienden los senderos peatonales y públicos, calles y avenidas de tránsito vehicular.

*Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos, UESP:* creada en noviembre de 1994, tiene por objeto la planeación, coordinación, supervisión y control de la prestación de los servicios públicos incluyendo el alumbrado público del Distrito Capital.

*Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial:* es el ente gubernamental encargado de velar por el correcto manejo ambiental de los diferentes residuos generados por la modernización.

*Comercializadora y Distribuidora de Energía, Codensa S.A. ESP:* desde el 23 de octubre de 1997, es responsable de la distribución y comercialización de energía en el departamento de Cundinamarca.

Mediante la formalización de un convenio integral de servicio de alumbrado público en Bogotá y en los municipios donde Codensa S.A. ESP es operador de red, el área de alumbrado público de la empresa desarrolla un conjunto de actividades, incluyendo la modernización del sistema, para satisfacer las necesidades de la comunidad, municipios y distrito capital.

*Empresa de Energía de Bogotá:* es la empresa encargada de la transmisión de energía para la capital.

*Consorcio Energía Colombia, Cenercol S.A.:* es una empresa prestadora de servicios, y en este caso proporciona la mano de obra para la ejecución de las obras de modernización, así como la Instalación de luminarias de sodio y la expansión del sistema, el retiro de luminarias de mercurio, el mantenimiento correctivo del sistema de alumbrado público y la revisión nocturna del sistema.

*Proveedores:* Cedsa, Celsa, Roy Alfha, Silvanya e Inadisa son entre otras las principales empresas proveedoras del material necesario para las obras de modernización.

*Compañía de Estudios e Interventoría, CEI:* es la encargada de hacer la interventoría de obra dentro del proyecto de modernización; Disponen de personal en cada una de las actividades de planeación, ejecución, administración de información y revisión de las obras ejecutadas por Cenercol S.A.

*Compañía Recicladora de Desechos Industriales, Lito:* es la responsable del manejo correcto de los desechos generados por la modernización de acuerdo a la normatividad nacional e internacional aplicable.

#### **1.4 Normatividad relacionada**

La normatividad directamente relacionada y aplicable al proceso de modernización es:

- ✚ Manual único de alumbrado público. (MUAP)
- ✚ Comisión electrotécnica internacional, IEC 140: norma que trata los aspectos técnicos del alumbrado, diseño, montaje e implementación, así como los fundamentos físicos del mismo.
- ✚ Normas técnicas ambientales, NTA. 409 y 405: normas que tratan de la correcta manipulación y disposición del mercurio.
- ✚ Plan de gestión de Codensa S.A. ESP. y Cenercol S.A.

## **Capítulo 2**

### **Aspectos técnicos**

El presente capítulo recopila los principales aspectos técnicos de la modernización; se hace un análisis detallado del impacto que presenta el cambio de tecnología, abordando el tema desde diferentes ópticas: implicaciones eléctricas, implicaciones de tipo mecánico, luminotecnia y mantenimiento.

En el numeral 2.1 se hace una descripción precisa de la bombillería, las luminarias y los sistemas de control del alumbrado, antes y después de la modernización, con lo cual se permite conocer a fondo los elementos usados y de esta forma explorar las ventajas y desventajas de su uso. Posteriormente, en el numeral 2.2, se presentan los resultados obtenidos de las medidas luminotécnicas efectuadas en campo para una vía tipo V9<sup>2</sup> de la ciudad de Bogotá, con lo cual se pretende mostrar el impacto de la modernización en los niveles de iluminación del sistema.

Como un estudio adicional, en el numeral 2.3, se muestra la caracterización armónica de los conjuntos eléctricos: Bombilla, balasto, arrancador y fotocontrol, para potencias de 70, 150 y 250 W. Se concluye el Capítulo con el numeral 2.4, el cual recoge los principales aspectos del mantenimiento del sistema de alumbrado público una vez se efectúan las obras de modernización.

#### **2.1 Especificaciones técnicas de los equipos utilizados en la modernización**

A continuación se enuncian las características técnicas más importantes de los elementos utilizados en la modernización: bombillas, luminarias, y fotocontroles y se realiza un análisis comparativo.

##### **2.1.1 Bombillas**

###### *Bombillas con tecnología de vapor de mercurio*

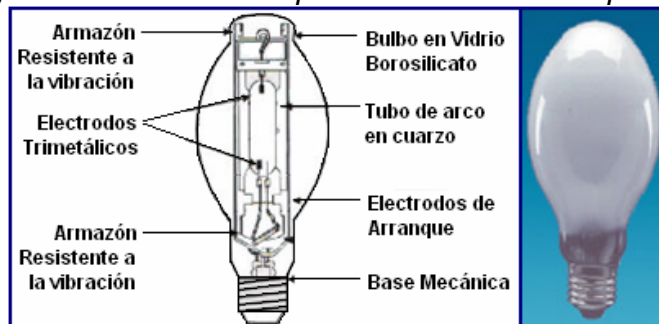
En la figura 2 se aprecia que la bombilla de vapor de mercurio está conformada por dos bulbos, uno exterior hecho de vidrio Borosilicato y otro interior que se denomina tubo de arco o tubo de descarga fabricado en cuarzo.

El bulbo exterior llenado comúnmente con nitrógeno, sirve para proteger el tubo de arco contra el deterioro y la corrosión de la parte metálica; también regula la temperatura de funcionamiento del tubo de arco y, generalmente, tiene un recubrimiento interior de material fluorescente, el cual se activa por la radiación ultravioleta del arco de mercurio, emitiendo radiaciones rojas que se suman a las del espectro del mercurio corrigiendo el color de la luz emitida.

---

<sup>2</sup> Ver anexo A.

Figura 2. Bombilla de vapor de mercurio a alta presión.



Fuente: MUAP.

El tubo de arco contiene los electrodos, el mercurio puro y una pequeña cantidad de gas argón; en el se produce un espectro discreto con rayos de emisión dentro de la banda visible, con longitudes de onda de amarillo, azul y verde, con ausencia de radiación roja y emite una parte importante de su energía en la región ultravioleta<sup>3</sup> [13].

La tabla 1 muestra las características de las bombillas de vapor de mercurio a alta presión para las potencias típicas: 125, 250 y 400 W y una tensión nominal de 208 V.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de las bombillas de vapor de mercurio.

Características técnicas	125 W			250 W			400 W		
	Obj.	Mín.	Máx.	Obj.	Mín.	Máx.	Obj.	Mín.	Máx.
Tensión de encendido [V]			180			180			180
Corriente de calentamiento [A]	1,04			1,94			2,9		
Tensión de calentamiento [V]		93			98			102	
Duración de calentamiento [minutos]			12			12			12
Tensión mínima de operación estable [V]		198			198			198	
Potencia de la bombilla [W]	125		132	250		263	400		420
Tensión en los bornes de la bombilla [V]	125	110	140	130	115	145	135	120	150
Corriente absorbida por la bombilla [A]	1,15			2,13			3,3		
Casquillo	E27			E40 o Mongul					
Forma del bulbo	Elipsoidal								
Acabado del bulbo	Recubrimiento fosforado								
Flujo luminoso 100 horas [Lum]	> 6 300			>12 700			> 22 000		
Vida promedio [Horas]	24 000								

Fuente: MUAP.

<sup>3</sup> Aspecto analizado en detalle en el Capítulo 3.

*Depreciación de bombillas de vapor de mercurio.* La emisión lumínica de las bombillas de vapor de mercurio, disminuye gradualmente en el transcurso de sus horas de vida, principalmente como resultado del depósito de materiales de emisión de los electrodos, en las paredes del tubo de arco.

En las primeras horas de funcionamiento esta reducción es superior a la que aparece luego hasta el final de la vida de la bombilla y por ello, el flujo luminoso nominal debe corresponder al obtenido a las 100 horas de funcionamiento.

La producción luminosa de la bombilla de vapor de mercurio, no se afecta notablemente por los cambios en la temperatura ambiente, debido a que el bulbo exterior actúa como aislamiento térmico para el tubo de arco.

La operación a sobretensión aumenta la emisión luminosa, sin embargo, los electrodos del tubo de arco están sometidos a temperaturas excesivas, que generan una disminución en el mantenimiento de lúmenes y acortando la vida de la bombilla.

#### *Bombillas con tecnología de vapor de sodio a alta presión*

En la figura 3 se muestra la bombilla de vapor de sodio a alta presión, en esta se aprecia que a diferencia de las bombillas de vapor de mercurio, mostrada en la figura 2, las bombillas de vapor de sodio a alta presión no poseen un electrodo de arranque, sino que necesitan de un circuito electrónico especial que produce un pulso de alta tensión y permite el arranque.

Estas bombillas además de sodio, que es el principal elemento radiante, poseen también mercurio para ayudar a controlar el color y la tensión, y gas xenón que facilita el arranque.

*Figura 3. Bombilla de vapor de sodio a alta presión*



*Fuente: MUAP.*

En la tabla 2 se muestran las especificaciones técnicas de las bombillas de vapor de sodio a alta presión para diferentes potencias: 70, 150 y 250 W (las más utilizadas en la modernización), y tensión nominal 208 V.

*Tabla 2. Características técnicas de las bombillas de vapor de Sodio a alta presión.*

Características técnicas									
Potencia nominal [W]	70			150			250		
	obj.	máx.	mín.	obj.	máx.	mín.	obj.	máx.	mín.
Tensión en los terminales de la bombilla [Vr.m.s]	90	105	75	100	115	85	100	115	85
Tensión de extinción de la Bombilla [Vr.m.s]	105			116			120		
Corriente de la Bombilla [A]	0,98			1,8			2,2		
Bulbo (Forma/Tipo)	Tubular /Claro								
Posición operación	Universal								
Base o casquillo	E-27			E-40 o Mongul					
Tensión de ensayo para estabilización, [V]	198								
Correlación de la temperatura del color [K]	2 100								
Coordenadas de la cromaticidad x / y	0,519 / 0,4180								
Índice del rendimiento del color	21 – Clase 4								
Eficacia mínima [Lum/W]	92,86			110			128		
Luminancia promedio [Cd/m <sup>2</sup> ]	>300			>300			>350		
Flujo luminoso 100 horas [lum]	>6 500			>16 500			>32000		
Vida promedio [Horas]	24 000								

*Fuente: MUAP.*

Aunque no se especifica en las tablas 1 y 2, el tiempo de encendido completo de la bombilla de vapor de sodio es de 3 a 4 minutos, un poco menos que las bombillas de vapor de mercurio y a diferencia de lo que sucede en las bombillas de vapor de mercurio, cuando una bombilla de sodio se desenergiza momentáneamente, ésta puede reencender en caliente después de aproximadamente un minuto.

*Depreciación de bombillas de vapor de sodio a alta presión.* El tiempo de encendido por arranque, afecta la vida útil de la bombilla de sodio a alta presión, al igual que un excesivo incremento en la tensión al que se somete la bombilla, causaría una reducción en la vida útil.

#### *Eficacia luminosa de las bombillas*

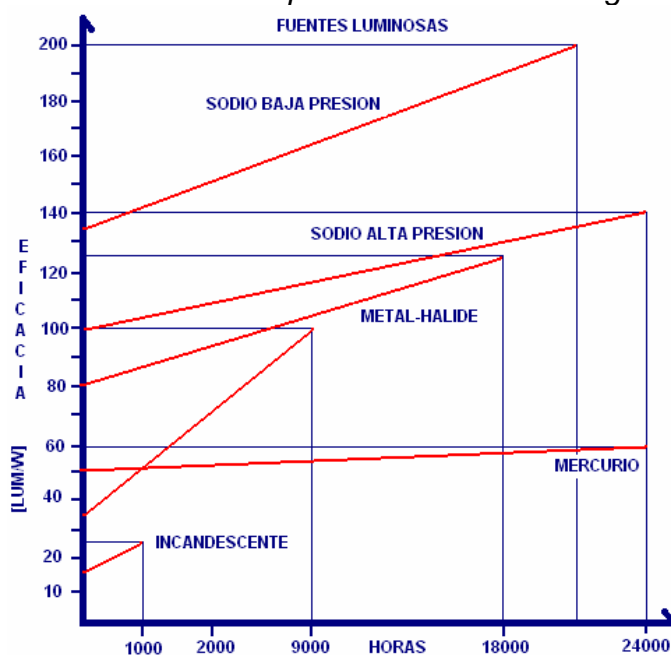
A continuación, en la tabla 3, se presentan algunos rangos de eficacia para las diferentes tecnologías desarrolladas hasta el momento.

Tabla 3. Eficacias para diferentes tecnologías.

TIPO	[Lum / W]
Incandescente	15 a 23
Incandescente-Halógeno	20 a 25
Fluorescente	35 a 100
Fluorescente compacta	35 a 100
Mercurio alta presión	50 a 60
Metal-Halide	80 a 125
Sodio alta presión	100 a 140
Sodio baja presión	135 a 200

Fuente: MUAP

Gráfica 4 Eficacias para diferentes tecnologías.



Fuente: MUAP.

Como se muestra en la figura 4 el vapor de sodio a alta presión es el 60% más eficiente que la tecnología de vapor de mercurio (aunque depende del nivel de potencia). Estos resultados son tenidos en cuenta en el capítulo 3 para hacer los estudios de URE<sup>4</sup> y en el capítulo 4, para hacer las proyecciones económicas de la modernización.

<sup>4</sup> Uso Racional de la Energía.

## 2.1.2 Luminarias

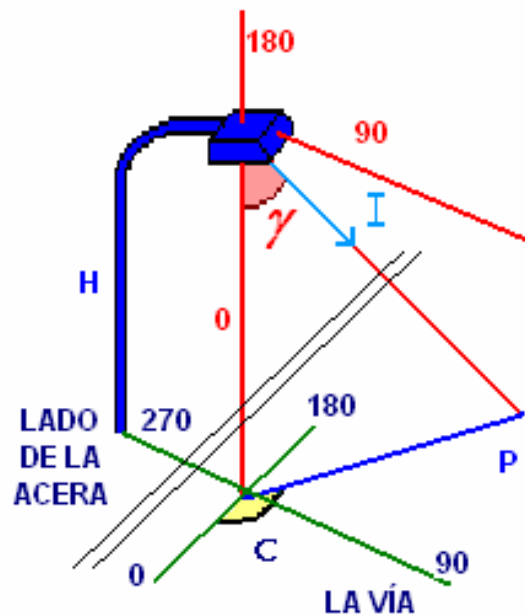
La caracterización técnica de las luminarias se hace por medio de la definición de sus parámetros fotométricos y de la determinación de sus propiedades mecánicas. Para comprender el significado de estos parámetros se requiere del conocimiento de los siguientes conceptos: diagrama polar, grado de hermeticidad y protección mecánica de la luminaria.

*Diagrama polar.* El diagrama polar permite conocer la distribución de la luz que hace la luminaria empleando tres coordenadas como se muestra en la figura 5.

La primera de ellas es la magnitud de la intensidad luminosa,  $I$ , cuyas unidades son las candelas [Cd], e indica la magnitud del vector, las otras dos coordenadas corresponden a los ángulos  $C$  y  $\gamma$ , los cuales indican la dirección del vector en el espacio.

El ángulo  $C$ , determina el plano vertical y el ángulo  $\gamma$ , mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria.

Figura 5. Coordenadas de un diagrama polar de intensidad luminosa



Fuente: MUAP.

Si se representan en el espacio todos los vectores de la intensidad luminosa es posible obtener un cuerpo llamado sólido fotométrico, al cual, si se le realizan cortes con planos verticales, para diferentes valores de  $C$  se obtiene el diagrama polar.

En un diagrama polar los radios representan el ángulo  $\gamma$  y las circunferencias concéntricas el valor de la intensidad en candelas. De todos los planos verticales posibles identificados por el ángulo  $C$ , solo se representan los planos verticales correspondientes a los planos de simetría y los transversales a estos ( $C = 0^\circ$  y  $C = 90^\circ$ ) y el de máxima intensidad [1].

Los diagramas polares se normalizan para una bombilla de referencia de 1000 [Lm], con el fin de evitar realizar un gráfico diferente para bombillas de diferente potencia; de ésta manera si se desean conocer los valores reales de las intensidades basta con multiplicar el flujo luminoso real de la bombilla por la lectura en el gráfico y dividirlo por 1000 [Lm], de acuerdo a la ecuación 1.

$$I_{REAL} = \Phi_{Bombilla} \times \frac{I_{Diagrama}}{1000} \text{ [Cd]} \quad (1)$$

Su principal utilización se da al momento de establecer la clasificación de las luminarias con relación al control que tengan sobre las componentes de la luminaria que contribuyen a efectos deslumbrantes.

*Grado de hermeticidad y protección mecánica de las luminarias.* Las luminarias deben cumplir con un grado de hermeticidad específico, para el conjunto eléctrico y otro para el conjunto óptico el cual debe estar de acuerdo al uso y a las condiciones medio ambientales a las que se encuentra sometida en su funcionamiento.

La clasificación para indicar el grado de protección consiste en las letras de denominación IP<sup>5</sup>, seguidas de dos dígitos (números característicos), que indican la conformidad con las condiciones establecidas en las recomendaciones de la norma IEC 60529 y 60598 y las letras de denominación IK, seguidas de dos dígitos (números característicos) que indican la conformidad con las condiciones establecidas en las normas EN-50102, como se indica en la tabla 4.

*Los códigos IP.* Se establecen con dos dígitos: el primero indica la protección del equipo contra la entrada de cuerpos extraños sólidos y comprende siete grados, desde el grado 0: sin protección, hasta el grado 6: totalmente protegido contra polvo; el segundo dígito indica la protección del equipo dentro de la cubierta contra la entrada de agua y comprende nueve grados, desde el grado 0: sin protección, hasta el grado 8: protegido contra los efectos prolongados de inmersión bajo presión<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Índice de protección

<sup>6</sup> Las luminarias clasificadas como “. . . a prueba de agua. . .”, no necesariamente son aptas para operación bajo agua. En tales casos, debe usarse las luminarias clasificadas “. . . a prueba de agua bajo presión. . .”

El índice IK. Corresponde al grado de protección mecánica del cuerpo de la luminaria y/o el refractor o cubierta contra choques de cuerpos sólidos. Comprende once grados, que van desde el grado 00: sin protección, hasta el grado 10: Energía de choque 20,0 J. (5 kg a una distancia de 40 cm)[1].

Tabla 4. Descripción de los grados de hermeticidad y de protección contra el impacto de la luminarias.

<b>GRADOS DE HERMETICIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA EL IMPACTO</b>					
<b>GRADO IP</b>				<b>ÍNDICE IK</b>	
<b>Protección contra cuerpos sólidos (Primera cifra)</b>		<b>Protección contra Líquidos (segunda cifra)</b>		<b>Protección contra el impacto, Energía de Impacto [J]</b>	
<b>0</b>	Sin protección	<b>0</b>	Sin protección	<b>0</b>	No protegido
<b>1</b>	50 mm (Contactos involuntarios)	<b>1</b>	Caída vertical de gotas de agua	<b>1</b>	0,15
				<b>2</b>	0,20
<b>2</b>	12 mm (Contactos involuntarios)	<b>2</b>	Caída de agua hasta 15° de la vertical	<b>2</b>	0,20
				<b>3</b>	0,35
<b>3</b>	2,5 mm (Herramientas cables)	<b>3</b>	Agua lluvia hasta 60° de la vertical	<b>3</b>	0,35
				<b>4</b>	0,50
<b>4</b>	1 mm (herramientas finas -cables)	<b>4</b>	Proyección de agua en todas las direcciones	<b>4</b>	0,50
				<b>5</b>	0,70
<b>5</b>	Protegido contra polvo	<b>5</b>	Lanzamiento de agua en todas las direcciones	<b>5</b>	0,70
				<b>6</b>	1,00
<b>6</b>	Totalmente protegido contra polvo	<b>6</b>	Lanzamiento de agua similar a los golpes de mar	<b>6</b>	1,00
				<b>7</b>	2,00
<b>7</b>		<b>7</b>	Inmersión	<b>7</b>	2,00
				<b>8</b>	5,00
<b>8</b>		<b>8</b>	Efectos prolongados de inmersión bajo presión	<b>8</b>	5,00
				<b>9</b>	10,00
<b>9</b>		<b>9</b>		<b>9</b>	10,00
				<b>10</b>	20,00

Fuente: MUAP.

Como se mencionó anteriormente, al asignar el código IP de una luminaria, se deben tener en cuenta las condiciones ambientales del sector o zona donde va a prestar el servicio, exceptuando las luminarias que por su diseño mismo tienen un trabajo específico, como las utilizadas en túneles, canteras, minas, etc., para las cuales las condiciones ambientales son extremas.

### *Luminarias con tecnología de vapor de mercurio*

Las luminarias que componen el sistema de alumbrado público de Bogotá y que hacen uso de la tecnología del vapor de mercurio son: RA-P, CJK y HQ-M de Roy Alfha, sin embargo no se cuenta con un registro concreto de las características fotométricas, eléctricas ni mecánicas de las dos últimas; a continuación se hace la descripción general de la luminaria RA-P.

#### *Luminaria RA-P cuadrada de Roy Alfha*

La figura 6 muestra el aspecto exterior de la luminaria RA-P cuadrada de Roy Alfha, la cual se usa ampliamente para la iluminación de exteriores y equipamiento de zonas urbanas.

*Figura 6. Luminaria RA-P cuadrada de Roy Alfha.*



*Fuente: Roy Alfha.*

Esta luminaria es fabricada en aluminio laminado, con pantalla de reflexión en aluminio anodizada de alta reflectancia y reparto asimétrico. Cerrada con vidrio de seguridad resistente a los choques térmicos y mecánicos apta para montaje en poste o en fachada[10].

En la tabla 5 se recopilan las características eléctricas, fotométricas y físicas de la luminaria RAP de Roy Alfha.

Tabla 5 Características de la luminaria RA-P de Roy Alfha.

Características					
Eléctricas		Fotométricas		Físicas	
Potencia [W]	125, 250	Iluminancia [Lux]	13000	Longitud [mm]	417
Tipo	Reactor	IP	54 Protegido contra el polvo y el agua o líquidos	Ancho [mm]	417
Aislamiento	1			Alto [mm]	170
Tensión [V]	240 <sup>7</sup>			Peso [Kg.]	9,6
Base	E 39				
Lámpara	1 QE				

Fuente Roy Alfha.

En la tabla 5 se muestra que el grado de hermeticidad de la luminaria RA-P es apto para el ambiente de la ciudad de Bogotá, considerando los niveles de polvo en el ambiente y las variaciones del clima que se presentan a diario.

#### Luminarias con tecnología de sodio a alta presión.

Durante el inicio de las actividades de modernización del S.A.P., en Bogotá, se instalaron cerca de 15000 luminarias de referencia Venus y Orión de la casa matriz Celsa, posteriormente se instalaron cerca de 45000 luminarias Calima 1 y Calima 2 de Roy Alfha; a continuación se hace la descripción detallada de las características constructivas, luminotecnias y físicas de estas 4 referencias de luminarias.

*Luminaria Calima 1.* La luminaria Calima 1 es una luminaria horizontal cerrada, de reparto lumínico asimétrico.

Figura 7. Luminaria Calima 1 de Roy Alfha.



Fuente: Roy Alfha.

<sup>7</sup> La tensión de operación es de 208 V.

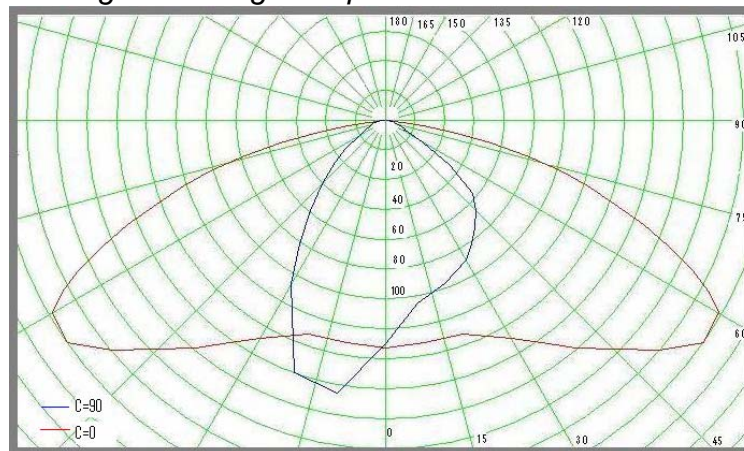
Las principales características constructivas de esta luminaria (ver figura 7) son:

- ✚ Semi – carcasa inferior en aluminio inyectado.
- ✚ semi–carcasa superior en aluminio embutido.
- ✚ Acabado exterior con pintura poliésterica aplicada electrostáticamente.
- ✚ Reflector en aluminio embutido, con brillo y anodizado químico.
- ✚ Refractor en vidrio curvo templado, resistente a choques térmicos y mecánicos.
- ✚ Elementos eléctricos incorporados en bandeja portaequipo, fabricada en lámina de acero con tratamiento galvanico.
- ✚ Cazoleta – Portalámpara conformada por dos piezas en inyección de aluminio de accionamiento manual.
- ✚ Abrazadera de sujeción en acero galvanizado y herrajes en acero inoxidable.

Para realizar el montaje de la luminaria se requiere de un brazo soporte con diámetro de  $\frac{3}{4}$ " a 2". Además, posee un sistema de inclinación con respecto a la horizontal, escalonada de  $0^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  con pasos de  $5^{\circ}$ , sin necesidad de variar la inclinación del brazo[10].

*Características fotométricas.* La figura 8 muestra el diagrama polar de la luminaria Calima 1, para una bombilla de 70 W, para ángulos C, de  $0^{\circ}$  (roja) y  $90^{\circ}$  (azul).

Figura 8. Diagrama polar luminaria Calima 1<sup>8</sup>



Fuente: Roy Alpha.

La luminaria Calima 1, cuenta con un IP (Óptico) de 66. Es decir, es hermética al polvo y esta protegida contra oleadas fuertes.

*Características físicas.* La tabla 6 y la figura 9 muestran las dimensiones y el peso de la luminaria, no se incluye en brazo de la luminaria ni el peso del fotocontrol requerido para su operación<sup>9</sup>.

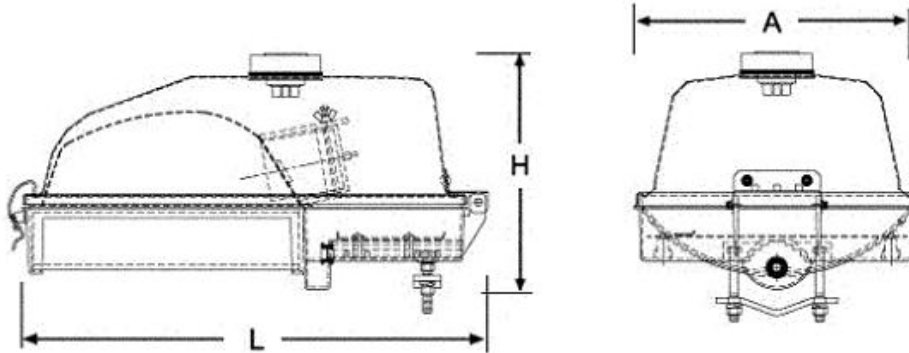
<sup>8</sup> En la modernización esta luminaria se utiliza con bombilla de 70W.

<sup>9</sup> Ver numeral 2.1.3

Tabla 6. Características físicas de la luminaria Calima 1.

Dimensiones [mm]		
Longitud (L)	Ancho (A)	Altura (H)
470	262	210
Peso [Kg]		
5 - 7,5		

Figura 9. Vistas lateral y posterior de la luminaria calima 1.



Fuente: Roy Alpha.

Luminaria Calima 2. Al igual que la luminaria descrita anteriormente, la Luminaria Calima 2 es horizontal cerrada, de reparto lumínico asimétrico y permite diferentes grados de alcance y dispersión. La figura 10 muestra el aspecto exterior de esta luminaria.

Figura 10. Luminaria Calima 2 de Roy Alpha.



Fuente: Roy Alpha.

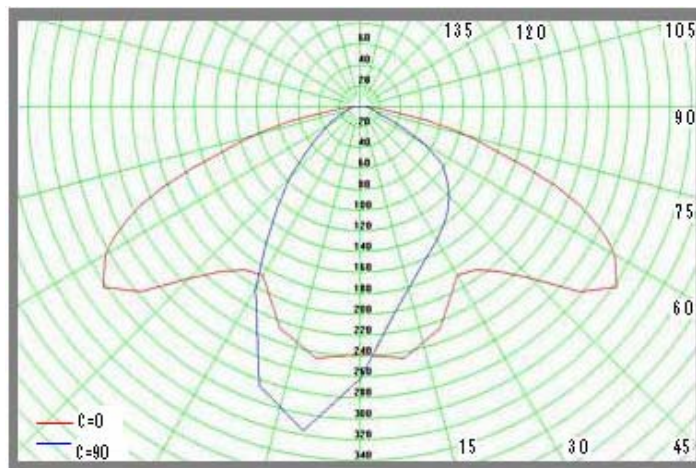
Las principales características constructivas de esta luminaria son:

- ✚ Semi-carcaza inferior en aluminio inyectado.
- ✚ Semi-carcaza superior en aluminio embutido.
- ✚ Acabado exterior con pintura poliésterica aplicada electrostáticamente.
- ✚ Reflector en aluminio embutido, con brillo y anodizado químico.
- ✚ Refractor en vidrio curvo templado, resistente a choques térmicos y mecánicos.
- ✚ Elementos eléctricos incorporados en bandeja portaequipo, fabricada en lámina de acero con tratamiento galvánico.
- ✚ Cazoleta – Portalámpara conformada por dos piezas en inyección de aluminio de accionamiento manual.

La luminaria posee un sistema de inclinación con respecto a la horizontal, escalonada de  $0^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  con pasos de  $5^{\circ}$ , sin necesidad de variar la inclinación del brazo soporte y se requiere que este último tenga un diámetro de 1" a 2"[10].

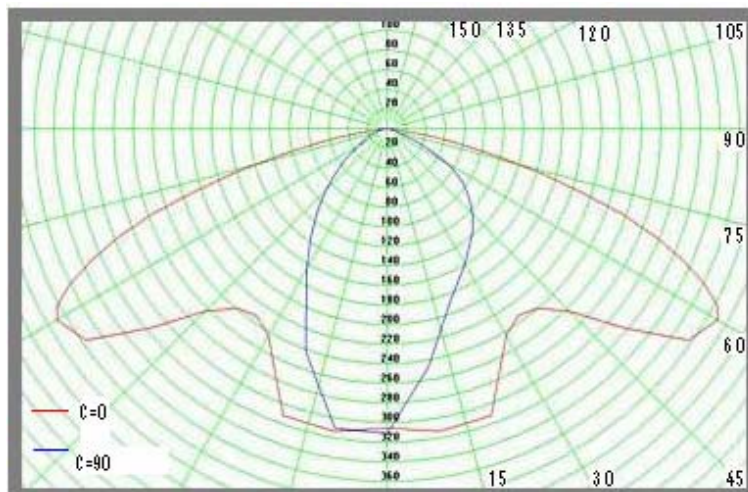
*Características fotométricas.* Las figuras 11 y 12 muestran los diagramas polares de la luminaria Calima 1, para dos niveles de potencia: 150 y 250 watts, respectivamente. El ángulo C, corresponde a  $0^{\circ}$  (roja) y  $90^{\circ}$  (azul).

*Figura 11. Diagrama polar de la luminaria Calima 2 con bombilla de 150W.*



*Fuente: Roy Alpha.*

Figura 12. Diagrama polar de la luminaria Calima 2 con bombilla de 250W.



Fuente: Roy Alpha.

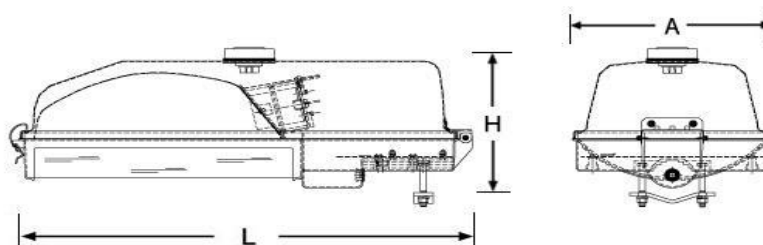
El IP (óptico) de la luminaria es 66, lo que significa que es hermética al polvo y esta protegida contra oleadas fuertes.

*Características físicas.* La tabla 7 y la figura 13 describen las características físicas de la luminaria.

Tabla 7. Características físicas de la luminaria Calima 2.

Dimensiones [mm]		
Longitud (L)	Ancho (A)	Altura (H)
605	262	210
Peso [Kg]		
6,5 - 11		

Figura 13. Vistas lateral y posterior de la luminaria Calima 2.



Fuente: Roy Alpha.

Durante la modernización de las localidades: Santa fe, La candelaria, Los mártires y Usme se usaron luminarias de la casa matriz Celsa, cuyas referencias son Venus y Orión y se describen a continuación<sup>10</sup>.

*Luminaria Venus.* Usada principalmente para el alumbrado de vías, avenidas, calles residenciales, vías secundarias rurales y urbanas, alamedas y senderos peatonales; estéticamente es como se muestra en la figura 14.

*Figura 14. Luminaria Venus de Celsa.*



*Fuente: Celsa.*

Esta luminaria presenta las siguientes características:

- ✚ La luminaria es tipo horizontal cerrada.
- ✚ Carcaza en aluminio fundido por el sistema de coquilla y en lámina embutida de Aluminio.
- ✚ Reflector en aluminio pulido de alta pureza de (> 99,5 %) abrillantado y oxidado anódicamente para proteger su brillo.
- ✚ Refractor en vidrio curvo, liso y templado. Fabricado en policarbonato con protección UV, es inmune al envejecimiento y a la pérdida de transmitancia por la acción de los rayos UV<sup>11</sup>[11].

Posee un sistema de fijación al brazo, compuesto por una abrazadera y pernos de sujeción de acero galvanizado compatible con brazos de diámetros de 1/2", 3/4", y 1"; además tiene incorporado un sistema de inclinación con respecto a la horizontal, escalonada de 0° a 15 ° con pasos de 5°, sin necesidad de variar la inclinación del brazo.

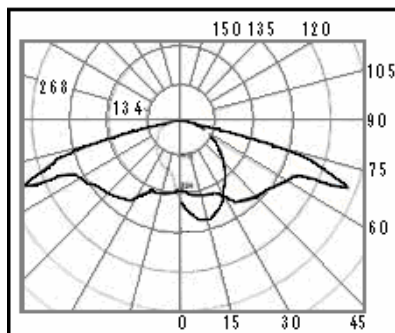
---

<sup>10</sup> Se suspendió su uso por un defecto constructivo de un lote grande de luminarias: no hubo normalización en el reglaje de la bombilla, lo cual hacía defectuoso el reparto lumínico.

<sup>11</sup> Tema desarrollado completamente en el Capítulo 3, del presente libro.

*Características fotométricas.* La figura 15 muestra las características fotométricas de esta luminaria por medio de los diagramas polares hechos para ángulos C de 0° (externa) y 90° (interna).

*Figura 15. Diagrama polar de la luminaria Venus con bombilla de 70W.*



*Fuente: Celsa.*

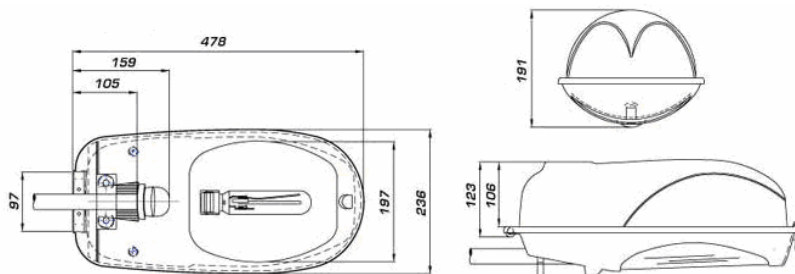
Al igual que las luminarias anteriores, esta luminaria cuenta con un IP (óptico) de 66.

*Características físicas.* En la tabla 8 y en la figura 16 se presentan algunas de las características físicas de la misma.

*Tabla 8. Características físicas de la luminaria Venus.*

<b>Dimensiones [mm]</b>		
Longitud (L)	Ancho (A)	Altura (H)
478	236	191
<b>Peso [Kg]</b>		
4,4 - 5,5		

*Figura 16. Vistas Lateral, frontal e inferior de la luminaria Venus.*



*Fuente: Celsa.*

*Luminaria Orión.* Utilizada principalmente para el alumbrado de vías principales, autopistas y complejos viales con densidad vehicular alta y velocidades medias y altas de circulación; su aspecto exterior se muestra en la figura 17.

*Figura 17. Luminaria Orión de Celsa.*



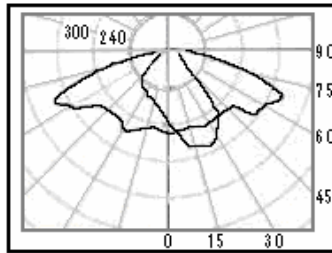
*Fuente: Celsa.*

Constructivamente tiene las siguientes propiedades.

- + Carcasa: aluminio fundido por el sistema de coquilla y en lámina embutida de aluminio[11].
- + Acabado exterior es de pintura electrostática[11].
- + Reflector: aluminio alta pureza (>99,5%) abrillantado y oxidado anódicamente para proteger su brillo[11].
- + Refractor: vidrio curvo, liso y templado, resistente al impacto mecánico y al choque térmico[11].
- + Posee un sistema de fijación de abrazadera en forma de "U" que la hace apta para ser instalada con brazo de soporte horizontal de diámetros de 1" a 3/4"[11].

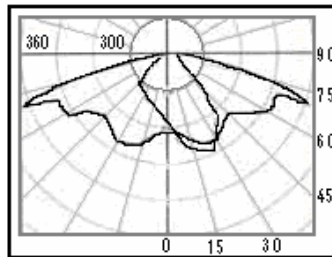
*Características fotométricas.* En las figuras 18 y 19 se presentan los diagramas polares de esta luminaria para 150 y 250 W, respectivamente.

Figura 18. Diagrama polar de la luminaria Orión con bombilla de 150W.



Fuente: Celsa.

Figura 19. Diagrama polar de la luminaria Orión con bombilla de 250 W



Fuente: Celsa.

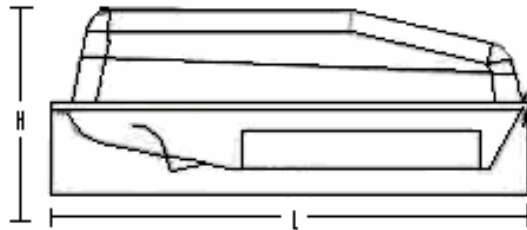
Esta luminaria es hermética al polvo y se encuentra protegida contra oleadas fuertes de agua y de acuerdo a la tabla 4, se le asigna un IP (óptico) de 66.

*Características físicas.* La tabla 9 resume las características físicas de la luminaria y la figura 20 esquematiza las dimensiones de la misma.

Tabla 9. Características físicas de la luminaria Orión.

<b>Dimensiones [mm]</b>		
Longitud (L)	Ancho (A)	Altura (H)
627	281	213
<b>Peso [Kg]</b>		
10-11		

Figura 20. Vista lateral de la luminaria Orión.



Fuente: Celsa.

Las especificaciones expuestas de las cuatro luminarias: Calima 1, Calima 2, Venus y Orión, muestran las ventajas comparativas existentes entre estas y las de vapor de mercurio; su desarrollo tecnológico, los procesos de fabricación y sus características: físicas, mecánicas, eléctricas, estéticas y fotométricas, las convierten en un avance tecnológico para el sistema. Por otra parte se aprecia en las figuras: 7, 10, 14 y 17, la apariencia exterior de las luminarias contribuye al aspecto urbanístico de la ciudad<sup>12</sup>.

El proceso constructivo de componentes como el reflector, refractor y los índices de hermeticidad grado IP e IK que son de 66, permiten un mejor reparto lumínico, disminuir la emisión de rayos ultra violeta y conservar a lo largo del tiempo las condiciones óptimas de operación del dispositivo.

Las luminarias cuentan con un sistema que permite la variación de su ángulo de inclinación, esto es un aspecto importante que afecta positivamente los diseños realizados antes de la modernización, por cuanto flexibiliza y brinda mayor libertad al diseñador.

Haciendo las lecturas de los diagramas polares de cada luminaria, se ve la ventaja que representa la distribución asimétrica de la luz; la distribución en el plano  $C = 0^\circ$  es el aspecto más importante por cuanto esta permitiendo un óptimo uso de la luz producida y esto presenta dos efectos directos: primero, es una forma de usar racionalmente la energía eléctrica<sup>13</sup> y segundo, como se muestra en el numeral 2.2, incrementa los niveles de iluminación y propicia la mejor distribución de la luz sobre la calzada. Respecto al ángulo  $C = 90^\circ$ , se ve que el corte avanza sobre la calzada, del frente de luz, es el óptimo para la iluminación de las vías enumeradas en el Anexo A, lo cual presenta las mismas dos ventajas expuestas anteriormente.

Respecto a las propiedades físicas de las luminarias se destaca el bajo peso de estas, como se mostró anteriormente, la más grande, es decir la luminaria Orión de Celsa, pesa igual que las luminarias de 125W de vapor de mercurio.

<sup>12</sup> Lo cual se evalúa en el Capítulo 3: Aspectos ambientales.

<sup>13</sup> Aspecto evaluado ambiental y económicamente, en los capítulos 3 y 4, respectivamente.

Lo anterior tiene una repercusión sobre la facilidad en los trabajos de mantenimiento, por que permite una mayor maniobrabilidad y exige un menor esfuerzo físico del operario<sup>14</sup>.

### 2.1.3 Fotocontrol

El sistema de control del alumbrado público, es también, uno de los dispositivos claves de la modernización, como se verá mas adelante, es un aspecto que se relaciona directamente con la continuidad del servicio de AP. Y con el mantenimiento del sistema.

A continuación se exponen los dos tipos de control: control múltiple y control individual (utilizado después de la modernización).

*Control individual.* Los controles fotoeléctricos o fotocontroles, son una clase especial de interruptores automáticos utilizados para la conexión y desconexión de fuentes de luz. La figura 21 muestra el fotocontrol utilizado en la modernización del S.A.P.

Figura 21. Fotocontrol PCE-2NC16 A, 2NC32A de Inadisa.



Fuente: Inadisa.

*Especificaciones técnicas.* El control con fotocelda consiste en una resistencia de sulfuro de cadmio, que varía inversamente a la cantidad de luz incidente en su superficie, controlando de esta manera el paso de corriente en el dispositivo; en la tabla 10 se muestran las características generales del fotocontrol.

Tabla 10. Características generales del fotocontrol PCE-2NC16 A, 2NC32A de Inadisa.

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Referencia	PCE-2NC16 A, 2NC32A
Fabricante	Inadisa
Normas de Fabricación	ANSI c130.10
Tipo	Electrónico [manejo de carga, Relé DC ]
Sensor	Fototransistor
Cubierta	Rojo oscuro

Fuente: Inadisa.

<sup>14</sup> Tema desarrollado en el numeral 2.4, del presenta libro.

Estos dispositivos cumplen los requerimientos técnicos exigidos por normas internacionales como las ANSI<sup>15</sup> C 130.10.

La tabla 11 muestra las características eléctricas de estos dispositivos, y la tabla 12 sus características físicas.

*Tabla 11. Características eléctricas del fotocontrol PCE-2NC16 A, 2NC32A.*

<b>CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS</b>				
Tensión nominal de red	208/220/230/240/277 V + - 10%			
Rango de tensión de operación	180 - 305 V			
Frecuencia	50 - 60 Hz.			
Carga máxima	Incandescente 1000 W máx. HID 1800VA máx. $\cos(\phi) \geq 0,4$			
M.O.V protección contra sobrecargas	2NC-16A	180 Jmáx.	& 4500A	Surge Courrent
Transitorias	2NC-32A	380Jmax	&6500 A	Surge Courrent
Limites de operación	Encendido	10-20 Luxes		
	Apagado	15-30 Luxes		
	Relación	1,5 - 2		
Tiempo de retardo	Encendido	0s		
	Apagado	5s		
Posición del contacto (Line&load) en ausencia de luz noche	Cerrado N.C.			
Posición del contacto (Line&load) en condición de falla	Cerrado [ Fail ON ]			
Consumo de energía	208-220 $\leq 1W$			
	240 $\leq 1,2W$			
	277 $\leq 1,4 W$			
Rigidez dieléctrica	2,5 kVrms / 60s			

*Fuente: Inadisa.*

<sup>15</sup> Norma Americana de Estándares en Ingeniería.

Tabla 12. Características físicas del fotocontrol PCE-2NC16 A, 2NC32A.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
Tipo de instalación	Intemperie.	
Hermeticidad del fotocontrol	IP 54	
Temperatura de servicio	5 bajo cero. Hasta 70 grados	
Número de operaciones garantizadas	>=5000 Operaciones con carga 1800VA $\cos(\phi) \geq 0,4$ >=1000 Operaciones con carga 1000W $\cos(\phi) = 1$	
Material	Base Cubierta Junta Contactos	ABS alto impacto Polipropileno alto impacto UV Polietileno Reticulado Latón Rígido
Dimensiones	LxAxH [mm] 80,5x80,5x52 Base circular	

Fuente: Inadisa.

Según las especificaciones técnicas mostradas en las tablas 11 y 12 se tienen las siguientes ventajas y desventajas en el fotocontrol:

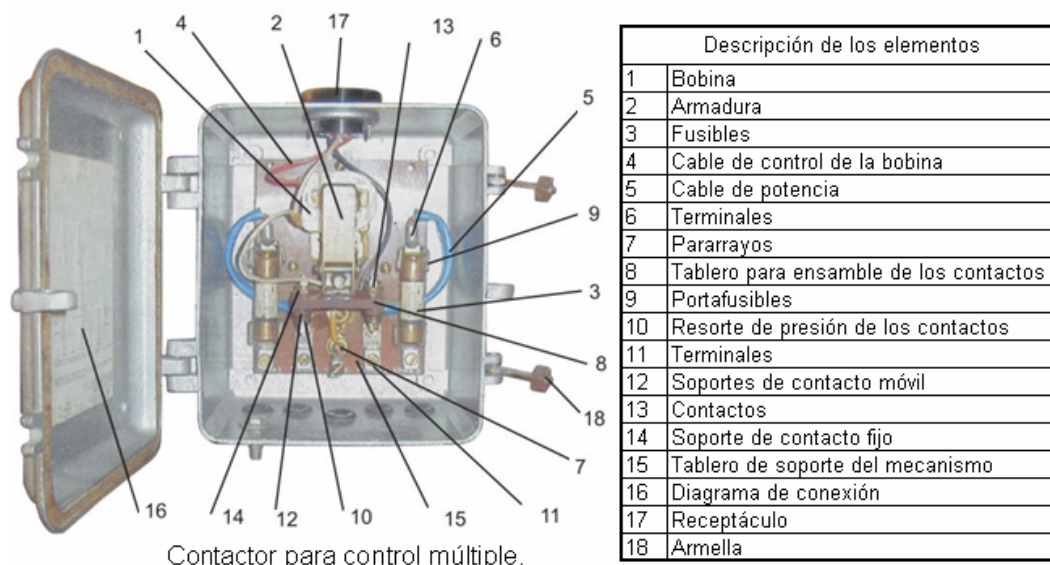
- ✚ El fotocontrol presenta bajas pérdidas de potencia, alrededor de 1W[12].
- ✚ Con este tiempo de retardo se logra que el fotocontrol no se accione por la aplicación accidental de rayos de luz sobre la persiana.
- ✚ El dispositivo presenta una cantidad alta de operaciones.
- ✚ El grado IP del dispositivo, es propicio para las condiciones medioambientales de Bogotá.
- ✚ Si la fotocelda de sulfuro de cadmio supera la temperatura de 70°C, se presentan cambios irreversibles, disminuyendo la sensibilidad y aumentando los niveles de encendido apagado.
- ✚ Si la fotocelda de sulfuro de cadmio no ha sido estrictamente sellada y se usan en controles convencionales, se deterioran rápidamente por causas de la humedad, salinidad y contaminación ambiental, reflejándose en el encendido de la luminaria más temprano y el apagado más tarde.
- ✚ Para control de sensibilidad de operación se utiliza una “persiana”, cuyo nivel de precisión es bajo.
- ✚ Como material de deshecho, genera contaminación ambiental debido a los peligros asociados con el manejo del cadmio<sup>16</sup>.

*Control múltiple.* Este tipo de control es utilizado en el sistema de iluminación con tecnología de vapor de mercurio, lo que ha permitido hacer un control de hasta aproximadamente 15 luminarias con un solo dispositivo de estos, por lo general se usan contactores monopolares, bipolares o tripolares, de diferentes capacidades de corriente.

<sup>16</sup> Aspecto estudiado con detalle en el Capítulo 3.

Es indispensable para el correcto funcionamiento del contactor del control múltiple, que se use un dispositivo de control tal como un fotocontrol o un reloj, cuyos contactos de carga sean contrarios a los del contactor; es usual utilizar fotocontroles de contactos normalmente abiertos, por lo cual se usan contactores que tienen contactos normalmente cerrados, la figura 22 muestra las partes constitutivas del dispositivo mencionado.

Figura 22. Sistema de control múltiple (lux control).



Fuente: MUAP.

En general se pueden usar fotocontroles con contactos normalmente cerrados, o fotocontroles con contactos normalmente abiertos; la ventaja de uno u otro tipo de contactor depende de la condición de trabajo en caso de falla y de las prioridades del servicio de alumbrado público. En el caso de Bogotá se emplean contactos normalmente cerrados con lo cual se logra un uso racional de la energía por cuanto deja fuera de servicio a la luminaria si este dispositivo falla, y orienta directamente los planes de mantenimiento hacia la revisión nocturna.

## 2.2 Medidas fotométricas

El impacto que tiene la modernización del alumbrado público en Bogotá se encuentra estrechamente relacionado con dos aspectos: el primero de ellos es lo relacionado con el uso racional de la energía y el segundo aspecto es de carácter técnico y es la esencia del servicio de alumbrado público, por cuanto es el reflejo de la calidad y la cantidad de iluminación que este entrega a los usuarios, no siendo menos importante que el anterior porque contribuye entre otras cosas a la seguridad de peatones, conductores y a la estética de la ciudad.

Con base en lo anterior surge la necesidad de hacer medidas en terreno de las condiciones de iluminación del sistema, antes y después de la modernización, y

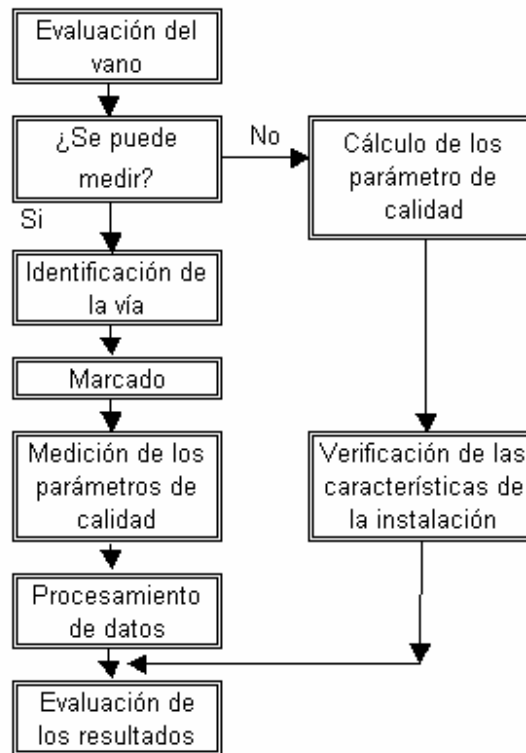
estudiar el impacto de la misma tanto en la cantidad como en la calidad de la luz entregada.

Las medidas de iluminación se realizaron como trabajo conjunto entre: la empresa contratista, Cenercol S.A. la empresa contratante, Codensa S.A. ESP. la empresa interventora en la obra, CEI y la Unidad Ejecutiva de servicios públicos, UESP.

### 2.2.1 Procedimiento realizado en la medición

El procedimiento seguido en el desarrollo de estas mediciones es el recomendado por: la publicación IEC N° 30-2 (TC-4.6) 1982 "Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting computer program for luminance, illuminance and glare". Así como el establecido en el Manual Único de Alumbrado Público el cual se muestra en la figura 23.

Figura 23. Procedimiento para la medición de iluminancia.



Fuente MUAP.

A continuación se describen los bloques constitutivos del diagrama de flujo de la figura 23.

*Evaluación del vano seleccionado.* El vano a ser medido debe reunir las siguientes características:

- ✚ No debe presentar obstáculos que obstruyan la distribución luminosa de las luminarias (árboles, automóviles estacionados, etc.).
- ✚ El recubrimiento de las calzadas no debe presentar ondulaciones (presencia de baches pronunciados) que impidan la visualización de los puntos de medición ó la horizontalidad del medidor de iluminación.
- ✚ El vano no debe estar ubicado en las zonas calificadas como altamente peligrosas desde el punto de vista delincriminal.
- ✚ El estado de la calzada debe ser seco para medición de luminancia.
- ✚ Estar libres de influencia de iluminación diferente al sistema a evaluar (vehicular o comercial).

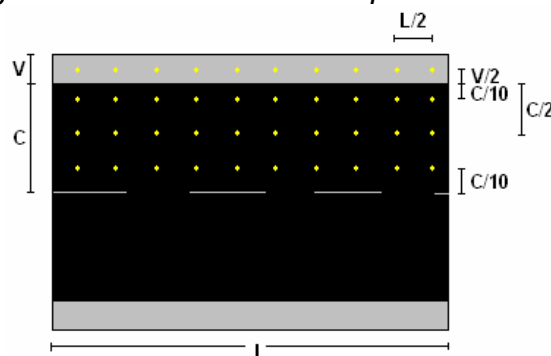
*Marcado de la vía.* El marcado de los puntos de medición en los tramos o vanos seleccionados dependerá del tipo de calzada para lograr una buena visualización durante las mediciones.

*Para calzadas claras y oscuras,* el marcado de los puntos a medir en este tipo de calzada, se sugiere que se realice con tiza blanca. En el caso de *Calzadas de tierra,* el marcado de los puntos a medir en este tipo de calzadas se sugiere que se realice colocando pintura al agua en chisquetos. El color de la pintura debe ser tal que con el contraste con la calzada pueda ser visible por el operario y el espesor de la pintura debe ser tal que cuando caiga a la calzada no sea absorbida por la tierra[1].

*Finalmente en calzadas en piedra,* el marcado de los puntos a medir en este tipo de calzada se sugiere que se realice con tiza blanca.

*Malla de medición.* La malla de medición para vías rectas es la mostrada en la figura 24, y consta de de treinta puntos por carril.

*Figura 24. Grilla de medición para vías rectas.*



*Fuente: MUAP.*

A lo ancho del carril [C] se ubican tres puntos: el primero a un décimo (1/10) del ancho, el segundo punto a un medio del ancho (1/2) del carril y el tercer punto a un décimo (1/10) del ancho del carril, medido en el sentido opuesto, ver figura 24.

A lo largo del vano [L] y para longitudes menores o iguales a 50 [m] se ubican diez puntos, el primero al inicio del vano (a la altura del poste inicial del vano), el segundo punto a un décimo (1/10) de la distancia entre postes, el tercer punto a un quinto (1/5) de la distancia entre postes y así, sucesivamente, hasta llegar al punto número diez que estará ubicado a nueve décimos (9/10) de la distancia entre postes, ver figura 24.

De acuerdo a las recomendaciones hechas las medidas a tomar para vías rectas son de luminancia, sin embargo por facilidad en la medición y disponibilidad de equipos de medida, se efectuó la medición de iluminancia tanto para la vía como para el andén.

*Equipo de medida, Luxómetro.* Los requisitos establecidos por la norma técnica colombiana, NTC 900 en el apartado, *instrumentos debidamente calibrados*, se enuncia a continuación.

- ✚ Repetibilidad de las mediciones en cualquier punto de la escala utilizada.
- ✚ Debe tener una alta sensibilidad.
- ✚ Debe tener una precisión no menor del  $\pm 0,5\%$ .
- ✚ Debe tener una corrección efectiva del coseno hasta un ángulo de  $85^\circ$ .
- ✚ Debe tener corrección de color según la curva de eficiencia espectral de la IEC.
- ✚ El coeficiente de sensibilidad con la temperatura debe ser despreciable dentro del rango normal de temperaturas.
- ✚ Debe tener una suspensión que permita ajustar automáticamente la horizontalidad.
- ✚ Debe de ser capaz de medir niveles de iluminancia horizontal, o ubicarse en otros planos de medición requeridos.
- ✚ El fotómetro deberá ser ubicado tal que el observador no produzca sombras, cubierto de la luz extraña que no serán medidas. (Utilización de un cable de extensión)

*Evaluación de la iluminancia.* Para la determinación de los Índices de calidad del S.A.P. se evalúan las variables que se describen a continuación:

*Uniformidad general de iluminancia ( $U_o$ ) [1]:*

$$U_o = \frac{E_{\min}}{E_{\text{prom}}} \quad (2)$$

Donde

$E_{\min}$ : Es la iluminancia, mínima medida en la calzada.

$E_{\text{prom}}$ : Es la iluminancia promedio.

Nota: para hallar la uniformidad longitudinal de toma el valor de iluminancia mínimo sobre una fila lateral de la calzada.

Iluminancia promedio [1]:

$$E_{\text{prom}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_i}{n} \quad (3)$$

Donde:

$E_i$  corresponde al punto  $i$  medido en la grilla.

*Relación de rededores (SR)[1]:*

$$SR = \frac{E_{v_i}}{E_{L_i}} \quad (4)$$

Donde:

$E_{v_i}$  Corresponde a la iluminancia promedio sobre la mitad de la calzada.

$E_{L_i}$  Corresponde a la iluminancia promedio sobre el andén paralelo a la calzada.

### **2.2.2 Características generales del entorno y del sitio de medida**

En los meses de noviembre de 2004 y enero de 2005, se procedió a tomar medidas de iluminancia en la vía secundaria ubicada en la Calle 3 con Carrera 26, perteneciente a la localidad de los mártires en Bogotá y clasificada por la norma IEC<sup>17</sup> 140, como una vía tipo V7<sup>18</sup>, con un ancho de vía de 6 metros y una interdistancia entre postes de 24 metros.

La vía se encuentra en un sector residencial de estrato 3, con flujo vehicular muy escaso a partir de las seis de la tarde. Con respecto al estado de la calzada, esta se encuentra en perfectas condiciones, no presenta baches ni huecos, además se tuvo en cuenta que en el momento de la medición se encontrara seca y libre de vehículos, bolsas de aseo, u elementos que pudiesen generar sombras.

---

<sup>17</sup> Comisión electrotécnica internacional.

<sup>18</sup> Ver anexo A.

Una vez se seleccionó el sitio de medida se establecieron las características medioambientales que influyen en el funcionamiento de las luminarias. En la tabla 13 se muestran las características ambientales generales de Bogotá y en la tabla 14 se registran las características ambientales en el momento de la medición.

*Tabla 13 Características ambientales de Bogotá.*

<b>Características ambientales</b>	
Altura sobre el nivel del mar	2.640 m
Ambiente	Tropical
Humedad	Mayor al 90 %
Temperatura máxima y mínima	35 °C y - 5 °C respectivamente
Temperatura promedio	14 °C
Instalación	A la intemperie

*Tabla 2.14 Condiciones medioambientales en el momento de la medida.*

<b>CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y AMBIENTALES</b>				
	Mercurio	Cero grados	Cinco grados	Simulación
<b>Dirección</b>	Calle 3 con Carrera 26			<i>No aplica</i>
<b>Hora</b>	9:30 PM	8:00 PM	7:30 PM	
<b>Fecha</b>	26-ene-05	22-nov-04	23-nov-04	
<b>Temperatura</b>	12 grados	14 grados	16 grados	
<b>Ciudad</b>	Bogotá			
<b>Localidad</b>	Los Mártires			
<b>Tipo de noche</b>	Clara			

Otros de los factores que influyen directamente en la operación del S.A.P. y que deben considerarse en el momento del diseño son: la altura de montaje, el ancho de vía y la interdistancia. Al realizar la modernización sobre infraestructura existente, es necesario conocer la infraestructura existente pues esto impone límites al rediseño y se requiere realizar la mejor selección de los equipos para obtener los resultados de iluminación esperados. Las tablas 15 y 16 recogen las características físicas de la infraestructura del sitio de medida.

*Tabla 15 Características de la infraestructura del sitio de medida.*

<b>CARACTERÍSTICAS DE INFRAESTRUCTURA</b>								
	<b>Mercurio</b>		<b>Cero grados</b>		<b>Cinco grados</b>		<b>Simulación</b>	
	Poste 1	Poste 2	Poste 1	Poste 2	Poste 1	Poste 2	Poste 1	Poste 2
<b>Altura de montaje [m]</b>	9,05	8,72	9,2	8,87	9,09	9,72	9,2	9,2
<b>Ancho de vía [m]</b>	6							
<b>Interdistancia [m]</b>	24							
<b>Tipo de vía</b>	V7							
<b>Avance sobre la vía [m]</b>	1,05	1,12	1,46	1,47	1,17	1,37	1,46	1,46
<b>Distancia entre el pie del poste y la vía [m]</b>	0,3	0,23	0,3	0,23	0,3	0,23	0,27	0,27

*Tabla 16 Características técnicas del sitio de medida*

TÉCNICAS									
	Mercurio		Cero grados		Cinco grados		Simulación		
	Poste 1	Poste 2	Poste 1	Poste 2	Poste 1	Poste 2	Poste 1	Poste 2	
<b>Tensión [V]</b>	211	212	211	214	207	202	No Aplica		
<b>Norma a Aplicar</b>	MUAP								
<b>Luminaria</b>	Roy Alpha		Celsa				Roy Alpha		
<b>Tipo de medida</b>	ILUMINANCIA								
<b>Potencia bombilla [w]</b>	125			70					
<b>Rotulo de Luminaria</b>	432365	432367	602966	603147	602966	603147	No Aplica		

En la tabla 16, se aprecia que las tensiones de operación de las luminarias son un poco bajas para su correcto funcionamiento pero que están dentro de los rangos establecidos en la tabla 2. Como se ve en la tabla 14, las horas en que se realizaron las medidas son adecuadas, tanto para la medida de iluminación, como para la medida de tensiones, por cuanto la demanda de potencia en esta hora es mayor que en el resto del día y de esta manera se obtiene la mayor caída de tensión (condición crítica).

Una vez establecidas las condiciones ambientales y las restricciones de la infraestructura existente, se determino el procedimiento que se describe a continuación para realizar las medidas.

- ✚ Selección, por parte de Codensa S.A. ESP. del sitio de medida.
- ✚ Organización, por parte de Cenercol S.A. de la logística y coordinación de la actividad: Carro canasta, Linieros, ayudantes y supervisores.
- ✚ Trámite de los respectivos permisos de transito para el cierre de vías.
- ✚ Señalización de la vía para evitar accidentes y demás medidas de seguridad.
- ✚ Limpieza de la vía de elementos tales como: bolsas, vehículos y demás.
- ✚ Demarcación de la grilla de acuerdo a lo especificado en la norma CEI 140, y al Manual Único de Alumbrado Público<sup>19</sup>.
- ✚ Medidas de iluminancia.
- ✚ Medición de tensión de fase y tensión de línea en el punto de conexión de las luminarias (ver tabla 16).
- ✚ Medición de las alturas de montaje y de avance sobre la calzada (ver tabla 15).
- ✚ Verificación y registro de los rótulos de las luminarias (ver tabla 16).

<sup>19</sup> Ver numeral 2.2.1.3 del presente Capítulo.

### 2.2.3 Medidas realizadas

Las figuras 25, 26 y 27 muestran la distribución de las medidas de iluminancia efectuadas sobre la vía, tanto para luminarias con vapor de mercurio, como para luminarias con vapor de sodio a alta presión; en este último caso se hicieron medidas para dos ángulos de inclinación:  $0^{\circ}$  y  $5^{\circ}$ .

Los resultados obtenidos se contrastaron con los esperados según la simulación en el software Alfhalex<sup>20</sup> (figura 29), la cual se hizo tomando como datos de entrada condiciones ambientales similares y las mismas características de la infraestructura existente.

Figura 25. Distribución de las medidas sobre la calzada, luminarias con tecnología de vapor de mercurio.

MEDIDAS OBTENIDAS EN TERRENO [Luxes], (Distribución en la vía).									
POSTE 1		ANDEN NORTE						POSTE 2	
6	5	3	3	3	3	6	7	9	9
6	5	4	3	3	4	6	7	8	8
5	4	3	3	3	4	5	7	8	8
5	4	3	3	3	4	5	7	7	8
4	4	3	3	3	3	4	6	7	7
4	3	3	3	3	3	4	6	6	6
3	3	3	2	3	3	4	5	5	6
3	3	2	2	3	3	4	5	5	5
ANDEN SUR									

Figura 26. Distribución de las medidas sobre la calzada, luminaria con vapor de sodio (cero grados ( $0^{\circ}$ ) de inclinación).

MEDIDAS OBTENIDAS EN TERRENO [Luxes], (Distribución en la vía).									
POSTE 1		ANDEN NORTE						POSTE 2	
9	6	5	4	4	4	5	6	9	9
8	7	5	4	4	4	5	4	8	9
9	7	10	6	6	6	8	9	10	11
11	12	12	9	9	8	11	12	11	12
21	18	14	13	12	12	17	21	17	16
23	21	15	14	14	13	17	21	19	19
23	18	12	15	15	12	14	22	18	19
20	15	13	15	15	11	13	18	18	18
ANDEN SUR									

<sup>20</sup> Software especializado para iluminación vial, suministrado por Codensa S.A.

Figura 27. Distribución de las medidas sobre la calzada, luminaria con vapor de sodio (cinco grados (5<sup>0</sup>) de inclinación).

MEDIDAS OBTENIDAS EN TERRENO [Luxes], (Distribución en la vía).									
POSTE 1	ANDEN NORTE								POSTE 2
7	5	4	3	3	2	4	7	9	9
9	6	4	3	3	4	5	7	10	11
9	7	5	4	3	4	5	9	10	11
9	12	6	5	4	5	6	9	11	12
15	15	9	6	7	9	11	13	13	15
16	16	10	9	9	10	14	15	15	16
16	18	11	9	10	12	16	16	15	16
15	18	11	9	10	12	16	16	15	14
ANDEN SUR									

Figura 28. Datos de entrada al software Alfhalux.

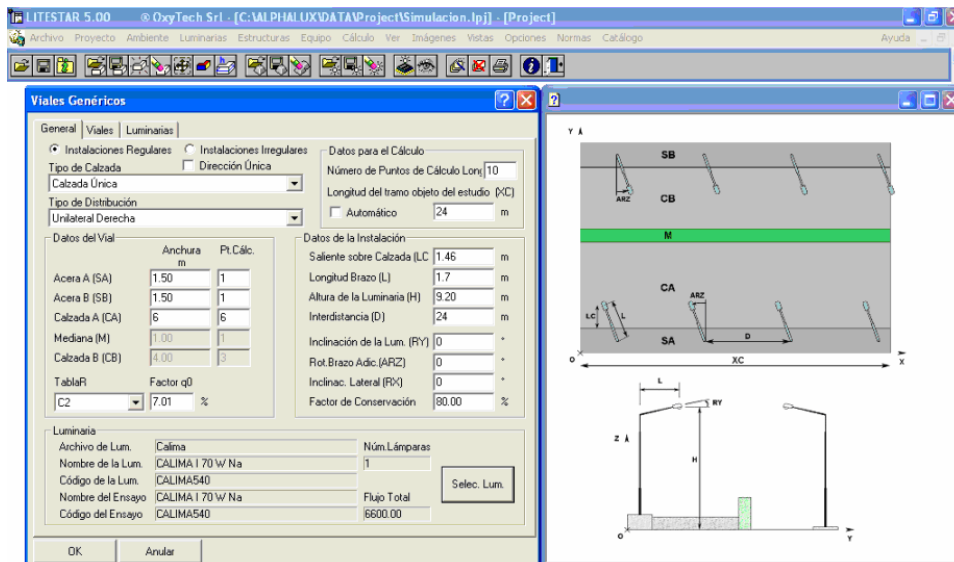


Figura 29. Distribución sobre la calzada de los datos de salida del software Alfhalux, luminaria con tecnología de vapor de sodio (Cero grados (0<sup>0</sup>) de inclinación).

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN LA VÍA [Luxes], (Distribución en la vía)									
POSTE 1	ANDEN NORTE								POSTE 2
9	8	9	9	10	10	10	9	9	8
11	10	10	11	11	12	12	11	10	10
13	12	12	12	13	13	13	12	12	12
15	14	13	13	13	13	13	13	13	14
15	14	13	12	12	12	12	12	13	14
14	12	11	10	10	10	10	10	11	12
12	11	10	9	8	8	8	9	10	11
11	10	8	7	7	7	7	7	8	10
ANDEN SUR									

### 2.2.3.1 Resultados generales.

La tabla 17 muestra un resumen general de los resultados obtenidos para las diferentes luminarias, utilizando las ecuaciones 2, 3 y 4.

*Tabla 17 Resumen general de los resultados de la medición de iluminancia en terreno.*

RESUMEN GENERAL			RESULTADOS OBTENIDOS			
Sector	Calculo	Sigla	Vapor de	Sodio a Alta Presión		
			Mercurio	0 grados	5 grados	Simulación
Anden Sur	Iluminancia Promedio [lux]	Eprom	3,50	15,60	13,60	8,20
	Iluminancia Máxima [lux]	Emax	5,00	20,00	18,00	11,00
	Iluminancia Mínima [lux]	Emin	2,00	11,00	9,00	7,00
	Relación de Rededores	SR	0,90	0,91	1,01	0,80
	Uniformidad General	Ug	0,57	0,71	0,66	0,85
	Uniformidad Longitudinal, andén	UI	0,40	0,55	0,50	0,64
Anden Norte	Iluminancia Promedio [lux]	Eprom	5,40	6,10	5,30	9,10
	Iluminancia Máxima [lux]	Emax	9,00	9,00	9,00	10,00
	Iluminancia Mínima [lux]	Emin	3,00	4,00	2,00	8,00
	Relación de Rededores	SR	1,04	0,87	0,82	0,78
	Uniformidad General	Ug	0,56	0,66	0,38	0,88
	Uniformidad Longitudinal, andén	UI	0,33	0,44	0,22	0,80
Vía	Iluminancia Promedio [lux]	Eprom	4,58	12,53	9,83	11,68
	Iluminancia Máxima [lux]	Emax	8,00	23,00	18,00	15,00
	Iluminancia Mínima [lux]	Emin	2,00	4,00	3,00	8,00
	Uniformidad General	Ug	0,44	0,32	0,31	0,68
	Uniformidad Longitudinal, al andén Norte	UI	0,38	0,33	0,25	0,67
	Uniformidad Longitudinal, al andén Sur	UI	0,29	0,52	0,33	0,53
	Uniformidad Longitudinal, Asumida (Menor)	UI	0,29	0,33	0,25	0,53

De la tabla 17 se establece que la iluminancia mínima mejora considerablemente en ambos andenes, siendo los resultados de la luminaria con cero grados de inclinación la que presenta mejores características, sin embargo los resultados se alejan de lo esperado según la simulación, presentándose una diferencia del 50% en el andén sur.

La iluminancia máxima aumenta quince (15) luxes en el andén sur, y se conserva en 9 luxes en el andén norte, resultados que se obtienen al utilizar la luminaria con cero grados de inclinación.

Por otra parte la luminancia promedio, aumenta considerablemente en el caso del andén sur, llegando a ser cuatro veces la medida con vapor de mercurio, lo que significa una alta mejoría en la calidad de la iluminación del andén sur; con respecto al andén norte es de destacar que al incrementarse la iluminancia mínima y la promedio se esta mejorando de forma global la calidad de la iluminación.

Otro factor que expresa la mejoría en la calidad de la iluminación es el de la uniformidad general puesto que se obtuvo un aumento entre el 1 y 2 luxes con la luminaria a cero grados de inclinación.

*La relación de rededores entre la vía y ambos andenes* es un parámetro es tan importante en la iluminación vial como la uniformidad general, dado que representa la relación entre la iluminancia promedio de la vía y la del andén, siendo este un factor clave en la seguridad para lo peatones, puesto que es un indicador de la cantidad de contraste que hay entre los dos sitios, como se muestra en la tabla 17 en el andén sur la relación de rededores se conservo en el valor inicial (90%), el cual es adecuado para una vía tipo V7 como esta, sin embargo en el andén norte, se encontró una disminución considerable (20%) de este parámetro pero que a su vez se encuentra por encima de los resultados esperados según la simulación.

En cuanto a la iluminación de la vía tanto la iluminancia mínima como la máxima, mejoraron para un ángulo de inclinación de  $0^{\circ}$ , presentando incrementos de hasta el 75%, lo cual refleja un incremento en la cantidad de luz que llega a la calzada.

Por otra parte la calidad de la iluminación de la vía mejoró como se evidencia en la iluminancia promedio, la cual se triplico y a su vez se disminuyó el *efecto cebra* pues se incrementó la uniformidad longitudinal, pasando de 0,29 a 0,33 con la luminaria a cero grados de inclinación.

En general se concluye que con un ángulo de inclinación de  $0^{\circ}$ , se aumentaron los niveles de iluminancia y la uniformidad longitudinal sobre la vía. Los niveles de iluminación de los andenes no presentaron un cambio significativo en los niveles de iluminación ni en la uniformidad.

Por último, los resultados obtenidos en las medidas difieren notablemente de los esperados en la simulación, sobre todo en lo correspondiente a la iluminancia promedio y a la uniformidad longitudinal, lo cual se le atribuye a las limitaciones del software para aproximarse a las condiciones reales de operación de las luminarias.

## 2.3 Estudio de los armónicos generados por las luminarias

Los sistemas de iluminación que usan lámparas de descarga o lámparas fluorescentes son generadores de armónicos de corriente. Se ha observado que el tercer armónico puede llegar hasta un 25 % de la fundamental<sup>21</sup>, e incluso puede sobrepasar el 100 % para cierto tipo de lámparas compactas fluorescentes<sup>22</sup>. Al usarse este tipo de lámparas en la modernización se requiere verificar el comportamiento de los circuitos eléctricos de las luminarias con respecto a la generación de armónicos y compararlos con las recomendaciones hechas por la norma IEEE 519-1992 donde el contenido normal de armónicos es el que se presenta en la tabla 18 (estos límites están dados como una función de la razón de la corriente de corto circuito a la corriente de carga normal en porcentaje) [4].

Tabla 18. Límites de distorsión de corriente armónica para sistemas de distribución (120 V hasta 69000 V).

Máxima distorsión de corriente en por ciento de la carga ( $I_L$ ) [%]										
$I_{sc}/I_L$	Orden de los armónicos impares									
	2	11	11	16	17	22	23	34	más de 34	THD
menos de 20 <sup>23</sup>	4		2		1.5		0.6		0.3	5
20-50	7		3.5		2.5		1		0.5	8
50-100	10		4.5		4		1.5		0.7	12
100-1000	12		5.5		5		2		1	15
mayor a 1000	15		7		6		2.5		1.4	20

Fuente: IEEE 519-1992

Donde:

$I_{sc}$ : máxima corriente de cortocircuito [A]

$I_L$ : máxima corriente de carga (componente fundamental) [A].

Como puede verse en la tabla 18 la estándar de IEEE 519-1992 también fija límites del total de distorsión armónica que puede existir en cualquier parte de un sistema de potencia y de cualquiera de los armónicos que puedan estar presentes.

A continuación se presentan los resultados de las medidas realizadas en el laboratorio las cuales corresponden a la relación entre el *valor eficaz* de las corrientes armónicas con relación a la componente fundamental, para las luminarias de 70, 150 y 250 W.

<sup>21</sup> [1] Cahiers techniques, n°152, harmonic in industrial networks. MERLIN GERIN. GROUPE SCHNEIDER.

<sup>22</sup> [2] Cuaderno Técnico n° 152, Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento. Schneider Electric.

<sup>23</sup> Todos los equipos de generación están limitados a estos valores de distorsión independientemente de la razón  $I_{sc}/I_L$ .

### 2.3.1 Mediciones en luminarias de 70 W.

Las características de los equipos que conforman el conjunto eléctrico de la luminaria de 70 W (según especificaciones del fabricante), son los siguientes:

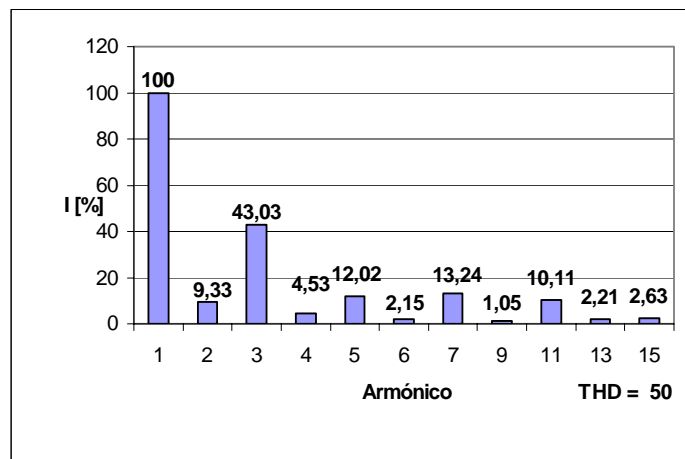
*Balasto reactor:* 70 [W]; 0,98[A]. 208/220 [V]; 60Hz; TW 130 (D6) 55<sup>0</sup> C.

*Condensador:* Disproel. 10 µf; 270/250 [VAC]; +/- 3%. 50/60 Hz; -25<sup>0</sup>C + 90<sup>0</sup>C TIPO A.

*Arrancador:* TIPO 2. SON(T) (PLUS) 70 [W]; 208/240 [V]; 50/60 Hz; C<sub>max</sub> =100 pf; U=1,8...2.5 [KV].

La figura 30 muestra los armónicos generados cuando la luminaria de 70 W se energiza.

Gráfica 30 Encendido de la luminaria de 70 W.

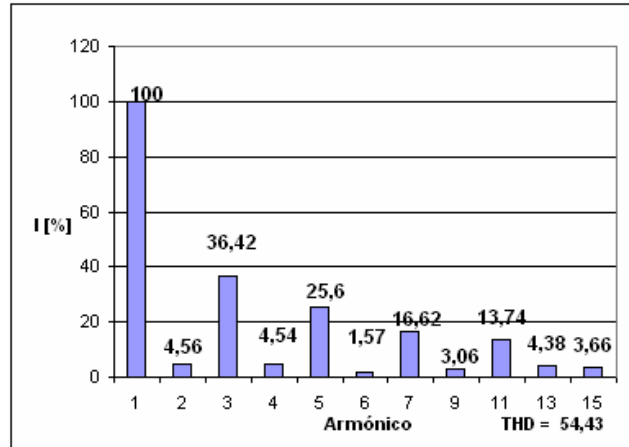


La distorsión armónica total en el encendido de la luminaria es del 50%. Se aprecia que los armónicos más representativos son los impares, en especial el tercer armónico con un 43,03% con respecto a la fundamental.

Con relación a los armónicos pares, la grafica 30 muestra que el más representativo de ellos es el segundo, con un total de 9,33%, sin embargo la contribución total de los armónicos pares no supera el 20%.

En la figura 31 se muestran los armónicos generados por la luminaria de 70 W una vez esta se ha estabilizado completamente (plena capacidad lumínica) y se observa que los armónicos impares del 3 al 11, superan los valores recomendados por la IEEE 519 (ver tabla 18).

Figura 31. Estado estable de la luminaria de 70 W (1).

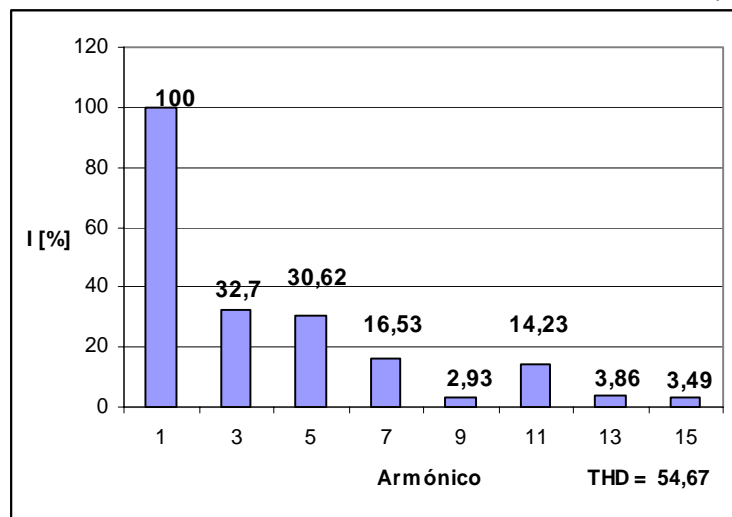


Se aprecia que los armónicos pares aun contribuyen en la distorsión armónica total, pese a que la luminaria se encuentra en estado estable; comparando las gráficas 30 y 31, se puede apreciar una reducción del 7% en el tercer armónico y un aumento del 50% en el armónico número cinco; por su parte los armónicos pares en conjunto se reducen un 35%.

En términos general la distorsión armónica total presenta un pequeño incremento de 4,43 puntos por encima de la obtenida al conectar la luminaria al sistema, de lo anterior se puede concluir que el efecto del arrancador de la luminaria es mínimo, en lo que a generación de armónicos se refiere.

En la figura 32 se presentan los armónicos de corriente de la luminaria en otro momento una vez se ha estabilizado su funcionamiento.

Gráfica 32. Estado estable de la luminaria de 70 W (2).



En la figura 33 y 34 se aprecia que la tendencia del tercer y quinto es hacia valores similares (alrededor del 30%), con lo cual se puede afirmar que el circuito presenta tanto efecto inductivo (dado por el balasto), como efecto capacitivo (dado por el capacitor rectificador del factor de potencia), siendo estos los de mayor contribución al THD.

En las gráficas 30 y 32 se aprecia que el THD en corriente es superior a la *máxima distorsión de corriente de la carga ( $I_L$ )* recomendado por la IEEE 519-1992, por lo cual el comportamiento armónico de las luminarias puede impactar negativamente al sistema, surgiendo la necesidad de filtrar los armónicos de las luminarias para reducir el THD.

### 2.3.2 Mediciones en luminaria de 150 W.

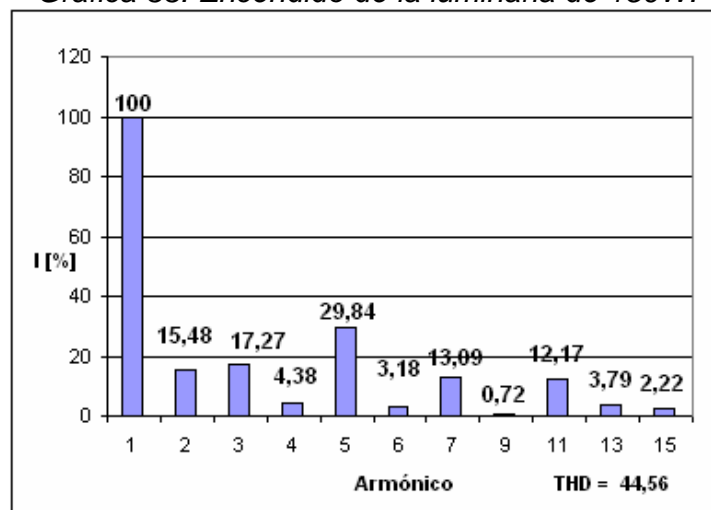
A continuación se enuncia las características eléctricas de los equipos que conforman la luminaria de 150 W (según especificaciones del fabricante).

*Condensador:* Disproel. 20  $\mu$ f. 250 [VAC]; +/- 3%; 50/60 Hz; -25°C + 90°C TIPO A.

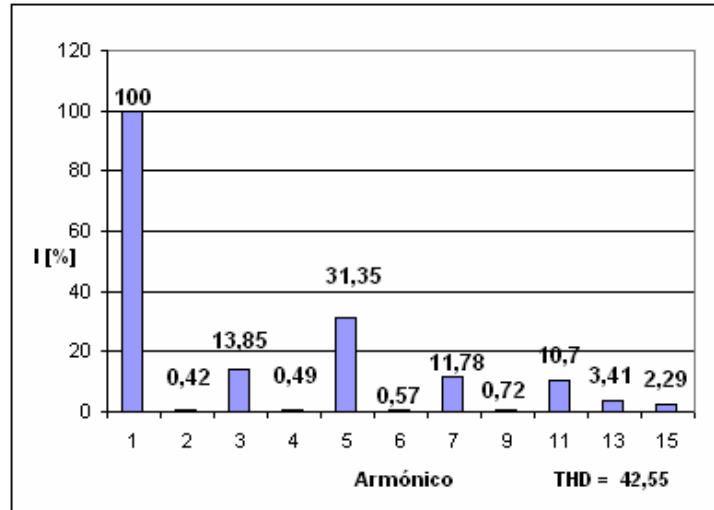
*Arrancador:* TIPO 2. SON (T) (PLUS) 100-150-250 [W]; 208/240 [V]; 50/60 Hz;  $C_{max}$  100 pf;  $T_c = 90^\circ\text{C}$ ;  $U = 2,8...5$  [KV].

Para la luminaria de 150 W se estudio su comportamiento armónico en el arranque inicial y en estado estable; en las gráficas 33 y 34 se representan los armónicos generados.

Gráfica 33. Encendido de la luminaria de 150W.



Gráfica 34. Estado estable de la luminaria de 150 W.



Para la luminaria de 150 W en estado estable se encontró que la generación de armónicos pares no es mayor al 1%.

En las gráficas 33 y 34, se aprecia que, tanto para la condición de conexión inicial como para la condición de estado estable, el quinto armónico es mayor que los valores establecidos por la norma IEEE 519. La distorsión armónica total se conserva alrededor de valores del 43%, lo que sugiere dos conclusiones: primero, el arrancador de la luminaria no influye notablemente en la generación de armónicos, siendo este resultado coherente con lo obtenido para la luminaria de 70 W; segundo, que el circuito eléctrico de la luminaria posee un efecto altamente capacitivo y esto es lo que genera el incremento sustancial del quinto armónico.

### 2.3.3 Mediciones en la luminaria de 250 W

Con la luminaria de 250 W se simuló una interrupción de tensión, con lo cual se obtienen los armónicos generados por la misma en condiciones de reencendido (figuras 37 y 38).

Las características eléctricas de los equipos que conforman la luminaria de 250 W (según especificaciones del fabricante), son las siguientes:

*Condensador:* Disproel; 20  $\mu$ f; 250 [VAC]; +/- 3%; 50/60 Hz; -25<sup>0</sup>C + 90<sup>0</sup>C TIPO A.

*Arrancador:* TIPO 2; SON (T) (PLUS) 100-150-250 [W]; 208/240 [V]; 50/60 Hz;  
 $C_{max}$  100 pf;  $T_c = 90^0C$ ;  $U = 2,8...5$  [kV].

Figura 35 Encendido de la luminaria de 250w.

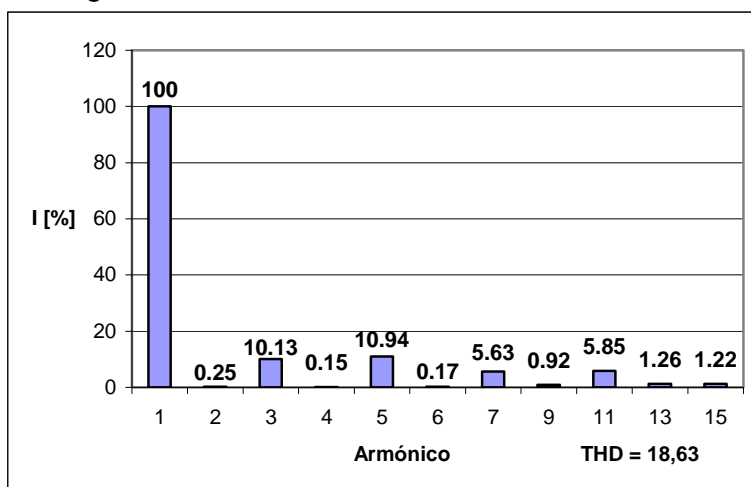
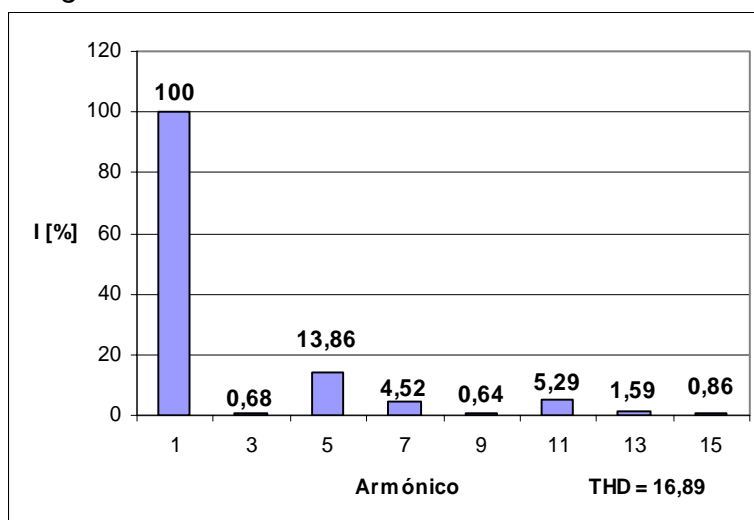


Figura 36 Estado estable de la luminaria de 250 W.



Para la luminaria de 250 W se encontró que, tanto para el estado estable como para la condición de arranque, los armónicos pares, en ningún caso, superan el 1%, con lo cual su contribución a la distorsión armónica total es mínima.

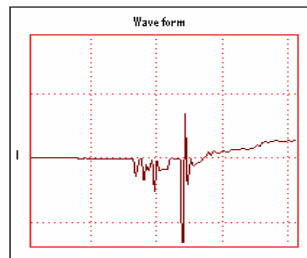
Por los resultados obtenidos se concluye que la luminaria de 250w, cuenta con un mejor diseño en el conjunto eléctrico interno y se aproxima en buena medida a las recomendaciones de la norma IEEE 519 pues posee el THD (alrededor del 16%); de lo anterior se puede afirmar que a mayor potencia de la luminaria es menor la generación de los armónicos.

Para concluir este apartado, se simula una interrupción en la continuidad del servicio con lo cual se quiere revisar el caso particular en el que la luminaria sale momentáneamente del sistema y retorna a su funcionamiento lo cual se presenta constantemente por averías en conexiones, fotocontroles, bombillas y conjuntos eléctricos.

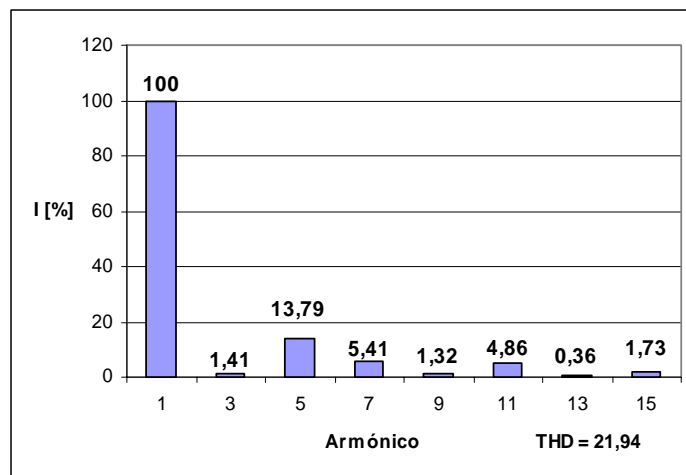
Cuando se desconectó la luminaria no se aprecio un cambio importante en la tensión del sistema, lo cual se debe a que para el sistema ocurrió una desconexión de carga de una potencia baja que no afecta el nivel de tensión.

En la reconexión de la luminaria se presenta el pico de corriente mostrado en la figura 37, efecto que se caracteriza en la gráfica 38.

*Figura 37. Comportamiento en corriente*



*Figura 38. Reconexión de la luminaria de 250 W.*



La figura 38 presenta un contenido de armónicos similar en la gráfica 36. Los armónicos pares no son superiores al 1%, y ocurre un leve incremento en el THD, el cual vuelve al valor mostrado en la figura 36 una vez la luminaria se estabiliza nuevamente.

Según lo encontrado anteriormente es necesario un diseño de filtros que permitan mejorar el factor de potencia y a su vez amortiguar los armónicos producidos.

## 2.4 El mantenimiento del S.A.P.

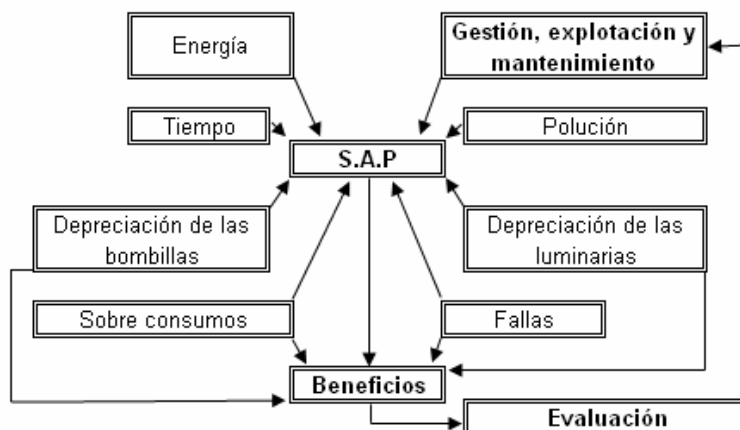
Si bien es cierto, el diseño e implementación de la infraestructura eléctrica y de los sistemas de alumbrado público se realiza en cortos periodos de tiempo, su operación, por lo general, se proyecta a periodos que van desde lo 8 hasta los 20 años; por este motivo se requiere una buena gestión sobre la red; con lo cual se garantiza su correcto funcionamiento, se reduce la depreciación, el envejecimiento, adaptándose rápidamente a las condiciones cambiantes del servicio.

Cuando se presenta carencia de gestión o la misma dista de ser la adecuada se obtienen deficiencias operativas en los sistemas eléctricos; en el caso del alumbrado público se han observado las siguientes:

- ✚ Condiciones de servicio inferiores a las necesarias; esto representa un problema en la seguridad vial y ciudadana.
- ✚ Desaprovechamiento de los recursos invertidos, pues la operación es ineficiente.
- ✚ Incremento del consumo energético, lo que representa mayores costos de operación.

La figura 39 esquematiza los diversos factores que inciden en el S.A.P. así como el papel que la gestión desempeña en el mismo.

*Figura 39 Gestión, explotación y mantenimiento del S.A.P*



En el caso particular del SAP de Bogotá se encuentra que la totalidad de los factores están presentes incidiendo de forma directa en la operación del mismo, por tanto se partirá de este esquema para abordar lo relacionado al mantenimiento del SAP y estudiar las ventajas o desventajas que tiene la modernización.

### 2.4.1 Descripción del mantenimiento realizado<sup>24</sup>

Desde al año 2002, en la ciudad de Bogotá se han realizado avances en la gestión del mantenimiento: tanto en la forma de operarlo como de planificarlo, lo cual se ha logrado por medio del soporte de ayudas informáticas de última tecnología, sistemas de georeferenciación, y la implementación de métodos mas eficientes para la ejecución de las obras.

Cuando se habla de mantenimiento del SAP, es posible hacer una diferenciación en el tipo de actividades realizadas: mantenimiento de tipo correctivo y mantenimiento de tipo preventivo; el estudio de las implicaciones administrativas y económico-financieras del mantenimiento del SAP, después de la modernización es un tema que está fuera del alcance de este estudio y se dificulta debido a la escasa información a la cual se tiene acceso.

A continuación se describen las principales actividades del mantenimiento del SAP, diferenciándolas entre las que son de tipo correctivo y las que son de tipo preventivo.

Mantenimiento de tipo correctivo. El mantenimiento correctivo es el más utilizado en la actualidad y consiste en la reparación de todas las averías e incidencias del sistema una vez estas se presentan. Estas se pueden agrupar en 4 grandes grupos:

- ✚ Sustitución de bombillas.
- ✚ Sustitución o reparación de las luminarias.
- ✚ Sustitución y/o ajuste del sistema de control de encendido.
- ✚ Reparación o sustitución de los equipos eléctricos.

Como se verá en el Capítulo cuatro, el parque lumínico de la ciudad esta compuesto por un total de 366 000 luminarias, lo que hace que responder de forma rápida para corregir las averías del sistema exija una plataforma técnica y un grupo de personas adecuado.

Para amortiguar estos requerimientos se han implementado algunas medidas que buscan integrar tanto los intereses de Codensa S.A. como los de los usuarios.

Entre otros se destacan: la apertura de líneas telefónicas de servicio al cliente y en las cuales se pueden hacer reportes de luminarias defectuosas o fuera de servicio, la implementación de un sistema de georeferenciación de los puntos luminosos (importante para el mantenimiento tanto correctivo como preventivo), y se optó por usar los sistemas de control normalmente cerrados, con lo cual se orienta el mantenimiento hacia la revisión nocturna del sistema.

---

<sup>24</sup> Tanto con tecnología de vapor de mercurio, como con tecnología de vapor de sodio.

Desde el punto de vista técnico y económico la implementación de mantenimiento correctivo en la mayor parte de la ciudad se justifica si se consideran algunos aspectos como: al fallar una luminaria y al estar controlada de forma individual, se ve afectado solo su zona de influencia, lo que no representa una condición crítica para el sistema (si esto es solucionado en forma oportuna), la reparación o reposición de un equipo no tarda mas de una hora y no exige de personal altamente especializado, por lo general los equipo que fallan llevan operando largos periodos de tiempo con lo cual ya se ha recuperado la inversión inicial.

Mantenimiento de tipo preventivo (MP).

El mantenimiento preventivo del S.A.P. consiste en la revisión periódica de todos y cada uno de los elementos de la instalación, efectuando las tareas necesarias para evitar averías y/o fallos de la misma, antes de que ocurran[6]. Es fundamental siempre comenzar con la realización de un inventario (número, tipo y ubicación de los puntos de luz, sistemas de control, cuadros eléctricos, planos, etc.) y de un plan de mantenimiento que incluya la gestión de recambios. En el caso del SAP es posible agrupar estas tareas de la siguiente forma:

- ✚ Inspección del estado de los soportes (corrosión, anclajes, tapas de registro, etc.)
- ✚ Inspección de las luminarias (caja de conexiones eléctricas, amarres, cierre, limpieza).
- ✚ Inspección y comprobación del sistema de control de encendido.
- ✚ Inspección del tendido eléctrico (donde sea aéreo).
- ✚ Comprobación de la iluminación ofrecida y su intensidad.
- ✚ Limpieza exterior de las luminarias.

El M.P. en el SAP de Bogotá se implementa en avenidas vehiculares principales y calles de alto tráfico peatonal, encontrándole una justificación desde el punto de vista económico, puesto que hacer MP versus el mantenimiento correctivo es más costoso.

En términos generales, el mantenimiento del SAP, sea cual sea su forma de implementación tiene una justificación técnica, económica y social que está estrechamente relacionada con la calidad de la prestación del servicio de alumbrado público de la ciudad.

Desde el punto de vista técnico, las condiciones externas a que se encuentran sujetas las luminarias disminuyen rápidamente sus condiciones óptimas de funcionamiento, es decir, la suciedad en los conjuntos ópticos y eléctricos de la luminaria, tanto las bajas como las altas temperaturas, los efectos de la humedad de la ciudad, las vibraciones mecánicas y demás, afectan su rendimiento lumínico.

Desde el punto de vista económico el mantenimiento se justifica puesto que: se garantiza una eficaz protección y conservación de las inversiones realizadas, impidiendo su deterioro, valorizando los activos e incrementando su vida útil, lo cual es una garantía para prestación del servicio de alumbrado público con calidad.

#### 2.4.2 El mantenimiento del S.A.P. después de la modernización

Para analizar la incidencia que presenta la modernización en la gestión, explotación y mantenimiento del S.A.P. se estudia, de forma cualitativa, la manera como esta afecta (tanto positiva como negativamente), cada una de la variables descritas en la figura 39 y desde la óptica del mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo.

La gestión del sistema después de la modernización.

Como se indicó antes, la gestión del SAP en Bogotá ha dado avances considerables desde el año 2002; en este sentido la modernización se convierte en un instrumento con el que se cuenta para fortalecer dicha gestión.

El hecho más representativo es la actualización de la base de datos (sistema georeferenciado) que se logró cuando se ejecutaron las obras de modernización<sup>25</sup>; permitiendo con esto:

- ✚ Ubicación rápida de cada punto luminoso en el sistema.
- ✚ Inventario real del sistema (36 6000 luminarias aproximadamente).
- ✚ Conocimiento de las fechas exactas en que cada componente entra en funcionamiento, obteniendo así la fecha exacta en que se debe hacer reposición de los elementos.
- ✚ La trazabilidad de cada punto luminoso.
- ✚ La implementación, a futuro, de sistemas de mantenimiento o reposición en bloque, logrando reducción sustancial de costos y mejorando notablemente la calidad en la prestación del servicio.
- ✚ Tiempos de respuesta más rápidos cuando se presentan fallas en el SAP o cuando las luminarias salen de servicio.
- ✚ Revalorizar el sistema.

La explotación del sistema después de la modernización. Conscientes de las ventajas que representa la modernización desde el punto de vista de la gestión, las ventajas encontradas para la explotación del SAP, son las siguientes:

---

<sup>25</sup> Ver esquema general de la modernización, Capítulo 1.

- ✚ Como se analiza en el Capítulo cuatro, la reducción del consumo energético del SAP, está alrededor del 40 – 50% por punto luminoso modernizado linealmente, con esto (en especial en las redes de carácter mixto<sup>26</sup>), se obtiene más disponibilidad de las líneas eléctricas, en todos los niveles de tensión, con lo cual se permite mayor explotación de las mismas.
- ✚ Reducción de las pérdidas técnicas, por concepto de alumbrado público.
- ✚ Un Incremento de lo niveles de iluminación, con reducción del consumo de energía.
- ✚ Al usar el control de encendido para limitar los tiempos de operación se logra un tiempo adecuado para la luminaria (12 horas en promedio), poniendo en funcionamiento el SAP en las horas mas requeridas.

La parte operativa de la gestión del SAP, el mantenimiento, es uno de los factores sobre los que más incide la modernización; si bien es cierto, desde la perspectiva de la modernización las condiciones ambientales son inmodificables, también es claro que desde esta se puede lograr una mayor robustez del SAP ante estos factores y disminuir, directa e indirectamente, los requerimientos de mantenimiento del sistema.

A continuación se analiza la forma como cada uno de los factores mostrados en la figura 39: energía, polución, tiempo, depreciación de las bombillas, depreciación de las luminarias, sobre consumos y fallas se modifican por la modernización y se obtienen beneficios a partir de esta.

- ✚ *Energía*: como se mencionó anteriormente, el consumo energético se reduce, sin embargo, esto se relaciona más, con la explotación del sistema que con el mantenimiento.
- ✚ *Polución*: la forma en que la polución afecta el sistema se amortigua con la modernización dado que el diseño y construcción de las luminarias con tecnologías de vapor de sodio, permite la auto-limpieza de las partes exteriores de la luminarias haciendo uso del agua lluvia gracias a la forma ovoide exterior y al acabado con pintura poliésterica, que dificulta la adhesión de partículas. Por otra parte, y considerando que los grados de hermeticidad de las luminarias son altos, se garantiza que la polución no afecta severamente las partes internas de la misma.
- ✚ *Tiempo*: la bombilla es el elemento que pone el límite menor del *tiempo de funcionamiento* de un punto luminoso<sup>27</sup>. Tanto las bombillas con vapor de mercurio como las de vapor de sodio presenta una vida media de 24000 horas lo que no daría ninguna ventaja a la modernización; sin embargo, al disminuirse los efectos de la polución sobre el SAP, se reducen proporcionalmente los requerimientos de limpieza y revisión interna, con lo cual se extienden los intervalos de tiempo de mantenimiento.

---

<sup>26</sup> Red mixta: que suministra energía tanto para uso residencial como para alumbrado público.

<sup>27</sup> Sin considerar que los fotocontroles garantizan 1000 operaciones (según tabla 2.12), lo que equivale a un año y medio aproximadamente.

- ✚ *Sobre-consumos*: al usar sistemas de control normalmente cerrados, se evitan sobre-consumos, puesto que, cuando se presentan fallas en el sistema, la luminaria queda fuera de servicio, *aún en las noches*, evitando que se consuma energía en horas del día, y trasladando el mantenimiento a la revisión nocturna y exigiendo mayores tiempos de respuesta para reparar averías, con lo cual se mejora el servicio.
- ✚ *Fallas*: en caso de falla, la forma como están construidas las luminarias, permiten una rápida intervención en sitio, y sin necesidad de un desmonte total de la luminaria.

Como se puede ver en el análisis anterior, los beneficios que trae la modernización del SAP, desde el punto de vista del mantenimiento, son altos e incentivan y procuran una gestión integral sobre el sistema, logrando revalorizar la infraestructura y, por otra parte, disminuir los costos de operación y mantenimiento.

Dadas las ventajas encontradas se hace necesario diseñar planes de mantenimiento que permitan aprovechar estas características, disminuir la depreciación de los equipos, prolongar su vida útil, garantizar una prestación del servicio con alta calidad, una reducción de costos operativos y de inventario y garantizar un sistema desde el punto de vista energético.

### **Capítulo 3**

#### **Aspectos medioambientales, Estudio del impacto ambiental**

En este Capítulo se hace un *estudio simplificado del impacto ambiental, (ESIA)* de la modernización, abordando los aspectos técnicos y haciendo énfasis en los factores físico - químicos y biológicos, dejando a un lado las cuestiones jurídico – administrativas que lo convertirían en una evaluación ambiental.

Este estudio abarca una estimación cualitativa de los efectos sobre la vida humana, la fauna, la flora, la vegetación, el suelo, el agua, el aire, el clima, el paisaje y todo lo que pueda ser impactado ambientalmente por la ejecución de las obras de modernización o por su fase de operación.

Considerando que proyectos como este no son sometidos, reglamentariamente, a la evaluación del impacto ambiental, se considera que las características del mismo, al ser un proyecto de infraestructura urbana, amerita por lo menos, *el estudio de impacto ambiental*.

#### **3.1 Descripción general de la metodología del EsIA**

Al establecer una metodología para el estudio medioambiental de la modernización se deben considerar dos aspectos: primero, todas las metodologías propuestas<sup>28</sup> parten de la premisa que cuando se empieza el EsIA, el proyecto aún no se ha empezado a ejecutar, intentando con esto, predecir las consecuencias que la ejecución de dicho proyecto ocasiona en el entorno en que se localiza; segundo, se pretende que la identificación de los impactos sirvan para identificar las medidas correctoras o minimizar sus efectos.

En el Capítulo primero se definió que el estudio del impacto ambiental es un proceso de análisis encaminado a identificar, predecir, interpretar, valorar, prevenir, y comunicar el efecto de un plan o proyecto sobre el medio ambiente interpretado en términos de salud y bienestar humanos, motivo por el cual la metodología recomendada y usada para el caso de la modernización se basa en el método de las matrices causa – efecto, derivadas de la matriz de *Leopold* con resultados cualitativos, y del método del *Instituto Batelle – Columbus*, con resultados cuantitativos, que consiste en un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figuran las acciones impactantes y en las filas, los factores ambientales susceptibles de recibir impactos.

---

<sup>28</sup> Coneza Fernández Vitora

### **3.1.1 Fases de la metodología del EsIA**

Las fases de la metodología de un EsIA deben incluir [17]:

1. Análisis del proyecto y sus alternativas.
2. Definición del entorno del proyecto.
3. Previsiones de los efectos que el proyecto generará sobre el medio.
4. Identificación de las acciones del proyecto potencialmente impactante.
5. Identificación de los factores del proyecto potencialmente impactados.
6. Identificación de relaciones causa – efecto entre acciones del proyecto y factores del proyecto.
7. Predicción de la magnitud del impacto sobre cada factor.
8. Valoración cuantitativa del impacto ambiental.
9. Definición de las medidas correctoras.
10. Emisión del informe final.

Al hacer una identificación y una evaluación de las posibles diferencias o alteraciones medioambientales que surgen a partir del cambio de tecnología se busca encontrar las posibles alteraciones medioambientales generadas; valorándolas cualitativamente, determinando de esta forma, un impacto ya sea positivo o negativo en cada caso.

### **3.2 Análisis del proyecto y sus alternativas**

Al encontrarse actualmente en ejecución las obras de modernización las alternativas que presenta el proyecto son escasas, sin embargo, no se ha hecho una valoración exhaustiva de cada fase del proyecto: cambio de tecnología, explotación, mantenimiento del sistema, cobrando especial importancia el presente estudio ambiental, dado que permite la caracterización del proyecto para tomar las medidas *correctivas*<sup>29</sup> pertinentes.

### **3.3 Definición del entorno del proyecto**

#### **3.3.1 Localización**

Como se mencionó en los capítulos anteriores, el proyecto de modernización del S.A.P, se ejecuta en la ciudad de Bogotá; está proyectado modernizar las diecinueve (19) localidades de la capital, según las prioridades especificadas en la tabla 19.

---

<sup>29</sup> Lo esperado de forma teórica sería que estas medidas fueran de tipo preventivo, para lo cual se requiere que el proyecto no hubiese empezado.

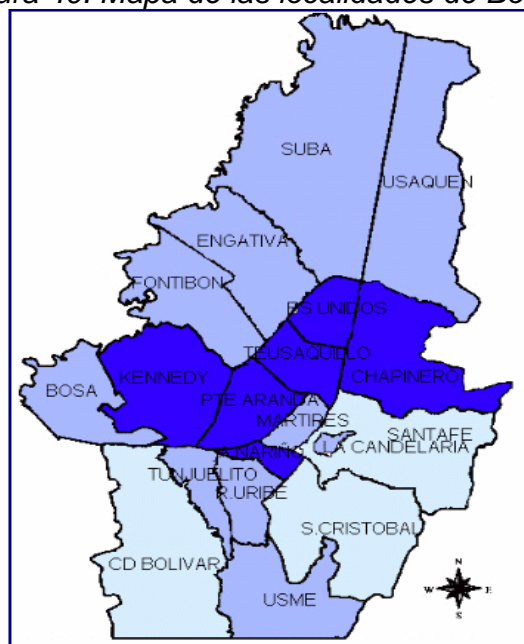
*Tabla 19. Asignación de prioridades para la ejecución de las obras de modernización*

PRIORIDAD	LOCALIDAD	CANTIDAD DE LUMINARIAS
1	Santafe	2.626
2	Candelaria	442
3	Martires	2.703
4	Usme y	5.688
5	Ciudad Bolivar	12.057
6	Bosa	9.334
7	San Cristóbal	11.183
8	Kennedy	20.193
9	Suba	19.737
10	Rafael Uribe	8.673
11	Antonio	3.768
12	Tunjuelito	4.107
13	Puente	10.479
14	Fontibon	6.071
15	Engativa	20.619
16	Chapinero	4.234
17	Barrios Unidos	5.887
18	Usaquen	11.453
19	Teusaquillo	4.722

Fuente: UESP

Se planificó un periodo de tres años para la ejecución total de las obras a partir de agosto de 2004. El proyecto está diseñado para que una vez se termine la ejecución de las obras, quede actualizado el sistema de georeferenciación de las luminarias en las diecinueve localidades que componen a Bogotá (ver figura 40).

*Figura 40. Mapa de las localidades de Bogotá.*



Fuente: Mosavi

Se espera que los impactos analizados en el EsIA sean de carácter general y sirvan indistintamente de la localidad, dado que se pueden encontrar diferentes características en cada una de éstas, ya sea por su situación socioeconómica, política o cultural.

Las condiciones de vida entre algunas localidades difieren enormemente al igual que la facilidad que tienen sus habitantes al acceso de los servicios públicos: transporte, energía, agua y demás.

Las actividades productivas de cada una de las localidades permiten dividirlos en: residenciales, industriales, comerciales y mixtas; también se pueden diferenciar por el manejo de la seguridad ciudadana y la presencia de la autoridad.

Sin embargo desde el punto de vista de la modernización, las localidades son indistintas, lo cual se evidencia en el rediseño del S.A.P. (ver figura 41) y en la planeación de las actividades, dado que el único criterio a considerar es el de la mejora en la cantidad y la calidad de la iluminación de las vías.

### **3.3.2 Política ambiental de Codensa S.A. ESP.**

Codensa y Cenercol cuentan con un sistema de gestión ambiental, el cual orienta sus actividades. A continuación se describe la política ambiental de Codensa.

”Siendo la protección, tanto del medio ambiente natural como del entorno en general, factor fundamental para el desarrollo sostenible de la compañía y de las futuras generaciones, es compromiso de Codensa implementar todas sus actividades empresariales respetando el medio ambiente mediante la optimización de los recursos naturales y la eficiencia energética.

Con el criterio de mantener una gestión proactiva en cuanto a la preservación del medio ambiente tanto en lo natural como en lo social, Codensa da estricto cumplimiento a la normativa vigente estableciendo compromisos precisos para garantizar el uso racional de los recursos y la minimización de los residuos” [7].

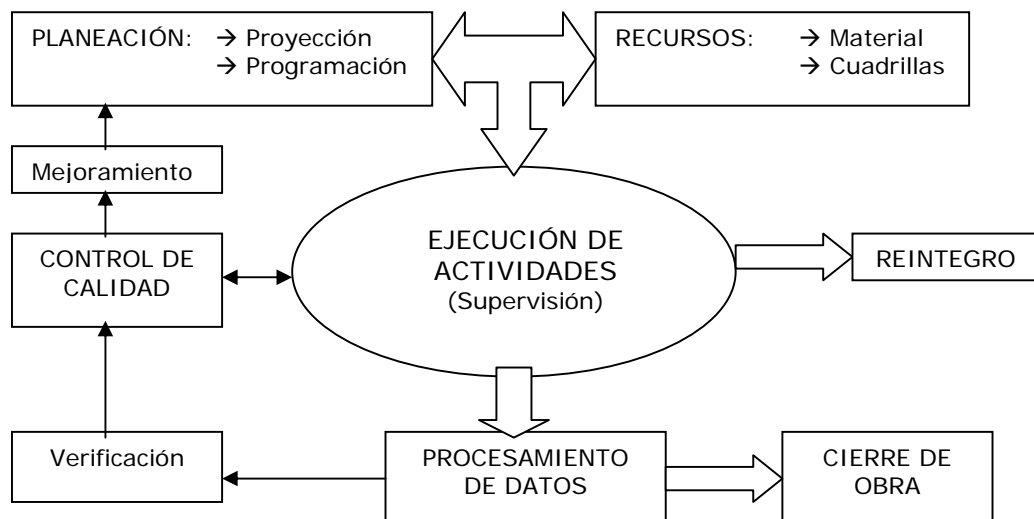
*Los principios generales de la política ambiental de Codensa son:*

- ✚ Integrar la gestión ambiental y el concepto de desarrollo sostenible en la estrategia corporativa de la compañía, utilizando criterios ambientales documentados en los procesos de planificación y toma de decisiones.

- ✚ Utilizar racionalmente los recursos naturales y reducir la producción de residuos, emisiones, vertimientos y en general controlar todos los factores responsables de los impactos ambientales, mediante la aplicación de programas de mejora continua y establecimiento de objetivos y metas, haciendo que las obras y actividades de Codensa sean cada día más respetuosas con el medio ambiente.
- ✚ Mantener en todas las obras de la compañía un control permanente del cumplimiento normativo y la revisión periódica del comportamiento ambiental y de la seguridad de las mismas, comunicando los resultados obtenidos.
- ✚ Conservar el entorno natural de las obras mediante la adopción de medidas encaminadas a la protección del medio ambiente.
- ✚ Fomentar un mayor grado de sensibilización para la protección del medio ambiente mediante la formación interna y externa, y la colaboración con las autoridades, instituciones y asociaciones ciudadanas.
- ✚ Propiciar entre los contratistas y proveedores la implantación de sistemas de gestión ambiental coherentes con los presentes principios.
- ✚ Promover el uso racional de la energía entre los clientes y la sociedad en general.

### 3.3.3 Descripción del proceso de modernización

Figura 41. Esquema general de la modernización



Las fases del proceso de modernización del alumbrado público son las siguientes:

*Recursos:* hace referencia a la adquisición de los equipos, personal y herramientas requeridos para la ejecución de las obras.

*Procesamiento de datos:* es la toma de rótulos, dirección, ejecutor de la obra, elementos usados, fechas; así como su ubicación en el sistema de información del S.A.P.

*Verificación:* en esta etapa se realiza un cruce de información contenida en el sistema con la información recopilada recientemente, para filtrar posibles errores en la adquisición de la misma.

*Control de calidad:* es la verificación en sitio de las labores realizadas.

*Mejoramiento:* es la realimentación del proceso, se busca depurar posibles fuentes de error.

*Planeación:* es la proyección y la planeación de la obras, tiempo, recursos, personal, ubicación, etc.

*Reintegro:* es el proceso mediante el cual se dispone finalmente de los elementos retirados del sistema: luminarias, conjuntos eléctricos, fotocontroles, conjuntos mecánicos y demás.

De las cinco fases del proceso: planeación, ejecución, reintegro, control de calidad y procesamiento de datos; se encontró que solo *la ejecución de las obras y el reintegro* de las luminarias son de interés ambiental.

### **3.4 Descripción de las implicaciones medioambientales del proyecto**

Dado que los dos aspectos que presentan implicaciones medioambientales en la modernización son la ejecución de las obras y el proceso de reintegro o disposición final de los materiales; en este numeral se enfatiza en estos aspectos, enmarcando el reintegro desde la gestión de los residuos sólidos, dando especial importancia al manejo del mercurio, y teniendo en cuenta aspectos como el uso racional de la energía, la polución lumínica y la generación de rayos UV, entre otros.

#### **3.4.1 Residuos sólidos, generalidades**

Se denomina residuo sólido a cualquier *producto, materia o sustancia*, resultante de la actividad humana o de la naturaleza que no tiene más función para la actividad que se generó; en la tabla 20 se muestra la clasificación general de los residuos sólidos.

Tabla 20. Clasificación general de los residuos sólidos

Origen	Composición	Peligrosidad
Domiciliario	Orgánicos	Tóxicos
Industrial	Vidrio	Reactivos
Comercial	Metal	Corrosivos
Institucional	Papel	Radiactivos
Público	Plásticos	Inflamables
Hospitalario	Cenizas	Infeciosos
	Polvos	
	Inerte	

El tipo y las características físicas, químicas y biológicas del residuo sólido condicionan las alternativas técnicas para su almacenamiento, recolección, transporte y disposición final.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos puede generar impactos negativos para la salud humana. Los residuos son una fuente de *transmisión de enfermedades*, ya sea por vía hídrica, por alimentos contaminados por moscas, por inhalación, ingestión u otros.

Los contaminantes biológicos y químicos de los residuos son transportados por el aire, agua, suelos, y pueden *contaminar residencias y alimentos* representando riesgos a la salud pública y causando contaminación de los recursos naturales.

Los residuos sólidos pueden contener sustancias orgánicas e inorgánicas perjudiciales a la salud humana, y al ambiente natural. Un número alto de enfermedades de origen biológico o químico están directamente relacionadas con los residuos sólidos y pueden transmitirse a los humanos y animales por contacto directo de los desechos o indirectamente.

La importancia del impacto ambiental asociados a la generación de residuos sólidos depende de las condiciones particulares de cada proyecto de la localización, geomorfología, y demás características de los medios físico, biótico y antrópico, así como de las características de los materiales desechados.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos produce impactos negativos sobre las aguas, el aire, el suelo, la flora y la fauna y ecosistemas.

Los efectos negativos que se pueden presentar son:

*Contaminación de los recursos hídricos:* El vertimiento de residuos sólidos sin tratamiento puede contaminar las aguas superficiales o subterráneas utilizadas para el abastecimiento de una ciudad, además de ocasionar inundaciones por obstrucción del alcantarillado; lo que significa la pérdida del recurso para consumo humano o recreación, ocasionar la muerte de la fauna acuática y el deterioro del paisaje[19].

*Contaminación atmosférica:* La quema al aire libre de los residuos o su incineración sin equipos de control adecuados, genera gases y partículas tales como, furanos, dioxinas y derivados órgano-clorados, problemas que se acentúan debido a la composición heterogénea de residuos especialmente el plástico[19].

*Contaminación del suelo:* La descarga y acumulación de residuos en los suelos urbanos o rurales producen impactos estéticos, malos olores y polvos irritantes. El depósito de residuos en sitios inestables y en depresiones causadas por erosión puede ocasionar derrumbes. Además, el suelo en que subyace los desechos sólidos depositados en un botadero a cielo abierto o en un relleno sanitario se contamina con microorganismos patógenos, metales pesados, sustancias tóxicas e hidrocarburos clorinados que están presentes en el lixiviado de los desechos.

*Amenazas a flora y fauna:* Los impactos ambientales directos sobre la flora y fauna se encuentran asociados, en general, a la remoción de especies de la flora y a la perturbación de la fauna nativa durante la fase de construcción, y a la operación inadecuada de un sistema de disposición.

### **3.4.2 Gestión de los residuos sólidos**

La gestión de los residuos sólidos hace referencia al manejo, almacenamiento y disposición final de los productos, materias o sustancias cuya función ha concluido; para lo cual se requiere regulación normativa, capacidad técnica y administrativa y responsabilidades compartidas entre gobiernos, comunidades y empresas.

El manejo de los residuos sólidos es el conjunto de operaciones de almacenamiento preliminar, barrido, limpieza, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y la disposición preliminar de éstos; debe incluir: una adecuada planificación, diseño y utilización de tecnologías y prácticas apropiadas para que se convierta en fuente de beneficio social y económico.

Un buen manejo de los residuos optimiza la utilización de los recursos naturales, especialmente los no renovables; por tanto uno de los principales impactos benéficos del manejo adecuado de los residuos sólidos es la recuperación de materiales reciclables y reutilizables.

Los residuos deberán almacenarse en recipientes colectores apropiados que hayan sido diseñados según la función a cumplir y requieren de la capacitación plena de los trabajadores para una adecuada recolección.

La recolección de los desechos tóxicos se debe hacer teniendo la precaución de separar materiales tóxicos y peligrosos y procurando que lo realice una empresa experta en el tema.

El tratamiento y la disposición final son las últimas etapas del ciclo de la gestión de los residuos sólidos; dentro de las opciones para la disposición final de los residuos sólidos se encuentra: rellenos sanitarios, incineración, compostaje y reciclaje.

*El relleno sanitario* consiste en la disposición de capas de basura compactadas sobre un suelo previamente impermeabilizado para evitar la contaminación del acuífero y recubiertas por capas de suelo[21].

La incineración de los residuos sólidos es una forma de tratamiento utilizada generalmente en grandes centros urbanos, donde la disponibilidad de grandes áreas para rellenos sanitarios es poca[21].

El compostaje, o estabilización biológica de residuos, es el proceso por el cual los desechos sólidos son tratados y se descomponen dando como resultado un abono con las características de un suelo vegetal que se puede utilizar en tierras agrícolas, bosques y jardines[21].

La recuperación y reciclaje de materiales es una parte fundamental del manejo integrado de residuos. Los principales componentes reciclables son los productos de papel, vidrio, metales y plástico.

La tabla 21 resume las principales ventajas y desventajas de cada una de las técnicas disponibles para la disposición final de los residuos sólidos.

Tabla 21. Técnicas para la disposición final de residuos sólidos: ventajas y desventajas.

Técnica	Ventajas	Desventajas
Relleno sanitario	Recuperación de zonas degradadas. Aprovechamiento de gases.	Exige extensas áreas aisladas. Características geológicas especiales.
Compostaje	Reducción de volumen.  Producción de acondicionadores de suelo.	Contaminación de los suelos y vegetación por la presencia de metales pesados. Bajos valores de nitrógeno, fósforo y potasio.
Incineración	Reducción de pesos y de volúmenes. Descontaminación biológica.	Contaminación atmosférica. Elevados costos de operación y mantenimiento.
Reciclaje	Aprovechamiento de los materiales. Ahorro de energía. Reducción de residuos. Sostenibilidad ambiental.	Riesgos ocupacionales inherentes a la recuperación informal de materiales reciclables (alto potencial de contaminación).

### 3.4.3 Gestión de residuos sólidos en la modernización

Las luminarias de vapor de mercurio, luego de retiradas del sistema, se descomponen en sus diferentes partes constitutivas: Brazo, difusor, conjunto eléctrico (condensador, arrancador, balasto, fusibles), cables de acometida, fotocontrol (cuando aplica), bombilla y la luminaria.

Los principales residuos sólidos generados por este despiece preliminar de la luminaria (clasificados de acuerdo a su composición) son:

- ✚ Metales como: Aluminio, hierro y cobre.
- ✚ vidrio.
- ✚ papel.
- ✚ cartón.
- ✚ plástico.
- ✚ componentes eléctricos y electrónicos: condensadores, arrancadores, fusibles, balastos, inductores y fotocontroles.

#### 3.4.3.1 Disposición final del brazo de la luminaria y del núcleo de balasto.

Estos elementos son clasificados como hierro, el procedimiento de reposición se ilustra en las figuras 42 y 43; luego de pesarlos, se acumulan hasta tener alrededor de 40 toneladas, finalmente son enviados a la empresa, *DIACO*, de Bogotá, para su fundición y posterior utilización.

*Figura 42. Disposición final del brazo de las luminarias.*



*Figura 43. Disposición final del núcleo del balasto*



#### 3.4.3.2 Disposición final de la caperuza y la campana de la luminaria.

Se clasifican como elementos de aluminio, su procedimiento es similar al del hierro; La campana es acumulada en bloques prensados de 30 kg como se ilustra en la figura 44. La caperuza se acumula sin prensar ya que esta sufre fractura mecánica al someterse a fuerzas de compresión, por último, se envían a empresas de Medellín para su fundición y posterior utilización.

*Figura 44. Disposición final de la caperuza y la campana de la luminaria.*



#### *3.4.3.3 Disposición final de la acometida de las luminarias*

Estas son clasificadas como cobre, su proceso de reposición final es similar al del hierro, con la excepción de que se exporta a países como la India, España y China (ver figura 45).

*Figura 45 Disposición final de la acometida de las luminarias*



#### *3.4.3.4 Disposición final de los fotocontroles*

La cubierta de plástico del fotocontrol junto al aislamiento del cable, de acometida y otros, se clasifica como tal y se entrega a empresas de Bogotá para su reciclaje; por su parte los componentes electrónicos del fotocontrol se someten a la acumulación incluyendo la foto celda, cuyo componente principal es el sulfuro de cadmio, para posteriormente depositarlos en los rellenos sanitarios.

#### *3.4.3.5 Disposición final de los bombillos*

Este se despieza en tres elementos: Vidrio, aluminio y cápsula de mercurio; el aluminio se encuentra en la base de la bombilla “casquillo”, este se acumula como material de aluminio y se somete al proceso descrito en el numeral 3.4.3.2; el vidrio del bulbo, por su parte, es clasificado entre Vidrio con revestimiento de Fósforo y sin revestimiento, el primero se lleva directo a los rellenos sanitario de

Bogotá y el segundo es sometido a la fundición; la cápsula interna, cuyo componente principal es el mercurio recibe un tratamiento especial pues si el mercurio es tratado inadecuadamente puede liberarse al ambiente con nefastas consecuencias.

Las medidas que se toman en el manejo de estas cápsulas corresponde al alto impacto que, de no ser así, presentaría el mercurio en el ambiente y sobre todo en los operarios, a continuación se profundiza acerca de este problema.

#### 3.4.3.5.1 Origen del mercurio

El mercurio se genera de manera natural en el medio ambiente y se da en una gran variedad de formas. Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura se le conoce como mercurio “elemental” o “metálico” (representado también como Hg (0) o Hg<sup>0</sup>). Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común encontrarlo en compuestos y sales inorgánicas.

El mercurio elemental es un metal blanco plateado brillante, en estado líquido a temperatura ambiente y si no está *encapsulado*, el mercurio metálico se evapora parcialmente, formando vapores de mercurio, estos últimos son incoloros e inodoros. Cuanto más alta sea la temperatura, más vapores emanarán del mercurio metálico líquido.

Cuando el mercurio se combina con carbono se forman compuestos conocidos como compuestos “orgánicos” de mercurio u organomercuriales. Existe una gran cantidad de compuestos orgánicos de mercurio (como el dimetilmercurio, fenilmercurio, etilmercurio y metilmercurio), pero el más conocido de todos es el metilmercurio.

El compuesto orgánico de mercurio más común que generan los microorganismos y procesos naturales a partir de otras formas es el metilmercurio. El metilmercurio puede acumularse (bioacumulación y biomagnificación) en muchos peces de agua dulce y salada comestibles, así como en mamíferos marinos comestibles, en concentraciones miles de veces mayores que las de las aguas circundantes.

En la actualidad no se conocen fuentes antropógenas (generadas por seres humanos) directas de metilmercurio. Sin embargo, y de forma indirecta, las liberaciones antropógenas contribuyen a los niveles de metilmercurio en el medio ambiente por su transformación a partir de otras formas[22].

#### 3.4.3.5.2 Estados del mercurio, (condiciones naturales)

Los estados del mercurio en condiciones naturales son:

- ✚ Orgánica o inorgánica mediante adsorción iónica, electrofílica o lipofílica.
- ✚ Como vapor metálico y mercurio líquido/elemental.
- ✚ Unido a minerales que contienen mercurio (sólido).
- ✚ Como iones en solución o unido a compuestos iónicos (sales inorgánicas y orgánicas).
- ✚ Como complejos iónicos solubles.
- ✚ Como compuestos orgánicos no iónicos gaseosos o disueltos.
- ✚ Unido a partículas o materia.

#### 3.4.3.5.3 Fuentes de contaminación por mercurio

Las emisiones de mercurio se pueden agrupar en cuatro categorías[23]:

##### a) Fuentes naturales

Liberaciones debidas a la movilización natural del mercurio: la actividad volcánica o la erosión en las rocas.

##### b) Liberaciones antropógenas

Resultantes de la movilización de impurezas de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles -en particular el carbón, y en menor medida el gas y el petróleo- y otros minerales extraídos, tratados y reciclados.

##### c) Liberaciones antropógenas

Resultantes del uso intencional del mercurio en productos y procesos durante la fabricación, los derrames, la eliminación o incineración de productos agotados y liberaciones de otro tipo.

##### d) Liberaciones antropógenas

Resultantes de remociones pasadas de mercurio depositado en suelos, sedimentos, masas de agua, vertederos y acumulaciones de desechos o residuos.

La tabla 22, muestra la estimación de las liberaciones globales de mercurio.

Tabla 22. Estimaciones de liberaciones atmosféricas globales de mercurio emitidas por distintas fuentes antropógenas importantes en 1995 [toneladas métricas/año]<sup>30</sup>.

Continente	Combustión estacionaria	Producción de metales no ferrosos <sup>31</sup>	Producción de hierro y acero en lingotes	Producción de cemento	Eliminación de desechos <sup>32</sup>	Suma, fuentes contabilizadas <sup>33</sup>
Europa	186	15	10	26	12	250
África	197	7.9	0.5	5.2		210
Asia	860	87	12	82	33	1070
América del Norte	105	25	4.6	13	66	210
América del Sur	27	25	1.4	5.5		60
Australia y Oceanía	100	4.4	0.3	0.8	0.1	100

#### 3.4.3.5.4 La toxicidad del mercurio

La toxicidad del mercurio depende de su forma química y, por lo tanto, los síntomas y signos varían según se trate de exposición al mercurio elemental, a los compuestos inorgánicos de mercurio, o a los compuestos orgánicos de mercurio (en particular los compuestos de alquimercurio como sales de metilmercurio y etilmercurio, y el dimetilmercurio).

En general el ser humano es susceptible de intoxicación por mercurio, ya sea por inhalación o por ingestión. A continuación se describen las diferentes formas como puede haber intoxicación por mercurio.

La vía principal de exposición al mercurio elemental es por inhalación de sus vapores. Cerca del 80% de los vapores inhalados son absorbidos por los tejidos pulmonares. Este vapor también penetra con facilidad la barrera de sangre del cerebro. La absorción intestinal de mercurio elemental es baja. El mercurio elemental puede oxidarse en los tejidos corporales a la forma divalente inorgánica. Se han observado trastornos neurológicos y de comportamiento en seres humanos tras inhalación de vapor de mercurio elemental. Algunos de los síntomas son: temblores, labilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, cambios en el sistema neuromuscular y dolores de cabeza.

<sup>30</sup> En esta tabla no se incluyen liberaciones en medios acuáticos y terrestres ni liberaciones atmosféricas de algunas otras fuentes- porque no existen estimaciones globales recientes.

<sup>31</sup> Producción de metales no ferrosos, como Mercurio, Zinc, Oro, Plomo, Cobre, Níquel, que liberan Mercurio.

<sup>32</sup> Los autores del inventario consideran que estos valores están subestimados.

<sup>33</sup> Representa el total de las fuentes mencionadas en esta tabla y no todas las fuentes conocidas.

Se han observado asimismo efectos en el riñón y la tiroides. Las exposiciones altas también han ocasionado mortalidad[22].

Los alimentos constituyen la fuente más importante para la mayoría de la gente (Dietas a base de pescado). Sin embargo, para ciertos segmentos de la población, el uso de cremas y jabones a base de mercurio para aclarar la piel, y el uso de mercurio con propósitos culturales/rituales o en medicina tradicional, también puede conducir a la exposición a mercurio inorgánico o elemental.

El metilmercurio es un neurotóxico, que puede provocar efectos perjudiciales particularmente en el cerebro en formación. Además, este compuesto traspasa con facilidad la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica; por eso es muy preocupante la exposición durante el embarazo.

En cuanto al metilmercurio, se han observado efectos en el sistema nervioso adulto, enfermedades cardiovasculares, en la incidencia de cáncer y en la genotoxicidad; además, se han detectado efectos en la variabilidad del ritmo cardíaco en niños de siete años de edad con exposición prenatal así como en la mortalidad cardiovascular en adultos[22].

En términos generales los principales efectos de la exposición a mercurio y a sus compuestos son[18]:

- ✚ Hidragirismo, la cual consiste en la caída del cabello, dolor muy fuerte de cabeza (Cefaleas), trastornos psiquiátricos, respiratorios, digestivos, renales, oftalmológicos, nerviosos y locomotores.
- ✚ Alteraciones renales y del sistema nervioso central.
- ✚ Causa anomalías en la replicación celular y la rotura de cromosomas de células normales.
- ✚ Debilidad muscular, cansancio e insensibilidad en brazos y piernas.
- ✚ Dificultad para tragar; visión borrosa, pérdida del oído, sabor metálico en la boca.
- ✚ El mercurio (ionizado) se acumula en los riñones, la médula ósea, el bazo, el hígado, los pulmones, la piel, el cabello y los eritrocitos.
- ✚ El ión mercúrico atraviesa la placenta y puede afectar el feto (el cerebro del feto es 5 a 10 veces más vulnerable que la de un adulto).
- ✚ Los niños expuestos al vapor de mercurio pueden desarrollar acrodinia, también llamada "enfermedad rosada". Este raro síndrome causa severos calambres en las piernas, irritabilidad y dedos rosados y dolorosos, resultando a veces en la exfoliación de la piel de las manos.
- ✚ En el tracto gastrointestinal se absorbe menos del 0.01 % del total de una dosis de mercurio líquido ingerido.
- ✚ La intoxicación aguda, no severa, por mercurio inorgánico produce: Dolor abdominal, náuseas, diarrea, dificultad para respirar e insuficiencia renal.

- ✚ Si la intoxicación es severa, pueden aparecer signos y síntomas neurológicos, tales como: incoordinación en la actividad muscular voluntaria, disminución de la agudeza visual, que puede llegar a la ceguera, retardo mental, espasmos mioclónicos y patrones encefalográficos anormales.

El sistema nervioso central se afecta básicamente por el carácter liposoluble (Se disuelve fácil y rápidamente en el tejido graso del cuerpo humano) del mercurio.

En cuanto a carcinogenicidad, se concluye que el mercurio metálico y los compuestos inorgánicos de mercurio no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad para los seres humanos. Por consiguiente, los efectos neurotóxicos, como la inducción de temblores, podrían constituir el efecto crítico que sirva de base para la evaluación de riesgos.

También deberían considerarse los efectos en riñones (conducto renal), pues son el punto de destino crítico en lo que a exposición a compuestos inorgánicos de mercurio se refiere. Puede que el efecto sea reversible, pero como la exposición de la población general tiende a ser continua, el efecto puede seguir siendo relevante.

#### *3.4.3.5.5 Efectos directos del mercurio en el medio ambiente*

Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimenticia. Hasta cierto punto, todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilmercurio se absorbe y acumula más que otras formas.

*El mercurio puede bioacumularse o biomagnificarse.*

El término *bioacumulación* significa la acumulación neta en un organismo de metales provenientes de fuentes bióticas (otros organismos) o abióticas (suelo, aire y agua).

El término *biomagnificación* significa la acumulación progresiva de ciertos metales pesados (y otras sustancias persistentes) de uno a otro nivel trófico sucesivo.

La bioacumulación y biomagnificación del mercurio, se trata de un proceso muy complejo en el que participan ciclos biogeoquímicos e interacciones ecológicas complicadas. Por consiguiente, aunque pueda observarse la acumulación/ biomagnificación, no es fácil predecir el grado de biomagnificación del mercurio en peces de diferentes sitios.

La biomagnificación del mercurio es lo que más incide en los efectos para animales y seres humanos. Al parecer, los peces adhieren con fuerza el metilmercurio; casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores es metilmercurio.

Teniendo en cuenta que su tiempo de degradación es muy prolongado, alrededor de 10000 años, el mercurio trae consecuencias devastadoras sobre el medio ambiente, a continuación se enuncian las principales:

- ✚ Destrucción y contaminación del nicho ecológico.
- ✚ Contaminación de la cadena trófica: Fitoplancton, zooplancton, peces y moluscos diversos, fauna y flora terrestre.
- ✚ Reducción de la eficiencia fotosintética de las algas marinas.
- ✚ Concentraciones de mercurio en animales y plantas por encima de los niveles admisibles de cada especie, cuya consecuencia es su alteración genética.

#### *3.4.3.5.6 Gestión de los desechos de mercurio*

La gestión de desechos de mercurio es cada vez más compleja dado que se recolecta cada vez más mercurio de una gran variedad de fuentes, entre ellas, productos del filtrado de gas, lodos de la industria cloroalcalina, cenizas, escorias y residuos minerales inertes, así como tubos fluorescentes y luminarias de vapor de mercurio usadas, baterías y otros productos que por lo general no se reciclan[21].

La gestión de los desechos de mercurio, mas que una medida de “control”, puede consistir en volver inerte el contenido de mercurio de los desechos, para luego depositarlos en rellenos sanitarios controlados, o bien depositarlos sin tratamiento previo.

En los centros de acopio de desechos ordinarios generalmente se permiten concentraciones bajas de mercurio, y en algunos países sólo se permite que se depositen los desechos con grandes concentraciones de mercurio en vertederos con mejores tecnologías de control de liberaciones, para así limitar el lixiviado y la evaporación de mercurio.

La gestión adecuada de desechos de mercurio es importante para reducir liberaciones en el medio ambiente, como las ocasionadas por filtraciones (en termómetros y manómetros rotos, por ejemplo) o liberaciones que se generan con el tiempo debido a filtraciones en ciertas aplicaciones (interruptores automáticos, amalgamas dentales). Además, dada la demanda de mercurio, la recolección de productos que contienen mercurio para fines de reciclado reduce la necesidad de extracción de mercurio nuevo.

#### 3.4.3.5.7 Manejo de las capsulas de mercurio en la modernización

Los cuidados con las cápsulas de mercurio empiezan desde el momento en que se retira la luminaria del sistema, donde los operarios depositan las bombillas enteras en canecas y los envuelven en papel, como se aprecia en la figura 46, para evitar ruptura por choque o fricción, las canecas mencionadas cumplen las normas NTA 405 y 409<sup>34</sup>.

*Figura 46. Disposición preliminar de las bombillas de Mercurio.*



Una vez haya entre tres y cuatro canecas llenas se procede a transportarlas hasta las instalaciones de la Compañía LITO donde se entregan el material para que esta haga su disposición final.

En la compañía LITO, los bombillos son aislados del contacto humano, excepto del personal capacitado y autorizado; su proceso de recuperación inicia con el retiro de la capsula del bulbo de la bombilla, a través de un corte del bulbo en la base del casquillo, este proceso se lleva a cabo en un segundo piso de la empresa donde se encuentran dos operarios debidamente protegidos contra agentes químicos, con careta antigases, trajes de impermeabilización y acumulación, botas de aislamiento químico y guantes propios de estas labores, además son sometidos a periodos de trabajos cortos para una mayor oxigenación.

Posteriormente, las cápsulas de mercurio son acumuladas en recipientes aprobados por los normas nacionales y con estándares internacionales, tales como los de la Organización de las Naciones Unidas, ONU, y debidamente marcados según lo especifica la norma NTA 409.

---

<sup>34</sup> Ver anexo B.

Actualmente se realiza un estudio de viabilidad, que analiza el envío de este material a empresas de los Estados Unidos, para su recuperación dado que en el país no se cuenta con este tipo de empresas y en Brasil la empresa Aplicaciones Químicas, Apliquim, ha desarrollado toda la tecnología y la infraestructura necesaria para esto, pero tiene como política solo tratar desechos de mercurio generados dentro del mismo país.

### **3.4.4 Otros aspectos del proceso de modernización**

En el proceso de modernización también se analizan otros aspectos relacionados con el desarrollo sostenible que se requiere actualmente, los cuales se presentan a continuación:

#### *3.4.4.1 Uso racional de la energía, (URE)*

Colombia ha suscrito acuerdos internacionales que comprometen su gestión en el corto mediano y largo plazo hacia objetivos de sostenibilidad ambiental, económica y social de su desarrollo y ha establecido políticas claras en la dirección del desarrollo sostenible. Estas políticas deben materializarse en acciones concretas que le permitan al país aprovechar racional y "sosteniblemente" sus recursos minerales y energéticos, así como mejorar las condiciones ambientales del desarrollo económico y social de los sectores y las regiones.

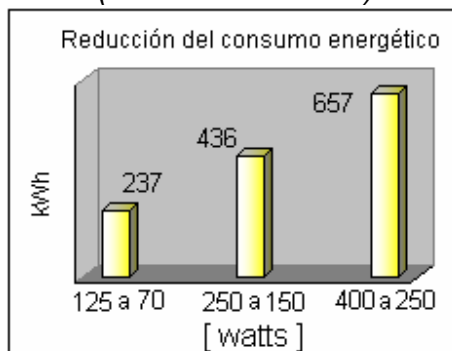
La política energética está orientada a racionalizar el uso de los energéticos, garantizar una oferta confiable y eficiente de estos, reducir sus costos, aumentar la cobertura, proteger a los usuarios e incrementar la contribución de las exportaciones a la economía. La conservación y el mejoramiento de la calidad ambiental en todas las instancias decisorias, procesos productivos e inversiones futuras del sector es uno de los objetivos básicos de la estrategia energética integral adoptada en Colombia.

La modernización del S.A.P. se convierte, desde este punto de vista, en un proyecto que materializa las políticas energéticas nacionales, pues por medio de la reducción del consumo energético por concepto de alumbrado público en Bogotá y sin detrimento de la calidad de vida de sus ciudadanos, se esta garantizando el desarrollo sostenible de Colombia y en especial del distrito capital.

##### *3.4.4.1.1 Reducción del consumo energético, por punto luminoso*

La figura 47 ilustra la reducción en el consumo energético para un periodo de un año, en un punto luminoso de la ciudad, considerando el cambio de las bombillas de mercurio al vapor de sodio.

Figura 47. Reducción del consumo energético de un punto luminoso (Período de un año).



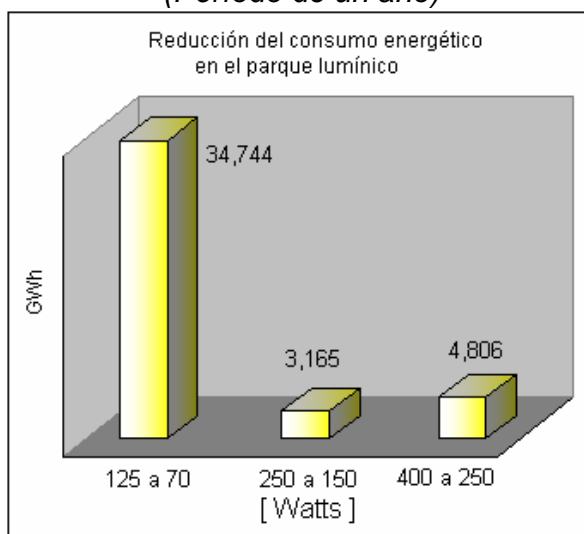
En la gráfica se aprecia que el ahorro de energía por punto luminoso, es de por lo menos 237 [kWh] en un año, lo cual representa un ahorro del 40 %; en el Capítulo cuatro se hace el estudio del equivalente en pesos de este ahorro, lo que muestra la contribución de la modernización del S.A.P. al desarrollo sostenible de la capital.

#### 3.4.4.1.2 Reducción del consumo energético del parque lumínico de la ciudad

La figura 48 ilustra el ahorro energético del parque lumínico de la ciudad para un periodo de un año; se aprecia que, de acuerdo a lo proyectado para la modernización lineal, con un cambio total de las luminarias de 125 W en mercurio por luminarias de 70 W en vapor de sodio, se consigue ahorros de hasta 34,7 [GWh] por año.

Consiguiendo un ahorro total superior a los 40 [GWh], lo que representa un uso racional de la energía, conveniente para el desarrollo energético y sostenible de la ciudad.

Figura 48. Reducción del consumo energético del parque lumínico de la ciudad (Período de un año)



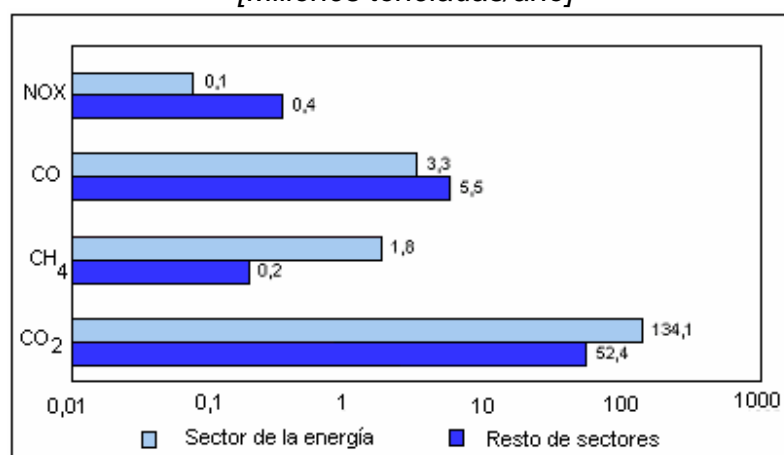
### 3.4.4.2 Emisiones de gases de efecto invernadero

Evaluar y analizar las emisiones atmosféricas causadas por las distintas actividades de la cadena energética, en especial de la generación, es útil para conocer la incidencia sobre la calidad del aire y sobre otros componentes de la calidad ambiental, como agua, vegetación, usos del suelo, hidro-biología, fauna y biodiversidad, en la dimensión físico-biótica, así como en las variables del medio cultural, económico y político.

Desde esta perspectiva, la modernización representa una herramienta que permite la reducción indirecta de las emisiones de gases de efecto invernadero, puesto que la demanda total de energía disminuye, según se estableció en el numeral anterior.

En la figura 49 se ilustra la emisión de gases de efecto invernadero producidas por el sector energético colombiano.

Figura 49. Emisión de gases de efecto invernadero (1990)  
[Millones toneladas/año]

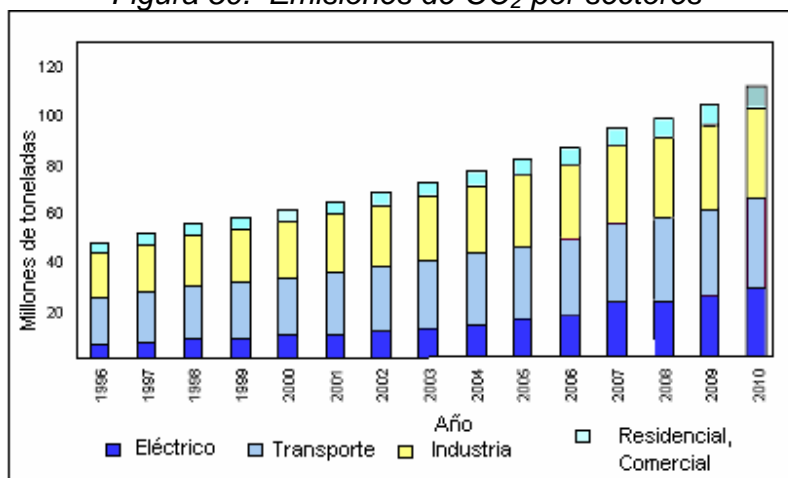


Fuente: la UPME

El sector energía es responsable del 27,5% de emisiones de CO<sub>2</sub>, 10% de CH<sub>4</sub>, 63% de CO (80% de nitrógeno) y del 100% de compuestos orgánicos diferentes al metano. A pesar de que en el país las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O y de compuestos orgánicos volátiles son en su mayoría ocasionadas por las actividades de combustión, su contribución relativa al cambio climático global es inferior al 2%[9].

En la figura 50 se ilustran las proyecciones de la UPME, hasta el año 2010, para la emisión de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, en diferentes sectores: residencial, industrial, transporte terrestre, generación de electricidad, explotación y transporte de carbón e hidrocarburos.

Figura 50. Emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores



Fuente: UPME

En la figura 50 se aprecia que el sector energético incrementará las emisiones de CO<sub>2</sub> a una media anual de 6.3% hasta el año 2010, creciendo desde 47,4 millones de toneladas en 1996 hasta 111,3 millones de toneladas en el 2010.

Según estudios realizados también por la Unidad de Planeación Minero Energética, por cada kwh producido, con plantas térmicas cuyo combustible principal es el carbono, se produce en promedio 298,5 gramos de Dióxido de Carbono; con base en este dato y en la proyección del ahorro energético obtenido para el parque lumínico de Bogotá (ver figura 48), se encuentra que la reducción de la emisiones de CO<sub>2</sub> por la modernización del S.A.P. será de 13000 toneladas aproximadamente.

Tabla 23 Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> por concepto de la modernización del S.A.P.

Reducción de las emisiones de CO <sub>2</sub> [Año]		
Modernización lineal	Ahorro energético [GWh]	Reducción de CO <sub>2</sub> [Toneladas]
125 [W] Hg a 70 [W] Na	34,74	10371,04
250 [W] Hg a 150 [W] Na	3,16	944,71
400 [W] Hg a 250 [W] Na	4,81	1434,58
<b>Total</b>		<b>12750,32</b>

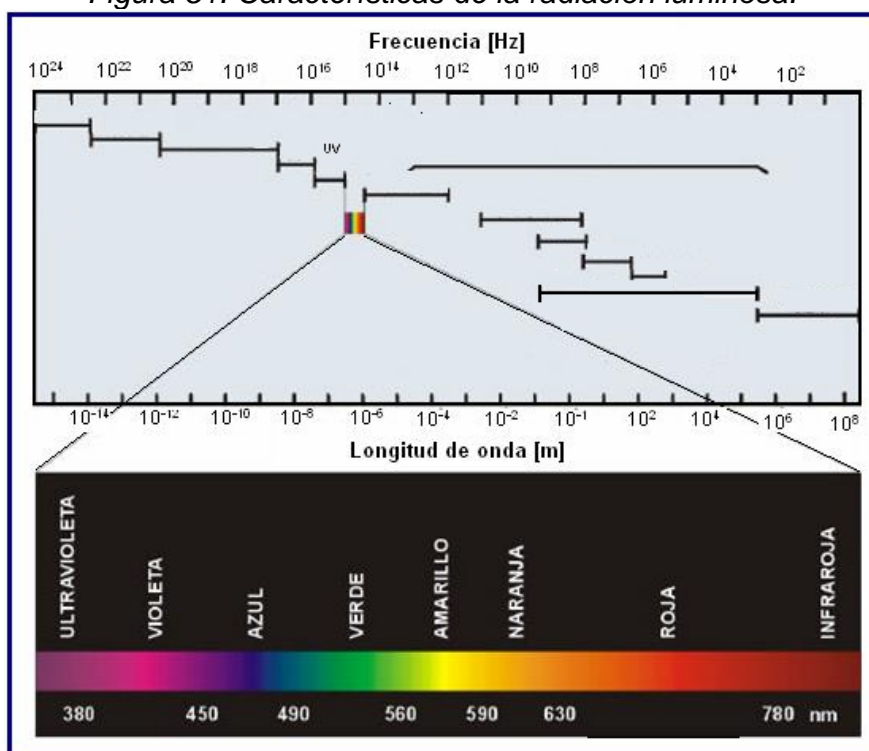
Con una reducción total de 12750,32 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, el proyecto de modernización muestra verdaderas ventajas ambientales; aunque este dato comparado con las emisiones proyectadas en la figura 50 no es muy significativo, ambientalmente es necesario lograr cualquier reducción en la emisión de gases de efecto invernadero.

### 3.4.4.3 Emisión espectral de las bombillas ( Generación de rayos ultravioleta, UV).

La iluminación artificial tiene asociado el fenómeno de la generación de ondas electromagnéticas a lo largo de espectro; pasando por el espectro visible (380nm-770nm), los rayos ultravioleta y los rayos infrarrojos, donde la intensidad de los rayos depende directamente del material químico usado en las bombillas y del proceso físico para la obtención de la luz[24].

La figura 51 muestra la relación directa entre las distintas longitudes de onda generadas y los colores que son percibidos por el ojo humano.

Figura 51. Características de la radiación luminosa.



Fuente: MUAP

Los rayos ultravioleta, por su parte, son ondas electromagnéticas de corta longitud de onda que se sitúan aproximadamente en longitudes de onda entre los 400 y 10 nanómetros dentro del espectro electromagnético.

#### 3.4.4.3.1 Fuentes de contaminación por rayos ultravioleta

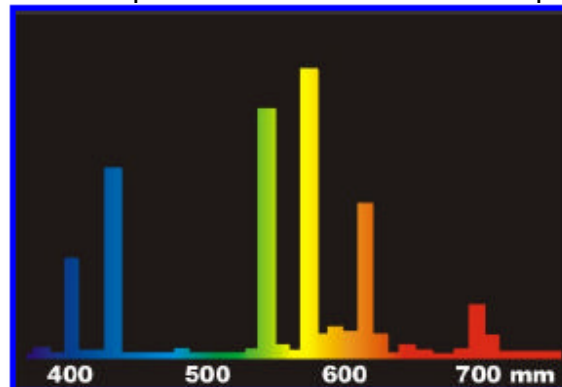
La mayoría de estudios hechos a nivel mundial demuestran que la mayor fuente de rayos ultravioleta es, por supuesto, el sol, esto provocado por el deterioro que se ha ocasionado en la atmósfera del planeta y variando en magnitud según la altitud del lugar y la hora del día.

Sin embargo, existen otras fuentes de rayos ultravioleta tales como: los laboratorios físicos donde se hacen pruebas y estudios en los que se requiere de la generación de estos, los sistemas de iluminación artificial y en menor medida, algunas plantas de procesamiento químico[24].

Los sistemas de iluminación artificial, aunque han despertado interés medioambiental en torno a otros factores tales como la polución lumínica, y el desecho de productos químicos, no dejan de representar una fuente importante en la generación de rayos ultravioleta.

*Luminarias de vapor de mercurio como fuentes de rayos ultravioleta.* La figura 52, muestra la distribución espectral de energía para una fuente de luz basada en un plasma de vapor de mercurio a alta presión (como las bombillas de vapor de mercurio, que son retiradas del sistema de alumbrado público).

Figura 52. Espectro de luz de mercurio en plasma



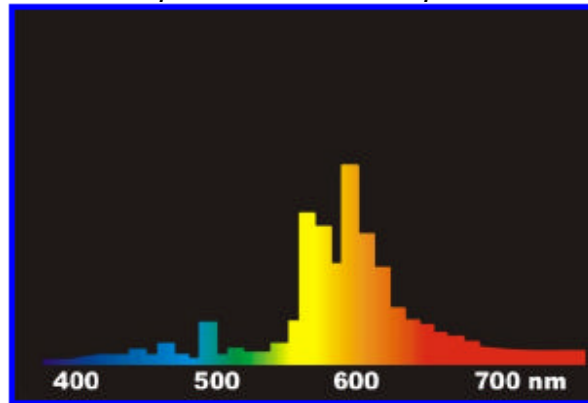
Fuente: MUAP

Del espectro mostrado en la figura 52, se tienen las siguientes características:

1. El espectro es discreto y presenta bandas de elevada energía radiada en forma de luz muy espaciada en tanto que el resto del espectro prácticamente no existe.
2. La intensidad de la radiación en cada longitud es diferente y presenta grandes saltos, centrados en el amarillo, el naranja y el azul.
3. La radiación de rayos ultravioleta presenta dos bandas, una de alta intensidad, cercana a la banda del violeta y una de mediana intensidad de especial importancia por estar en las longitudes de onda de los rayos ultravioleta.

*Luminarias de sodio como fuentes de rayos ultravioleta.* En la figura 53, se muestra el espectro de la radiación electromagnética de una fuente de luz basada en un plasma de vapor de sodio a alta presión.

*Figura 53. Espectro de luz en plasma de vapor de sodio a alta presión*



Fuente: MUAP

Este espectro tiene las siguientes características:

1. El espectro es discontinuo y presenta bandas de mayor energía radiada en forma de luz.
2. La intensidad de la radiación se concentra en las bandas amarillo y naranja donde presenta saltos de elevada potencia.
3. La radiación es prácticamente inexistente por fuera del espectro visible.

Como se aprecia en el espectro de luz del mercurio (ver figura 52), la generación en la banda de los rayos ultravioleta es mayor que para el vapor de sodio a alta presión, generando un 95 % más de rayos ultravioleta.

Como ventaja del espectro de luz del vapor de mercurio con respecto al vapor de sodio, encontramos una mejor reproducción de los colores pues posee un espectro más denso y más amplio.

#### *3.4.4.3.2 Efectos de los rayos ultravioleta en el ser humano.*

Dentro de los efectos más significativos de los rayos ultravioletas en los seres humanos están los siguientes:

*Eritema.* Se expresa a través de la quemadura de piel, y su efecto se relaciona directamente con la intensidad del rayo que incide sobre la persona, por tanto en la mayoría de ocasiones solo responde a la exposición prolongada a los rayos del sol.

*Cáncer de piel.* Provocado por la continua y prolongada exposición a los rayos ultravioleta, se desarrolla por las alteraciones genéticas que pueden presentar las células de la piel por la acción de los rayos ultravioletas cuando estos son de alta intensidad o el tiempo de exposición es alto.

*Supresión del sistema inmunológico.* De verse afectado el sistema inmunológico de una persona quien estaría más expuesta a cánceres, alergias, estrés, enfermedades infecciosas tales como: leishmaniasis, herpes, malaria, ya que las principales defensas contra estas se encuentran en la piel; Por otra parte el cuerpo puede perder su capacidad de respuesta hacia las vacunas. Los efectos que los rayos ultravioleta puedan tener en el sistema inmunológico no dependen, en ninguna medida, del color de piel[25].

Trastornos oculares. Con la constante exposición de la retina a los rayos ultravioleta se puede presentar alteraciones de tipo fisiológico en el ojo.

#### 3.4.4.3.3 Efectos de los rayos ultravioleta en la naturaleza

En este caso se ven afectados muchas especies y variedades de plantas que son sensibles a los rayos ultravioletas. Los efectos que se presentan son:

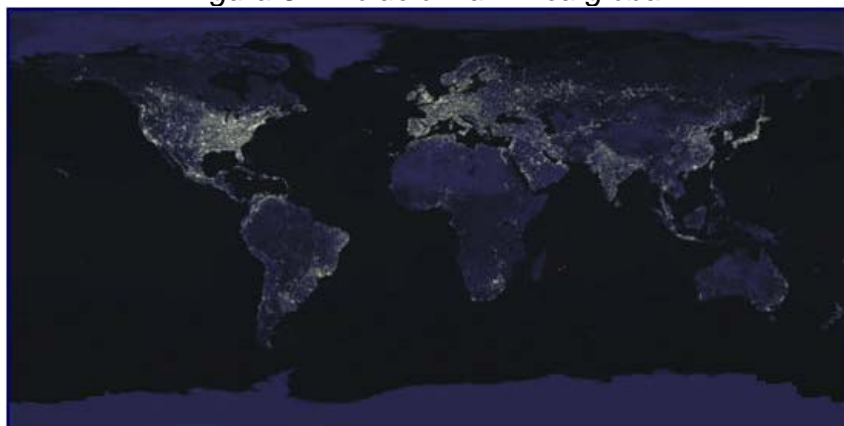
- ✚ Disminución del rendimiento de una planta de tipo agrícola.
- ✚ Disminución del tamaño de las plantas.
- ✚ Alteración genética y química de animales y plantas.
- ✚ Algunas plantas agrícolas disminuyen sus valores nutritivos y aumenta sus niveles de toxicidad.

#### 3.4.4.4 Polución lumínica.

La polución lumínica es: “el brillo o resplandor de luz en el cielo nocturno, producido por la *reflexión y difusión de luz artificial* en los gases y en las partículas del aire por el uso de luminarias inadecuadas y excesos de iluminación”.

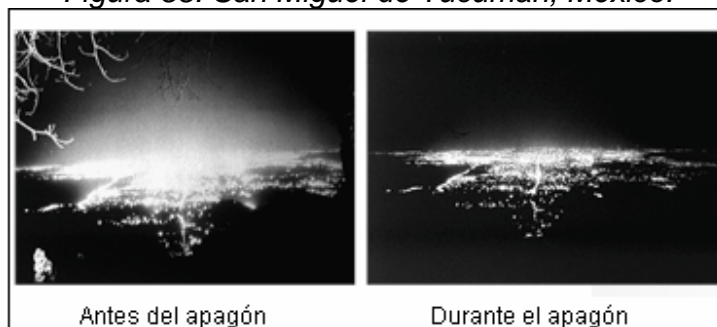
Es un problema asociado a los sistemas de iluminación de todo el mundo como se observa en la figura 54 donde se muestra una fotografía del globo terráqueo en horas de la noche, en la que se aprecian los sistemas de iluminación de las principales ciudades del mundo o en la figura 55, donde se muestra una ciudad mexicana antes y después de un corte de energía[16].

*Figura 54. Polución lumínica global.*



*Fuente: La Nasa*

*Figura 55. San Miguel de Tucumán, México.*



*Fuente: Nasa*

#### *3.4.4.4.1 Tipos de polución lumínica*

La polución lumínica puede manifestarse de diversas formas, las cuales se resumen en las siguientes categorías:

*Resplandor.* Es: “ la sensación producida por la luminiscencia dentro del campo visual, que es suficientemente mayor a la luminiscencia a la cual están adaptados los ojos en ese momento, como para causar incomodidad, perdida de visibilidad o desempeño visual”[3].

#### *Invasión de luz*

Es aquella luz que es distribuida a donde no se necesita o desea[3].

#### *Luz hacia arriba*

Es luz que se eleva directamente al cielo y al espacio y no sirve para iluminar calles, avenidas o andenes[3].

#### *Deslumbramiento*

Se produce cuando las personas que transitan por la vía pública encuentran dificultad en la visibilidad por el efecto de la luz emitida por el sistema de alumbrado público[3].

#### *3.4.4.4.2 Proceso físico de la polución lumínica.*

Como se mencionó anteriormente la polución lumínica del cielo se presenta por los fenómenos de la refracción y reflexión de la luz artificial en la atmósfera y en sus compuestos, incluyendo el polvo y las partículas de agua que contiene.

Como se ilustra en la figura 56 las gotas de agua en el ambiente, son las responsables del 80% de la refracción y reflexión de la luz que termina convertida en polución lumínica.

Figura 56 Reflexión y refracción de la Luz en una gota de agua



Fuente: MUAP

La humedad relativa de la atmósfera poco o nada influye en el fenómeno estudiado, pero el estado atmosférico, en particular la elevación de las nubes, sí tiene una incidencia sobre la luz devuelta. En un cielo iluminado, por ejemplo cerca de una ciudad, la luz devuelta o luminancia puede llegar a valores entre 0,7 y  $13,0 \times 10^{-2}$   $\text{Cd/m}^2$  en tanto que la luz de las estrellas, en una noche de luna nueva llega a valores entre 0,1 y  $0,3 \times 10^{-2}$   $\text{Cd/m}^2$ [1].

#### 3.4.4.4.3 Efectos de la polución lumínica.

A continuación se enuncian los cuatro principales problemas asociados a la polución lumínica.

*Inconvenientes para las observaciones astronómicas.* Como consecuencia de las excesivas intensidades lumínicas proyectadas directa o indirectamente al cielo, lo cual disminuye el contraste entre los objetos observables y el cielo.

*Ineficiencias en la operación de los sistemas de alumbrado público.* Puesto que se está produciendo luz artificial que no se convierte en luz útil.

*Uso irracional de la energía.* Como resultado del consumo de energía que no se convierte en luz útil para el sistema.

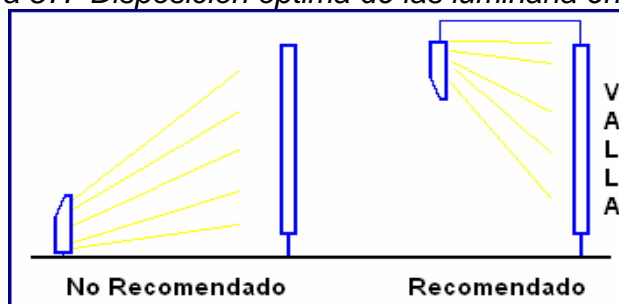
*Impacto sobre la biodiversidad y el medio ambiente.* Provocados por el exceso en la intensidad y el rango espectral de la iluminación artificial. Aves, murciélagos, anfibios, peces, insectos, etc., ven alterados sus hábitos nocturnos (reproducción, migraciones, etc.) por la presencia de potentes focos que rompen el ciclo natural del día y la noche. Esta circunstancia se ve acentuada por la importante cantidad de radiación ultravioleta emitida hacia el cielo en los núcleos urbanos (ver numeral 3.4.4.3)[26].

#### 3.4.4.4 Opciones para reducir la polución lumínica.

Para disminuir esta polución es necesario:

- ✚ Seleccionar adecuada de las luminarias.
- ✚ Emplear fuentes de luz más eficaces en equipos más eficientes.
- ✚ Diseñar y usar luminarias más apantalladas.
- ✚ Optimizar la energía destinada al alumbrado público
- ✚ Optimizar los índices de iluminación requeridos
- ✚ Limitar la emisión luminosa en el hemisferio superior para la iluminación de fachadas e iluminación vertical.
- ✚ En la iluminación publicitaria se debe plantear de arriba hacia abajo, según se muestra en la siguiente figura 57, o usando pantallas y viseras en caso de ser absolutamente necesaria la iluminación de abajo hacia arriba.

Figura 57. Disposición óptima de la luminaria en vallas



- ✚ Modificar y retirar todas las luminarias esféricas (tipo globo). Este tipo de luminarias son las de menor rendimiento energético ya que más del 50% de la luz se pierde hacia el cielo.

### 3.5 Identificación de acciones del proyecto que pueden causar impactos sobre el medio ambiente o sobre el entorno del proyecto de modernización

El proceso de modernización representa, como se describió en el Capítulo uno, un conjunto de operaciones, que directa o indirectamente y bajo el nombre de *acciones del proyecto*, producen diversos efectos sobre su entorno.

Para lograr la identificación de estas acciones, se diferencian los distintos elementos del proyecto agrupándolos de una manera estructurada como se muestra a continuación:

- ✚ Acciones que modifican el uso del suelo.
- ✚ Acciones que implican la emisión de contaminantes y desechos industriales.
- ✚ Acciones que implican sobreexplotación de recursos.
- ✚ Acciones que actúan en el medio biótico.
- ✚ Acciones que implican deterioro del paisaje.
- ✚ Acciones que repercuten sobre la infraestructura.
- ✚ Acciones que modifican el entorno social, económico y cultural.

De acuerdo a lo anterior se establecen la relación entre cada fase de la modernización y las distintas acciones enunciadas anteriormente.

Estas relaciones se establecen bajo los criterios de: *significado, representatividad, relevancia, facilidad de identificación y facilidad de cuantificación.*

### **3.5.1 Relación entre la fase de ejecución de las obras y las acciones de proyecto**

Durante la ejecución de las obras de modernización son pocas las acciones que impactan ambientalmente, sin embargo, se enuncian algunas pero no se desarrollan dentro del EsIA, debido a su baja *relevancia y representatividad.*

#### *3.5.1.1 Acciones que repercuten sobre la infraestructura.*

El *ruido* que genera un operario, al estar cambiando las luminarias o al realizar el desarme preliminar de las mismas, por efecto del martillo que usa para sacar la luminaria del soporte que la sostiene; este aspecto se considera irrelevante y de corta duración, por tanto no se tiene en cuenta en el estudio del impacto ambiental.

### **3.5.2 Relación entre la fase de reintegro y las acciones del proyecto**

Durante el proceso de reintegro existen varias acciones que deben tenerse en cuenta por su alto impacto ambiental, la persistencia de sus efectos y por la relevancia dentro del proyecto; como se describió en el numeral 3.4 la generación de residuos sólidos es uno de los aspectos críticos de la modernización.

El retiro de las luminarias de vapor de Mercurio, tiene asociado la *generación de residuos de mercurio* que se encuentra en las cápsulas internas de la bombilla.

La luminaria y el soporte se compone de distintos elementos tales como: *aluminio, cobre, hierro, papel, vidrio, caucho y plásticos entre otros*, que al ser retirados del S.A.P. se convierten en *desechos industriales.*

### **3.5.3 Relación entre la fase de funcionamiento y las acciones del proyecto**

En este numeral se establecen los aspectos del SAP que impactan en el entorno en su etapa de funcionamiento.

#### *3.5.3.1 Acciones que implican la emisión de contaminantes.*

*La generación de rayos ultravioletas* durante la producción de la luz artificial, es un aspecto asociado al funcionamiento del S.A.P y que representan un impacto ambiental para el entorno.

*La polución lumínica* asociada al funcionamiento del S.A.P es otro aspecto medioambiental, a considerar, al igual que la *emisión de gases de efecto invernadero*, se reduce o se incrementa en la medida en que el sistema demande más o menos energía eléctrica y que esta sea generada térmicamente con carbón.

### 3.5.3.2 Acciones que implican sobreexplotación de recursos.

Dado que la esencia misma de la modernización es hacer un uso eficiente de los recursos energéticos y reducir la sobreexplotación y el despilfarro de los mismos, se analiza este aspecto estableciendo el uso racional de la energía que se obtiene dependiendo de si se usa tecnología de vapor de mercurio o tecnología de vapor de sodio a alta presión.

### 3.5.3.3 Acciones que implican deterioro del paisaje.

Como se muestra en el Capítulo 2, el diseño exterior de las luminarias de vapor de sodio a alta presión es estéticamente más agradable que las de tecnología de vapor de mercurio; su color, forma y diseño en general, esta más acorde a la arquitectura urbanística reciente que la ciudad ha adquirido en las últimas administraciones. Sin embargo al ser un parámetro no medible y subjetivo no se tiene en cuenta en el EsIA.

### 3.5.3.4 Acciones que modifican el entorno social, económico y cultural.

Dentro de los objetivos de la iluminación pública se encuentra prolongar la continuidad de la luz en la noche para permitir el desarrollo de actividades, al igual que proporcionar iluminación en pro de la seguridad de los peatones y de los conductores. Desde este punto de vista la modernización modifica el entorno social, económico y cultural de los sitios modernizados dado que, como se mostró en el Capítulo dos, se incrementaron los niveles de iluminación de las vías, por tanto se mejoró la condición de seguridad y tranquilidad de los ciudadanos, sin embargo determinar esto en forma cuantificable o hacer si quiera un estimativo de forma aproximada son aspectos que sobrepasan el objetivo y el alcance de este EsIA. y por tanto es un parámetro que se propone como posible ampliación del tema.

## **3.6 Identificación de los factores ambientales del entorno potencialmente impactados**

una vez identificadas las acciones del proyecto de modernización se identifican los factores ambientales que son impactados por su ejecución.

### **3.6.1 Identificación de los factores ambientales**

El entorno está constituido por elementos y procesos interrelacionados, los cuales se pueden clasificar en los siguientes sistemas: *medio físico*, *medio socio económico y cultural* (en adelante medio socio-económico), y subsistemas: *medio inerte*, *medio biótico*, *medio socio cultural*, *medio económico* (ver tabla 3.6).

A todos los factores no les corresponde el mismo grado de importancia en un proyecto o se ven igualmente afectados, por tanto su *selección* se hace de acuerdo a los siguientes criterios<sup>35</sup>:

- a. El factor debe *ser representativo del entorno*, y por tanto del impacto total producido por la ejecución del proyecto, sobre el medio ambiente.
- b. *Ser relevante*, es decir, portadores de información significativa sobre la magnitud e importancia del impacto.
- c. *Ser excluyente*, es decir sin redundancias.
- d. *De fácil identificación*.
- e. *De fácil cuantificación*.

### 3.6.2 Valoración de los factores ambientales

En general se puede adoptar el siguiente criterio: el valor ambiental de un factor es directamente proporcional al grado de caracterización cualitativo enumerado a continuación.

- + *Extensión*: Área de influencia en relación con el entorno.
- + *Complejidad*: Compuesto de elementos diversos.
- + *Rareza*: no frecuente en el entorno.
- + *Representatividad*: carácter simbólico.
- + *Naturalidad*: Natural, no artificial.
- + *Abundancia*: en gran cantidad en el entorno.
- + *Diversidad*: abundancia de elementos distintos en el entorno.
- + *Estabilidad*: permanencia en el entorno.
- + *Singularidad*: valor adicional por la condición de distinto o distinguido.
- + *Irreversibilidad*: de imposibilidad de asimilación por parte del entorno.
- + *Fragilidad*: vulnerabilidad y carácter perecedero.
- + *Continuidad*: necesidad de conservación.
- + *Significación*: importancia para la zona del entorno.

---

<sup>35</sup> Método Batelle - Columbus

Tabla 24. Componentes ambientales

Sistema	Subsistema	Componente ambiental	UIP <sup>36</sup>
Medio físico	Medio Inerte	Aire	60
		Clima	60
		Agua	60
		Tierra y suelo	60
		Procesos	60
		<b>Total del medio inerte</b>	<b>300</b>
	Medio biótico	Vegetación	60
		Fauna	60
		Procesos	60
	<b>Total del medio biótico</b>	<b>180</b>	
	Medio perceptual	Valor testimonial	20
		Paisaje intrínseco	20
		Ínter visibilidad	20
componentes singulares		20	
Recursos científico-culturales		20	
<b>Total Medio Perceptual</b>	<b>100</b>		
<b>Total medio físico</b>			<b>580</b>
Medio socio-económico y cultural	Medio rural ( usos)	Recreativo al aire libre	20
		Productivo	20
		Conservación de la naturaleza	20
		Viario rural	20
		Procesos	20
		<b>Total del medio rural</b>	<b>100</b>
	Medio de núcleos habitados	Estructura de los núcleos	30
		Estructura urbana	30
		Infraestructura y servicios	40
	<b>Total del medio de núcleos</b>	<b>100</b>	
	Medio socio-cultural	Aspectos culturales	30
		Servicios colectivos	30
		Aspectos humanos	30
Patrimonio histórico		30	
<b>Total del medio socio-cultural</b>	<b>120</b>		
Medio económico	Economía	50	
	Población	50	
<b>Total medio económico</b>	<b>100</b>		
<b>Total del medio-socio económico y cultural</b>			<b>420</b>
<b>Total del medio ambiente afectado</b>			<b>1000</b>

<sup>36</sup> UIP: Unidades de importancia ambiental, (ver definiciones, Capítulo uno)

### 3.7 Matriz de importancia

Una vez identificadas las acciones y los factores del medio que, presumiblemente serán impactados por aquellas, la matriz de importancia permite obtener una valoración cualitativa al nivel del EsIA; cada casilla de cruce en la matriz o *elemento tipo*, dará una idea del efecto de cada acción impactante sobre cada factor ambiental impactado.

El impacto de cada acción se mide con base al grado de *manifestación cualitativa* del efecto que quedará reflejado en lo que se define como *importancia del impacto*, por tanto esta es la variable mediante la cual se mide *cualitativamente el impacto ambiental*, en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos cualitativos, tales como: la extensión, el tipo de defecto, el plazo de manifestación, la persistencia, la reversibilidad, la recuperabilidad, la sinergia, la acumulación y periodicidad, según se aprecia en la tabla 25.

Tabla 25. Criterios para la valoración cualitativa del impacto ambiental (Matriz de importancia)

Impacto ambiental	Signo	Positivo, negativo e indeterminado.		
	Valor (Grado de manifestación)	Importancia (Grado de manifestación)	Grado de incidencia	Intensidad
			Caracterización	Extensión Plazo de manifestación Persistencia Reversibilidad Sinergia Acumulación Efecto Periodicidad Recuperabilidad
		Magnitud	Cantidad	
			Calidad	

#### 3.7.1 Descripción de los criterios para la valoración cualitativa del impacto ambiental

los criterios establecidos para valorar el impacto ambiental son los siguientes:

- Signo*: Hace alusión al carácter beneficioso (+) o *perjudicial* (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.
- Intensidad [i]*: Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa.

La escala está comprendida entre 1 y 12, donde 12 expresa una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto, y el 1 una afección mínima. Los valores comprendidos entre esos dos extremos reflejan situaciones intermedias.

- c. *Extensión [EX]*: Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% de área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto).

1: Efecto localizado.

2: Impacto parcial.

4: impacto extenso.

8: Influencia generalizada.

Si el efecto es puntual pero se produce en un lugar crítico se la atribuirá un valor de 4 unidades por encima del que le correspondía en función del porcentaje de extensión en que se manifiesta.

- d. *Momento [MO]*: El tiempo que transcurre entre la aparición de la acción ( $t_0$ ) y el comienzo del efecto ( $t_i$ ) sobre el factor del medio considerado.

1: Largo plazo; mas de 5 años.

2: Mediano plazo; entre 1 y 5 años.

4: corto plazo o inmediatamente.

- e. *Persistencia [PE]*: Se refiere al tiempo que, supuestamente, *permanecería el efecto* desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas.

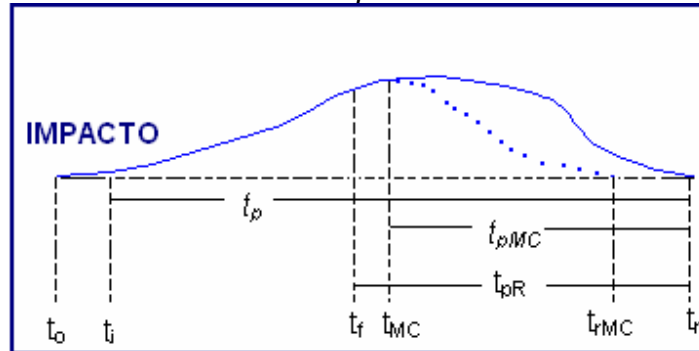
1: Efecto fugaz, menos de un año (por lo general son reversibles o recuperables).

2: Temporal, entre 1 y 10 años.

4: Permanente, superior a los diez años.

La gráfica 58 ilustra el ciclo de vida de un impacto ambiental y sirve para la definición de los criterios de *reversibilidad* y *recuperabilidad*.

Gráfica 58 Variación del impacto en función del tiempo



Donde:

$t_0$  = Momento de aparición de la acción.

$t_f$  = Momento de finalización de la acción.

$t_j$  = Momento en que se inicia la manifestación del efecto.

$t_r$  = Momento de retorno (desaparición del efecto).

$t_{MC}$  = Instante de introducción de las medidas correctoras.

$t_{rMC}$  = Momento de retorno con MC.

El tiempo de permanencia teórico genérico del efecto, respondería a la expresión:

$$t_p = t_r - t_j \quad (2)$$

El tiempo de permanencia a partir de la de medidas correctoras sería:

$$t_{pMC} = t_{rMC} - t_{MC} \quad (3)$$

El tiempo de permanencia de un efecto permanente es por definición:

$T_p$  es mayor a 10 años.

Si es reversible, el tiempo de permanencia  $t_{pR}$ , después de la acción, es menor a 10 años, si es irreversible es mayor a los 10 años.

f. *Reversibilidad [RV]*: Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquella deja de actuar sobre el medio.

1: Corto plazo.

2: Mediano plazo.

4: irreversible.

A efectos de reversibilidad la permanencia del efecto, responde a la siguiente expresión:

$$t_{pR} = t_r - t_f \quad (4)$$

g. *Recuperabilidad [MC]*: Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado, es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana.

- 1: Totalmente recuperable de manera inmediata.
- 2: Totalmente recuperable a mediano plazo.
- 4: Recuperable parcialmente, el efecto es mitigable.
- 8: Es irrecuperable, ni por la naturaleza ni por la acción del hombre.

El tiempo de reconstrucción esta dado por la siguiente ecuación:

$$t_R = t_{rMC} - t_{MC} \quad (5)$$

Es posible, mediante la aplicación de medidas correctoras, disminuir los tiempos de retorno a las condiciones iniciales, es decir, acelerar la reversibilidad.

h. *Sinergia [SI]*: Esto se presenta si la componente total de la manifestación de los efectos simples, provocado por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que habría que esperar de la manifestación de los efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultanea.

- 1: No hay sinergia.
- 2: Sinergia moderada.
- 4: Altamente sinérgico.

i. *Acumulación [AC]*: Da una idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

- 1: Si el efecto no es acumulativo.
- 4: Si el efecto es acumulativo.

j. *Efecto [EF]*: Se refiere a la relación causa – efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

- 1: Efecto indirecto o secundario (su manifestación no es consecuencia directa de la acción).
- 4: Efecto directo o primario (la repercusión de la acción es consecuencia directa de este).

k. *Periodicidad [PR]*: Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera *cíclica o recurrente* (efecto periódico), de forma *impredecible* en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo).

- 1: De aparición irregular, que deben evaluarse en términos de probabilidad de ocurrencia y a los discontinuos.
- 2: Periódicos.
- 4: Efecto continuos.

### 3.7.2 Obtención de la importancia del impacto (I)

La importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental, no debe confundirse con la importancia del factor ambiental afectado descrito en el numeral 3.6.3.

La importancia del impacto viene representada por un número (ecuación 6), que esta en función del valor asignado a los criterios descritos en el numeral 3.7.1.

$$I = + - [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC] \quad (6)$$

La tabla 26 resume los valores que se le asignan a cada criterio de valoración de los impactos ambientales, descritos en el presente numeral.

Tabla 26 Valoración de los criterios para los impactos ambientales

Naturaleza		Intensidad (i), grado de destrucción	
Impacto beneficioso	+	Baja	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
Extensión (EX), área de influencia		Momento (MO), plazo de manifestación	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Critico	4
Critica	4		
Persistencia (PE), permanencia del efecto		Reversibilidad (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
Sinergia (SI), regularidad de la manifestación		Acumulación (AC), incremento progresivo	
Sin	1	Simple	1
Con	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
Efecto (EF), relación causa efecto		Periodicidad (PR), regularidad de la manifestación	
Indirecto, secundario	1	Irregular o periódico	1
Directo, primario	4	Periódico	2
		Continuo	4
Recuperabilidad (MC), reconstrucción por acción humana		Importancia	
Inmediatamente	1		
Medio plazo	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

Por sugerencia de la metodología los impactos con valores de importancia inferiores a 20 son irrelevantes; los impactos moderados presentan importancia entre 20 y 50, y serán *severos* cuando la importancia se encuentre entre 50 y 75 y *críticos* cuando el valor sea superior a 75.

### **Valoración cualitativa de las acciones impactantes y de los factores ambientales impactados**

Los distintos factores del medio representan importancias distintas de unos respecto a otros, en cuanto a su mayor o menor contribución a la calidad ambiental.

Considerando que cada factor es solo una parte del medio total, se dispone de las unidades de importancia (UIP), con la cual los factores se pueden contemplar y ponderar en conjunto, y lograr que estos arrojen información coherente de la situación ambiental del proyecto.

Las UIP es el resultado de una distribución relativa de mil unidades asignadas al total de factores ambientales lo cual representaría un medio ambiente de calidad óptima<sup>37</sup>.

En términos generales las valoraciones tanto relativas como absolutas, corresponden a la metodología planteada por el método Batelle Colombus [17].

El resultado final de estas valoraciones se muestra en las tablas 27 y 28, tanto para la fase constructiva como para la fase de explotación de la modernización, también se muestran las acciones impactantes seleccionadas del proceso y la totalidad de los factores ambientales impactados.

---

<sup>37</sup> Estos valores son asignados por expertos ambientalistas, [17]

Tabla 27. Identificación de impactos y determinación de la magnitud (fase de construcción).

				Identificación de impactos y determinación de la magnitud												
				Acciones impactantes	Fase de construcción (Fase 1)									Total fase 1		
					Generación de residuos sólidos.	Transporte de residuos sólidos.	Almacenamiento de residuos sólidos.	Disposición final de los residuos sólidos.	Manipulación de los residuos sólidos.	Generación de residuos tóxicos.	Almacenamiento de residuos tóxicos.	Manipulación de los residuos tóxicos.	abs.			Rel.
Factores ambientales afectados				UIP												
Medio físico	Medio inerte	Aire	calidad del aire	20		-30.00		-27.00						-57	-1.14	
			nivel de polvo	10		-26.00								-26	-0.26	
			<b>Total aire</b>	<b>60</b>		-14.33		-9.00								
		Clima	confort climático	60				-23.00							-23	-1.38
			<b>Total clima</b>	<b>60</b>				-23.00								
		Procesos	contaminación secundaria	15	-29.00	-20.00	-23.00	-26.00			-44.00				-142	-2.13
	<b>Total procesos</b>		<b>60</b>	-7.25	-5.00	-5.75	-6.50			-11.00						
	<b>Total impacto medio inerte</b>			<b>300</b>	-1.45	-3.87	-1.15	-7.70			-2.20					
	<b>Total impacto medio físico</b>			<b>580</b>	-0.75	-2.00	-0.59	-3.98			-1.14					
	Medio socio-económico y cultural	Medio núcleos urbanos	Estructura urbana	industrial	5	20.00	20.00	20.00	23.00		23.00	20.00		126	0.63	
<b>Total estructura urbana</b>				<b>30</b>	3.33	3.33	3.33	3.83		3.83	3.33	0.00				
Infraestructuras			red de transportes	8		20.00								20	0.16	
		<b>Total infraestructuras</b>	<b>40</b>		4.00											
<b>Total impactos núcleos medios habitados</b>			<b>100</b>	1.00	2.60	1.00	1.15		1.15	1.00						
Medio socio cultural		Humanos	salud	10					-26.00			-38.00		-64	-0.64	
			<b>Total aspectos humanos</b>	<b>30</b>					-8.67			-12.67				
<b>Total impacto medio sociocultural</b>			<b>120</b>					-2.17			-3.17					
Medio económico		Población	estructura ocupacional	10	27.00		23.00		23.00		23.00	20.00		116	1.16	
			<b>Total población</b>	<b>50</b>	5.40		4.60		4.60		4.60	4.00				
	Economía	actividades económicas	15		24.00	26.00	24.00				26.00		100	1.50		
		finanzas-sector público o privado	15		21.00	26.00	30.00				26.00		103	1.55		
	<b>Total economía</b>	<b>50</b>		13.50	15.60	16.20				15.60						
<b>Total impacto medio económico</b>			<b>100</b>	2.70	6.75	10.10	8.10	2.30		10.10	2.00					
<b>Total impacto medio socio-económico y cultural</b>			<b>420</b>	0.88	2.23	2.64	2.20	-0.07	0.27	2.64	-0.43					
<b>Impacto medio ambiental total</b>				<b>relativo</b>	<b>1000</b>	-0.07	-0.23	0.77	-1.39	-0.03	-0.55	1.11	-0.18			
				<b>absoluto</b>		18.00	9.00	72.00	1.00	-3.00	-21.00	95.00	-18.00			

Tabla 28. Identificación de impactos y determinación de la magnitud (fase de Funcionamiento).

				Identificación de impactos y det de mag.								
				Acciones impactantes	Fase de explotación (Fase 2)						Total efectos permanentes (fase 2)	
					Explotación de los recursos energéticos.	Emisión de rayos ultravioleta.	Generación de contaminación lumínica.	Modificación de los niveles de iluminación y la calidad del alumbrado público.	Emisión de gases de efecto invernadero	ABS		
Factores ambientales afectados				UIP								
Medio físico	Medio inerte	Aire	calidad del aire	20					30.00	30	0.60	
			nivel de polvo	10					30.00	30	0.30	
			<b>Total aire</b>	<b>60</b>					15.00			
		Clima	confort climático	60					30.00	30	1.80	
			<b>Total clima</b>	<b>60</b>					30.00			
		Agua	calidad del agua	20					30.00	30	0.60	
			recursos hídrico	20					30.00	30	0.60	
	ecosistema agua		20					30.00	30	0.60		
	<b>Total agua</b>		<b>60</b>					30.00				
	Procesos	contaminación secundaria	15	30.00	31.00	33.00			94	1.41		
		<b>Total procesos</b>	<b>60</b>	7.50	7.75	8.25						
	<b>Total impacto medio inerte</b>				<b>300</b>	1.50	1.55	1.65		15.00		
	Medio perceptual	Paisaje	calidad intrínseca	20		28.00		50.00		78	1.56	
			<b>Total impacto medio perceptual</b>	<b>100</b>		5.60	0.00	10.00				
<b>Total impacto medio físico</b>				<b>580</b>	0.78	1.77	0.85	1.72	7.76			
Medio socio-económico y cultural	Medio núcleos urbanos	Estructura urbana	industrial	5	25.00				32.00	57	0.29	
			<b>Total estructura urbana</b>	<b>30</b>	4.17				5.33			
		Infraestructuras	red de transportes	8								
			<b>Total infraestructuras</b>	<b>40</b>								
	<b>Total impactos núcleos medios habitados</b>				<b>100</b>	1.25			1.60			
	Medio socio cultural	Cultural	estilo de vida	15		28.00	41.00			69	1.04	
			<b>Total factores culturales</b>	<b>30</b>		14.00	20.50					
		Servicios	equipamientos sociales	10			44.00			44	0.44	
			<b>Total servicios colectivos</b>	<b>30</b>			14.67					
		Humanos	calidad de vida	10			49.00			49	0.49	
			salud	10		39.00				39	0.39	
			<b>Total aspectos humanos</b>	<b>30</b>		13.00	16.33					
	Patrimonio	literario-cultural	8	25.00					25	0.20		
		<b>Total valor patrimonial</b>	<b>30</b>	6.67								
	<b>Total impacto medio sociocultural</b>				<b>120</b>	1.67	3.25	3.50	12.88			
	Medio económico	Población	estructura ocupacional	10			18.00			18	0.18	
			<b>Total población</b>	<b>50</b>			3.60					
Economía		actividades económicas	15	33.00		18.00			51	0.77		
		finanzas-sector público o privado	15									
		<b>Total economía</b>	<b>50</b>	9.90		5.40						
<b>Total impacto medio económico</b>				<b>100</b>	4.95		4.50					
<b>Total impacto medio socio-económico y cultural</b>				<b>420</b>	1.95	0.93	1.00	4.75	0.38			
<b>Impacto medio ambiental total</b>				<b>relativo</b>	<b>1000</b>	1.27	1.42	0.92	3.00	4.66		
				<b>absoluto</b>		113.0	98.0	61.0	220.0	212.0		

### **3.8 Informe final del estudio de impacto ambiental de la modernización**

Los resultados obtenidos en la matriz de impacto para las fases de construcción y explotación son analizadas a continuación:

#### *Análisis de la fase constructiva.*

El almacenamiento de los residuos tóxicos y sólidos presentan los más altos valores en la evaluación absoluta. Lo que significa que la suma aritmética de los efectos que tienen en el medio ambiente estas dos acciones impactantes son las más altas del proyecto en esta fase; al hacer la evaluación relativa (considerando los pesos UIP) de las acciones impactantes los factores principales con respecto al impacto ambiental son: la manipulación de los residuos tóxicos y la disposición final de los residuos sólidos.

De lo anterior, se puede inferir que la manipulación, el almacenamiento, y la disposición final de los residuos tóxicos es la acción impactante positiva más importante de la fase constructiva del proyecto.

Por otra parte, pese a los procedimientos establecidos para el reciclaje de los componentes retirados del sistema, la acción negativa más impactante, es la disposición final de los residuos sólidos con una ponderación relativa de -1,39.

Las demás acciones impactantes del proyecto, son de impacto bajo y controlable (ver matriz de impacto).

El análisis de los factores impactados muestra que al hacer la evaluación absoluta, los factores más impactados son: la contaminación secundaria (de forma negativa), la estructura urbana industrial, la estructura ocupacional y las actividades económicas (de forma positiva).

Una vez se evaluó la fase constructiva, se encontró que el factor ambiental más impactado negativamente es la contaminación secundaria y que factores como la estructura industrial, la estructura ocupacional y las actividades económicas se impactaron positivamente por el proceso.

Analizando los resultados obtenidos de forma individual (celdas de la matriz de impacto) se encontró que la contaminación secundaria generada por los residuos tóxicos que surgen con la modernización es el factor que impacta más negativamente el ambiente (residuos de mercurio y sulfuro de cadmio), con lo cual se quiere destacar la importancia del proceso de recolección y manipulación de estos residuos sólidos que está haciendo Codensa S.A.

Como conclusión general se encuentra que el factor ambiental más impactado negativamente es la contaminación secundaria esto como resultado de los residuos sólidos generados y su disposición final; se encontró también que el proceso de modernización afecta positivamente la estructura industrial, ocupacional y las actividades económicas de la ciudad lo que es un aporte claro al desarrollo económico de Bogotá.

Finalmente, el mayor impacto positivo se presenta en el medio socio económico y cultural, más exactamente en la economía, pues las finanzas públicas, son el factor ambiental más impactado positivamente (30 puntos), lo cual se soporta en el análisis económico realizado en el Capítulo 4.

#### *Análisis de la fase de explotación*

Los resultados obtenidos al aplicar la metodología en la fase de explotación permite establecer tres de las cinco acciones impactantes tienen una alta importancia absoluta. La explotación de los recursos energéticos, la modificación de los niveles de iluminación, el incremento en la calidad del alumbrado público y la emisión de gases de efecto invernadero son los factores impactantes de mayor relevancia en la fase de explotación. Al hacer la evaluación relativa la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero alcanzo la mayor ponderación de todos los factores propuestos (4,66), lo que significa que el principal impacto que se tiene con la modernización es la descontaminación indirecta del aire.

En términos generales los factores antes mencionados, mostraron, en ambas valoraciones, que son de alta importancia ambiental para el proceso y que al presentar impactos positivos se convierten en una ventaja ambiental de la modernización después de terminadas las obras.

Por otra parte, se encontró que todos los factores medioambientales son afectados positivamente. Destacándose el impacto positivo ocasionado en el medio perceptual del paisaje y en su calidad intrínseca, lo cual se demuestra por que sus valoraciones, tanto relativa como absoluta, son las más altas en la matriz de impacto. Esto se sustenta en la apariencia de las nuevas luminarias, el aumento de los niveles de iluminación y en la calidad lumínica del sistema.

La contaminación secundaria se ve impactada positivamente en la fase de explotación de la modernización, alcanzando una valoración absoluta de 94 puntos y una valoración relativa de 1,44. Esto se debe a la reducción de las emisiones de rayos ultravioleta, al uso racional de la energía y a la reducción indirecta de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

La evaluación general de todos los tópicos (celdas de valoración) de la matriz de impacto de la modernización en la fase constructiva muestra que todos los factores ambientales se impactan positivamente por las acciones impactantes y que en la mayoría de los casos las valoraciones son superiores a los 25 puntos, lo que significa que los factores considerados en la evaluación presentan importancia ambiental.

Como conclusión de esta fase se puede mencionar que la modernización contribuye positivamente a la calidad intrínseca del paisaje de la ciudad, es una fuente de descontaminación secundaria y el impacto ambiental global es positivo.

## **Capítulo 4**

### **Aspectos económicos**

Los costos generados por el sistema de alumbrado público en la capital, son asumidos completamente por la administración distrital, razón por la cual, ésta, ha buscado distintas alternativas que reduzcan los costos de operación, administración y mantenimiento del sistema, algunas de las acciones que ha realizado son:

- ✚ Proyecto de acuerdo No. 050 de 2003, *por el cual se establece la tasa de alumbrado público para el distrito capital de Bogotá.*
- ✚ Implementación de medidas antivandálicas.
- ✚ Aplicación del mantenimiento correctivo inmediato.
- ✚ Reposición de equipos.
- ✚ El uso de la tecnología de vapor de sodio a alta presión para realizar las expansiones de S.A.P. para aumentar la eficiencia del sistema.
- ✚ La modernización del alumbrado público.

Siendo la modernización es el más reciente avance del Distrito hacia una ciudad energética y económicamente sostenible, en el presente capítulo se analiza el ahorro en los costos de operación del parque lumínico de la ciudad debido al uso racional de la energía, de acuerdo a la tendencia lineal de la modernización encontrada en la ejecución de la obras y de acuerdo a las proyecciones hechas por la UPME, para los costos de la energía hasta el año 2006.

#### **4.1 Distribución del costo de alumbrado publico en Bogotá**

El costo se refiere al valor mensual que asume la administración distrital por la operación, administración, y mantenimiento del sistema en general; estos costos han sido distribuidos de la siguiente manera:

- a) Suministro de energía eléctrica para alumbrado público.
- b) Arrendamiento de la infraestructura del S.A.P.
- c) Administración, operación y mantenimiento del S.A.P.
- d) Suministro de energía para los semáforos.
- e) Suministro de energía para los relojes eléctricos.

Siendo los ítems a, b y c, los relacionados con la modernización del S.A.P. Como se muestra en la tabla 29, el suministro de energía eléctrica para alumbrado público, es el costo de mayor incidencia en la facturación anual.

Tabla 29. Distribución porcentual de los costos de alumbrado público

<b>Distribución del costo del servicio de alumbrado público en Bogotá</b>				
<b>Componente</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
Suministro de energía al sistema	46,5%	46%	50,1%	51%
Arrendamiento de infraestructura	40,8%	41,1%	38,3%	38%
Administración, operación y mantenimiento	11,4%	11,6%	10,4%	9,9%
Suministro de energía a semáforos	1%	1%	1,1%	1%
Suministro de energía a relojes eléctricos	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%

Fuente: UESP

Considerando que el cambio de tecnología supone un incremento en los costos de arrendamiento de la infraestructura y que el uso racional de la energía significa una reducción de los costos de suministro de energía al sistema, las proporciones en los porcentajes presentados en la tabla 29 pueden variar considerablemente.

El cargo por arrendamiento de la infraestructura se establece al iniciar cada año siguiendo por analogía la metodología de la resolución 099 de 1997 de la CREG y es ajustado mensualmente por el índice de precios al productor.

El cargo de la administración, operación y mantenimiento del sistema se ajusta mensualmente por el índice de precios al consumidor.

En la tabla 30, se muestra el costo del servicio de alumbrado público para el periodo 1998-2001 junto al incremento anual de los costos.

Tabla 30. Costos del servicio de alumbrado público

<b>Costo del servicio de alumbrado público en Bogotá</b>				
<b>Año</b>	<b>Pago total</b>	<b>Incremento anual</b>	<b>KWh/año</b>	<b>Incremento anual</b>
1998	\$45 455 392 050		\$249 223 380	
1999	\$47 882 136 349	5,30%	\$256 895 968	3,10%
2000	\$59 261 474 545	23,80%	\$261 118 573	1,60%
2001	\$69 759 724 071	17,70%	\$271 810 334	4,10%

Fuente: UESP

En la tabla 30 se evidencia el crecimiento anual de los costos de alumbrado público para el distrito, por lo cual la administración distrital busca constantemente su disminución.

## 4.2 Consideraciones generales

En el presente numeral se analizan las variables consideradas en las proyecciones económicas de la modernización; se parte de la definición de modernización lineal y modernización no lineal, posteriormente se muestra la composición del parque lumínico de la ciudad de acuerdo a recientes inventarios de Codensa S.A. ESP., seguidamente se estudia la tendencia del comportamiento del proceso de modernización hacia la linealidad de los reemplazos, con base en las estadísticas de las obras ejecutadas hasta el mes de diciembre de 2005. Por otra parte se muestran las proyecciones de las tarifas medias de la energía hasta el año 2006 realizadas por la UPME; finalmente, con base en los datos técnicos de las bombillas, expresados en el Capítulo segundo, se determina los ahorros de energía para cada nivel de potencia en los dos tipos de tecnología: vapor de mercurio y vapor de sodio, con lo cual se determina el ahorro energético por punto luminoso.

### 4.2.1 Modernización lineal y no lineal

El término modernización lineal corresponde al cambio de tecnología de vapor de mercurio por tecnología de vapor de sodio a alta presión, ajustándose a la equivalencia de potencias descrita en la tabla 31.

Tabla 31. Equivalencias en potencia de la modernización lineal.

Equivalencia de potencias	
Tecnología	
Mercurio [W]	Sodio[W]
125	70
250	150
400	250
1000	250

Fuente: Codensa.

Se define como modernización *no lineal*, todo cambio de tecnología de mercurio por tecnología de sodio que no cumpla con la condición de reemplazo definida en la tabla 31.

### 4.2.2 Composición del parque lumínico de la ciudad

Se estima que el parque lumínico de la ciudad constaba antes de la modernización de más de 334180 luminarias<sup>38</sup> instaladas de las cuales alrededor del 48% de las mismas es tecnología de vapor de mercurio (ver tabla 32).

<sup>38</sup> Al mes de noviembre de 2002, Fuente la UESP.

Tabla 32. Inventario general del parque lumínico de Bogotá DC.

Inventario general del parque lumínico de Bogotá DC.					
Prioridad	Nombre	Tecnología de vapor de mercurio			
		125	250	400	Total
1	Santa Fe	2 247	81	182	2 510
2	Candelaria	338	139	23	500
3	Mártires	2 559	68	392	3 019
4	Usme y Sumapaz	6 332	220	143	6 695
5	Ciudad Bolívar	11 061	730	299	12 090
6	Bosa	8 848	407	471	9 726
7	San Cristóbal	12 223	435	500	13 158
11	Kennedy	15 743	321	247	16 311
14	Suba	18 110	958	365	19 433

Fuente: Codensa S.A. ESP.

Tabla 33. Inventario general del parque lumínico de Bogotá DC. (Continuación)

Inventario general del parque lumínico de Bogotá DC.					
Prioridad	Nombre	Tecnología de vapor de mercurio			
		125	250	400	Total
8	Rafael Uribe	6 578	215	401	7 194
9	Antonio Nariño	3 191	171	393	3 755
10	Tunjuelito	4 670	121	276	5 067
12	Puente Aranda	8 232	250	471	8 953
13	Fontibón	4 986	280	211	5 477
15	Engativa	16 913	070	120	19 103
16	Chapinero	3 850	336	573	4 759
17	Barrios Unidos	5 587	172	514	6 273
18	Usaquen	9 716	955	278	10 949
19	Teusaquillo	5 712	332	458	6 502
	<b>Total</b>	<b>147 021</b>	<b>7 511</b>	<b>7 717</b>	<b>161 474</b>

Fuente: Codensa S.A. ESP.

De donde se evidencia que el 91% de las luminarias son de 125 [W], el 4,65 % en 250 W y el resto de 400 W de potencia.

En la tabla 34 se muestra el avance de las obras de modernización, a junio de 2005, de donde se puede apreciar que se ha modernizado el 38% del parque lumínico de la ciudad que tenía tecnología de vapor de mercurio.

Tabla 34. Avance de las obras de modernización

<b>Totalidad de puntos lumínicos modernizados</b>				
<b>Localidad</b>	<b>70 W</b>	<b>150 W</b>	<b>250 W</b>	<b>Total<sup>39</sup></b>
Santa Fe	2 278	188	26	2 492
La Candelaria	381	87	25	493
Los Mártires	2 642	245	97	2 984
Usme	6 406	226	57	6 689
Ciudad Bolívar	11 260	713	91	12 064
Bosa	8 883	759	73	9 715
San Cristóbal	12 210	779	91	13 080
Kennedy	15 404	844	33	16 281
Puente Aranda	8 057	773	95	8 925
Suba	18 130	1 215	31	19 376
<b>Subtotal</b>	<b>85 651</b>	<b>5 829</b>	<b>619</b>	
<b>Total</b>	<b>92 099</b>			

Fuente: Ing. Aldo Marco González,  
Consortio Energía Colombia.

#### 4.2.3 Tendencias del proceso de modernización hacia el reemplazo lineal

En la tabla 35 se indican los porcentajes de reemplazo lineal y no lineal para cada potencia; los reemplazos lineales más representativos corresponden a las luminarias de 125W y 250W, aproximándose en buena medida a las proyecciones iniciales del proyecto (100% de linealidad).

Sin embargo las luminarias de 400 W, no conservan la linealidad y su tendencia es al cambio por 150 W en vapor de sodio, de donde se puede evidenciar un sobre dimensionamiento lumínico del sistema, con el correspondiente uso no racional de la energía.

Tabla 35. Tendencias a la linealidad de la modernización

<b>TENDENCIAS A LA LINEALIDAD</b>				
<b>Vapor de Sodio</b>		<b>70</b>	<b>150</b>	<b>250</b>
<b>Vapor de Mercurio</b>	<b>125</b>	98,99%	0,74%	0,08%
	<b>250</b>	13,50%	82,25%	2,17%
	<b>400</b>	17,44%	56,01%	22,54%

Otros reemplazos no lineales representativos son los de las luminarias de 250W y 400W en vapor de mercurio, por las de 70W en vapor de Sodio a alta presión, encontrando una tendencia del 15% hacia la no linealidad.

<sup>39</sup> Las diferencias entre las tablas 4.4 y 4.5 corresponden a luminarias que por sobre dimensionamiento lumínico del sistema, se retiraron.

#### 4.2.4 Eficacia mantenida y consumo de potencia de las luminarias

Para determinar el consumo energético se tendrá en cuenta el consumo de las fuentes luminosas más el consumo del balasto, puesto que son los dos componentes que más incidencia tienen en este aspecto.

La eficacia mantenida se obtiene del cociente entre el flujo luminoso mantenido<sup>40</sup> y la potencia total consumida es decir:

*Eficacia de un punto luminoso:*

$$n = \frac{\phi_{\text{mantenido}}}{P_{\text{consumida}}} [\text{lúmenes / watio}] \quad (7)$$

*Donde:*

*n = eficacia de la fuente*

*$\phi$  = flujo mantenido de la fuente*

*P = Potencia consumida por la fuente*

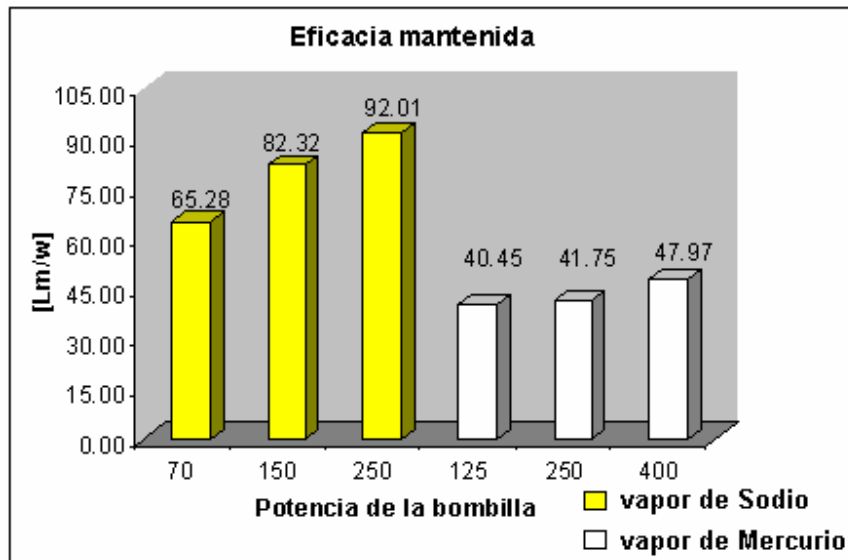
En la tabla 36 se presentan los resultados obtenidos para los dos tipos de tecnología con sus respectivas potencias, y en la figura 59 se hace una comparación de la eficacia mantenida de cada una de las luminarias.

*Tabla 36. Consumo de potencia y eficacia mantenida por las fuentes luminosas*

<b>Consumo de potencia eléctrica por fuente luminosa</b>					
<b>Tipo de tecnología</b>	<b>Potencia consumida [W]</b>			<b>Flujo luminoso mantenido [Lúmenes]</b>	<b>Eficacia mantenida [Lm/W]</b>
	<b>Bombilla</b>	<b>Balasto [208 V]</b>	<b>Total</b>		
<b>vapor de Sodio</b>	70	9,5	79,5	5,190	65,28
	150	14,0	164,0	13,500	82,32
	250	19,0	269,0	24,750	92,01
<b>vapor de Mercurio</b>	125	8,5	133,5	5,400	40,45
	250	13,5	263,5	11,000	41,75
	400	19,0	419,0	20,100	47,97

<sup>40</sup> Corresponde al flujo obtenido a las 100 horas de funcionamiento de la fuente luminosa.

Gráfica 59. Comparación de la eficacia mantenida de las fuentes luminosas de vapor de mercurio y vapor de sodio.



#### 4.2.5 Costos de la energía

Las tarifas del kWh del suministro de energía eléctrica para el alumbrado público en Bogotá se muestran en la tabla 37.

Tabla 37. Tarifas medias de energía en Bogotá

Tarifas medias de energía <sup>41</sup> [\$/kWh]					
Sector	1991	1998	1999	2000	2001
Residencial	61,77	168,99	161,92	190,87	264,33
Industrial	183,48	97,3	103	98,58	149,14
Comercial	266,92	137,3	137,84	145,72	106,59

Fuente: UPME

“A partir del año 2001, la estimación del consumo y la tarifa se rigen por la metodología establecida en el acuerdo firmado el 25 de Enero de 2002 entre el distrito capital, por medio de la unidad ejecutiva de servicios públicos y Codensa.

Para calcular el consumo se utiliza la resolución 043 de 1995, expedida por la CREG, la cual establece que en el caso en que no exista medida del consumo del servicio de alumbrado público, éste se puede estimar con base en la carga resultante de la cantidad de luminarias que se encuentren instaladas, multiplicada por el número de horas en que se presta el servicio, es decir entre las 6:00 PM y las 6:00 AM y por la potencia de cada una de las luminarias.

<sup>41</sup> Precios constantes de 1998

En cuanto a la tarifa que remunera cada [kWh] que se dedica al servicio de alumbrado público, teniendo en cuenta que la CREG, en la resolución 089 de 1996 estableció la libertad de tarifas para la venta de energía eléctrica que se destina al servicio, se acordó una fórmula tarifaria análoga a la que se utiliza para establecer el costo de la tarifa domiciliaria, adecuando cada uno de los cargos que la componen a las condiciones particulares de este servicio, y adicionándole los cargos por arrendamiento de la infraestructura utilizada exclusivamente para el alumbrado público y los costos de administración, operación y mantenimiento<sup>42</sup>.

En este orden de ideas y de acuerdo a los objetivos de este estudio solo se considera el costo por concepto de consumo energético, y los cargo asociados, de acuerdo la siguiente ecuación:

*Fórmula tarifaria para el kW/h par el alumbrado público.*

$$CU_{nmt} = \frac{G_{mt} + T_{mt}}{1 - PR_{nt}} + D_{nmt} + O_{mt} + C_{mt} \quad (8)$$

*Donde:*

*Los subíndices n, m, t son:* nivel de tensión n, mes m, del año t.

*CU<sub>nmt</sub>:* es la tarifa, [kWh] de cada unidad de consumo destinada al servicio de alumbrado público.

*G<sub>mt</sub>:* es el cargo por generación. Lo establece la CREG, resoluciones 031 y 089 de 1996.

*T<sub>mt</sub>:* cargo por transmisión. Lo establece la CREG, resolución 005 de 2000, e influyen él, el índice de precios al consumidor y el índice de precios al productor.

*PR<sub>nt</sub>:* porcentaje de pérdidas técnicas y no técnicas, es establecido por la CREG.

*D<sub>nmt</sub>:* cargo por el uso del sistema de distribución local. Lo establece la CREG en la resolución 166 de 1997.

*O<sub>mt</sub>:* costos adicionales del mercado mayorista.

*C<sub>mt</sub>:* valor de la comercialización, establecido por la CREG en las resoluciones 031 y 153 de 1997.

De acuerdo a lo anterior, el costo de la tarifa mensual en \$/kWh que remunera el servicio de alumbrado público se ajusta mensualmente teniendo en cuenta las variaciones que determina la CREG para el costo del suministro de la energía en el punto de conexión a la red de alumbrado público. En la tabla 38 se presentan las tarifas medias proyectadas por la Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos para las tarifas del suministro de energía para el alumbrado público de acuerdo con la ecuación 8.

<sup>42</sup> Tomado de: Proyecto de acuerdo numero 50 de 2003, primer debate; "Por el cual se establece la tasa de alumbrado público para el distrito capital de Bogotá".

Tabla 38. Proyección de las tarifas para el suministro  
De energía al alumbrado público

Proyección de las tarifas medias de energía [\$/Kwh.]			
Sector	2004	2005	2006
Residencial	270 42	282 15	297 69
Industrial	173 51	186 28	207 11
Comercial	122 48	139 84	157 17

Fuente: UESP

#### 4.2.6 Tasa de reemplazo diario en el proceso de modernización

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 34, la totalidad de puntos modernizados a Junio de 2005 es de aproximadamente 92100 puntos, lo cual se realizó en un tiempo total de  $10^{43}$  meses, lo que lleva a tomar una tasa de 350 puntos luminosos modernizados en promedio cada día.

Con esto se requiere alrededor de un año y ocho meses para hacer el cambio completo de tecnología en el parque lumínico de la ciudad, es decir si se empezaron las actividades en agosto de 2004, se espera que se concluyan en marzo de 2006.

#### 4.3 Consumo y ahorro energético por punto luminoso

En el presente numeral se hace la comparación del consumo energético de un punto luminoso cuando hace uso de uno de los dos tipos de tecnología, vapor de mercurio y vapor de sodio.

En el análisis se toma como base un periodo de un año, y una tasa diaria de funcionamiento de 12 horas, (6 PM - 6 AM), de acuerdo a la ecuación 9.

*Consumo de potencia eléctrica.*

$$Canual = Pconsumida * \frac{12 * 365}{1000} [kwh / año] \quad (9)$$

Donde:

*Canual = Consumo anual*

*Pconsumida = Potencia consumida [Watts]*

En la tabla 39 se muestra el consumo energético de las fuentes luminosas para los dos tipos de tecnología y en la tabla 40 se muestra los correspondientes ahorros energéticos al realizar la modernización.

<sup>43</sup> Consorcio Energía Colombia S.A.

Tabla 39. Consumo de energía por tipo de tecnología

<b>Consumo energético por tipo de tecnología</b>			
<b>Tecnología</b>	<b>Potencia nominal [W]</b>	<b>Potencia consumida [W]</b>	<b>Potencia consumida anual [kW]</b>
Vapor de Sodio	70	79,5	339,6
	150	164	700,6
	250	269	1149,2
Vapor de Mercurio	125	133,5	570,3
	250	263,5	1 125,7
	400	419	1 790,0

Tabla 40. Ahorro energético con modernización lineal

<b>Ahorro energético con modernización lineal</b>			
<b>Tecnología</b>	<b>Potencia nominal [w]</b>		
<b>Mercurio</b>	125	250	400
<b>Sodio</b>	70	150	250
<b>Ahorro [kWh/Año]</b>	<b>230,7</b>	<b>425,1</b>	<b>640,8</b>

#### 4.4 Ahorro económico del parque lumínico de la ciudad.

Para finalizar el presente Capítulo se hace el estudio del ahorro económico que se genera por concepto de uso racional de la energía una vez se interviene el parque lumínico total.

En la tabla 41, de acuerdo a la tasa diaria de puntos modernizados, se hacen las proyecciones de puntos a intervenir, durante los periodos, agosto – diciembre de 2004, año 2005 y enero – marzo de 2006; igualmente se presentan los consumos de potencia generados durante estos intervalos de tiempo, de acuerdo a los consumos por tipo de tecnología, especificados en la tabla 39.

Tabla 41. Proyección de puntos lumínicos a intervenir por año.

<b>Luminarias de vapor de mercurio a modernizar</b>					
<b>Año</b>	<b>Meses</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>400</b>	<b>Total</b>
<b>2004</b>	5	31 385	1 645	1 510	34 540
<b>2005</b>	12	100 083	4 329	5 071	109 483
<b>2006</b>	3	15 428	1 287	736	17 451
<b>Consumo de Potencia [w]</b>					
Individual		133,5	263,5	419	
<b>Año</b>	<b>Meses</b>	<b>Consumo de potencia [Gwh/año]</b>			
<b>2004</b>	5	7,54	0,78	1,14	9,46
<b>2005</b>	12	57,72	4,93	9,18	71,83
<b>2006</b>	3	2,22	0,37	0,33	2,92

Tabla 41. Proyección de puntos lumínicos a intervenir por año, (Continuación)

<b>Luminarias en vapor de sodio proyectadas según tendencia lineal</b>					
<b>Año</b>	<b>Meses</b>	<b>70</b>	<b>150</b>	<b>250</b>	<b>Total</b>
<b>2004</b>	5	31 553	2 431	401	34 386
<b>2005</b>	12	100 541	7 141	1 317	108 999
<b>2006</b>	3	15 574	1 585	206	17 365
<b>Consumo de Potencia [W]</b>					
Individual		79,5	164	269	
<b>Año</b>	<b>Meses</b>	<b>Consumo de potencia [GWh/año]</b>			
<b>2004</b>	5	4,52	0,72	0,19	5,43
<b>2005</b>	12	34,53	5,06	1,53	41,12
<b>2006</b>	3	1,34	0,28	0,06	1,68

Como resultado de la tabla anterior, en la tabla 42 y 43, se presenta el resumen del ahorro energético y económico para los años 2004, 2005 y 2006; de acuerdo a la proyección de costos mostrada en la tabla 4.9.

Tabla 42. Ahorro energético y económico del parque lumínico, durante la modernización.

<b>Ahorro energético y económico</b>				
<b>Año</b>	<b>Meses</b>	<b>Potencia [GW/h año]</b>	<b>Costo [\$/Kwh.]</b>	<b>Ahorro [\$/año]</b>
<b>2004</b>	5	-	-	-
<b>2005</b>	12	4,03	282,15	\$ 1 138 111 068
<b>2006</b>	3	34,74	297,69	\$ 10 341 877 002
<b>2006</b>	Desde Marzo	35,99	297,69	\$ 10 712 765 313

Tabla 43. Ahorro económico y energético del parque lumínico, después de la modernización.

<b>Ahorro económico y energético del parque lumínico</b>		
<b>Luminarias modernizadas</b>	<b>Ahorro energético [GW h/año]</b>	<b>Ahorro económico [\$/año]</b>
161 474	35,99	\$ 10 712 765 313

En la tabla anterior se encuentra que el ahorro económico que representa la modernización del sistema de alumbrado público de la ciudad es importante, alrededor del 12% del valor total de la operación del mismo, lo cual permite una mejor utilización de los recursos financieros de la ciudad y una reorientación de estos hacia los sectores mas desfavorecidos y hacia la inversión social.

## Conclusiones

Las conclusiones más relevantes de este trabajo de grado se presentan a continuación.

- ✚ El cambio de tecnología implementado en el sistema de alumbrado público de Bogotá mejoró considerablemente las características técnicas de los equipos utilizados en el sistema, especialmente lo correspondiente a los grados de hermeticidad de las luminarias, la eficiencia de las fuentes de luz, las características luminotécnicas de las luminarias y el sistema de control del alumbrado.
- ✚ Tanto la calidad como la cantidad de la luz suministrada por el sistema de alumbrado público después de la modernización son mejores que cuando se hace uso de la tecnología de vapor de mercurio, pese a las desventajas que se presentan en la reproducción del color. Por tanto la modernización significa un avance luminotécnico para el sistema de alumbrado público de Bogotá.
- ✚ De los tres tipos de luminarias: 70W, 150W, 250W en vapor de sodio, dos de ellas (70 W y 150W) generan armónicos de corriente por encima de los niveles recomendados por el estándar IEEE 519. Esto significa que el sistema puede presentar inconvenientes técnicos asociados al comportamiento armónico de las luminarias, aspecto que debe evaluarse con los fabricantes para mitigarlo. En cambio la luminaria de 250W cumple los límites recomendados de emisión de armónicos.
- ✚ Características del proceso de modernización como el trabajo selectivo y en bloque sobre el sistema, contribuye al mejoramiento de la administración y operación del mantenimiento del sistema de alumbrado de Bogotá; lo que a su vez permite una actualización de la base de datos del mismo, una caracterización de los requerimientos de mantenimiento, la programación adecuada de las actividades de mantenimiento preventivo y una reducción de los costos de funcionamiento.

- ✚ La manipulación y la disposición final de los residuos sólidos (reciclaje) generados por la modernización son los indicados para permitir un impacto ambiental positivo o un impacto negativo mínimo. Por otra parte el manejo que se le da en la modernización a los residuos tóxicos como el mercurio y el sulfuro de cadmio, es adecuado, y por consiguiente su impacto ambiental es positivo.
  
- ✚ La modernización es un proyecto que permite el uso racional de la energía sin detrimento de la óptima prestación del servicio de alumbrado público, permitiendo una reducción de 35 GWh-año y la disminución indirecta de 13000 toneladas de emisiones de dióxido de carbono al aire por año, lo cual es un notorio avance en materia ambiental e impulsa directamente el desarrollo sostenible del país.
  
- ✚ Con el cambio de tecnología dado en la modernización, se reduce considerablemente la emisión de rayos ultravioleta. Esto significa disminuir los efectos en la salud de los seres humanos y por consiguiente una mejora en la calidad de vida de las personas.
  
- ✚ La modernización del sistema de alumbrado público, tanto en su fase constructiva como en su fase de explotación, presenta altos impactos positivos; este es el caso de la manipulación y el almacenamiento de los residuos tóxicos, disminución de la contaminación secundaria, el impacto positivo en la estructura ocupacional y en las actividades económicas de la ciudad, el incremento de la calidad del alumbrado público con su correspondiente impacto social, la contribución a la estética de la ciudad. Lo que demuestra que la modernización es un avance ambiental para la ciudad.

- ✚ Con la implementación de la modernización en el sistema de alumbrado público la administración distrital reduce en diez mil setecientos doce millones de pesos (\$10 712 000) aproximadamente, los costos anuales de operación del sistema (12% del valor total de funcionamiento), esto por concepto de uso racional de la energía.
  
- ✚ En términos generales la modernización es un avance técnico, ambiental y económico para Bogotá; por consiguiente contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos.
  
- ✚ El autor de este trabajo considera que la realización del mismo le ha permitido complementar su ciclo formativo como ingeniero electricista y destaca el carácter interdisciplinario de la tesis y por tanto el manejo de un mismo tema desde diferentes perspectivas, lo cual enriquece la profesión y contribuye a la integridad del profesional.
  
- ✚ Finalmente, el autor destaca la participación de esta tesis de grado como ponencia en el XX Congreso de la Confederación Panamericana de Ingenieros Electricistas, Mecánicos y Afines, COPIMERA 2005, en la ciudad de la Habana, Cuba, y la posterior publicación de un artículo del mismo tema en el periódico Cátedra Libre de la Universidad Industrial de Santander en el mes de diciembre.

## **6. Recomendaciones**

Una vez concluidas las obras de modernización y con base en los registros de actividades de Codensa S.A. se recomienda actualizar los resultados mostrados en este proyecto, principalmente los relacionados a tendencias de la modernización, reducción del consumo anual de energía, cantidad de luminarias modernizadas y ahorro anual de dinero por concepto de uso racional de la energía.

## 7. Trabajos futuros

- ✚ En tesis de grado posteriores se puede realizar un estudio técnico, económico y ambiental que analice la implementación de tecnologías como: sistemas de telecontrol, bombillas a base de leds, luminarias sin electrodos, teleiluminación y fotoconductores, balastos de doble nivel de potencia entre otros, puesto que son tecnologías novedosas aplicables, de alto desempeño y que ya se encuentran desarrolladas.
- ✚ Como ampliación del proyecto presentado se puede hacer el estudio de la modernización del sistema de alumbrado público considerándola como un proyecto de inversión, donde se considere la revalorización del sistema por el uso de nuevas tecnologías y los costos generados por la operación y el mantenimiento del sistema con la tecnología de vapor de sodio.
- ✚ Otro aspecto que debe analizarse es establecer el impacto en la generación de armónicos que tienen las luminarias para proponer alternativas de mitigación que garanticen la calidad adecuada de la energía eléctrica del sistema.

## 8. Bibliografía

- [1] Unidad ejecutiva de servicios públicos, Manual Único de Alumbrado Publico, 2002.
- [2] Icontec, Norma Técnica Colombiana NTC – 900, Norma de Alumbrado Público.
- [3] Silvia M. Roso, La optimización de la iluminación y el ahorro de la energía, Memorias novena jornada de energía. ACIEM Cundinamarca, 1992.
- [4] Harmonic Control in Electric Power Systems, Technical Document, 1992. IEEE Std. 519 1992.
- [5] Generalidades sobre los armónicos y su influencia en los sistemas de distribución de energía, M. SC. Ernesto Noriega Stefanova, empresa eléctrica de Matanzas, Cuba. 1997. (armónicos)
- [6] Programa de apoyo integral para la eficiencia energética municipal, guías informativas sobre el alumbrado público, comisión nacional para el ahorro de energía, CONAE, México 2005 (ver página 27 eficiencia energética).
- [7] <http://www.codensa.com.co/>
- [8] <http://www.uesp.gov.co/>
- [9] <http://www.upme.gov.co/>
- [10] <http://www.royalpha.com/>
- [11] <http://www.celsa.com.co/>
- [12] <http://www.inadisa.com/>
- [13] [www.lighting.philips.com](http://www.lighting.philips.com)
- [14] [www.ceisp.com/symposium](http://www.ceisp.com/symposium) (mantenimiento)
- [15] [www.tdx.cesca.es](http://www.tdx.cesca.es) (mantenimiento)
- [16] <http://\aniwrp.gsfc.nasa.gov>
- [17] Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental  
Dr. Ing. agrónomo  
V. Conesa Fernández. – Vítora  
Tercera edición  
Ediciones mundi prensa, 1997, Madrid, impreso por grafo S.A. Bilbao.
- [18] Codensa S.A. E.S.P., Norma Técnica Ambiental Nta-409 Manipulación y disposición final de bombillas de vapor de mercurio, 2000.

[19] Guía para la Identificación de Proyectos y Formulación de Estudios de Prefactibilidad para Manejo de Residuos Sólidos Urbanos, ILPES 1993

[20] Estevan Bolea, M. T.: Evaluación del Impacto Ambiental. Madrid, 1984.

[21] Guía para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de residuos sólidos municipales, procedimientos básicos.

Banco interamericano de desarrollo, diciembre de 1997.

[22] Contaminación por mercurio y sus impactos en la ecología y en la población rural, <http://www.ambiente-ecologico.com>, Luis Barreto Serrano, 2003.

[23] Evaluación mundial sobre el Mercurio, Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente, PNUMA Productos Químicos, Ginebra Suiza, Diciembre de 2002.

[24] Aspectos científicos: efectos de los rayos ultravioleta en la salud y en el medio ambiente, programa de las naciones unidas para el medio ambiente, oficina regional para América latina y el caribe, PNUMA, México. 2002. (rayos UV)

[25] Riesgos de la sobreexposición a la radiación ultravioleta, centro de sanidad ambiental, Washington Estados unidos de norte América, 2001. (Rayos UV)

[26] La contaminación lumínica y el desarrollo sostenible, scorpio elektro XXI, S:L. Madrid, España, 2002.

## 9. Anexos

### Anexo A. Tipos de vías

Para la definición de los tipos de vías se requiere tener en cuenta las variables que inciden en el diseño de una instalación de alumbrado público: *la velocidad de circulación, la frecuencia y naturaleza de los obstáculos a ver y, por último, el tipo de usuarios de la vía*<sup>44</sup>.

#### A1. Criterios de selección para el tipo de vía.

De acuerdo a lo anterior, se pueden agrupar las vías en varios conjuntos y posteriormente asignarles las características de iluminación.

Tabla A1. Criterios para la selección del tipo de vía.

Clases de iluminación por tipo de vía	
Descripción de la vía	Tipo de vía
Vías de alta velocidad, con calzadas separadas exentas de cruces a nivel y con accesos completamente controlados (Autopistas). Con densidad de tráfico y complejidad de circulación (1)	
Alto	M1
Medio	M2
Bajo	M3
Vías de alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Control de tráfico (2) y separación (3) de diferentes usuarios de la vía	
Escaso	M1
Suficiente	M2
Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía.	
Escaso	M2
Bueno	M3
Conectores de vías de poca importancia, vías distribuidoras locales, vías de acceso a zonas residenciales, Vías de acceso a propiedades individuales y a otras vías conectoras más importantes. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía	
Escaso	M4
Bueno	M5

Fuente: NTC 900

#### Notas:

1) *La complejidad de la vía*, se refiere a su infraestructura, movimiento de tráfico y alrededores visuales. Se deben considerar los siguientes factores: número de carriles, inclinación, letreros, señales, entradas y salidas de rampas.

2) *Control de tráfico*, se refiere a la presencia de letreros y señales así como a la existencia de regulaciones. Los métodos de control son semaforización, reglas y regulaciones de prioridad, señales, avisos y demarcaciones de la vía.

<sup>44</sup> Se asume que las vías que responden de la misma manera a estas variables, se iluminan de la misma manera.

3) La separación puede ser por medio de carriles específicos o por normas que regulan la restricción para uno o varios de los tipos de tráfico. El menor grado se recomienda cuando existe esta separación.

4) Los diferentes tipos de usuarios de la vía son: automovilistas (en vehículos veloces o lentos), motoristas de vehículos pesados y lentos (camiones), vehículos grandes y lentos (buses), ciclistas, motociclistas y peatones.

De acuerdo con la caracterización hecha en la tabla A1, en la tabla A2 se adoptan cinco (5) tipos de vía, de acuerdo a la velocidad de circulación y al tráfico de vehículos.

*Tabla A2. Tipo de vía de acuerdo a la velocidad de circulación y al tránsito de vehículos.*

Tipos de vías				
Tipo de vía	Velocidad de circulación [km/h]		Tránsito de vehículos T [Veh/h]	
	Vía M1	Muy importante	$V > 90$	Muy importante
Vía M2	Importante	$60 < V < 90$	Importante	$500 < T < 1000$
Vía M3	Media	$30 < V < 60$	Media	$250 < T < 500$
Vía M4	Reducida	$V < 30$	Reducida	$100 < T < 250$
Vía M5	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	$T < 100$

*Fuente: NTC 900*

En la tabla A3, se especifican once tipos de vía tomando como parámetro el ancho de la calzada.

*Tabla A3. Tipos de vía, de acuerdo al ancho de la calzada.*

VÍA	DESCRIPCIÓN
V - 0	100 m
V - 1	60 m
V - 2	40 m
V - 3	30 m, 28 m. (Sectores sin desarrollar, sectores desarrollados)
V - 3 E	25 m
V - 4	22 m
V - 5	18 m (Para zonas industriales y acceso a barrios)
V - 6	16 m
V - 7	13 m (Local secundaria en zonas residenciales)
V - 8	10 m (Privada comunal o peatonal)
V - 9	8 m (Peatonal)

*Fuente: NTC 900*

En términos generales la tabla A3, se resume en la tabla A4.

**Tabla A4. Tipos de vías (resumen general)**

Malla arterial principal y malla arterial complementaria	V-0, V-1, V-2, V-3.
Malla vial intermedia	V-4, V-5, V-6.
Malla vial local	V-7, V-8, V-9.

Fuente: NTC 900

**A2. Requisitos fotométricos de acuerdo al tipo de vía**

Definidos los tipos de vía, de acuerdo a las tablas A1 a A4, se establecen los requisitos fotométricos mínimos que se deben mantener a lo largo de la vida útil del proyecto.

**Tabla A5. Requisitos fotométricos de acuerdo al tipo de vía.**

<b>Requisitos fotométricos mínimos por tipo de iluminación</b>					
<b>Tipo de vía</b>	<b>Lprom [Cd/m2]</b>	<b>Uo min</b>	<b>Ti Max inicial</b>	<b>UL Minimo</b>	<b>SR Minimo</b>
M1	2.0	0.4	10	0.5 a 0.7 *	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.5 a 0.7 *	0.5
M3	1.0	0.4	10	0.5	0.5
M4	0.75	0.4	15	NR	NR **
M5	0.5	0.4	15	NR	NR

Fuente: NTC 900

\* 0,7 es para vías de alta velocidad con calzadas separadas, exentos de cruces a nivel y con accesos completamente controlados. Se aplica para autopistas.

\*\* NR significa no requerido.

La NTC-900 no contempla el índice  $G^{45}$ , como parámetro determinante del deslumbramiento argumentando incertidumbre en su cálculo y deficiencias en su aplicación práctica. La publicación CIE-115 tampoco contempla su uso y la publicación IES RP-8 contempla el uso de  $L_{velo}$  (Luminancia de velo).

Es necesario resaltar que los valores anteriores se calculan para condiciones estables de funcionamiento a través del tiempo de vigencia del proyecto, con excepción de Incremento del Umbral,  $Ti^{46}$ , que solamente se calcula y verifica para la condición inicial del proyecto.

<sup>45</sup> Índice de deslumbramiento.

<sup>46</sup>  $Ti$ , es una medida de la pérdida de visibilidad causada por un deslumbramiento engeguecedor originado por la luminaria.

## **Anexo B. Norma técnica ambiental 409: Manipulación y disposición final de lámparas de vapor de mercurio**

*El procedimiento para la atención de emergencia por derrame de mercurio debe tener en cuenta los siguientes aspectos.*

- ✚ Para la manipulación apropiada de las bombillas de mercurio el operario debe contar permanentemente con los siguientes elementos de protección personal: mandil de cuero, tapabocas con filtro activo de carbono, guantes de nitrilo, guantes de carnaza, gafas de seguridad.
- ✚ Disponibilidad de elementos para la segregación, almacenamiento y transporte de las bombillas: cajas de cartón, papel periódico como protección individual para cada bombilla evitando que las bombillas se golpeen y rompan entre sí, recipientes plásticos herméticos que puedan contener cualquier posible derrame de mercurio.
- ✚ El almacenamiento de las bombillas debe realizarse en un lugar debidamente delimitado y apartado de alimentos, fuentes de agua y desagües, con buena ventilación, bajo techo y en piso de concreto.
- ✚ En caso de derrames menores de mercurio:
  1. Se debe ubicar el kit de manejo ambiental
  2. Evitar que el mercurio llegue a fuentes de agua y drenajes
  3. Esparcir el azufre del kit sobre el mercurio derramado.
  4. Recoger la mezcla con una escobilla y recogedor pequeño.
  5. Introducir mezcla dentro de una bolsa plástica.
  6. Transportar la bolsa sellada, envuelta en periódico y dentro de un recipiente plástico a las bodegas de LITO S.A. donde se realice el tratamiento final del residuo.
- ✚ En caso de derrames mayores de mercurio (cantidad de mercurio derramado superior a los 90 gr.):
  1. Ubicar el kit de manejo ambiental.
  2. Aislar totalmente el área del derrame con un perímetro de 3 m por cada lado.
  3. Evitar que el mercurio llegue a fuentes de agua y drenajes.
  4. Esparcir el azufre del kit sobre la superficie del derrame
  5. Contactar inmediatamente al Centro de Información de Seguridad sobre Productos Químicos - CISPROQUIM (teléfono: 1-2886012) a quienes se les solicitara atender la emergencia por el derrame.