

**CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA EJECUCIÓN DE LA MODERNIZACIÓN DEL
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL DISTRITO CAPITAL**

ALDO MARCO GONZÁLEZ GÉLVEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

**CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA EJECUCIÓN DE LA MODERNIZACIÓN DEL
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL DISTRITO CAPITAL**

ALDO MARCO GONZÁLEZ GÉLVEZ

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

**Director
Ing. Ciro Jurado**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

A mis padres Carlos y Carmen
A mis hermanos Lina, Ada y Kayo
A María Alejandra Juan E., Juan F. y Freddy
A mi familia

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Profesor Ciro Jurado por su motivación y colaboración recibidos durante el desarrollo de éste proyecto.

Ingeniero Camilo E. Hernández por su dedicación y orientaciones en el desarrollo de éste proyecto.

Ingeniero José Garavito, Yiced Ahumada, Sofía Ruíz, Arturo Chavarro, Luis Cabrera y Gustavo Velez, por su amistad y constante motivación.

Profesores Julio Gélvez, Raúl Vila y demás profesores de la Escuela de Ingeniería Eléctrica por la orientación recibida a lo largo de la carrera.

Cenercol S.A. por la oportunidad brindada para el desarrollo de la práctica, marco del desarrollo del proyecto.

Ingeniero Jorge Sánchez, Codensa S.A.

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

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. ESTUDIO DE LUMINOTECNIA	3
1.1. ILUMINACIÓN	3
1.1.1. Flujo luminoso (Φ)	4
1.1.2. Intensidad luminosa (I)	5
1.1.3. Iluminancia (E)	6
1.1.4. Luminancia (L)	9
1.1.5. Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa (h)	11
1.1.6. Cantidad de luz (Q)	11
1.2. LUMINARIAS	12
1.2.1. Componentes de una luminaria	12
1.2.2. Clasificación	15
1.3. DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO	18
1.3.1. Diagramas fotométricos	19
1.3.2. Fijación de la luminaria	27
1.3.3. Características del alumbrado público	28
1.3.4. Clasificación de los tipos de vías	30
1.3.5. Parámetros de calidad de un diseño alumbrado público	32
1.3.6. Causas de pérdidas de luz	33
1.4. FACTORES QUE INCIDEN EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO	34
2. MEDICIÓN DE ILUMINANCIA EN VÍAS	36
2.1. EVALUACIÓN DEL VANO SELECCIONADO	36
2.2. PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE ILUMINANCIA	37
2.3. MARCADO DE LA VÍA	37

2.4.	TOMA DE DATOS	39
2.4.1.	Ubicación del sensor	39
2.4.2.	Ubicación del punto a medir	39
2.4.3.	Medidores fotométricos de iluminancia	40
2.4.4.	Cuidados en la medición	40
2.5.	CÁLCULOS	41
2.5.1.	Iluminancia promedio (\bar{E})	41
2.5.2.	Luminancia promedio (\bar{L})	41
2.5.3.	Uniformidad general de luminancia (U_0)	42
2.5.4.	Uniformidad longitudinal de luminancia (U_L)	42
2.5.5.	Luminancia de velo (L_v)	43
2.5.6.	Incremento del umbral (T_i)	44
2.5.7.	Relación de alrededores (SR)	45
2.6.	INFORME DE RESULTADOS	45
2.7.	SIMULACIONES	52
2.8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
3.	GENERALIDADES DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL DISTRITO CAPITAL	60
3.1.	OBJETO DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO	60
3.2.	DEFINICIONES	61
3.2.1.	Reemplazo lineal	61
3.2.2.	Reemplazo No Lineal	61
3.3.	PROYECCIÓN DE CANTIDADES DE OBRA Y CRONOGRAMA GENERAL	62
3.4.	ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO Y BENEFICIOS OBTENIDOS	63
4.	METODOLOGÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL DISTRITO CAPIT	67
4.1.	OBJETIVOS DE LA METODOLOGÍA	68

4.2.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	68
4.2.1.	Recepción y clasificación de la información por minisector	68
4.2.2.	Replanteo y presupuesto	71
4.2.3.	Ensamble y prueba de luminarias	75
4.2.4.	Clasificación y asignación de ordenes de trabajo	76
4.2.5.	Alistamiento de cuadrillas	78
4.2.6.	Ejecución de actividades	80
4.2.7.	Supervisión	86
4.2.8.	Clasificación y reintegro de material retirado	87
4.2.9.	Control de calidad de la instalación	90
4.2.10.	Verificación y validación de la información	91
4.2.11.	Generación de informes	92
4.2.12.	Cierre de localidad y entrega de obra	95
4.2.13.	Evaluación del proceso y mejoramiento	95
5.	GUÍA TÉCNICA PARA LA EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO	98
5.1.	GENERALIDADES	98
5.1.1.	Objetivo	98
5.1.2.	Justificación	98
5.1.3.	Criterios técnicos para el cambio de tecnología	99
5.2.	PROVISIÓN DE RECURSOS TECNOLÓGICOS	101
5.2.1.	Luminarias	101
5.2.2.	Balastos	103
5.2.3.	Condensadores	103
5.2.4.	Bombillas de Sodio	105
5.3.	APLICACIÓN DE NORMAS TÉCNICAS	105
5.4.	CAPACITACIÓN DE PERSONAL	106
5.5.	APLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS	107
5.5.1.	Procedimiento para el levantamiento de información de replanteo y presupuesto	108
5.5.2.	Procedimiento para cambio de luminaria	109
5.5.3.	Procedimiento para el ensamble de luminaria	110
5.5.4.	Instructivo para la manipulación y disposición final de bombillas de vapor de mercurio.	111

5.6. REGISTROS, REPORTE FINAL Y ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA	113
6. CONCLUSIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE ILUMINACIÓN	117
ANEXO B: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA SOPORTE PARA LUMINARIA HORIZONTAL EN POSTES DE CONCRETO	119
ANEXO C: SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS VÍAS	119
ANEXO D: CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES VIALES	119
ANEXO E: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BOMBILLAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN	120
ANEXO F: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ARRANCADORES PARA BOMBILLAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN	123
ANEXO G: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS BALASTOS PARA BOMBILLAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN	124
ANEXO H: FORMATOS PARA EL REGISTRO Y CONTROL DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN	125
ANEXO I: MATRIZ DE INTENSIDADES LUMINARIA ROYALPHA REFERENCIA AMAZONAS 70 W, EN FORMATO IES	135
ANEXO J: RESULTADOS SIMULACIÓN REALIZADA CON EL SOFTWARE CALCULUX VIARIO v2.0	140

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Flujo luminoso.	5
Figura 2. Intensidad luminosa	6
Figura 3. Comparación entre el flujo luminoso y la intensidad luminosa.	6
Figura 4. Iluminancia	7
Figura 5. Descomposición de la Iluminancia	8
Figura 6. Luminancia	10
Figura 7. Partes de La Luminaria	15
Figura 8. Luminaria directa y luminaria indirecta.	16
Figura 9. Luminaria semi-directa y Luminaria semi-indirecta	17
Figura 10. Luminaria directa-indirecta	17
Figura 11. Luminaria general difusa	17
Figura 12. Sistema de coordenadas CEI	22
Figura 13. Sistema de coordenadas IES	22
Figura 14. Intensidad luminosa en función de los ángulos	24
Figura 15. Diagrama polar.	26
Figura 16. Diagrama isocandela.	27
Figura 17. Grilla de medición para vías rectas.	41
Figura 18. Cálculo de la luminancia de velo.	46
Figura 19. Grilla de medición	52
Figura 20. Conversión de la matriz de intensidades de formato IES a.phl	55
Figura 21. Ventana de esquemas	56
Figura 22. Selección de las luminarias del proyecto	57
Figura 23. Configuración de la rejilla de simulación	57
Figura 24. Definición del tipo de cálculo.	58
Figura 25. Configuración del informe	60
Figura 26. Macroproceso de la ejecución de actividades	70
Figura 27. Metodología para el proyecto de modernización del alumbrado público del distrito capital.	72
Figura 28. Proceso recepción y clasificación de la información por localidad	73
Figura 29. Diagrama de flujo para el replanteo y presupuesto	77
Figura 30. Ensamble de luminaria	79
Figura 31. Clasificación y asignación de ordenes de trabajo	81
Figura 32. Metodología para el desarrollo de las capacitaciones	110

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Índices IP e IK de protección de las luminarias	18
Tabla 2. Tipos de vía.	32
Tabla 3. Características de iluminación por tipo de vía.	33
Tabla 4. Requisitos fotométricos mínimos.	35
Tabla 5. Medidas de iluminancia para luminaria de 125 W de montaje vertical.	50
Tabla 6. Medidas de iluminancia para luminaria de 70 W con soporte de 0.5 m, inclinación 0°	51
Tabla 7. Cuadro de resumen de mediciones	52
Tabla 8. Condición de reemplazo modernización lineal.	64
Tabla 9. Panorama del alumbrado existente en mercurio en el Distrito Capital (Junio de 2004)	66
Tabla 10. Proyección y cronograma de reemplazos por localidad.	67
Tabla 11. Puntos modernizados por potencia en las localidades intervenidas (Junio de 2005).	68
Tabla 12. Porcentajes de reemplazo	68
Tabla 13. Ahorro energético del proyecto de modernización.	69
Tabla 14. Requisitos técnicos para los balastos	106
Tabla 15. Capacitancia de los condensadores en función del calibre y la tensión.	108
Tabla 16. Factores de mantenimiento estimados	121
Tabla 17. Flujo luminoso de las bombillas de sodio alta presión	121
Tabla 18. Anchos mínimos para el desarrollo de vías	122
Tabla 19. Secciones viales	122
Tabla 20. Características de la bombilla de 70 W de vapor de sodio de alta presión	123
Tabla 21. Características de la bombilla de 150 W de vapor de sodio de alta presión	124
Tabla 22. Características de la bombilla de 250 W de vapor de sodio de alta presión	125
Tabla 23. Características para arrancadores de la bombillas de vapor de sodio de alta presión	126
Tabla 24. Características de los balastos para bombillas de vapor de sodio de alta presión	127

RESUMEN

TÍTULO:
CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA EJECUCIÓN DE LA MODERNIZACIÓN DEL
ALUMBRADO PÚBLICO DEL DISTRITO CAPITAL*

AUTOR:
ALDO MARCO GONZÁLEZ GÉLVEZ**

PALABRAS CLAVE: Alumbrado Público, Metodología, Modernización, Operativo, Cambio, Procedimiento, Ensamble, Repotenciación, Sodio, Mercurio.

DESCRIPCIÓN:

El uso racional y eficiente de los recursos energéticos es la base del Proyecto de Modernización del Alumbrado Público en Bogotá D.C., el cual busca sustituir la infraestructura de mercurio existente por tecnología de sodio; mediante la implementación de éste tipo de tecnología se realizará una reducción en los costos de operación del sistema, se evitará la generación de nuevos desechos peligrosos para el medio ambiente gracias a la desaparición de las bombillas de mercurio del Sistema de Alumbrado Público.

Se realiza la presentación de la teoría relacionada con la iluminación y su aplicación en el diseño de sistemas de alumbrado público; los resultados obtenidos en la medición de iluminancia en un sector modernizado; la comparación con los cálculos teóricos realizados con ayuda del Software CalcuLux® Viario v2.0a, realizando simulaciones de diferentes ambientes de trabajo, para determinar los criterios técnicos a tener en cuenta durante la ejecución del proyecto de modernización del alumbrado del Distrito.

El panorama de reemplazos proyectado es de 163.980 cambios, con un período de duración no mayor a 3 años y medio. Para cumplir con ésta meta se ha planteado una metodología que se ajuste a la magnitud y dinámica del sistema de alumbrado público de Bogotá D.C. Ésta metodología contempla los esfuerzos operativos y administrativos para el mejor desempeño de las cuadrillas encargadas de la ejecución de labores, mediante el desarrollo secuencial y paralelo de la cadena del proceso.

La aplicación de la metodología se hace a través de una guía técnica en la que se presentan las especificaciones de los materiales empleados, los procedimientos operativos aplicables al proyecto, y los registros usados para el control de información y el registro de actividades y materiales.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias Físico-mecánicas, Ingeniería Eléctrica
Ing. Ciro Jurado

SUMMARY

TITLE:

TECHNICAL CRITERIA FOR THE EXECUTION OF THE MODERNIZATION OF THE PUBLIC LIGHTING SYSTEM OF THE CAPITAL DISTRICT*.

AUTHOR:

ALDO MARCO GONZÁLEZ GÉLVEZ**

KEY WORDS: Public Lighting system, Methodology, Modernization, Operative, Change, Procedure, Joint, Engine power upgrade, Sodium, Mercury.

DESCRIPTION:

The rational and efficient use of the power resources is the base of the Project of Modernization of the Public Lighting system in Bogotá D.C., which looks for to replace the existing mercury infrastructure by sodium technology; by means of the implementation of this one type of technology a reduction will be made in the costs of operation of the system, will be avoided the generation of new dangerous remainders for the environment, thanks to the disappearance of the mercury light bulbs of the Public Lighting System.

The presentation of the theory related to the illumination and its application is made in the design of systems of public lighting system; the results obtained in the measurement of illuminance in a modernized sector; the comparison with the theoretical calculations made with aid of Software Road CalcuLux® v2.0a, making atmosphere simulations different from work, to determine the technical criteria to consider during the execution of the project of modernization of the lighting system of the District.

The replacements panoram of changes projected is about 163,980 lights, with a period of duration non longer than 3 and half years. In order to achive this goal, a methodology has considered that adjusts to the magnitude and dynamics of the system of public lighting system of Bogotá D.C. This one methodology contemplates the operative and administrative efforts for the best performance of the groups in charge of the execution of workings, by means of the sequential and parallel development of the chain of the process.

The application of the methodology becomes through a technical guide in whom the specifications of the used materials, the operative procedures applicable to the project, and the registries used for the control of information and the registry of activities and materials appear.

* Degree Work

** Physics and Mechanics Engineering College, Electrical Engineering
Eng. Ciro Jurado

INTRODUCCIÓN

La aparición del alumbrado público en Colombia como servicio público se remonta a finales del siglo XVIII, cuando Antonio Nariño actuando como alcalde encargado de la población de Santa Fe decide iluminar la Calle Real cobrando un tributo adicional a los comerciantes del sector, ésta iniciativa tan solo duro un año, propiciando la creación del servicio de alumbrado y sereno, el cual consistía de un grupo de cuatro hombres que recorrían las calles de comercio con faroles de sebo, pero no fue sino hasta 1913, cuando el Concejo Municipal de Santa Fé Bogotá determina su creación como servicio municipal, mediante la Ley 97. Hoy en día el Alumbrado Público más que un servicio público básico es una rama de la Ingeniería Eléctrica, en la cual se aplican conocimientos avanzados de iluminación, diseño, control, mantenimiento e innovación.

Debido a la creciente necesidad de hacer uso racional y eficiente de los recursos energéticos, surge el Proyecto de Modernización del Alumbrado Público en Bogotá D.C., el cual busca sustituir la infraestructura de mercurio existente por tecnología de sodio, mediante la implementación de esta tecnología no solo se realizará una considerable reducción en los costos de la operación del sistema, también se evitará la generación de nuevos desechos peligrosos para el medio ambiente gracias a la desaparición de las bombillas de Mercurio del Sistema de Alumbrado Público.

En los dos primeros capítulos de éste trabajo se presentarán la teoría relacionada con la iluminación y su aplicación en el diseño de sistemas de alumbrado público, los resultados obtenidos en la medición de iluminancia en un sector antes y después de la ejecución de actividades del proyecto, realizando una comparación con los cálculos teóricos realizados con ayuda del Software CalcuLux[®] Viario v2.0a, realizando simulaciones de diferentes ambientes de trabajo para la luminaria Amazonas desarrollada por RoyAlpha y empleada en el proyecto de modernización, de manera que se puedan determinar los principales criterios técnicos a tener en cuenta durante la ejecución de un proyecto de este tipo.

El tercer capítulo nos proporcionará una visión general del proyecto de modernización, mostrando las primeras nociones del esquema operativo implementado, y enmarcando el proyecto con una meta establecida de 163.980 cambios.

El cuarto capítulo ilustrará el desarrollo de la metodología para la ejecución de actividades del proyecto, con ayuda de diagramas de flujo se podrá tener un punto de vista orientado al desarrollo de estas actividades, así como la visión completa del esfuerzo operativo y administrativo para el óptimo desempeño de las cuadrillas, que realizan el mejoramiento del sistema de alumbrado público.

Por último se presentará la guía técnica con las especificaciones de los materiales empleados, los procedimientos operativos empleados en el proyecto, y los registros usados para los reportes de actividades y materiales.

1. ESTUDIO DE LUMINOTECNIA

Se ha optado por dividir la presentación de los conceptos de iluminación aplicables al alumbrado público en tres secciones. La primera sección comprende la teoría de iluminación involucrada en el diseño de un sistema de alumbrado público; en la segunda parte del estudio se hablará de los componentes de las luminarias y de su clasificación; por último se estudiarán los principios y parámetros de diseño de un sistema de alumbrado público.

1.1. ILUMINACIÓN

Luminotecnia es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación. La luz se define como una forma de radiación electromagnética comprendida entre los 380 nm y los 770 nm de longitud de onda, a la que es sensible el ojo humano, y la fotometría nos permite definir las herramientas de trabajo, las magnitudes y los gráficos, con los que se puedan realizar los cálculos de iluminación.

Es necesario definir las magnitudes que ayudarán a comprender las diferentes formas de energía emitidas por una fuente luminosa: Estereorradián, Candela, Lúmen y Lux.

Un estereorradián se define como el ángulo sólido¹, W en la ecuación 1,

formado entre el centro de una esfera de radio unitario y una porción de superficie de esa esfera de una unidad cuadrada. Según esta definición una esfera tendrá $4 \times \pi$ estereorradianes. Su símbolo es sr.

$$w = \frac{S}{r^2} \quad [\text{sr}] \quad (1)$$

Un Lúmen equivale al flujo luminoso emitido dentro de un ángulo sólido de un estereorradián por una fuente puntual con una intensidad luminosa uniforme de una candela. Su símbolo es Lm.

Una candela es la unidad básica de la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} [Hz] y de la cual la intensidad radiada en esa dirección es $1/683$ [W/sr]. Su símbolo es Cd.

Un lúmen es igual a un candela por estereorradián [Cd/sr], y en la ecuación 2, se tiene que un lux es igual a un lumen por m^2 .

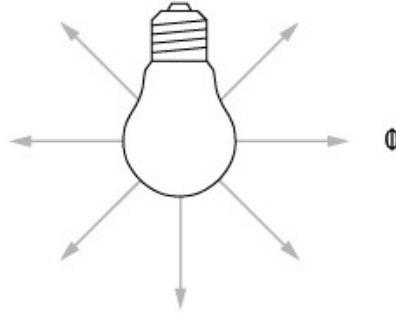
$$1 [\text{Lx}] = 1 [\text{Lm}/\text{m}^2] \quad (2)$$

1.1.1. Flujo luminoso (Φ)

Se define el *flujo luminoso* como la potencia [W] emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su unidad es el Lúmen [Lm]. En la figura 1 se ilustra el flujo luminoso de una bombilla. A la relación entre watts y lúmenes se le llama equivalente luminoso de energía y está dada mediante la ecuación 3:

$$1 \text{ [Lm]} = 1/683 \text{ [watt-luz]} \text{ a } 555 \text{ [nm]} \quad (3)$$

Figura 1. Flujo luminoso.



1.1.2. Intensidad luminosa (I)

El flujo luminoso permite hacerse una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo una bombilla², en todas las direcciones del espacio, por otra parte si se piensa en un proyector es fácil ver que sólo ilumina en una dirección, tomando como ejemplo la figura 2, por lo que se necesita conocer la distribución del flujo en cada dirección del espacio, entonces se define la *Intensidad Luminosa*, mediante la ecuación 4, como el límite del cociente entre flujo luminoso [Lm] y el ángulo sólido subtendido [sr]. Su unidad es la candela [Cd].

$$I = \lim_{w \rightarrow 0} \frac{df}{dw} \quad [\text{Cd}] \quad (4)$$

Figura 2. Intensidad luminosa



Si una fuente tiene una intensidad luminosa de 1 [Cd] en todas las direcciones, entonces el flujo luminoso total de dicha fuente será de 4π [Lm] y corresponde al resultado de evaluar la integral cerrada sobre una superficie esférica, de la ecuación 5.

$$\oint dw = 4 \cdot p \quad [\text{Lm}] \quad (5)$$

En la figura 3 se realiza la comparación gráfica entre el flujo luminoso y la intensidad luminosa de una bombilla.

Figura 3. Comparación entre el flujo luminoso y la intensidad luminosa.



1.1.3. Iluminancia (E)

Se define como *Iluminancia* a la relación entre el flujo luminoso recibido de manera uniforme por una superficie y el área de la misma, se expresa mediante la ecuación 6. Su unidad es el Lux [Lx]

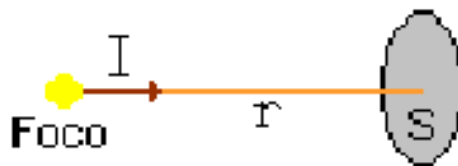
$$E = \frac{\Phi}{S} \quad [\text{Lx}] \quad (6)$$

Una manera fácil de entender éste concepto es mediante el ejemplo de una linterna iluminando objetos ubicados a diferentes distancias. Si se pone la mano delante de la linterna ésta se verá fuertemente iluminada por un círculo pequeño, mientras que al iluminar una pared lejana el círculo se verá grande y la luz débil.

De lo anterior se puede concluir que la iluminancia depende de la distancia del foco al objeto iluminado. Dicha dependencia se establece mediante la *Ley Inversa de los Cuadrados* que relaciona la intensidad luminosa y la distancia a la fuente, expresada mediante la ecuación 7. Esta ley solo es válida si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie, tal y como se ilustra en la figura 4.

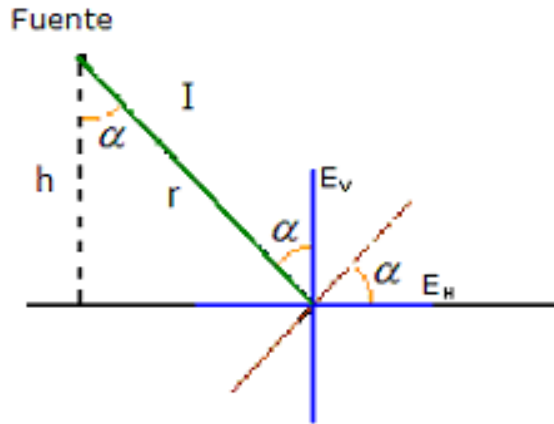
$$E = \frac{I}{r^2} \quad [\text{Lx}] \quad (7)$$

Figura 4. Iluminancia



Para el caso en el que el rayo de luz no es perpendicular a la superficie se debe descomponer la iluminancia recibida en una componente horizontal y en otra vertical a la superficie, como se ilustra en la figura 5.

Figura 5. Descomposición de la Iluminancia



Donde

$$E_H = \frac{I \cdot \cos a}{r^2} \quad [\text{Lx}] \quad (8)$$

$$E_V = \frac{I \cdot \sin a}{r^2} = E_H \tan a \quad [\text{Lx}] \quad (9)$$

A la componente horizontal de la iluminancia (E_H), de la ecuación 8 se le conoce como la *Ley del Coseno*. Para el caso en que $a = 0$ se tiene la ley inversa de los cuadrados. Al expresar E_H y E_V en función de la distancia del foco a la superficie (h) quedan las siguientes ecuaciones:

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 a}{h^2} \quad [\text{Lx}] \quad (10)$$

$$E_V = \frac{I \cdot \cos^2 a \cdot \sin a}{h^2} \quad [\text{Lx}] \quad (11)$$

En general, si un punto está iluminado por más de una bombilla su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas, expresada en las ecuaciones 12 y 13:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^3 a_i}{h_i^2} \quad [\text{Lx}] \quad (12)$$

$$E_V = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^2 a_i \cdot \sin a_i}{h_i^2} \quad [\text{Lx}] \quad (13)$$

1.1.4. Luminancia (L)

Las magnitudes definidas anteriormente indican las propiedades de la luz, emitida por una fuente, que llega a una superficie. Ahora se hablará sobre la luz que llega al ojo que a fin y la sensación percibida.

La *luminancia* es la relación entre la intensidad luminosa y la *superficie aparente* vista por el ojo en una dirección determinada, expresada por la ecuación 14. Su unidad es la candela por metro cuadrado [Cd/m²]. Este concepto se ilustra mediante la figura 6.

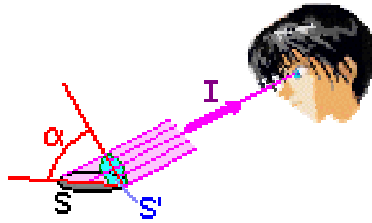
$$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}} = \frac{I}{S \cdot \cos a} \quad [\text{Cd/m}^2] \quad (14)$$

donde a es el ángulo formado entre el haz de luz incidente y la superficie.

La definición es la misma para el caso en que se observa un foco luminoso y para cuando se vea la luz reflejada procedente de un cuerpo.

Es importante destacar que el ojo humano percibe luminancias, y no iluminancias.

Figura 6. Luminancia



Siempre que se observe un objeto que esté siendo iluminado es posible diferenciarlo de su fondo, debido al *Contraste*, el cual se define como la relación entre la luminancia de un objeto y su fondo inmediato, descrita en la ecuación 15.

$$C = \frac{(L_i - L)}{L_i} \quad (15)$$

Donde L_i y L son las luminancias del fondo y el objeto respectivamente.

La sensación producida dentro del campo visual por una luminancia que es suficientemente mayor o menor que la luminancia a la cual los ojos se habían adaptado se conoce como *Deslumbramiento*; causa molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad. Su magnitud depende de factores como el tamaño, la posición y la luminancia de la fuente, el número de fuentes y la luminancia a la cual estaba adaptado el ojo. El deslumbramiento puede ser: cegador, directo, indirecto, incómodo e inhabilitador.

1.1.5. Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa (h)

Una bombilla que consume cierta cantidad de potencia no transforma toda la energía en luz visible, parte se pierde en forma de calor y otra parte en forma de radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta). Para poder medir la energía útil transformada en luz visible se define el rendimiento luminoso como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida por la bombilla, expresado en la ecuación 16.

$$h = \frac{\Phi}{W} \quad [\text{Lm/W}] \quad (16)$$

La eficacia máxima teórica con una conversión total de energía que puede obtenerse de una luz monocromática de 550 [nm] es de 680 [Lm/W].

1.1.6. Cantidad de luz (Q)

Esta magnitud permite comparar diferentes bombillas según la luz que emiten durante un cierto periodo de tiempo. Su unidad es el lumen por segundo [Lm·s]. Se puede expresar mediante la ecuación 17.

$$Q = \Phi \cdot t \quad [\text{Lm}\cdot\text{s}] \quad (17)$$

1.2. LUMINARIAS

Una luminaria es un aparato de iluminación que tiene como función controlar, distribuir, filtrar y transformar la luz emitida por una o más bombillas y que incluye todas las partes necesarias para el soporte, fijación y protección de las bombillas, así como los circuitos eléctricos necesarios para su encendido.

1.2.1. Componentes de una luminaria

Las luminarias poseen dos clases de componentes, uno óptico y otro eléctrico. El primero se compone de todos los elementos necesarios para controlar y dirigir la luz producida por una bombilla y el segundo de brindar las condiciones adecuadas para que la bombilla reciba la energía requerida para un óptimo funcionamiento, todos éstos elementos están contenidos dentro de una *carcasa* que se encarga de brindar protección física a la luminaria, La figura 7 muestra las partes de una luminaria.

El conjunto óptico de una luminaria está compuesto por: un *Reflector* ubicado en el interior de la luminaria que aprovecha el flujo de la bombilla que de otra manera se habría perdido o mal utilizado, redirigiéndolo en un patrón de distribución de luz deseable; de acuerdo con su factor de reflexión se clasifican en reflectores de superficie difusa y reflectores de superficie especular. Los reflectores de superficie difusa, tienen un factor de reflexión de 0.75 a 0.80 y están contruidos generalmente en lámina de aluminio anodizado, policarbonato metalizado y satinado o plancha de acero esmaltado, para producir una modificación difusa de la distribución luminosa de la bombilla, mientras que los reflectores que reflejan la luz de manera regular (especular)

alcanzan factores de reflexión iguales o mayores de 0.85 y están contruidos en aluminio anodizado y abrillantado, acero inoxidable pulido o plástico metalizado al vacío. Y un *Refractor* que es un elemento traslúcido empleado alterar la distribución espacial del flujo luminoso, mediante el proceso de refracción de la luz, así como garantizar le IP de la luminaria. Generalmente están contruidos de vidrio o policarbonato mejorado al impacto, compuesto de prismas con áreas acanaladas verticales, que sirven para modificar la distribución del flujo luminoso en forma simétrica o asimétrica, dependiendo que éstas sean iguales o no. Los refractores más utilizados son de forma curva, debido a que mejora sustancialmente el reparto de intensidad luminosa y permite una mejor iluminación sobre la vía.

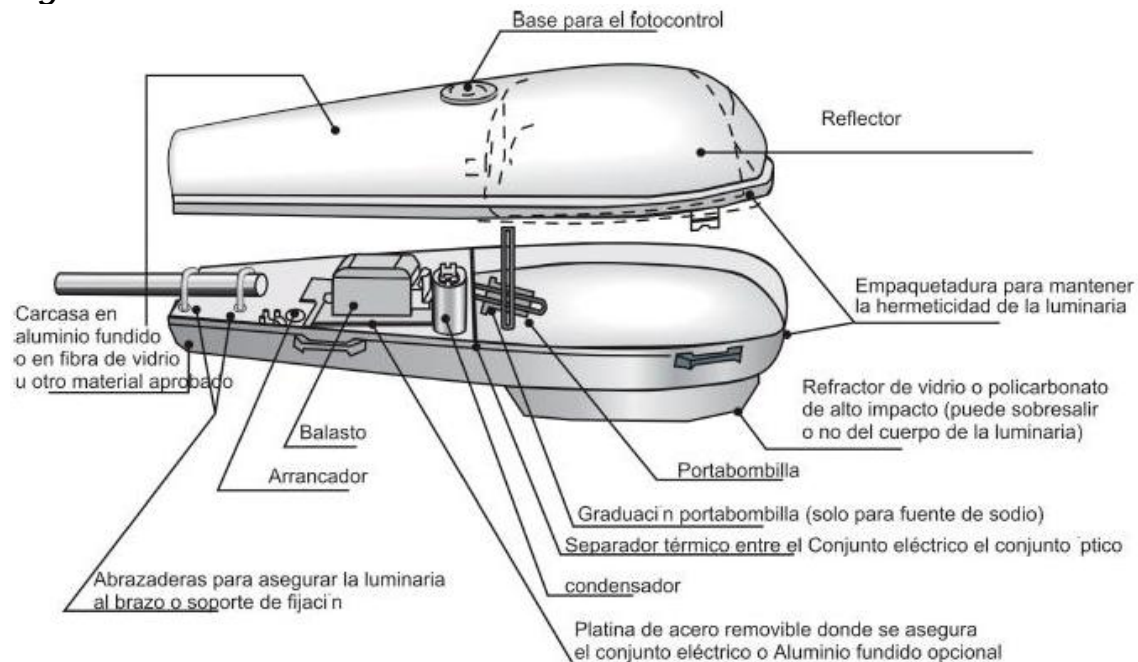
Durante el diseño de una luminaria debe procurarse que el conjunto óptico mantenga la forma y distribución de la luz, así como el rendimiento del conjunto bombilla-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios. Deben ser de fácil instalación y mantenimiento, empleando materiales adecuados que resistan el ambiente en el cual trabajará la luminaria y que mantengan la temperatura de la bombilla dentro de los límites de funcionamiento, teniendo siempre en cuenta la economía y la estética.

El conjunto eléctrico de una luminaria varía sus elementos de acuerdo al tipo de bombilla empleada. Para las bombillas incandescentes normales no se requiere de elementos auxiliares; para las bombillas halógenas se debe tener un transformador o una fuente electrónica; y para las bombillas fluorescentes y de descarga eléctrica el conjunto eléctrico se compone por un arrancador, un balasto y un condensador o poseen un conjunto electrónico para el control del encendido y regulación del voltaje; como elemento común se tiene el portabombillas que en

algunos casos permite su graduación dentro del conjunto óptico para satisfacer la fotometría de la luminaria y los aspectos de reglaje relativos a su diseño.

El reglaje hace referencia a las diferentes posiciones de la bombilla dentro del conjunto óptico, a través de las cuales el fabricante garantiza los parámetros fotométricos de un diseño en particular. Su ventaja consiste en que con una misma luminaria, se puede obtener más de una fotometría ofreciendo alternativas flexibles del diseño.

Figura 7. Partes de La Luminaria



Fuente: Manual de alumbrado empresa de energía de Bogotá

El arrancador empleado con las bombillas de descarga se encarga de generar pulsos de tensión que inician el sin precalentamiento de los electrodos; el balasto (reactancia) se usa para obtener las condiciones necesarias del circuito (tensión, corriente y forma de onda) para el encendido y operación correcta de la bombilla y el condensador tiene

por objeto mejorar el factor de potencia de la bombilla el cual es de tipo inductivo debido al balasto.

Adicionalmente una luminaria puede tener accesorios para el control del encendido (base para fotocontrol) y su fijación al soporte para el montaje en el poste (abrazaderas para fijación al soporte)

1.2.2. Clasificación

Debido a la gran cantidad de configuraciones, características y aplicaciones posibles de las luminarias, es posible clasificarlas de muchas formas, sin embargo hay una clasificación muy empleada la cual se basa en las características ópticas, mecánicas y eléctricas de las luminarias.

a) Clasificación según las características ópticas de la luminaria

Es posible clasificar las luminarias según el porcentaje del flujo luminoso radiado por encima y por debajo del plano horizontal de la bombilla; estas clases son: Luminaria directa, cuando el 90 % del flujo ilumina por debajo del plano horizontal; luminaria indirecta, cuando el 90 % del flujo ilumina por encima del plano, figura 8; luminaria semi-directa, cuando del 60 al 90 % del flujo ilumina por debajo del plano horizontal; luminaria semi indirecta, cuando entre el 60 y el 90 % del flujo ilumina por encima del plano horizontal, figura 9; luminaria directa y indirecta cuando el flujo se reparte en igual proporción por encima y por debajo del plano, figura 10; y luminaria general difusa cuando el flujo se dispersa entre ambos planos en igual porcentaje, figura 11.

Figura 8. Luminaria directa y luminaria indirecta.

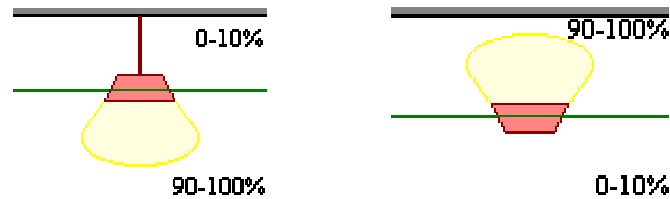


Figura 9. Luminaria semi-directa y Luminaria semi-indirecta

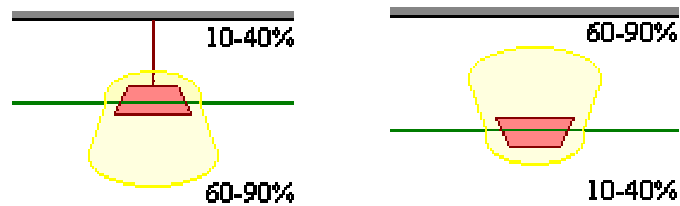


Figura 10. Luminaria directa-indirecta

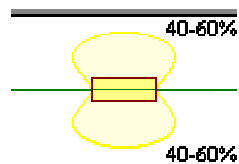
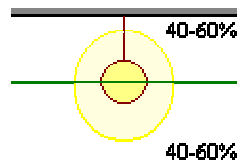


Figura 11. Luminaria general difusa



b) Clasificación según las características mecánicas de la luminaria

Las luminarias se clasifican de acuerdo al nivel de protección contra cuerpos sólidos, los líquidos y los golpes. En esta clasificación, relacionada en la tabla 1, las luminarias se designan por las letras IP (Índice de Protección) seguidas de dos dígitos, que indican la conformidad con las condiciones establecidas en las recomendaciones IEC 60529 y 60598 y las letras de denominación IK, seguidas de dos

dígitos que indican la conformidad con las condiciones establecidas en la norma EN-50102.

Tabla 1. Índices IP e IK de protección de las luminarias

ÍNDICE IP				ÍNDICE IK	
Protección Contra Sólidos		Protección Contra Líquidos		Protección Contra Impacto ³	
0	Sin Protección	0	Sin Protección	00	Sin Protección
1	≥ 50 mm (Contactos Involuntarios)	1	Caída Vertical de gotas de agua	01	0.15
2	≥ 12 mm (Contactos Involuntarios)	2	Caída de agua hasta 15° de la vertical	02	0.20
3	≥ 2.5 mm (Herramientas, Cables)	3	Agua lluvia hasta 60° de la vertical	03	0.35
4	≥ 1 mm (Herramientas finas, Cables)	4	Proyección de agua en todas las direcciones	04	0.50
5	Protegido contra polvo	5	Lanzamiento de agua en todas las direcciones	05	0.70
6	Totalmente Protegido contra polvo	6	Lanzamiento de agua similar a los golpes de mar	06	1.0
		7	Inmersión	07	2.0
		8	Efectos prolongados de inmersión bajo presión	08	5.0
				09	10.0
				10	20.0

Fuente: Norma UNE-EN 50102 de 1996

El primer dígito indica la protección contra la entrada de polvo y cuerpos sólidos y va desde el grado 0 (sin protección) hasta el grado 6 (totalmente protegido).

El segundo dígito establece la protección contra la entrada de agua y va desde el grado 0 (Sin protección) hasta el grado 8 (Protección contra los efectos prolongados de inmersión bajo presión), es importante aclarar que 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 en las luminarias, corresponde al grado de protección contra el impacto y va desde el grado 00 (sin protección) hasta el grado 10 (Energía de choque 20,0 J). Establecido para una carga de prueba de 5 kg, a una distancia de 40 cm

c) Clasificación según las características eléctricas de la bombilla⁴

Según el grado de protección eléctrica que ofrezcan las luminarias aparecen cuatro clases.

- Clase 0 à Aislamiento normal sin toma de tierra.
- Clase I à Aislamiento normal y toma de tierra.
- Clase II à Doble aislamiento sin toma de tierra.
- Clase III à Luminarias para conectar a circuitos de muy baja tensión, sin otros circuitos internos o externos que operen a otras tensiones distintas a la mencionada.

1.3. DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO

La definición de alumbrado público establecida por la CREG es la siguiente: “alumbrado público es el servicio público que tiene como objeto iluminar vías públicas, parques y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho público o privado, diferente del municipio con el objeto de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo

de actividades tanto vehiculares como peatonales, también se incluyen semáforos y relojes electrónicos instalados por el municipio".⁵

A continuación se presentarán los elementos que deben tenerse en cuenta durante la ejecución de un diseño de alumbrado público, incluyendo los principales documentos fotométricos requeridos para identificar, clasificar y seleccionar las luminarias y los proyectores.

1.3.1. Diagramas fotométricos

Para realizar una descripción adecuada desde el punto de vista fotométrico de cualquier fuente de luz, es necesario emplear la información contenida en diagramas y curvas, obtenidas a partir de la *matriz de intensidades*, que como se verá más adelante, define los valores de intensidad luminosa que suministra la luminaria en cualquier punto a su alrededor.

Los principales diagramas fotométricos de una fuente luminosa empleados en el diseño de un sistema de alumbrado público son: El *diagrama isocandela*, la curva *isolux*, el *diagrama polar de intensidad luminosa*.

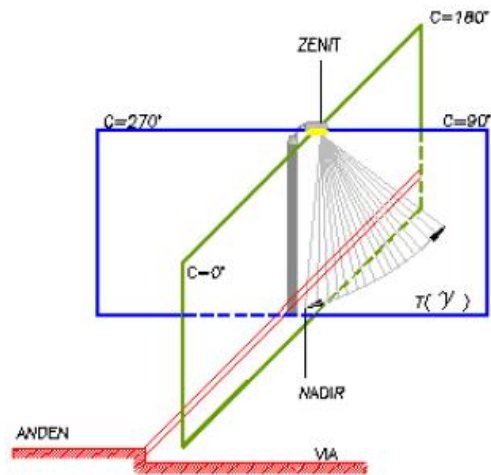
La correcta utilización de estos diagramas, depende del manejo del sistema de coordenadas en el cual se encuentra basado, dichos sistemas varían de acuerdo con el organismo internacional seleccionado. Actualmente se usan en Colombia los sistemas establecidos por la CEI (Comisión Eléctrica Internacional) y el sistema empleado por la IES.

a) Sistema de coordenadas CIE

Éste sistema emplea un tipo de coordenadas esféricas conocidas como $C - g$. En este modelo, si realizamos una vista en planta desde arriba podemos encontrar el valor $C = 0^\circ$ a la derecha, en el sentido longitudinal de la vía, éste ángulo se incrementa en sentido antihorario, de ésta manera la porción simétrica de una luminaria para alumbrado público contiene los ángulos comprendidos entre $C [-90^\circ, +90^\circ]$. Dado que se trata de un sistema de coordenadas esféricas cada valor de ángulo establecerá un *plano*, por lo que no se hará referencia al Plano C , como se muestra en la figura 12.

Para cada Plano C se pueden distinguir ángulos verticales denominados g , cuyo valor inicial $g = 0^\circ$ se halla ubicado en la vertical en dirección hacia abajo (nadir) y avanzan en forma ascendente hasta la horizontal ($g = 90^\circ$). En algunos casos se habla de ángulos verticales hasta 180° (zenit), para algunas luminarias decorativas.

Figura 12. Sistema de coordenadas CEI

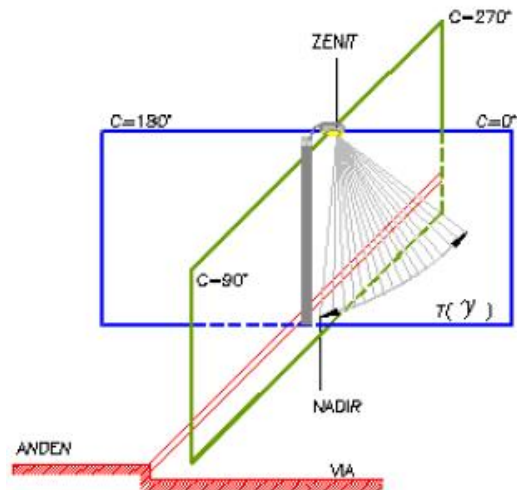


Fuente: Manual de alumbrado público de Codensa

b) Sistema de coordenadas IES

Para el sistema de coordenadas americano definido por la IES, el ángulo horizontal inicia justo al frente de la luminaria ($C = 0^\circ$) y avanza en sentido horario, visto en planta desde arriba.

Figura 13. Sistema de coordenadas IES



Fuente: Manual de alumbrado público de Codensa

Con respecto al ángulo vertical g , se comporta de manera similar al establecido por el sistema europeo CIE. Este tipo de coordenadas esféricas se denomina Coordenadas (C - g IES), y su esquema puede verse en la figura 13.

Para hacer una transformación de coordenadas entre sistemas, se utiliza la fórmula dada en la ecuación 18:

$$C_{CIE} = 90^\circ - C_{IES} \quad (18)$$

c) Matriz de intensidades luminosas

La matriz de intensidades es el elemento de caracterización más importante que puede tener una fuente luminosa, pues define los valores de intensidad luminosa para cualquier par de coordenadas $C - g$

La matriz de intensidades definida por la CIE consiste en una matriz bidimensional donde cada fila tabula el valor del ángulo g y cada columna corresponde a un plano C .

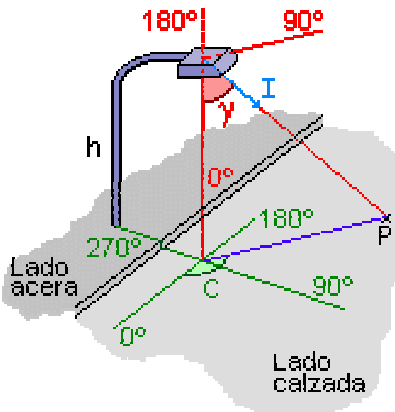
Los planos C que debe tener la matriz de intensidades son: $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 270^\circ, 285^\circ, 300^\circ, 310^\circ, 315^\circ, 320^\circ, 325^\circ, 330^\circ, 335^\circ, 340^\circ, 345^\circ, 350^\circ, 355^\circ$ y 360° ,

Para g los ángulos a tomar son: $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 47.5^\circ, 50^\circ, 52.5^\circ, 55^\circ, 57.5^\circ, 60^\circ, 62.5^\circ, 65^\circ, 67.5^\circ, 70^\circ, 72.5^\circ, 75^\circ, 77.5^\circ, 80^\circ, 82.5^\circ, 85^\circ, 87.5^\circ$ y 90° .

d) Diagrama polar

El diagrama polar representa la intensidad luminosa empleando tres coordenadas. La primera de ellas I es la magnitud de la intensidad luminosa en candelas e indica la longitud del vector y las otras dos coordenadas corresponden a los ángulos $C - g$, los cuales indican la dirección, en la figura 14 se encuentra la intensidad luminosa en función de estos ángulos. El ángulo C nos dice en qué plano vertical estamos y g mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. Los valores de C utilizados en las gráficas solo se suelen indicar para el alumbrado público.

Figura 14. Intensidad luminosa en función de los ángulos

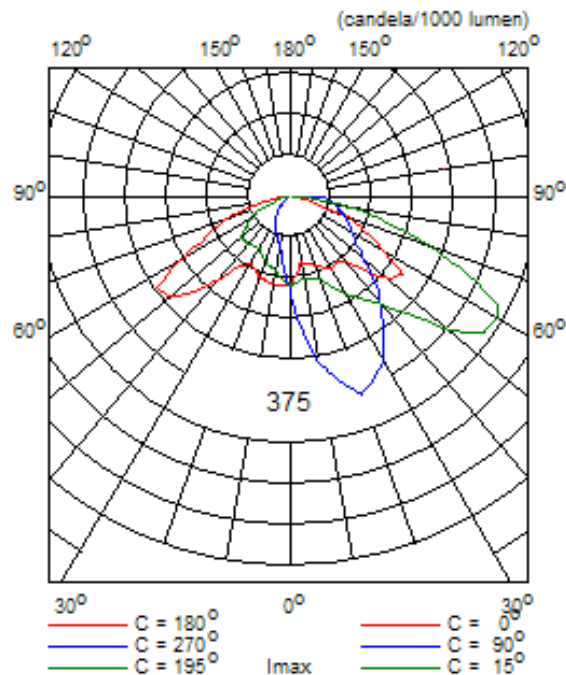


Si se representan en el espacio todos los vectores de la intensidad luminosa es posible obtener un cuerpo llamado sólido fotométrico. Cuando se realizan cortes del sólido con planos verticales para diferentes valores de C se obtiene el diagrama polar.

En un diagrama polar los radios representan el ángulo g 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, como se ve en la figura 15.

Figura 15. Diagrama polar.



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 19.

$$I_{REAL} = \Phi_{Bombilla} \times \frac{I_{Diagrama}}{1000} \quad [Cd] \quad (19)$$

e) Diagrama isocandela

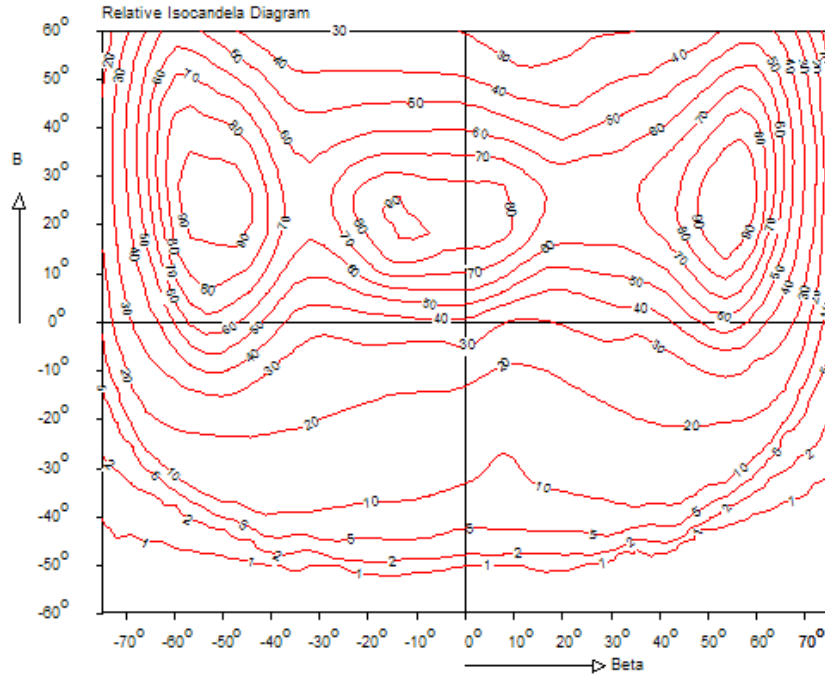
Un diagrama isocandela es la representación del lugar geométrico formado por puntos con igual magnitud en candelas, cubre planos en los 360° horizontales y ángulos en los 90° del hemisferio inferior (ó nadir) de la luminaria, en la siguiente figura se puede ver el diagrama isocandela para una luminaria de 70 W

El diagrama varía según la norma sobre la cual este referenciado, cuando se emplea la norma IES el diagrama debe contener los siguientes elementos:

- El lugar geométrico de las Líneas longitudinales al eje de la calle (LLC) para 1.0, 1.75 y 2.75 veces la altura de montaje (h_m).
- El lugar geométrico de las Líneas transversales al eje de la calle (LTC) para 1.0, 2.25, 3.75 y 6.0 veces la altura de montaje (h_m).
- Los ángulos que señalan los planos verticales cada 10° . Cuando la luminaria tiene simetría bilateral, basta con indicar los correspondientes a los 180° típicos.
- Los ángulos que señalan los conos para g igual a 0° , 20° , 40° , 50° , 60° , 70° , 75° , 80° , 82.5° y 85°

La curva constitutiva de las isocandela, generalmente se da en $[Cd/10^3Lm]$ en relación con la bombilla o fuente de luz utilizada. Con este diagrama es posible calcular la iluminancia y la luminancia dada por la luminaria sobre cualquier superficie. Como se ilustra en el diagrama de la figura 16.

Figura 16. Diagrama isocandela.



f) Curva isolux

La curva isolux representa a escala los niveles lumínicos que se alcanzarían sobre un plano horizontal de trabajo en relación inversa al cuadrado de la altura de montaje. Permite realizar cálculos gráficos manuales bastante precisos punto a punto en instalaciones de alumbrado público, instalaciones industriales o en canchas deportivas.

Esta curva cubre un área comprendida sobre el plano de trabajo horizontal de la luminaria en sentido transversal entre -2.5 y 5 veces la altura de montaje y en sentido longitudinal cubre desde 0 hasta 7 veces la altura de montaje, asumiendo que la luminaria se encuentra en el punto origen de dichas coordenadas. Los valores negativos en sentido transversal indican el lado del andén, para iluminación con distribución unilateral y los valores positivos indican el lado de la vía.

Es importante que se indiquen la altura de montaje de referencia y el tipo de fuente empleada, con el fin de establecer los factores de corrección. Para facilitar el cálculo de dichos factores, es conveniente presentar el diagrama isolux como si la luminaria estuviera a una altura de montaje de 1.0 m y con una bombilla de 1000 lúmenes.

La curva de mínimo valor, debe permitir el cálculo de niveles de iluminación hasta de 1 lux, cuando la luminaria esté ubicada en la altura de montaje recomendada por el fabricante y tenga la bombilla igualmente recomendada para su uso.

El factor de corrección por la altura de montaje se establece en términos de $\left(\frac{h_0}{h_m}\right)^2$ donde h_m corresponde a la altura de montaje del diseño y h_0 corresponde a la altura a la cual se obtuvo la curva isolux presente.

El factor de corrección por los lúmenes de la bombilla, es directamente proporcional y se expresa como $\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0}\right)$, donde Φ_1 son los lúmenes del diseño y Φ_0 los lúmenes con los cuales se representa la curva isolux.

1.3.2. Fijación de la luminaria

Las luminarias empleadas en el alumbrado público deben mantener su estabilidad mecánica, para ello hay que tener en cuenta el ajuste de los ángulos de orientación y el de elevación. El ángulo de orientación, que corresponde al horizontal, es ajustado mediante el giro del brazo de fijación al poste lo cual le permite cubrir al menos 180° de recorrido, es

importante mantener dicha orientación aun después de las visitas de mantenimiento. El ángulo de elevación, varía mediante un dispositivo de graduación vertical. Este dispositivo debe cubrir al menos 90° de recorrido (ver anexo B).

1.3.3. Características del alumbrado público

El alumbrado público debe facilitar la circulación de peatones y vehículos sobre el andén y la calzada con seguridad y comodidad, esto implica que las personas que transitan deben percibir de manera cómoda, rápida y sin riesgo de deslumbramiento el contorno de la vía, los bordes de la misma y los obstáculos tanto fijos como móviles, para lograr esto el Alumbrado debe contar con dos características básicas como lo son la *confiabilidad de la percepción* y el *confort visual*.

La confiabilidad de la percepción se relaciona con el contraste necesario para que el ojo pueda percibir los objetos. Éste contraste depende del ángulo con el que se vea, el cual afecta el tamaño de la superficie aparente en la fórmula de luminancia y de la distribución de la luminancia en el campo visual del observador. Se considera que la condición es segura si⁶:

à Para un peatón: Se distingue el objeto a 10 [m]

à Para un conductor: A 60 [Km/h] se distingue el objeto a 100 [m], si la velocidad es mayor, entonces la distancia se incrementa hasta 200 [m]

Para autopistas donde la velocidad de circulación es mayor, la iluminación además de ayudar a distinguir los diferentes obstáculos que se presentan, también debe ayudar al conductor a mantener la dirección de la vía.

Generalmente el conductor percibe los objetos como siluetas, debido a que el contraste resulta negativo, es decir el objeto se ve más oscuro que el fondo, como resultado de ésta particularidad la iluminación debe proporcionar un elevado nivel de luminancia en el fondo (luminancia promedio L_{prom} elevada), a su vez la luminancia para el obstáculo debe ser de bajo nivel, por lo general su coeficiente de reflexión es bajo y se encuentra fuera del control del diseñador.

Todo esto, manteniendo un limitado deslumbramiento desde las fuentes de luz o luminancia de velo (L_{velo} baja).

Otro factor a tener en cuenta es la dispersión de los puntos empleados para calcular el promedio, la cual debe ser baja de manera que los puntos de la calzada con mínima luminancia no afecten la percepción por disminución de la luminancia de fondo, esta dispersión se cuantifica mediante la uniformidad general de luminancia (U_0), como se verá en la sección 2.5.3.

El ambiente visual de un conductor involucra la calzada y su campo visual, el cual puede contener información como las señales de tránsito. La comodidad visual, es una importante característica que garantiza la seguridad del tráfico vehicular. La ausencia de la misma puede resultar en cansancio y por consiguiente disminución en la concentración.

La comodidad visual también requiere de valores adecuados de luminancia promedio (L_{prom}) y de dispersión de los mismos. Para asegurar el control en la dispersión de los datos, se emplea la uniformidad longitudinal de luminancia (U_L). Cuando el valor de la uniformidad longitudinal es bajo aparece el *efecto cebra* sobre la vía, causante de la fatiga visual. El efecto cebra se debe a la aparición, en la vía, de sectores transversales bien iluminados seguidos de otros con poca iluminación, a manera de cebra.

1.3.4. Clasificación de los tipos de vías

El diseño de una instalación de alumbrado público debe contemplar la velocidad de circulación, la frecuencia y naturaleza de los obstáculos a ver y el tipo de usuarios de la vía.

Cuando estos criterios son similares en diferentes vías, es posible agruparlas para realizar su iluminación de la misma forma. Así se logran agrupar las vías de acuerdo su función estableciendo casos típicos, mediante la tabla 2, que servirán para la solución de problemas de iluminación.

Tabla 2. Tipos de vía.

Tipo de vía	Velocidad de circulación V (Km/h)	Tránsito de vehículos T (Veh/h)
Vía M1	Muy importante $V > 90$	Muy importante $T > 1000$
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, Tabla 1.

La Norma NTC 900 asigna a cada tipo de vía, unas características de iluminación definidas, presentadas en la siguiente tabla.

Tabla 3. Características de iluminación por tipo de vía.

<i>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)</i>	
Alto	M1
Medio	M2
Bajo	M3
<i>Vías de alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Control de tráfico (2) y separación (3) de diferentes usuarios de la vía</i>	
Escaso	M1
Suficiente	M2
<i>Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía.</i>	
Escaso	M2
Bueno	M3
<i>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 mas importantes. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía</i>	
Escaso	M4
Bueno	M5

Fuente: NTC 900, Tabla 1.

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. Las intersecciones viales y otros sitios de tráfico complejo se deben analizar separadamente.

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 de prioridad, señales, avisos y demarcaciones de

la vía. La presencia o no de estos controles es lo que determina que sean escasos o suficientes.

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. 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.

1.3.5. Parámetros de calidad de un diseño alumbrado público

La exigencia del alumbrado público está en relación directa con la intensidad del tráfico y la velocidad media de los vehículos que la transitan. Para satisfacer esta exigencia es necesario efectuar un control durante la etapa del diseño sobre los parámetros que definen la calidad del diseño.

Los parámetros que permiten cuantificar y cualificar los niveles de iluminación alcanzados con el diseño en la vía son: iluminancia promedio (E_{prom}), luminancia promedio (L_{prom}), uniformidad general de iluminancia (U_{0E}), uniformidad general de luminancia (U_{0L}), uniformidad longitudinal de luminancia (U_L), luminancia de velo (L_V), incremento del umbral (T_i), índice de confort (G) y relación de alrededores (SR); cuyos métodos de cálculo se ilustran en la sección 2.5.

Definidos los tipos de vía según los requerimientos visuales, es necesario establecer los requisitos fotométricos mínimos mantenidos a través del tiempo. Estos requisitos se establecen en la tabla 4:

Tabla 4. Requisitos fotométricos mínimos.

Tipo de vía	Lprom [Cd/m ²]	U _o Min	Ti Max inicial	U _L Mín.	SR Mínimo
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, Tabla 10

El valor $U_L = 0.7$ es para vías de alta velocidad con calzadas separadas, exentos de cruces a nivel y con accesos completamente controlados. Se aplica para Autopistas. El campo NR significa no requerido.

1.3.6. Causas de pérdidas de luz

Los siguientes son los factores que contribuyen a las pérdidas totales de iluminación, y deben tenerse en cuenta para determinar la calidad de la iluminación brindada por el diseño del sistema de alumbrado público:

- a) Temperatura de operación de la luminaria
- b) Tensión de alimentación de la luminaria por debajo de la normal
- c) El Factor de balasto
- d) Depreciación superficial natural del conjunto óptico de la luminaria
- e) Depreciación superficial del conjunto óptico de la luminaria por contaminación atmosférica
- f) Factor de bombillas fundidas
- g) Depreciación lumínica de las bombillas por envejecimiento

Los efectos individuales de cada uno de estos factores varían con el sitio de instalación, sus condiciones de limpieza, la luminaria, el comportamiento del sistema eléctrico y otros factores.

1.4. FACTORES QUE INCIDEN EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

El estado físico de los componentes de la luminaria, el de sus conexiones, y el de la red de baja tensión es el factor más influyente en el comportamiento del sistema de alumbrado público, ocasionando una variaciones de los niveles de iluminación de diseño. Los problemas de iluminación atribuibles al mal estado físico se deben a la contaminación atmosférica la cual favorece la aparición de suciedad en los refractores; el vandalismo sobre la luminaria; los conductores en mal estado; conexiones sueltas o sulfatadas; y humedad en los componentes eléctricos por pérdida en la integridad de la carcasa.

Otro factor que afecta la calidad de la iluminación, es la tensión de operación de la luminaria, la cual suministra diferentes valores de potencia a la bombilla durante la variación de la tensión de alimentación; cuando opera a una tensión mayor que la nominal se incrementa el flujo luminoso pero se disminuye su vida útil y cuando opera a una tensión menor que la nominal se presenta el caso opuesto; de esta manera la operación normal del sistema incide directamente sobre la vida útil de los componentes teniendo como consecuencia la depreciación o disminución gradual de la emisión luminosa de las bombillas, para las cuales se tiene una vida útil establecida hasta que

su flujo luminoso sea el 70% del flujo luminoso nominal, en condiciones normales de operación.

Existen factores que aparecen en el momento mismo de la instalación que se deben a un mal ensamblaje de la luminaria; una mala fijación del soporte a la luminaria; mala fijación del soporte al poste; mala orientación de la luminaria y mala orientación del fotocontrol, ésta última afecta la vida útil del fotocontrol.

2. MEDICIÓN DE ILUMINANCIA EN VIAS

El método de medición es tomado de la publicación CIE N° 30-2 (TC-4.6) 1982 "Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting: computer program for luminance, illuminance and glare".

Allí se establecen los requisitos que debe reunir el vano a medir, la forma del marcado de la grilla, el procedimiento para realizar las mediciones y el cálculo de los parámetros de calidad a partir de los datos obtenidos en las mediciones.

2.1. EVALUACIÓN DEL VANO SELECCIONADO

Los vanos a ser medidos deben reunir las siguientes características:

- No debe presentar obstáculos que obstruyan la distribución luminosa de las luminarias.
- La calzada no debe presentar baches pronunciados que impidan la visualización de los puntos de medición ó la horizontalidad del medidor de iluminación.
- No estar ubicados en zonas de alto riesgo delincriminal.
- La calzada deberá estar seca para medición de luminancia.
- Estar libres de influencia de iluminación diferente al sistema a evaluar (vehicular o comercial).

2.2. PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE ILUMINANCIA

Para la realización de mediciones de luminancia e iluminancia en vías se debe emplear el procedimiento descrito a continuación:

- Se selecciona un vano factible de medir siguiendo los criterios mencionados anteriormente.
- Se procede a identificar el tipo de vía según la Tabla 2.
- Se procede realizar el marcado de la grilla de acuerdo al método mencionado en el numeral 2.3
- Se realiza la medición de los parámetros de calidad como se indica en el numeral 2.4
- Se realiza el procesamiento de la información obtenida.
- Se analizan los resultados para establecer si el sistema cumple con la norma de acuerdo al tipo de vía.

2.3. MARCADO DE LA VÍA

El marcado de los puntos de medición en los vanos seleccionados depende del tipo de calzada para lograr una buena visualización durante las mediciones.

- *Calzadas claras y oscuras*

El marcado de los puntos a medir en este tipo de calzada, se sugiere que se realice con tiza blanca.

- *Calzadas de tierra*

El marcado de los puntos a medir en este tipo de calzadas se sugiere que se realice colocando pintura al agua. 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.

- *Calzadas de piedra*

El marcado de los puntos a medir en este tipo de calzada se sugiere que se realice con tiza blanca.

En la figura 17 se presenta el esquema de la grilla de medición para vías rectas, para éste caso los puntos de cada carril están distribuidos de la siguiente manera:

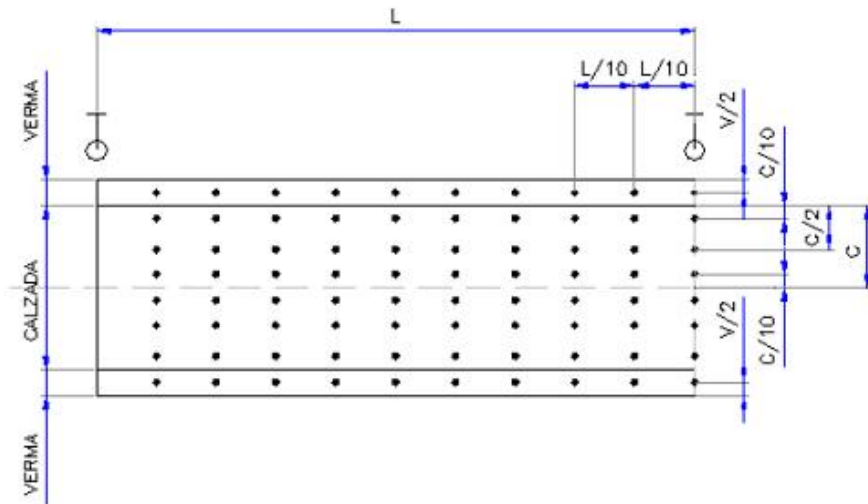
- *A lo ancho del carril [w]*

Tres puntos ubicados, el primero a un sexto ($1/6$) del ancho del carril, el segundo punto a un medio del ancho ($1/2$) del carril y el tercer punto a un sexto ($1/6$) del ancho del carril, en el sentido opuesto.

- *A lo largo del vano [L]*

Para L menor o igual a 50 m, diez puntos ubicados, 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 decimos ($9/10$) de la distancia entre postes. Para L mayor a 50 m, el número de puntos debe ser tal que la separación entre los mismos no exceda de 5 m.

Figura 17. Grilla de medición para vías rectas.



Fuente: Manual único de alumbrado público, UESP

2.4. TOMA DE DATOS

A continuación se presentan algunas observaciones importantes que deben tenerse en cuenta en el momento de realizar las mediciones en la vía seleccionada.

2.4.1. Ubicación del sensor

El sensor del luxómetro deberá colocarse a una altura máxima de quince centímetros (0,15m) sobre el suelo y de manera horizontal. El sensor debe estar conectado al luxómetro por un cable de conexión de una distancia mínima de dos metros (2m).

2.4.2. Ubicación del punto a medir

El dispositivo con el sensor es colocado por el operario sobre el punto inicial marcado sobre el vano a medir y la persona encargada de realizar

la medición, registrará la lectura obtenida en el luxómetro. Cada punto marcado en el vano será medido de igual forma.

2.4.3. Medidores fotométricos de iluminancia

Requisitos según la NTC 900 – instrumentos debidamente calibrados

- Deberán tener una alta sensibilidad
- Deberá tener una precisión no menor del $\pm 0,5\%$.
- Deberán tener una corrección efectiva del coseno hasta un ángulo de 85° .
- Deberán tener corrección de color según la curva de eficiencia espectral de la CIE.
- El coeficiente de sensibilidad con la temperatura deberá ser despreciable dentro del rango normal de temperaturas.
- Deberá tener una suspensión que permita ajustar automáticamente la horizontalidad.
- Deberá de ser capaz de medir niveles de iluminancia horizontal, o ubicarse en otros planos de medición requeridos.

2.4.4. Cuidados en la medición

Antes de iniciarse la medición la persona encargada, debe calibrar el luxómetro de acuerdo a su manual de funcionamiento y verificar que esté funcionando correctamente. Igualmente debe verificar el estado de la luminaria, la tensión de red, inclinación de la luminaria y el brazo, fijación de la luminaria al brazo, posición de la bombilla y avance de la luminaria sobre el área considerada.

La persona encargada de colocar el dispositivo con el sensor sobre el punto a medir, debe asegurarse de retirarse a una distancia prudencial

para no crear sombras sobre el sensor ni obstruir la distribución luminosa. Así como evitar la introducción de luz adicional por reflexión sobre ropa blanca o colores fosforescentes.

En el momento de tomar las lecturas debe evitarse introducir errores por deficiencias en las mismas por variación en la altura de las mediciones, posición del sensor y señalización de los puntos de medición, dicho personal debe estar capacitado para evitar los errores por repetibilidad⁷ y reproducibilidad⁸.

2.5. CÁLCULOS

2.5.1. Iluminancia promedio (\bar{E})

Es el promedio aritmético de todos los valores medidos en un tramo o vano y se calcula con la ecuación 20.

$$\bar{E} = \frac{\sum E_i}{n} \quad [\text{Lx}] \quad (20)$$

Donde E_i es la iluminancia en un punto de medición y n es el número de puntos de medición

El cálculo de la iluminancia sobre los andenes se realiza de forma análoga.

2.5.2. Luminancia promedio (\bar{L})

Es el promedio aritmético de todos los valores de luminancia medidos en un tramo o vano, expresado con la siguiente ecuación:

$$\bar{L} = \frac{\sum L_i}{n} \quad [\text{Cd/m}^2] \quad (21)$$

Donde L_i es la Luminancia en un punto de medición y n es el número de puntos de medición

2.5.3. Uniformidad general de luminancia (U_0)

Es el cociente entre la luminancia mínima del vano de evaluación y la luminancia promedio de los valores obtenidos en los puntos ubicados en la superficie a evaluar, se calcula con la ecuación 22.

$$U_{0L} = \frac{L_{MIN}}{\bar{L}} \times 100 \quad [\%] \quad (22)$$

Donde L_{MIN} es la Luminancia mínima medida y \bar{L} es la Luminancia promedio del vano. El cálculo es análogo para la uniformidad general de iluminancia.

2.5.4. Uniformidad longitudinal de luminancia (U_L)

Es el cociente entre la luminancia mínima y la luminancia máxima de los valores obtenidos en los puntos ubicados en el eje del carril. La U_L de la calzada será la menor de las uniformidades longitudinales calculadas:

$$U_{L_i} = \frac{L_{MIN_i}}{L_{MAX_i}} \times 100 \quad [\%] \quad (23)$$

$$U_L < U_{L_i} \quad (24)$$

Donde U_{L_i} es la uniformidad longitudinal de la calzada del i-ésimo carril, L_{MIN_i} es la luminancia mínima del i-ésimo carril y L_{MAX_i} es la luminancia máxima del i-ésimo carril.

2.5.5. Luminancia de velo (L_V)

La luminancia de velo L_V corresponde a una de las medidas del deslumbramiento inhabilitador. La luminancia de velo, de acuerdo con la CIE, puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$L_V = K \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{Eg_i}{q_i^2} \right) \quad [\text{Cd/m}^2] \quad (25)$$

Donde K es un factor que depende de la edad del observador (observador de 30 años); $K=10$ si el ángulo q esta en grados y $K=10^{-3}$ si el ángulo q esta en radianes; Eg_i es la componente de iluminancia que proviene de la fuente i-ésima lumínica generadora de deslumbramiento. También puede entenderse como la iluminancia en el ojo del observador producida por la fuente deslumbrante en el plano perpendicular a la línea de visión, expresada en L_x ; q_i es el ángulo (en grados) formado por un línea entre la fuente luminosa y el observador y la línea entre el observador y un punto de visión.

Se deben tener en cuenta las siguientes restricciones:

- La luminancia promedio debe estar entre 0.05 y 5.0 [Cd/m²]
- Valores por debajo de 2% en el cálculo de T_i se desprecian

2.5.7. Relación de alrededores (SR)

La relación SR es el cociente entre la iluminancia promedio sobre franjas adyacentes: una ubicada en la calzada y otra en el andén. Con un ancho igual a la mitad del ancho de la calzada o el ancho máximo que permita la geometría del andén, sin exceder los 5 m de ancho.

$$SR = \frac{E_{prom-calzada}}{E_{prom-anden}} \quad (27)$$

Especificar la luminancia de los alrededores dentro de los rangos establecidos ayuda al conductor a percibir su entorno y a efectuar las maniobras que necesite, entonces al controlar la relación SR se mantienen las condiciones adecuadas de contraste de objetos al borde de la vía, de manera que los peatones también se ven beneficiados.

2.6. INFORME DE RESULTADOS

Para evaluar los resultados de las actividades ejecutadas se debe realizar la comparación de los niveles de iluminación antes y después de la ejecución de labores operativas en un sector, para ello se emplea el parámetro más representativo del estado de una instalación de alumbrado público, la *iluminancia*, que servirá como índice de calidad de la iluminación.

Los vanos seleccionados se encuentran localizados en zonas residenciales, con un reemplazo de tipo lineal, es decir cambio de 125 W en mercurio a 70 W en sodio, y que pueden considerarse como casos típicos, con las siguientes características:

- *Caso I:*

Localidad: Los Mártires (17)

Dirección: CL 3 N° 26 – 12 BARRIO SANTA ISABEL

Disposición: Unilateral

Tipo de vía: V9

Ancho de vía: 6 m

Interdistancia: 24 m

Altura del Poste: 10 m (9 m libre)

Tipo de Red: Red Trenzada

Identificación de la medición realizada: # 1

- *Caso II:*

Localidad: Kennedy (08)

Dirección: CL 3A N° 73 C – 25 BARRIO MARSELLA

Disposición: Unilateral

Tipo de vía: V9

Ancho de vía: 6 m

Interdistancia: 26 m

Altura del Poste: 10 m (9 m libre)

Tipo de Red: Red Abierta

Identificación de las Pruebas realizadas: # 2

A continuación se presentan los datos obtenidos para las mediciones realizadas, con la grilla de medición ilustrada en la figura 19, para las

tablas el punto se da en la fila superior y el valor medido en la fila inferior.

- **Medición #1: LUMINARIA MERCURIO MONTAJE VERTICAL – 125 W**

DIRECCIÓN:	CL 3 KR 26	FECHA:	26/11/2004
HORA:	9:30:00 p.m.	NOCHE:	CLARA
LUMINARIA:	MERCURIO VERTICAL ABIERTA	BOMBILLA	125 W Hg
TENSION:	207 / 209 V	NORMA:	CEI 140
ALTURA:	9,05 / 8,78 m	TIPO DE VIA	V 7 - 6 m
INTERDISTANCIA:	24 m	LUXOMETRO:	EXTECH

Tabla 5. Medidas de iluminancia para luminaria de 125 W de montaje vertical.

	1	2	3	4	5	6	7
	8	8	8	7	7	6	6
	8	9	10	11	12	13	14
	8	8	7	7	7	6	5
	15	16	17	18	19	20	21
	7	6	7	6	6	6	5
	22	23	24	25	26	27	28
	6	4	5	4	4	4	4
	29	30	31	32	33	34	35
	4	4	4	4	3	3	3
	36	37	38	39	40	41	42
	3	3	3	3	3	3	3
	43	44	45	46	47	48	49
	3	3	3	3	3	3	2
	50	51	52	53	54	55	56
	4	3	3	3	3	3	3
	57	58	59	60	61	62	63
	5	4	4	4	4	3	3
	64	65	66	67	68	69	70
	6	5	5	4	4	4	3
	71	72	73	74	75	76	77
	7	6	6	6	5	4	4

PUNTO / VALOR (LUX)

- Medición #2: SOPORTE 0.5 m ³/₄" (Corto), INCLINACIÓN 0°

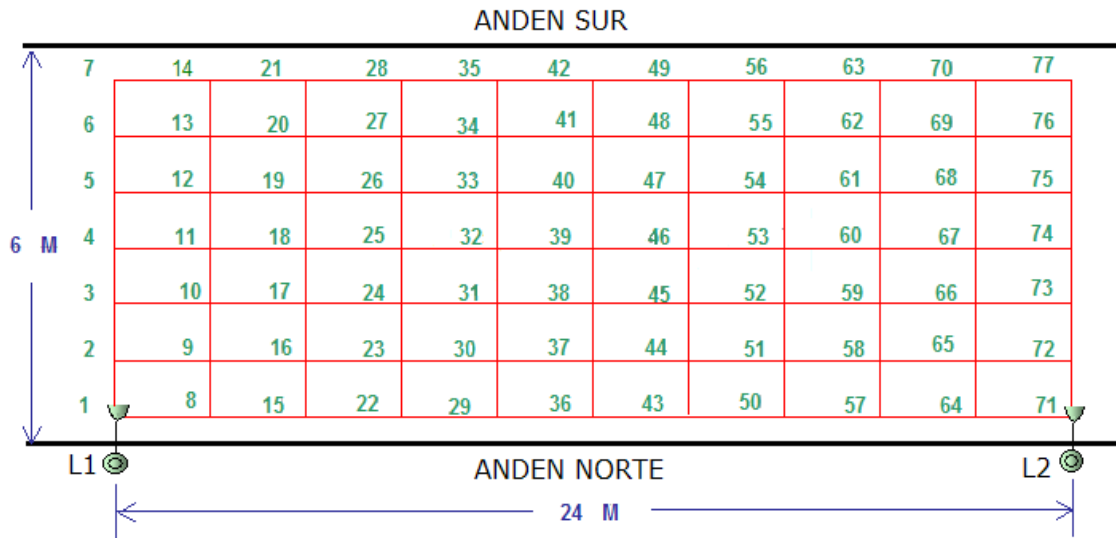
DIRECCIÓN:	CLL 3 CRA 26	FECHA:	12/03/2005
HORA	9:40:00 p.m.	NOCHE:	CLARA
LUMINARIA:	ROYALPHA AMAZONAS	BOMBILLA:	70 W Na
TENSIÓN:	207 / 217 V	NORMA:	CEI 140
ALTURA:	9,16 / 9,15 m	TIPO DE VÍA:	V 7 - 6 m
INTERDISTANCIA:	26 m	LUXOMETRO:	EXTECH

Tabla 6. Medidas de iluminancia para luminaria de 70 W con soporte de 0.5 m, inclinación 0 °

	1	2	3	4	5	6	7
	9	9	10	12	14	15	16
	8	9	10	11	12	13	14
	9	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21
	6	6	13	10	10	11	11
	22	23	24	25	26	27	28
	5	5	6	7	7	9	9
	29	30	31	32	33	34	35
	5	5	5	6	7	7	9
	36	37	38	39	40	41	42
	5	5	5	5	5	6	7
	43	44	45	46	47	48	49
	5	5	5	6	6	7	9
	50	51	52	53	54	55	56
	5	5	6	7	9	9	11
	57	58	59	60	61	62	63
	5	7	10	11	13	14	14
	64	65	66	67	68	69	70
	7	10	14	18	18	16	16
	71	72	73	74	75	76	77
	11	14	16	19	18	16	16
	78	79	80	81	82	83	84
	10	15	19	22	22	20	20
	85	86	87	88	89	90	91
	11	15	22	24	24	24	24

PUNTO / VALOR (LUX)

Figura 19. Grilla de medición



Fuente: Autor del proyecto

Tabla 7. Cuadro de resumen de mediciones

Característica	Mercurio Montaje Vertical	Brazo Corto Inclinación 0°
Altura de montaje, h_1 [m]	9,05	9,16
Altura de montaje, h_2 [m]	8,78	9,15
Tensión, V_1 [V]	207	207
Tensión, V_2 [V]	209	217
Resultados		
Iluminancia máxima, I_{max} [Lx]	8	24
Iluminancia mínima, I_{min} [Lx]	2	5
Iluminancia promedio, I_{pr} [Lx]	4,62	12,53
E_{min}/E_{porm} , [%]	43,3%	39,9%

En la tabla 7 se tienen los resultados de las mediciones realizadas en vías con 6 m de calzada, se puede observar que para el caso de las mediciones con la luminaria de mercurio, se registró la mejor uniformidad general, sin embargo presenta los valores más bajos de

iluminancia lo cual disminuye la percepción visual del observador y su sensación de seguridad, a pesar de tener una buena distribución del flujo luminoso emitido, también se puede apreciar la presencia del efecto cebra, ya que los valores medidos en la mitad del vano son aproximadamente la mitad de los valores medidos en los extremos del vano seleccionado.

Para la realización de la segunda medición, con brazo corto con inclinación de 0° , se empleó la luminaria de referencia Amazonas del fabricante RoyAlpha, la cual se instalará en el proyecto de modernización, de ésta manera también podemos evaluar su desempeño en una vía con las características actuales (Vano 26 m). Para este caso nuevamente aparece una región oscura entre las dos luminarias produciendo el efecto cebra, en la tabla 7 podemos apreciar una mejor distribución de los valores altos de iluminancia hacia la vía, lo cual finalmente se traduce en un mejor valor de uniformidad general. Sin embargo se debe anotar que debido al sistema de montaje que emplea la luminaria una parte del flujo emanado incide sobre la fachada de la vivienda ubicada frente a la luminaria, para evitar éste problema es importante que el soporte empleado tenga 0° de inclinación y que el montaje se realice de manera que la luminaria quede en funcionamiento con el mismo ángulo de inclinación.

Durante la realización de las mediciones fue posible detectar algunas fuentes de error que pueden hacer variar las condiciones de cada medición, pero por hacer parte del comportamiento del sistema de alumbrado público debe asumirse dicho error dentro de los cálculos, el primer factor que se considera es la fase de la luna que para todos los casos se realizó durante luna llena; debido al horario en que se efectuaron las mediciones es posible que las variaciones de tensión.

2.7. SIMULACIONES

Para complementar el proceso de medición y brindar soporte a la definición de los criterios fue necesario la realización de simulaciones con ayuda del Software CalcuLux Viario⁹ v 2.0a, el cual nos permite analizar resultados para diferentes configuraciones de altura de montaje e interdistancia para un ancho de vía predeterminado; y a su vez evaluar el desempeño de la luminaria desarrollada por RoyAlpha empleada en el proyecto de modernización del alumbrado público del distrito capital.

El valor de entrada al software empleado es la matriz de intensidades de la luminaria para la que se desea realizar la simulación (ver anexo H). Esta matriz de intensidades debe ajustarse a la recomendación realizada por la IES para la transferencia electrónica de datos fotométricos (IES Recommended Standard File For Electronic Transfer of Phtometric Data)

Para nuestro análisis se realizaron simulaciones con los siguientes parámetros:

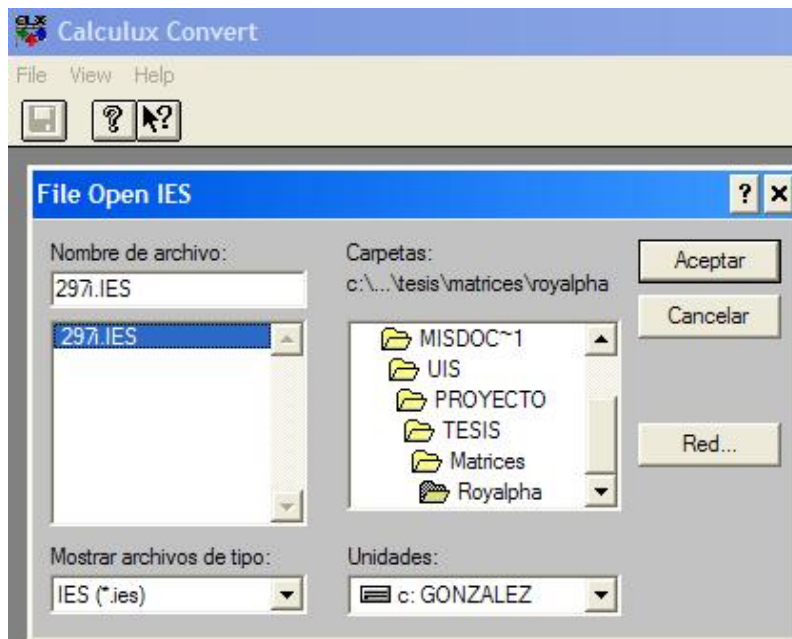
Factor de Mantenimiento:	0.9
Ancho de Vía:	6, 9 [m]
Interdistancia:	22, 24, 26, 28, 30 [m]
Altura de Montaje:	6, 7, 8, 8.5, 9, 9.5, 10 [m]

A continuación se ilustran los pasos desarrollados para obtener los resultados expuestos en el anexo I.

1. Una vez realizada la instalación del componente de las herramientas *Road* y *Convert* incluidas en el software, se debe introducir la matriz

de intensidades en formato IES, para realizar la conversión al formato *phillum* (phl) empleado por el software Calculux, mediante la herramienta *convert*, una vez abierto el archivo se procede a guardarlo en formato phl, con ayuda del menu File\Save As. El menu se muestra en la figura 20.

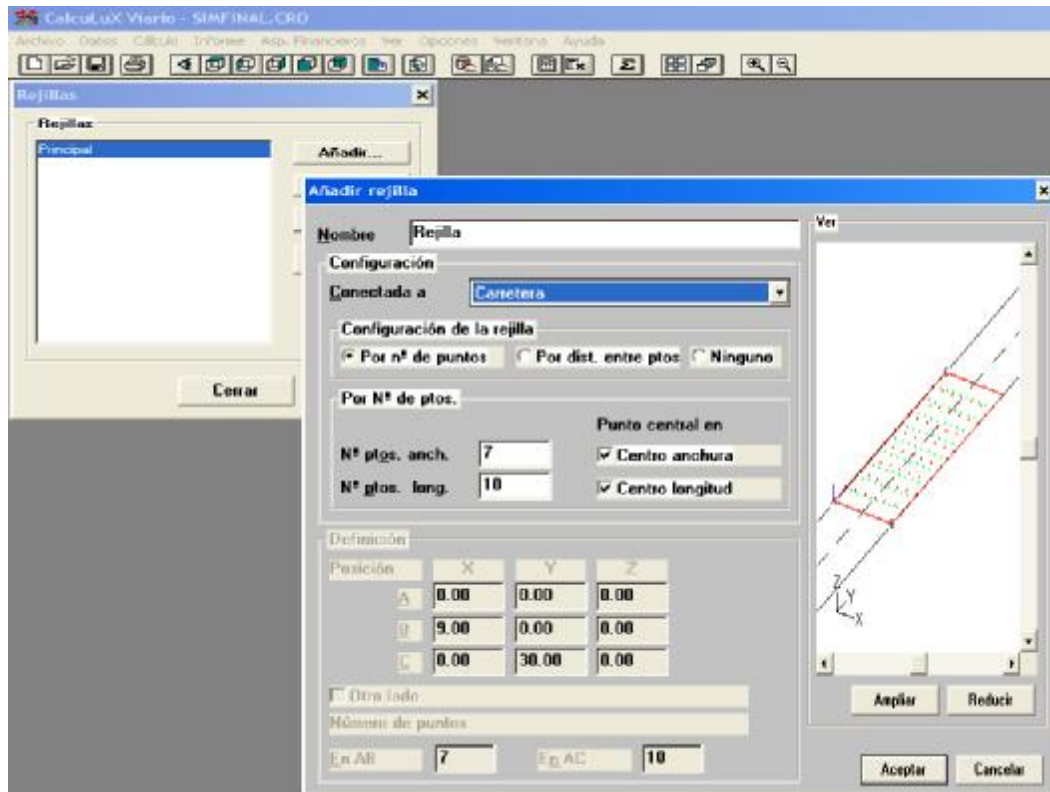
Figura 20. Conversión de la matriz de intensidades de formato IES a .phl



2. Establecer los esquemas de trabajo en el menu Datos\Eshemas, con la definición de los parámetros deseados para las simulaciones (disposición de las luminarias en la vía, ancho de calzada, interdistancia, avance de la luminaria y altura de montaje). En la figura 21 se observan los diferentes esquemas posibles.

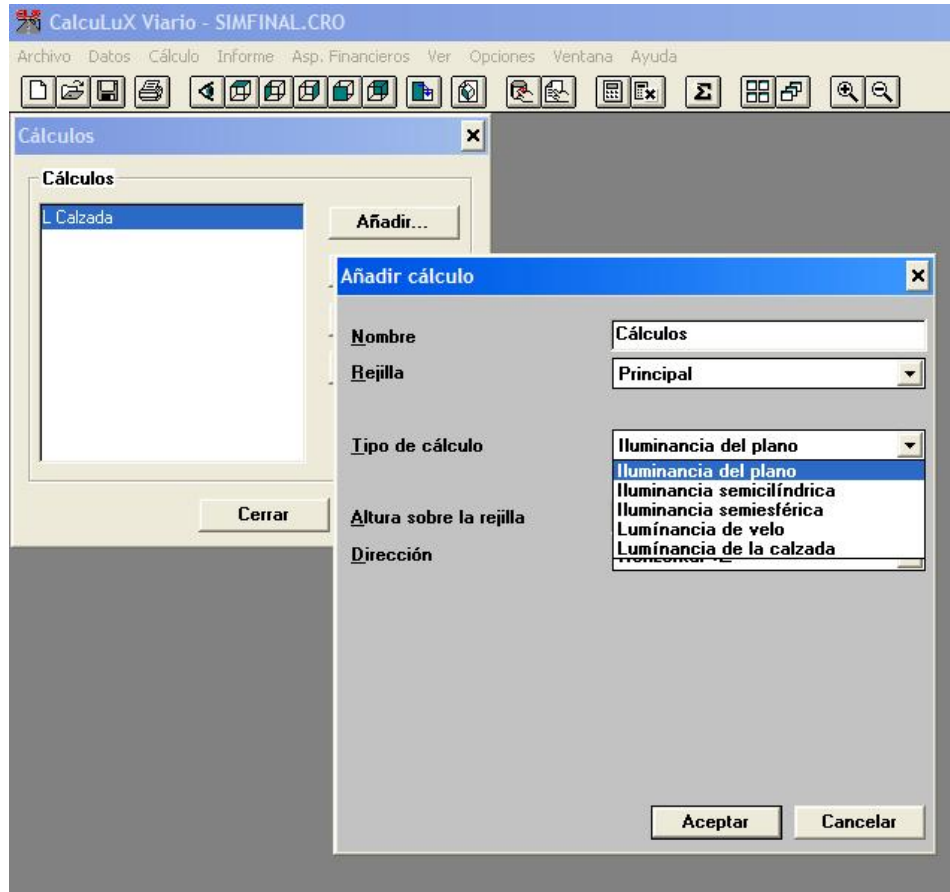
4. La rejilla para la simulación debe definirse en el menú Datos\Rejillas..., seleccionando la opción añadir y realizando la conexión a la carretera, definiendo las dimensiones y total de puntos, como se muestra en la figura 23.

Figura 23. Configuración de la rejilla de simulación



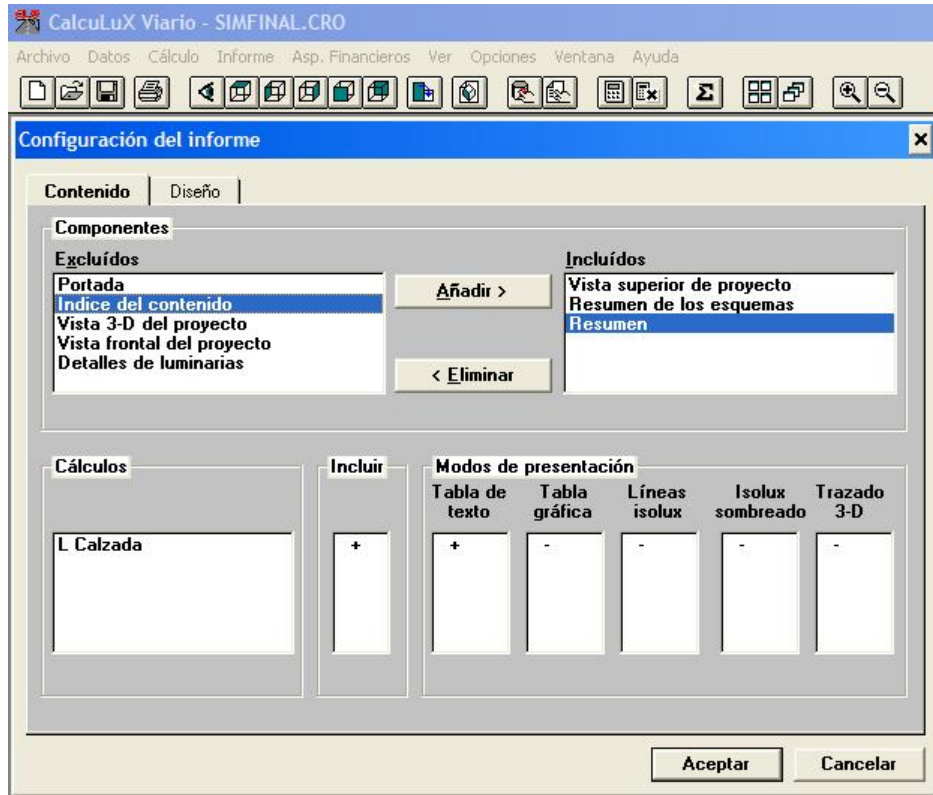
5. A continuación se deben definir los cálculos a realizar para cada esquema en el menú Cálculo\Definir se selecciona la opción añadir y se elige el tipo de cálculo (iluminancia o luminancia), si se desean se pueden añadir varios cálculos para un mismo esquema, como se muestra en la figura 24.

Figura 24. Definición del tipo de cálculo.



6. Se realiza la configuración de los cálculos que se desean visualizar por medio del menú Cálculo\Presentación...
7. Para visualizar los resultados obtenidos se realiza la configuración del informe en versión imprimible, modificando los parámetros deseados en el menú Informe\Configurar..., ilustrado en la figura 25, ene el cual es posible añadir los componentes e incluir los cálculos deseados.

Figura 25. Configuración del informe



8. La realización de los cálculos puede hacerse de dos maneras la primera es en el menú Cálculo\Mostrar resultados para la realización de los cálculos, con esta función es posible visualizar la tabla con los valores solicitados en los puntos de la rejilla establecida, posteriormente en el menú Cálculo\Datos de calidad... se pueden visualizar los resultados para los parámetros solicitados; el segundo método de visualización es empleando el menú Informe\Presentación preliminar y el cual permite visualizar todos los resultados en una presentación más amistosa de manera textual y gráfica.

2.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El ancho de vía seleccionado (6 y 9 [m]) corresponde a vía secundaria de acuerdo a la clasificación de las secciones viales (ver anexo D) realizada por el Distrito, las variaciones de interdistancia y altura de montaje permitirán definir la configuración que proporciona las mejores condiciones de iluminación.

- Ancho de Vía = 6 [m]

Interdistancia = 22 [m]	Esquema 5: Altura de Montaje = 9 [m]
Interdistancia = 24 [m]	Esquema 12: Altura de Montaje = 9.5 [m]
Interdistancia = 26 [m]	Esquema 18: Altura de Montaje = 9.5 [m]
Interdistancia = 28 [m]	Esquema 38: Altura de Montaje = 9 [m]
Interdistancia = 30 [m]	Esquema 40: Altura de Montaje = 9 [m]

Para éste ancho de vía se obtuvo un valor de $U_0 = 66 \%$ con Altura de Montaje de 9 [m], para una separación de 22 [m].

Esquema 17 de las simulaciones realizadas representa el Caso II de las mediciones realizadas, y para el cual se obtuvo $E_{\min}/E_{\text{prom}} = 0.39$ (real) y $E_{\min}/E_{\text{prom}} = 0.5$ (calculado), para este caso a mayor altura de montaje menor se hace el valor de la relación.

En general se observa una tendencia ascendente de la uniformidad general para mayor altura de montaje la luminaria, siendo los 9 [m] la altura la altura con los mejores resultados; en cuanto a la interdistancia la tendencia ascendente de la uniformidad se tiene para menores valores de separación, siendo los 22 [m] la interdistancia con mejores

resultados, a medida que las separación entre las luminarias se hace mayor, empieza a notarse el indeseable efecto cebra.

Para el caso de Bogotá D.C. se tiene que la postería empleada en las redes de Baja tensión tiene altura libre de 9 [m] con interdistancias que varían entre los 24 y 30 [m], por lo que ésta luminaria se adapta a las condiciones actuales de la infraestructura de Baja Tensión.

- Ancho de Vía = 9 [m]

Interdistancia = 22 [m]	Esquema 24: Altura de Montaje = 9.5 [m]
Interdistancia = 24 [m]	Esquema 30: Altura de Montaje = 9.5 [m]
Interdistancia = 26 [m]	Esquema 36: Altura de Montaje = 9.5 [m]
Interdistancia = 28 [m]	Esquema 42: Altura de Montaje = 10 [m]
Interdistancia = 30 [m]	Esquema 44: Altura de Montaje = 10 [m]

Para este ancho de vía se requiere una altura de montaje mayor la cual no esta disponible en la infraestructura existente de baja tensión, de manera que para una altura de montaje posible (9 [m]) se tienen uniformidades aproximadas de 40 %.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL DISTRITO CAPITAL

El proyecto de modernización de alumbrado público es ejecutado por la empresa Cenercol S.A., para su ejecución es necesario tener en cuenta las definiciones presentadas en éste capítulo. También se hará una presentación del estado actual de la ejecución de actividades y de los beneficios alcanzados con los reemplazos realizados.

3.1. OBJETO DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Optimizar la infraestructura existente de alumbrado público del distrito capital, mediante el cambio de tecnología de mercurio por tecnología de sodio, en busca del mejoramiento del sistema de iluminación pública haciendo uso racional y eficiente de la energía destinada para tal fin así como el cumplimiento de las normas ambientales que exigen un tratamiento adecuado del mercurio y finalmente lograr reducir los costos en la operación del mismo.

3.2. DEFINICIONES

3.2.1. Reemplazo lineal

Se define como reemplazo lineal o modernización lineal, todo cambio de tecnología de mercurio por tecnología de sodio que cumpla con la condición de reemplazo mostrada en la tabla 8, ésta definición se establece de acuerdo a la relación de linealidad entre el flujo suministrado por la bombilla de mercurio y la bombilla de sodio.

Tabla 8. Condición de reemplazo modernización lineal.

Potencia Tecnología Mercurio [W]	Potencia Tecnología de Sodio Proyectada [W]
125	70
250	150
400	250

Fuente: Autor del proyecto

3.2.2. Reemplazo No Lineal

Se define como reemplazo no lineal o 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 8.

Este tipo de modernización se rige bajo las recomendaciones formuladas durante las visitas conjuntas realizadas por Codensa S.A. E.S.P y la Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos - UESP y se aplica durante la etapa de replanteo en terreno, realizada por CENERCOL S.A., en los casos que de acuerdo al tipo de vía o tipo de área se requiere

incrementar el flujo luminoso suministrado por el alumbrado público. Estos casos se presentan principalmente en parques, vías de acceso a barrios, zonas comerciales, hospitales, colegios o zonas que ameritan condiciones especiales de iluminación por razones de seguridad.

3.3. PROYECCIÓN DE CANTIDADES DE OBRA Y CRONOGRAMA GENERAL

El sistema de alumbrado público del Distrito Capital es un sistema georeferenciado, es decir cada punto luminoso está asociado a tres coordenadas geográficas (latitud, longitud y altitud) que permiten su ubicación exacta en el plano geográfico de la ciudad, además de poseer una identificación única (rótulo). Gracias a éste sistema de información geográfica es posible conocer una cantidad aproximada del total de luminarias, por potencia, que deben reemplazarse por localidad. Debido a la dinámica y las dimensiones propias del sistema de alumbrado público (sistema con más de 360.000 puntos luminosos en continua expansión) hace que su actualización no se realice en tiempo real.

El procesamiento de ésta información permite la elaboración del inventario de la infraestructura existente de mercurio, a través del cual se puede establecer un panorama general de reemplazos para el proyecto de modernización, resumido en la tabla 9.

Tabla 9. Panorama del alumbrado existente en mercurio en el Distrito Capital (Junio de 2004)

TECNOLOGÍA DE MERCURIO EXISTENTE			
125 W	250 W	400 W	TOTAL
144.826	9.536	9.618	163.980
88,32 %	5,82 %	5,86 %	100 %

La UESP ha determinado la prioridad de ejecución del proyecto por Localidad, en un plazo total de ejecución no mayor a 3 años y medio, al discriminar las cantidades de reemplazo dentro de dichos parámetros se obtiene la tabla 10, de la siguiente página, para la proyección de reemplazos por localidades.

3.4. ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO Y BENEFICIOS ALCANZADOS

Siguiendo el cronograma general de la tabla 10, el proyecto de modernización del alumbrado público inició la ejecución de actividades operativas en el mes de junio de 2004, en la localidad de Santa Fé, interviniendo 61.795 puntos a la fecha.

En la tabla 11 se relaciona el total de luminarias reemplazadas por potencia instalada, para cada localidad; para el caso de las actividades ejecutadas en la localidad de Puente Aranda, se debe a una petición de la comunidad debido a la reubicación de los indigentes en el sector aledaño al antiguo matadero Distrital.

Tabla 10. Proyección y cronograma de reemplazos por localidad.

PRIORIDAD	LOCALIDAD	CANTIDAD DE LUMINARIAS	AÑO 2004	AÑO 2005	AÑO 2006	AÑO 2007
1	Santafe	2.626	2.626			
2	Candelaria	442	442			
3	Martires	2.703	2.703			
4	Usme y Sumapaz	5.688	5.688			
5	Ciudad Bolivar	12.057	12.057			
6	Bosa	9.334	9.334			
7	San Cristóbal	11.183	8.270	2.913		
8	Kennedy	20.193		20.193		
9	Suba	19.737		19.737		
10	Rafael Uribe	8.673		6.016	2.657	
11	Antonio Nariño	3.768			3.768	
12	Tunjuelito	4.107			4.107	
13	Puente Aranda	10.479			10.479	
14	Fontibon	6.071			6.071	
15	Engativa	20.619			20.619	
16	Chapinero	4.234			2.000	2.234
17	Barrios Unidos	5.887				5.887
18	Usaquen	11.453				11.453
19	Teusaquillo	4.722				4.722
TOTAL AÑO			41.120	48.859	49.701	24.296

Las localidades de Kennedy y Suba aún se encuentran en ejecución de actividades.

Tabla 11. Puntos modernizados por potencia en las localidades intervenidas (Junio de 2005).

LOCALIDAD	70 W	150 W	250 W	TOTAL
Santa Fe	2189	357	49	2595
La Candelaria	249	79	1	329
Los Mártires	1844	555	127	2526
Usme	5255	367	67	5689
Ciudad Bolívar	10810	983	106	11899
Bosa	7711	809	29	8549
San Cristóbal	9005	801	36	9842
Kennedy	10898	1907	94	12899
Puente Aranda	39	351	0	390
Suba	6120	909	48	7077
Subtotal	54120	7118	557	
TOTAL	61795			

Fuente: Autor del proyecto

En la tabla 12 se indican los porcentajes de reemplazo lineal y no lineal para cada potencia; los porcentajes de cambio más representativos corresponden a reemplazo lineal para luminarias de 70 W y reemplazo no lineal para luminarias de 150 W, éste último es un indicador de las mejoras realizadas por el proyecto de modernización.

Tabla 12. Porcentajes de reemplazo

POTENCIA INSTALADA	70 W	150 W	250 W	Total
Porcentaje de reemplazo Lineal	86,20%	2,00%	0,71%	88,83%
Porcentaje de reemplazo No Lineal	1,40%	9,50%	0,27%	11,17%
Porcentaje de avance total del Proyecto	37,60%			

Fuente: Autor del proyecto

Los beneficios que trae la ejecución del proyecto de modernización a los habitantes del distrito tienen que ver con el mejoramiento en su calidad de vida brindando mayor sensación de seguridad y condiciones de iluminación apropiadas para el desarrollo de sus vidas nocturnas.

El ahorro energético alcanzado permite justificar la inversión realizada para la ejecución del proyecto, con los datos actuales de los puntos intervenidos se puede cuantificar la potencia ahorrada por concepto de iluminación pública, las cifras aproximadas se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Ahorro energético del proyecto de modernización.

POTENCIA LUMINARIA DE SODIO	70 W	150 W	250 W	Total
Total luminarias reemplazo lineal	53267	1236	439	54942
Watt ahorrado por reemplazo lineal día	660	1200	1800	3660
Potencia ahorrada por día ^(*) [KW]	11,08			
Potencia total ahorrada ^(**) [GW]	6,28			
Ahorro total en millones de pesos	1695.6			

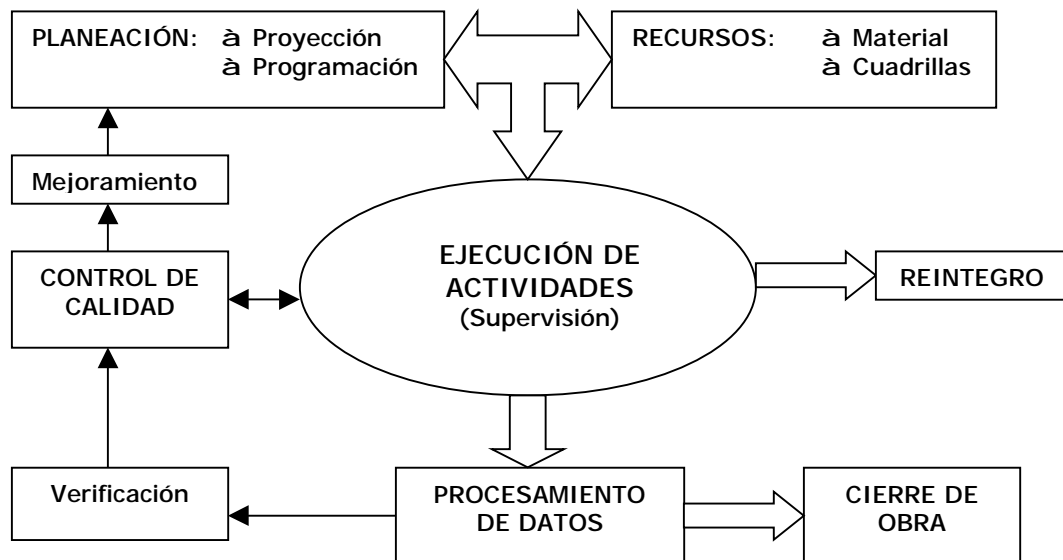
(*) Se calcula para un promedio diario de 163 reemplazos distribuidos de la siguiente manera: 158 reemplazos de 70 W, 4 reemplazos de 150 W y 1 reemplazo de 250 W.

(**) Tomando como tiempo de ejecución 336 días.

4. METODOLOGÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL DISTRITO CAPITAL

La metodología presentada en éste capítulo, se ha establecido a partir del desarrollo secuencial generado durante la evolución del proyecto en cada localidad. Para comprender ésta evolución se debe recurrir al macroproceso aplicable durante la ejecución de cada localidad del Distrito, ilustrado en la figura 26:

Figura 26. Macroproceso de la ejecución de actividades



En este esquema es posible distinguir cinco fases: planeación, ejecución, reintegro, control de calidad y procesamiento de datos.

4.1. OBJETIVOS DE LA METODOLOGÍA

La metodología desarrollada tiene como objetivos distribuir la carga administrativa en todos los pasos del proceso, optimizar los recursos técnicos disponibles, incrementar el rendimiento productivo de las cuadrillas y mejorar las metas de calidad fijadas por la organización.

4.2. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

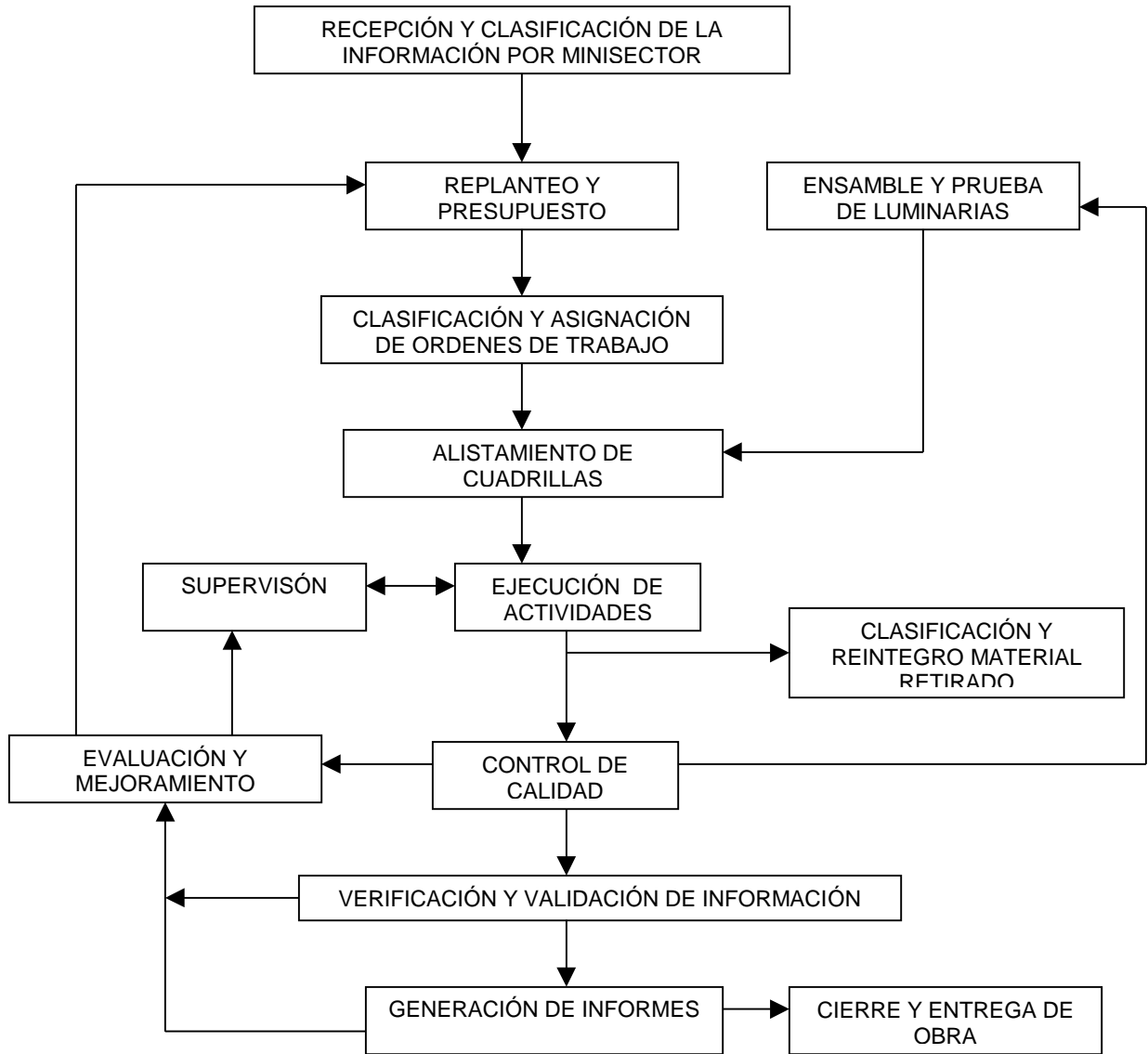
A continuación se definen los procesos establecidos en la metodología que permitirán el cumplimiento de los objetivos. El esquema de la metodología se encuentra ilustrado en la figura 27.

Siguiendo el cronograma general para la ejecución del proyecto de modernización, en el cual se establece el orden de ejecución, se deberá aplicar la metodología para la ejecución de cada localidad.

4.2.1. Recepción y clasificación de la información por minisector

Para poder iniciar cualquier tipo de actividad operativa asociada al proyecto de modernización es necesario contar con toda la información posible que permita dimensionar la duración de las obras, las cantidades de material, y recursos humanos y logísticos requeridos para la ejecución de las labores de modernización en cada Localidad del Distrito.

Figura 27. Metodología para el proyecto de modernización del alumbrado público del distrito capital.



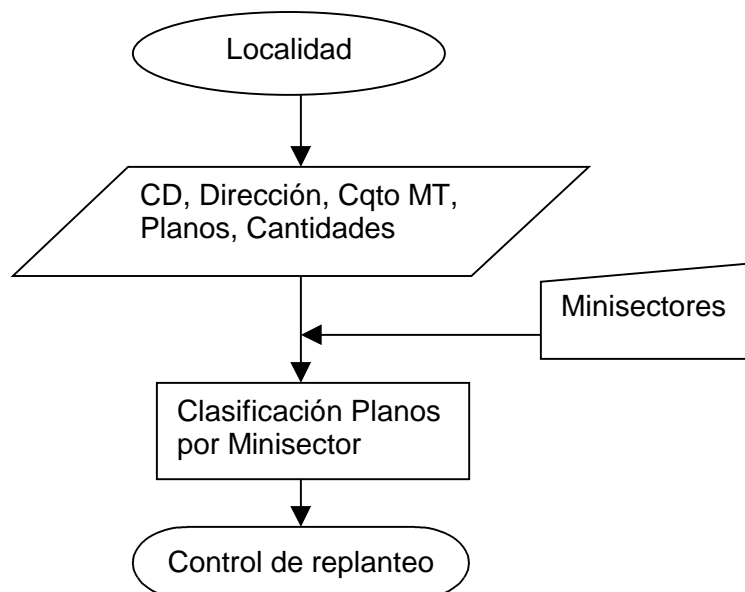
Para iniciar labores en la localidad se realizará la solicitud al gestor del proyecto, en el departamento de alumbrado público de Codensa S.A. E.S.P., de la siguiente información por centro de distribución (CD):

1. Número de identificación CD.
2. Minisector.
3. Dirección del CD.
4. Circuito de media tensión asociado.
5. Cantidad de luminarias por potencia y tecnología.
6. Planos topológicos del CD.
7. Plano general de la localidad (subdivisión en minisectores).
8. Informe UESP de las vías que requieren modernización no lineal.

La información relacionada en los cinco primeros puntos es requerida en medio magnético para el control, planeación, proyección, facturación y entrega de la obra.

La clasificación y agrupación de los planos de los centros de distribución deberá realizarse siguiendo los minisectores establecidos por la UESP, relacionados en el plano general de la localidad y en medio magnético.

Figura 28. Proceso recepción y clasificación de la información por localidad



El proceso, ilustrado en la figura 28, concluye con la entrega de los planos y de los informes de la UESP a los supervisores encargados de los replanteos y presupuestos.

4.2.2. Replanteo y presupuesto

Los supervisores encargados de los levantamientos iniciales deberán tener experiencia en el área de redes de distribución, alumbrado público, conocimiento de la zona de trabajo y del esquema operativo empleado en la ejecución de labores del proyecto, lo que le ayudará a establecer una ruta de trabajo adecuada.

A partir del control de la información recibida, se establecerá una prioridad de replanteo y de ejecución por minisector, que a su vez servirá para realizar la planeación y proyección de los recursos necesarios para el cumplimiento de las metas fijadas por Codensa.

La priorización de los minisectores contemplará los siguientes criterios:

- Total de luminarias de mercurio por minisector.
- Promedio de luminarias de mercurio por centro de distribución.
- Total de centros de distribución por minisector.
- Promedio de centros de distribución por minisector.
- Dispersión de los centros de distribución.
- Condiciones especiales del minisector de previo conocimiento (seguridad, acceso, geografía)

La labor de replanteo, deberá desarrollarse de acuerdo con el diagrama de flujo mostrado en la figura 29, esta etapa implica la visita de cada

centro de distribución y el recorrido de todos sus ramales de manera que se verifique, complemente y actualice la información existente en la base de datos con la encontrada en terreno. Durante el replanteo o levantamiento de cada centro de distribución el supervisor recopilará la información necesaria para realizar la proyección del material adecuado para el reemplazo de cada luminaria de mercurio, así como la necesaria para la ejecución de las actividades.

Una vez ubicado el centro de distribución en terreno, el supervisor definirá la ejecución de actividades y procederá a tomar la siguiente información:

- Número del CD, dirección, barrio, tipo de red (abierta, trenzada, subterránea o mixta) y observaciones a las que haya lugar (para los siguientes casos no se ejecutará ninguna actividad: conjunto cerrado, normalizado, zona en demolición)
- Verificará el rótulo de la luminaria de mercurio existente y su potencia.
- Indicará la altura, el tipo y el estado del poste (carga mecánica)
- Reportará la dirección exacta del punto que se va a modernizar, en caso de no tener dirección se dará la más cercana con las indicaciones necesarias que permitan la localización de la luminaria.
- Realizará la proyección del reemplazo requerido, es decir establecerá la potencia a instalar en el punto de acuerdo a los criterios técnicos establecidos en el capítulo 5.
- Establecerá los accesorios que se deben emplear en la conexión de la luminaria a la red (estribos, conector de compresión tipo cuña – red abierta, conector de perforación – red trenzada) y para el montaje adecuado de la luminaria al poste (tornillos, abrazaderas).
- Deberá informar si el punto requiere de actividades especiales tales

como mantenimiento de la red de baja tensión (aplomar poste, retensionado de conductores, caja de derivaciones sin tapa, cambio de postería) o una expansión del alumbrado público ya sea por instalación de una luminaria adicional o por remodelación de una cancha o un parque.

- Para el caso de la red abierta o red con vano de alumbrado público deberá indicarse el punto donde debe retirarse el control múltiple.
- También deberá incluirse información adicional que permita anticipar las condiciones del sitio de trabajo, informando sobre la existencia de tornillo pasante en la percha, templetas, cercanía a red de media tensión, transformadores en estructura en H, transformadores en poste, poste de brazo curvo.

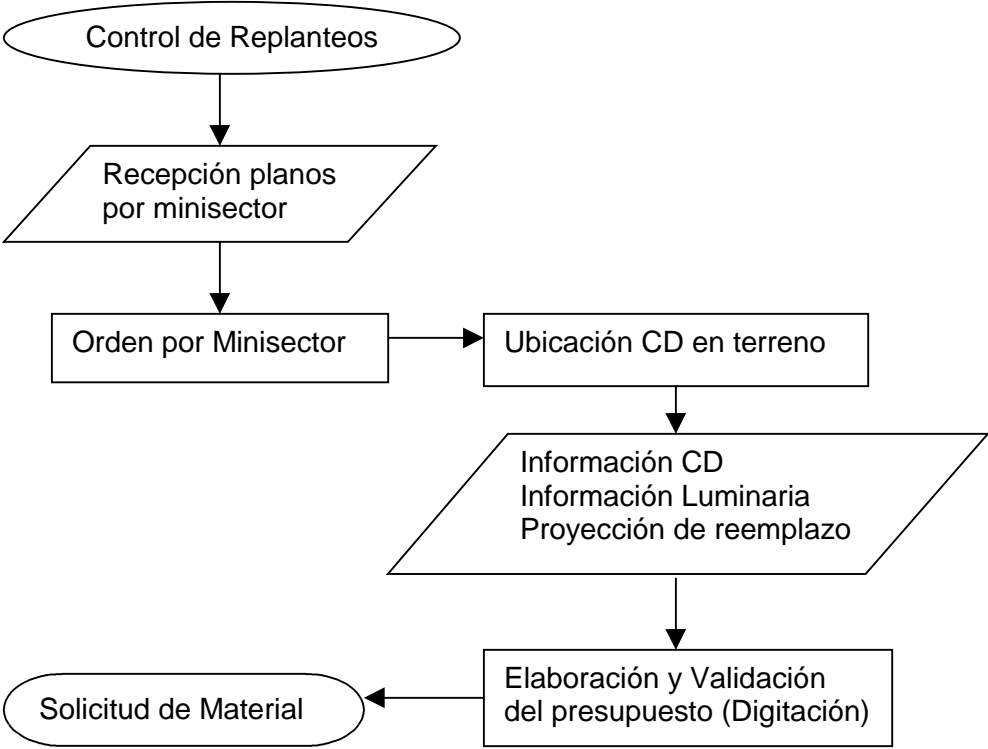
Durante esta etapa el supervisor debe recomendar el tipo de ejecución de las actividades de modernización de acuerdo a la dispersión de los puntos de reemplazo, las vías de acceso y demás criterios que ayuden a identificar el grupo de trabajo más conveniente para realizar las actividades operativas que puede ser en bloque (cuadrillas operación masiva¹⁰) o actividades dispersas ejecutadas con móviles livianos (cuadrillas operación dispersa) o si se requiere de equipos especiales como carrocanasta.

Una vez realizado el replanteo, proyecciones de reemplazo, y levantamiento de la información necesario se elabora el presupuesto del material por centro de distribución el cual incluye la mano de obra requerida, la potencia de la luminaria, el tipo de soporte, accesorios para la fijación al poste y accesorios para la conexión de la luminaria, con sus respectivas cantidades. Esta información se digitalará en el base de datos de presupuestos del proyecto de modernización, que se encarga de realizar el calcula de los componentes externos de cada

luminaria (bombilla, fotocontrol y acometida) además de efectuar la validación del tipo de soporte de acuerdo al tipo de luminaria, representando una reducción considerable durante el proceso de verificación de la solicitud.

El responsable del almacén se encargará de realizar la validación final de las cantidades relacionadas en la solicitud de materiales, ésta solicitud se encuentra discriminada por centro de distribución especificando las cantidades de mano de obra y de cada material a emplear de acuerdo a los códigos nemotécnicos establecidos por Codensa.

Figura 29. Diagrama de flujo para el replanteo y presupuesto



Después de validar las cantidades presupuestadas, se enviará la solicitud de materiales al departamento de alumbrado público de Codensa, quienes se encargarán de realizar la *Reserva de Material*

documento que permite la entrega del material al proyecto de modernización, es importante tener en cuenta que la solicitud de material se deberá realizar con mínimo ocho días de anticipación de manera que el proveedor pueda garantizar la disponibilidad de los materiales y evitar de esta manera demoras operativas por el suministro inoportuno de materiales.

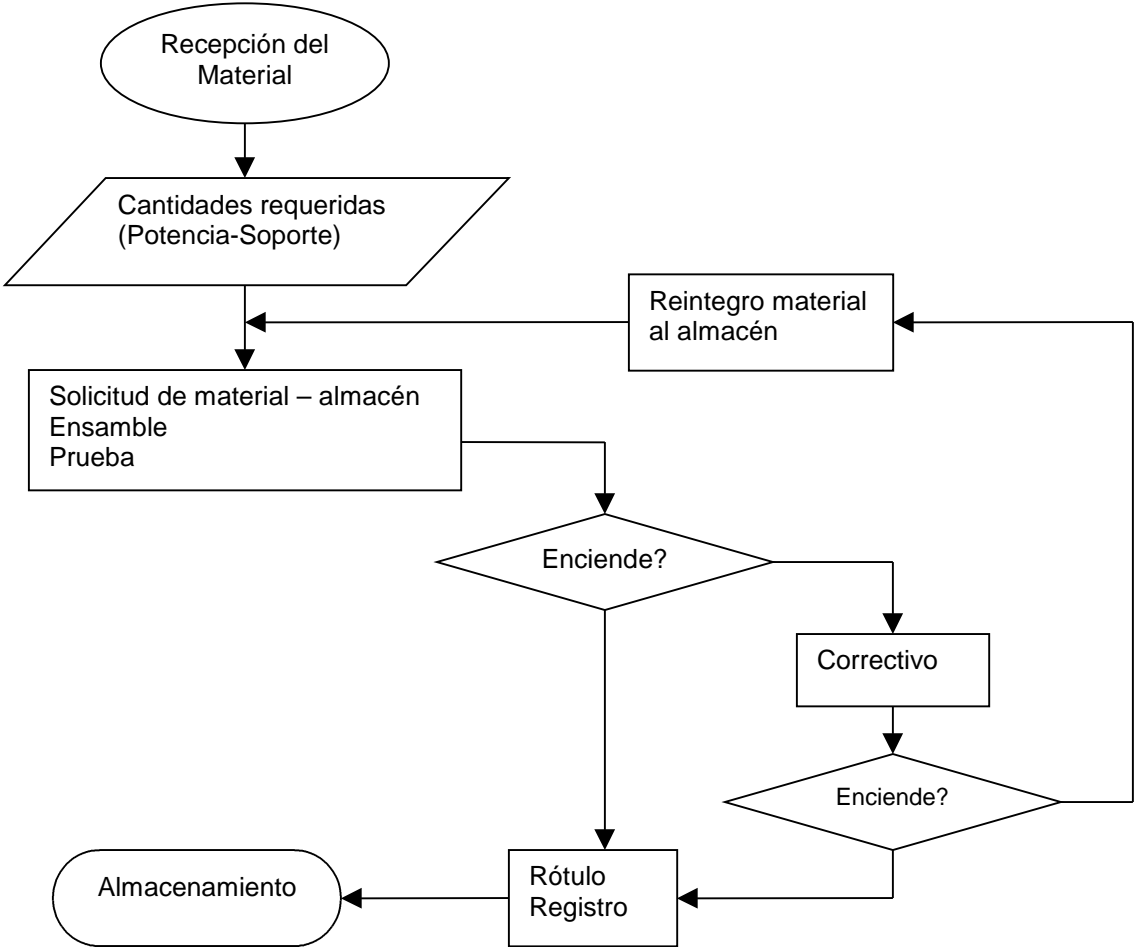
4.2.3. Ensamble y prueba de luminarias

Después de la elaboración del documento de *Reserva de Material*, se solicita el material al proveedor autorizado por Codensa S.A. E.S.P. quien procede a realizar la entrega de los mismos de acuerdo a su disponibilidad. Debido al esquema operativo planteado para la ejecución de las actividades de modernización es necesario realizar el ensamble de las luminarias directamente en la bodega de almacenamiento lo que a su vez permite un mejor control sobre el consumo del material, la manera más eficiente es realizando el ensamble de las luminarias en serie, siguiendo el método ilustrado con la figura 30.

El proceso de ensamble se realiza de manera paralela a la ejecución de actividades e inicia con la recepción del material en bodega, como valor de entrada se requerirá conocer las cantidades proyectadas para la ejecución de actividades de los próximos días para poder programar las actividades de ensamble en cuanto a las potencias y los tipos de soporte. Una vez establecida esta cantidad el personal de ensamble solicitará el material al almacén (luminarias, soporte, bombillas, fotocontroles y cable Cu #14) iniciando el proceso de ensamble. Al finalizar el ensamble de la luminaria deberá realizar la prueba de encendido de la misma, si la luminaria pasa la prueba se rotula y queda lista para su transporte e instalación, si falla la prueba se deberá

identificar la causa de la falla y de ser posible realizar el correctivo pertinente, pero si la falla llegase a ser de algún componente eléctrico (arrancador o balasto) la luminaria será reintegrada al almacén para hacer la respectiva reclamación de garantía con el proveedor.

Figura 30. Ensamble de luminaria



4.2.4. Clasificación y asignación de ordenes de trabajo

Para el proyecto de modernización aplican tres tipos diferentes de ordenes de trabajo clasificadas y asignadas de acuerdo al tipo de

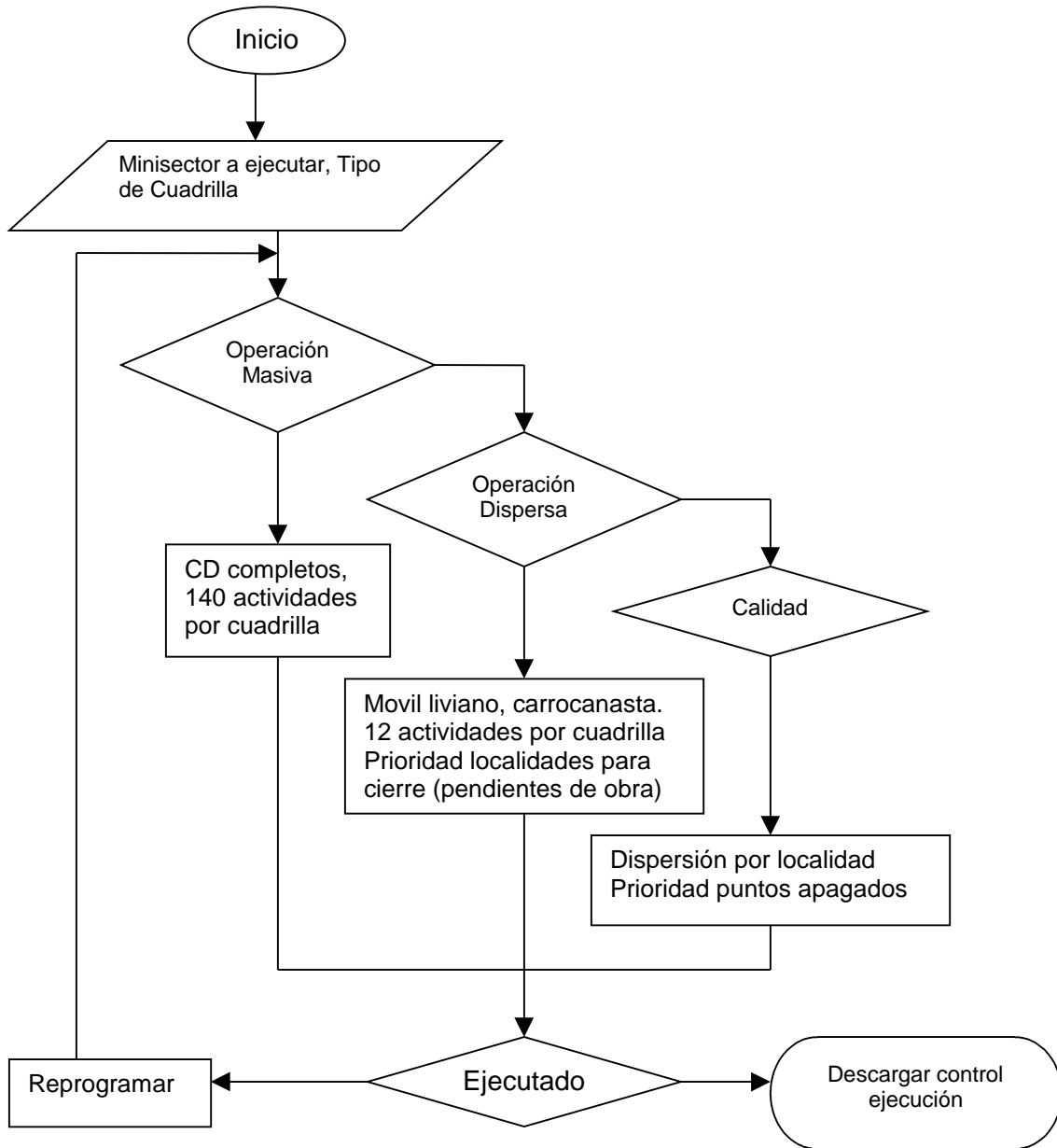
cuadrilla necesaria para su ejecución, con una frecuencia diaria, tal como se muestra en la figura 31.

El primer tipo de orden de trabajo es asignada a las cuadrillas de la operación masiva, y deberá generarse de manera que el total de actividades por cuadrilla sea superior a 140 actividades, en esta etapa el ingeniero supervisor será el encargado de planificar la ruta y el orden para la ejecución por centro de distribución, que permita alcanzar la meta diaria.

El segundo tipo de orden de trabajo es asignado a las cuadrillas de la operación dispersa (móvil liviano y carrocanasta), las ordenes de trabajo generadas se componen de las actividades pendientes de la operación dispersa, minisectores con alta dispersión de los centros de distribución y actividades remate de obra.

El tercer tipo de orden es generada para la realización de correctivos de calidad (producto no conforme), recuperación de puntos apagados (novedades de AP) y verificación de información en terreno, siendo asignada al móvil de calidad destinado para tal fin.

Figura 31. Clasificación y asignación de ordenes de trabajo



4.2.5. Alistamiento de cuadrillas

La última etapa en la preparación para la ejecución de actividades deberá ser el alistamiento de las cuadrillas operativas, esta preparación incluye la realización de una programación cuidadosa sobre la zona de

trabajo, que permitirá organizar las labores de ensamble de manera que se pueda cumplir con los requerimientos de material de la operación masiva, estableciéndose una ruta de ejecución, la cual debe plantearse para garantizar un alto rendimiento operativo. El esquema de programación debe ser flexible debido a la dinámica variable de las condiciones de terreno, como lo son el clima, congestiones de tráfico, reparaciones en las vías, obstáculos no contemplados, etc.

Como valor agregado se tiene la información obtenida durante la etapa de replanteo y presupuestos que una vez digitada en la base de datos de presupuestos, permite la impresión de la planilla para el reporte de ejecución de actividades, la cual hará parte de la información incluida en las ordenes de trabajo junto con los planos de los centros de distribución.

En cuanto a la solicitud de materiales ésta deberá realizarse al almacén de acuerdo a la planeación realizada por el ingeniero supervisor, con el total de luminarias por potencia y tipo de soporte, así como accesorios para el montaje y la conexión de la luminaria. Una vez garantizada la disponibilidad del material se procede a cargar el vehículo de transporte de luminarias a terreno, el día anterior a la ejecución de actividades.

Los móviles livianos y el carrocanasta debido al esquema operativo empleado realizarán las solicitudes del material el mismo día de ejecución de actividades.

Harán parte del alistamiento de las cuadrillas, las revisiones periódicas del estado de los equipos de trabajo, herramientas, vehículos y señalizaciones, así como charlas y capacitaciones.

4.2.6. Ejecución de actividades

Durante el desarrollo de ésta etapa se concluirán los esfuerzos realizados en los pasos anteriores, ejecutando los cambios de luminarias de mercurio por luminarias de sodio, siguiendo la programación establecida; debido a la concepción inicial del proyecto de modernización del alumbrado público. La ejecución de las actividades en terreno se compone de dos frentes de trabajo: una operación masiva con dos grupos de trabajo en bloque conformado por 8 linieros y 4 ayudantes; y una operación dispersa con 4 cuadrillas en móviles livianos y una cuadrilla en carrocanasta, conformadas por 2 operarios, que también se encargará de los correctivos por calidad.

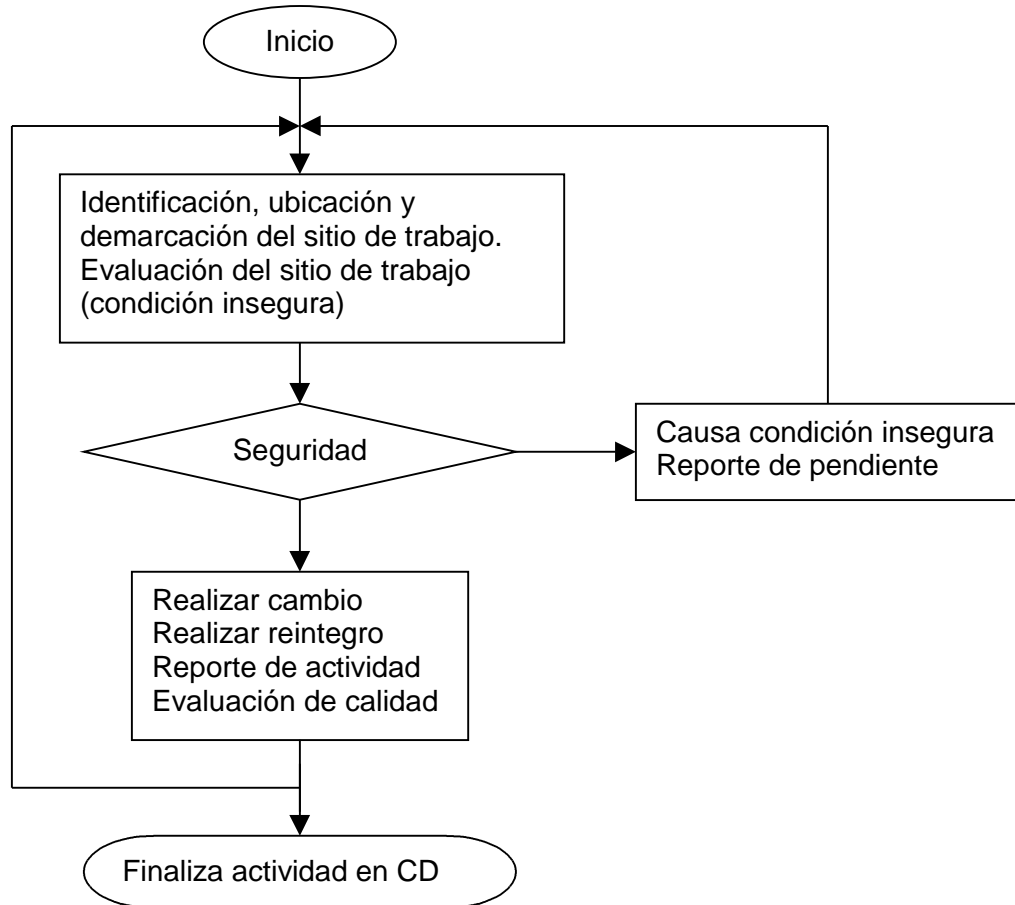
Al ejecutar las labores operativas propias del proyecto de modernización, se deberá seguir la programación recordando que es propensa a cambios y modificaciones en terreno.

El esquema de trabajo que se presentará a continuación, y de manera gráfica en la figura 32, es aplicable para los dos frentes de trabajo del proyecto:

1. Identificación y ubicación del sitio de trabajo (CD)
2. Señalización y demarcación del sitio de trabajo (conos, valla, cinta)
3. Evaluación de las condiciones del sitio trabajo e identificación de riesgos potenciales y posibles condiciones inseguras.
4. Revisión de los equipos y herramienta.
5. Inicio de actividades: cambio de luminaria, reintegro de luminaria retirada.
6. Reporte de la actividad realizada.

7. Evaluación de calidad de la actividad realizada (montaje, encendido, orientación del fotocontrol)

Figura 32. Diagrama de flujo de la ejecución de actividades



Durante la ejecución de proyectos de gran magnitud se suelen presentar problemas que pueden generar fallas técnicas y de calidad de la obra o riesgos de seguridad para el personal operativo; al identificar estas situaciones y sus consecuencias se pueden tomar acciones correctivas que permitan disminuir su impacto, brindar soluciones de manera rápida y eficaz e incrementar los índices de calidad y producción de la obra.

Usualmente estos problemas se pueden presentar de manera frecuente o esporádicamente, haciendo posible su clasificación en casos particulares o en casos generales.

Los problemas que aparecen durante la ejecución de las actividades del proyecto de modernización, de manera frecuente, pueden tratarse como problemas generales, estos casos pueden ser:

1. En un poste donde se encuentra un transformador es posible que no exista espacio para instalar la luminaria de sodio, entre la caja de derivaciones (caja de acometidas para red trenzada) y el collarín inferior del transformador, en algunos casos es posible reubicar el obstáculo (caja de derivaciones o percha) para realizar el cambio completo de la luminaria, cuando esto no es posible deberá emplearse el soporte de la luminaria existente; para realizar el cambio de la luminaria reutilizando el soporte existente, primero se debe cortar la acometida de la luminaria existente dejándola sin servicio, posteriormente con la segueta se cortará la luminaria de manera que el brazo existente pueda ser reutilizado para instalar la luminaria de sodio ensamblada sin soporte, luego se introduce la acometida nueva a través del soporte y finalmente se conecta a la red. Esta operación presenta riesgo eléctrico debido a la cercanía a la red de media tensión y a las bajantes de baja tensión del transformador que pasan junto a la luminaria donde se realizan las labores.
2. Para los Transformadores ubicados en estructuras en H, debido al alto riesgo eléctrico que representa la proximidad de las bajantes de media tensión del transformador, la ejecución de actividades se

realizará con una cuadrilla equipada con carrocanasta, y con personal calificado para realizar trabajos en línea viva.

3. Cuando se ejecutan actividades en un sector donde la red de distribución es abierta se debe bajar la percha para realizar la instalación de la luminaria de sodio con el soporte sencillo con abrazadera a punta de poste, esto se logra aflojando las abrazaderas que sujetan la percha y luego golpeando la percha para que baje, pero este procedimiento se complica cuando la percha se encuentra fija al poste mediante un tornillo pasante, para poder bajar la percha primero se deben colocar abrazaderas que sujeten la percha mientras se retira el tornillo con ayuda de la segueta, posteriormente se baja la percha para completar la instalación.
4. Las zonas destinadas a la recreación tales como parques y canchas también se encuentran incluidas en el proyecto de modernización sin embargo estas deben cumplir con las normas constructivas de alumbrado público de Codensa S.A. E.S.P antes de realizar su cambio a tecnología de sodio; la norma indica que la postera debe ser de 12 m ya sea con red abierta o subterránea, para canchas las dimensiones reglamentadas son de 16 x 20 m para microfútbol y 15 x 30 m para baloncesto con luminarias de 250 W de Sodio en postes de 12 m ubicados a 2 m de la línea lateral y a 1/4 de la longitud de la línea de fondo (5 y 7.5 m, respectivamente). Si la zona no cumple con dicha norma debe enviarse el reporte al comité de expansiones de Codensa S.A. E.S.P. para que la zona sea normalizada mediante la ejecución de una expansión por remodelación.
5. Un caso similar ocurre con las esquinas donde hay una luminaria y no dos, los operarios de modernización deberán realizar el cambio de la

luminaria existente de manera que ésta quede orientada hacia la vía más importante, reportando al comité de expansiones de Codensa S.A. E.S.P. el lugar donde se requiere la instalación de la luminaria faltante.

6. Un problema presentado que se relaciona con la calidad de los trabajos es la mala orientación de los fotocontroles el cual debe estar orientado hacia el norte. Durante el ensamble de la luminaria la base del fotocontrol se afloja para permitir la orientación del mismo cuando se realiza la instalación de la luminaria, posteriormente se ajusta el tornillo de seguridad desde el interior de la luminaria. Las medidas correctivas necesarias incluyen la instrucción del personal de ensamble sobre cuanto se debe aflojar la base del fotocontrol para que éste pueda ser orientado durante la instalación de la luminaria, programación de capacitaciones y charlas al personal operativo sobre el manejo adecuado de la brújula y el procedimiento a seguir para la orientación del fotocontrol, adicionalmente se ha establecido dentro de las principales labores de supervisión; estas acciones contribuirán a mejorar el índice de calidad en éste aspecto.

7. Al ejecutar trabajos en red trenzada es común encontrar las cajas de derivaciones abiertas, por falta del tornillo de seguridad que permite el cierre hermético del elemento. En éste caso el liniero deberá cerrar la tapa y asegurarla con un tornillo de 2" de rosca común solicitado para tal actividad.

Se ha optado por catalogar como casos particulares aquellas situaciones que se presentan con baja frecuencia durante la ejecución de las actividades de modernización, estos casos pueden ser:

1. El proyecto de modernización no solo implica el cambio de luminarias, también se debe garantizar su funcionamiento por cuanto se esta realizando la instalación de un material nuevo; existen materiales externos (bombillas, fotocontroles, fusibles) de las luminarias que en caso de falla pueden ser reemplazados por el área de mantenimiento correctivo de Cenercol S.A., pero los componentes eléctricos defectuosos deben someterse a la reclamación por garantía con el proveedor. Para recuperar un punto sin servicio con falla en alguno de sus componentes eléctricos es necesario realizar el cambio del conjunto eléctrico completo o de la luminaria completa si no se dispone del repuesto adecuado, lo cual implica el cambio de la rotulación en la base de datos. Para finalizar la reclamación se debe enviar el conjunto eléctrico en falla con la dirección de la luminaria donde se realizó la actividad correctiva.

2. En sectores industriales de la ciudad o cerca de grandes avenidas es posible encontrar afloramientos en baja tensión que impiden bajar la percha, para poder realizar el cambio de la luminaria se hace necesario emplear el soporte fijado con abrazadera de la luminaria existente siguiendo el mismo procedimiento empleado para el cambio de una luminaria instalada en una estructura con transformador.

3. Otra situación que puede presentarse cuando se trabaja en red abierta, es la existencia de templetes poste a poste ubicados justo debajo de la percha, situación que dificulta el cambio de la luminaria en la algunos casos es posible bajar el templete lo suficiente como para instalar la luminaria con el soporte sencillo con abrazadera, en otros casos sobre todo cuando hay más de un templete se debe emplear el soporte sencillo para fijar con abrazadera existente

siguiendo el procedimiento descrito para el cambio de luminaria en estructura con transformador.

4.2.7. Supervisión

El esquema de supervisión en terreno empleará tres cargos importantes, el primero es ocupado por el ingeniero supervisor encargado de la programación y enrutamiento de la operación; el siguiente cargo es ocupado por el supervisor encargado de dirigir al personal operativo verificando la calidad en la ejecución de los trabajos, revisión del estado de los equipos y de la señalización, ubicación en terreno de los centros de distribución incluidos en la programación orientando el movimiento de los vehículos hacia el área de los trabajos; y por último estará el revisor, encargado del levantamiento final de la información, correctivos de calidad de los trabajos y orientación del personal operativo hacia el área de trabajo.

La información registrada por el revisor en la planilla de trabajo diario por centro de distribución incluye la verificación de la dirección de la luminaria, el rótulo de la luminaria instalada, la potencia instalada y los accesorios empleados en la instalación. Realizando verificaciones de ésta información en el momento de ser registrada disminuirá los errores por rótulos duplicados y direcciones erradas.

4.2.8. Clasificación y reintegro de material retirado

Es requisito contractual el cumplimiento de las políticas y normas¹¹ ambientales de Codensa S.A. E.S.P. por lo que se dispondrá adecuadamente de la luminaria de mercurio retirada permitiendo que algunos de sus componentes puedan ser reutilizados en el mantenimiento de la infraestructura de mercurio restante, otros pueden ser reciclados como materia prima en procesos industriales y otros requieren de un tratamiento especial para su disposición final. Para la reutilización de los elementos retirados del sistema de alumbrado público es necesario realizar una revisión de su funcionamiento con pruebas eléctricas para los componentes eléctricos de la luminaria (balasto, arrancador, condensador) y los componentes externos (bombillas y fotocontroles), estas acciones se han tomado recientemente generando un ahorro en el suministro de materiales para la operación de mantenimiento realizada por Cenercol S.A. E.S.P. y reduciendo la generación de nuevos residuos de mercurio al limitar la compra de bombillas nuevas.

Una vez retirada la luminaria del sistema de alumbrado público, esta se desarmará para facilitar su transporte a la bodega del proyecto y su posterior reintegro en las bodegas autorizadas por Codensa S.A. E.S.P., tan pronto se retira la luminaria de terreno se deberá retirar la bombilla de mercurio empleando los elementos de protección adecuados para el manejo de estos materiales, posteriormente se envuelve en papel periódico para evitar su ruptura durante el transporte y se almacena en un recipiente plástico que pueda contener cualquier derrame de mercurio, segregando las bombillas rotas de las bombillas buenas; después se retiran el fotocontrol y su base en el caso de ser autocontrolada y se almacena, finalmente se retira cualquier otro

elemento de la luminaria que pueda ocupar un volumen considerable, tal como lo hace el reflector de la luminaria de 125 W vertical abierta (tipo de luminaria más común). De forma paralela se registran los materiales retirados de cada luminaria asociados a su rótulo, lo que permite elaborar el reporte para la solicitud de las reservas de reintegro.

Al finalizar las actividades diarias se descarga y se cuenta el material retirado para continuar con el proceso de desarme y reintegro, finalmente se retira el brazo de la luminaria y se separa la acometida de cobre de la luminaria.

En este momento ya se tiene la luminaria completamente desarmada, a continuación se totalizan las cantidades de cada material de la siguiente manera:

- Luminarias por potencia (125, 250 y 400 W)
- Bombillas por potencia en unidades
- Acometidas en cobre en Kilogramos
- Soportes, herrajes y chatarra en kilogramos
- Fotocontroles / bases en Kilogramos

Una vez elaborado el reporte de las cantidades se realiza la solicitud de las reservas para el reintegro de los materiales, cabe resaltar que la duración total del proceso es de apenas un día lo que permite disponer del espacio necesario para la elaboración del reintegro de material de la siguiente jornada de trabajo.

El material transportado a las bodegas autorizadas por Codensa S.A. E.S.P. es separado teniendo en cuenta que:

- Las luminarias, reflectores de aluminio pueden emplearse como materia prima en la fundición.
- Las bombillas de mercurio, por su contenido se encuentran clasificadas como material peligroso para el medio ambiente, por lo que deben manejarse con base en los requisitos contemplados en el plan de manejo ambiental.
- Los componentes eléctricos de la luminaria con altos contenidos de cobre y hierro como lo son los balastos pueden ser reciclados separando estos materiales

El contenido de mercurio de una bombilla de 125 W es alrededor de 15 mg, cantidad que no representa un peligro a corto plazo para la salud humana, este material se encuentra dentro del tubo de descarga de la bombilla, por lo que se deben extremar las precauciones que impidan su ruptura durante el transporte y que dado el caso se logre contener algún derrame.

Las condiciones de seguridad para la manipulación, el transporte, almacenamiento y disposición final de bombillas de vapor de mercurio se encuentran establecidas en la NTA 409, según la cual el personal que realiza el manejo de las bombillas de mercurio deberá emplear como elemento de protección personal tapabocas, guantes de látex, guantes de carnaza y mandil de cuero, en cuanto al transporte se indica que las bombillas deben recubrirse de algún material que impida su rompimiento por impacto ya sea en cajas de manera individual o envueltas en papel periódico, contenidas dentro de una caneca plástica que pueda contener cualquier derrame de mercurio.

4.2.9. Control de calidad de la instalación

Es responsabilidad de Cenercol S.A. garantizar el correcto funcionamiento de las luminarias instaladas así como el cumplimiento de las normas técnicas y ambientales relacionadas con el proyecto de modernización, siendo función del supervisor de terreno.

Dentro del sistema de gestión de calidad implementado por Cenercol S.A., se incluyen revisiones periódicas de las actividades ejecutadas por el área de modernización, estas revisiones establecen los índices de calidad del proyecto que después de ser analizados permitirán desarrollar las acciones necesarias para incrementar aquellos que presenten el mayor porcentaje de falla.

Adicionalmente Codensa S.A. E.S.P. ha contratado los servicios de interventoría para el proyecto de modernización, cuyas observaciones de la ejecución de los trabajos en terreno se tomarán en cuenta para los correctivos necesarios generando los reportes por actividad realizada en cada luminaria reportada, estableciendo nuevos indicadores que complementarán los reportes internos para el desarrollo de acciones preventivas.

Los parámetros evaluados durante las revisiones de calidad de una luminaria son:

1. Orientación del fotocontrol
2. Dirección de la luminaria
3. Conexión de la luminaria (anillos, conectores, encintada)
4. Estado del rótulo (ilegible)

5. Luminaria apagada
6. Luminaria desnivelada
7. Luminaria mal orientada
8. Fijación de herrajes

Para la ejecución de las actividades que involucran correctivos de calidad se dispondrá de una cuadrilla de calidad (móvil liviano) que contará con el material necesario para la corrección a que haya lugar sobre la luminaria reportada.

4.2.10. Verificación y validación de la información

En el proceso de digitación se involucran tres procesos del proyecto: el replanteo y presupuestos, la ejecución de actividades diarias y el reintegro de materiales retirados.

La información requerida para la elaboración del reporte final de actividades es registrada durante la etapa de replanteo por lo que deberá ser digitada junto con los materiales requeridos por cada punto a modernizar, de manera que durante la ejecución de las actividades en terreno se cuente con la planilla previamente elaborada con la dirección de la actividad y la luminaria que se debe retirar y ésta pueda ser complementada por los revisores con el rótulo de la luminaria instalada y sus accesorios.

El reporte de los materiales retirados deberá realizarse por cada luminaria (rótulo) retirada complementando la relación de pesos y cantidades empleada para la elaboración de la reserva de reintegro de material, así como para la debida actualización del sistema de alumbrado público.

La verificación de la información reportada en base de datos maneja dos aspectos, reporte de terreno y digitación. El primero es verificado durante el control de calidad de la instalación y para la validación del registro físico (planilla) con el magnético (base de datos) se efectúan dos auditorías: una interna realizada por el departamento de calidad y una externa realizada por la interventoría contratada por Codensa, ambas por muestreo.

Los problemas de digitación presentados se deben a la desactualización de la base de datos empleada (SMAP) o a un mal reporte elaborado en terreno, el cual puede involucrar tanto rótulos retirados como rótulos instalados. Para el primero de los casos se debe contar con el soporte de la discrepancia entre el plano y el terreno, posteriormente se realiza la solicitud para la actualización del SMAP. Cuando el problema implica un rótulo duplicado por un reporte erróneo de terreno se debe programar la visita para realizar la verificación del rótulo instalado y poder dar solución al problema.

4.2.11. Generación de informes

La evolución y avance del proyecto de modernización hacen parte del control de ejecución y cumplimiento de las metas fijadas, por lo que deberán reportarse con informes de avance y de rendimientos operativos; los puntos que requieran de actividades especiales como expansiones y retiro de luminaria; la actualización de base de datos por puntos nuevos encontrados o traslados de rótulos; e informe estadístico de cierre de localidad.

Los informes de avance y rendimientos operativos se realizarán con

frecuencia diaria y continua, discriminando todas las actividades ejecutadas por localidad y por tipo de actividad. Se complementará con el informe de rendimientos diarios para cada operación (masiva y dispersa), el análisis de estos informes en conjunto ayudará a definir las estrategias operativas para el cumplimiento de las metas fijadas por Codensa S.A. E.S.P.

Al reportar puntos nuevos encontrados en la etapa de replanteo y presupuesto deberá relacionarse la siguiente información:

- Localidad
- Centro de distribución
- Minisector
- Rótulo de la luminaria
- Potencia de la luminaria
- Dirección de la luminaria
- Barrio

Para el reporte de puntos que requieren intervención de expansiones se deberá incluir la siguiente información:

- Localidad
- Centro de distribución
- Rótulo de la luminaria
- Dirección de la luminaria
- Barrio
- Observación: instalación de nueva luminaria, parque, cancha, cambio de postería, luminaria en fachada.

En el reporte de luminarias para retiro se deberá incluir la siguiente

información:

- Localidad
- Centro de distribución
- Minisector
- Rótulo de la luminaria a retirar
- Dirección de la luminaria
- Barrio
- Observación

Para el reporte de actualización de base de datos deberá relacionarse la siguiente información:

- Centro de distribución
- Rotulo de la luminaria
- Potencia
- Tecnología: Hg o Na
- Evento: Nuevo o Traslado-“Nº de CD origen”

En cuanto al informe estadístico presentado para el cierre de localidad, se deberá incluir la siguiente información:

- Límites de los minisectores de la localidad
- Resumen total de actividades
- Estadísticas de reemplazo (reemplazos por potencia y tipo de actividad, matriz de reemplazos, reemplazo lineal y no lineal)
- Estado de ejecución o no ejecución del listado de los centros de distribución existentes en la base de datos de Codensa S.A. E.S.P.
- Listado general de centros de distribución existentes en la base de datos de Codensa S.A. E.S.P.

4.2.12. Cierre de localidad y entrega de obra

Para el cierre de actividades en una localidad deberán haberse ejecutado la totalidad de los reemplazos posibles, informando la ubicación y justificación técnica de los puntos que no fuesen modernizados, antes de dar por terminadas las labores se realizará una revisión completa de la localidad para identificar cualquier punto de reemplazo posible que no hubiese sido reportado.

El análisis realizado para la entrega de obra (localidad) se presentará en el informe estadístico de cierre de localidad, justificando el estado de ejecución o de no ejecución del listado de centros de distribución entregado por Codensa S.A. E.S.P, relacionando los porcentajes de los reemplazos ejecutados discriminados por potencia retirada vs. potencia instalada (matriz de reemplazos), tipo de actividad ejecutada (cambio, instalación o retiro), así como la comparación entre las cantidades de obra estimadas de acuerdo al inventario existente en base de datos y las cantidades reales ejecutadas; en éste informe se incluirá la relación de los pendientes de obra.

4.2.13. Evaluación del proceso y mejoramiento

Las fallas que pueden presentarse corresponden a dos fuentes de error claramente definidas, según su naturaleza: error humano y error técnico.

Las fallas debidas al factor humano obedecen a mala aplicación de los procedimientos, falta de capacitación, cansancio, distracción, uso inadecuado de las herramientas de trabajo, y podrán corregirse a través de capacitaciones y entrenamiento y deberá realizarse un seguimiento

de la evolución del operario.

Las fallas presentadas por causa de factores técnicos son atribuibles a mala calidad de los materiales empleados, mal estado de las herramientas; estas fallas podrán ser controladas mediante la revisión periódica del estado de las herramientas y evaluación continua de la calidad de los materiales empleados.

Los resultados finales del proyecto se evaluarán a partir de los procesos de control de calidad de la instalación, verificación y validación de la información y generación de informes; mediante el análisis de los índices de calidad, tiempos de repuesta, total de actividades pendientes por facturar debido a la inconsistencia de rótulos, porcentaje de ejecución y cumplimiento de las metas establecidas por Codensa S.A. E.S.P.

La retroalimentación a partir de estos indicadores permitirá la identificación de las fuentes de error y la toma de acciones preventivas y correctivas orientadas a la disminución de las fallas y mejora en los tiempos de respuesta.

La evaluación de los resultados y los procesos llevados a cabo ha contribuido en la aplicación de nuevos procedimientos operativos y en la actualización del procedimiento para el cambio de luminaria.

Entre los cambios realizados se tienen: levantamiento de la información para el reporte de actividades durante el replanteo, con el fin de mejorar los indicadores de verificación y validación generando una reducción del 50 % en los errores presentados; aumento del personal operativo en los móviles livianos (de 2 operarios a 3 operarios) para incrementar su

rendimiento entre el 60 y 100 % (de 11 actividades a 18–22 actividades); clasificación de material reutilizable (bombillas, fotocontroles, balastos, arrancadores, condensadores), reduciendo costos en el área de mantenimiento correctivo de la empresa y evitando la incorporación de nuevos residuos de mercurio al sistema.

5. GUÍA TÉCNICA PARA LA EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO

La guía técnica presentada en éste capítulo establece los criterios que deberán considerarse durante el replanteo y la ejecución de actividades, que establezcan el apropiado cambio de tecnología; enuncia los procedimientos y registros aplicables al proyecto de modernización.

5.1. GENERALIDADES

5.1.1. Objetivo

El objetivo de la guía técnica desarrollada en el siguiente capítulo es establecer los criterios técnicos y operativos que deben considerarse para realizar el mejoramiento de las condiciones de iluminación del sistema de alumbrado público del distrito capital.

5.1.2. Justificación

La necesidad de implementar un plan de calidad para el proyecto de modernización del alumbrado público generó la metodología planteada en el capítulo 4 de este trabajo, y con ella se hace necesaria la definición de los procedimientos puntuales no definidos en el plan de calidad de Cenercol S.A.

Con ésta guía será posible la inclusión de nuevos procedimientos operativos y la actualización de los existentes que pueden ser aplicados a las actividades propias del proyecto de modernización.

5.1.3. Criterios técnicos para el cambio de tecnología

Las siguientes recomendaciones deberán tenerse en cuenta para la ejecución del Proyecto de Modernización del Alumbrado Público:

- 1) Para la proyección de la potencia a instalar el supervisor encargado del replanteo debe tener en cuenta: el ancho de la vía, la altura del montaje, la interdistancia, la disposición de las luminarias en la vía, el tipo de vía y tipo de zona, además debe cumplir con las recomendaciones realizadas por la UESP para los casos que requieren de modernización no lineal.
- 2) En el replanteo inicial además de reportarse la información necesaria para la ejecución de actividades de modernización (dirección, rótulo y potencia existente, potencia proyectada, tipo de soporte y accesorios), se deben incluir recomendaciones para expansiones ya sea por luminarias adicionales o remodelación de canchas y parques que no cumplan con las normas constructivas; y recomendaciones para el mejoramiento de redes.
- 3) El cambio de las luminarias debe realizarse siguiendo los procedimientos establecidos por Cenercol S.A. (aspectos de seguridad industrial y técnicos) teniendo en cuenta que el montaje de luminarias de 70 W debe realizarse a una altura de 9 m, luminarias de 150 W a 12 m y luminarias de 250 W a 14 m; siempre por encima de la red de distribución o alumbrado manteniendo uniformidad en la altura del montaje.

- 4) Durante la instalación de la luminaria, el sensor del fotocontrol debe estar orientado hacia el norte, evitando la acción directa de los rayos solares que afecta su vida útil, se debe asegurar la base para conservar los índices de protección de la luminaria y el tornillo de seguridad para hacer efectiva la medida antivandálica. El liniero debe verificar el correcto funcionamiento de la luminaria intercalando el fotocontrol el tiempo necesario que indique la adecuada apertura de la bombilla (aprox 30 seg).

- 5) Las conexiones a la red se harán directamente a la caja de derivaciones en red trenzada o los anillos (estribos) en red abierta; si no existe caja de derivaciones se emplea un conector de perforación para red trenzada, para el caso equivalente en red abierta se instalarán nuevos anillos en conjunto con conectores tipo cuña que garanticen una apropiada conexión de la luminaria a la red.

- 6) Al realizar la conexión de la luminaria a la red se debe realizar siguiendo una secuencia con las fases a las cuales ira conectada, es decir si la primera luminaria se conecta entre las fases R y S, la siguiente deberá conectarse entre la S y T, y la siguiente entre R y T, de manera que la carga del alumbrado se realice de manera balanceada.

- 7) La orientación, altura de montaje y la inclinación vertical de la luminaria deben ser las correctas para proporcionar una distribución uniforme del flujo luminoso sobre la calzada; estos parámetros pueden alejarse de los deseados cuando el soporte no es ajustado correctamente durante su instalación, si existe algún obstáculo en el poste o si el poste no se encuentra debidamente aplomado.

- 8) Para mantener uniformidad en el montaje y por razones de estética debe emplearse el mismo proveedor de luminarias en una misma vía.

5.2. PROVISIÓN DE RECURSOS TECNOLÓGICOS

Los materiales empleados en la infraestructura de alumbrado público deben cumplir con los siguientes requisitos técnicos establecidos en los manuales y normas de alumbrado público de la UESP y Codensa S.A..

5.2.1. Luminarias

Las luminarias deben ser del tipo horizontal cerradas, con reparto de flujo luminoso asimétrico en los planos $C = -90^\circ$ y 270° con mayores intensidades hacia $C = -90^\circ$ y simétrico hacia los planos $C = -0^\circ$ y 180° para el sistema CIE o su equivalente en el sistema IES.

La selección del tipo de carcasa de las luminarias de sodio, con base en criterios de amoblamiento urbano y estética, debe ser como sigue:

- Las luminarias de sodio 150 W a 1000 W deben ser necesariamente de carcasa enteriza¹².
- Para las luminarias de sodio 70 W, la carcasa debe ser enteriza cuando se utilicen en áreas relacionadas con la malla vial principal y arterial complementaria (Vías tipo V0, V1, V2 y V3), con la malla vial intermedia (Vías tipo V4, V5 y V6), parques metropolitanos y zonales, plazas, plazoletas y alamedas.

- Para las luminarias de sodio 70 W, la carcasa puede ser partida cuando se utilicen en áreas relacionadas con la malla vial local (Vías tipo V7, V8 y V9) y demás áreas no relacionadas en el punto anterior.

En relación con el grado de hermeticidad y protección contra el impacto, para todas las luminarias se debe garantizar como mínimo los índices señalados a continuación, adecuados a las exigencias de desempeño y factores de mantenimiento.

- Para todas las luminarias de sodio, que se instalen en áreas relacionadas con la malla vial principal y arterial complementaria (Vías tipo V0, V1, V2 y V3), malla vial intermedia (Vías tipo V4, V5 y V6), parques metropolitanos y zonales, plazas, plazoletas y alamedas, el grado de hermeticidad debe ser $IP \geq 65$ para el conjunto óptico.
- Para todas las luminarias de sodio, que se instalen en áreas relacionadas con la malla vial local (Vías tipo V7, V8 y V9) y demás áreas no relacionadas en el punto anterior, el grado de hermeticidad debe ser $IP \geq 54$ para el conjunto óptico.
- Para todas las luminarias el grado de hermeticidad debe ser $IP \geq 43$ para el conjunto eléctrico.
- Para todas las luminarias de alumbrado público tipo horizontal, como mínimo el grado de protección contra el impacto, debe ser $IK \geq 04$ para el refractor o cubierta transparente e $IK \geq 05$ para las demás partes de ambos compartimientos (óptico y eléctrico).
- Todas las luminarias la protección contra tensión de contacto debe ser Clase I.

Para asegurar el cumplimiento de los índices de protección de la luminaria durante su vida útil, es importante garantizar el cierre de los conjuntos óptico y eléctrico por medio de un sistema durable y que requiera el uso de herramientas especiales, con el propósito de evitar el vandalismo.

5.2.2. Balastos

Los balastos suministrados con las luminarias deben cumplir con los requisitos enunciados en la tabla 14.

Tabla 14. Requisitos técnicos para los balastos

<i>Potencia (W)</i>	<i>Tipo de Balasto</i>	<i>Tensión (V)</i>	<i>Pérdidas Máximas (W)</i>
70	Reactor	208 / 220 208 / 240	11
150	Reactor	208 / 220 208 / 240	19
250	Reactor	220	29

Fuente: Manual único de alumbrado público – UESP

5.2.3. Condensadores

Su función es corregir el factor de potencia del conjunto eléctrico de la luminaria al 90% mínimo en balastos del tipo reactor y, en balastos tipo CWA conformando el circuito regulador que suministre valores adecuados de tensión y corriente a la bombilla.

El condensador no debe tener restricción alguna con respecto a su posición de operación.

Adicionalmente pueden ser del tipo seco (polipropileno metalizado o equivalente) y cubierta plástica, o aislados en aceite (no-PCB) con una tolerancia hasta de $\pm 5\%$ (para balasto reactor) y de $\pm 3\%$ (para balasto CWA) en el valor de su capacitancia y capacidad para soportar, durante períodos prolongados una tensión que no exceda el 110% de su tensión nominal.

Los condensadores deben ser diseñados de tal manera que puedan soportar temperaturas desde -40°C hasta $+90^{\circ}\text{C}$ sin que se afecte su normal funcionamiento. El factor de disipación no debe exceder el 0,1% de su tensión nominal y a cualquier temperatura entre $+25^{\circ}\text{C}$ y $+90^{\circ}\text{C}$.

Así mismo, la capacitancia, tensiones, y calibres del conductor deben estar de acuerdo con la tabla 15:

Tabla 15: Capacitancia de los condensadores en función del calibre y la tensión.

<i>Calibre del cable (AWG)</i>	<i>250 V Capacidad (mF)</i>	<i>330 V Capacidad (mF)</i>	<i>450 V Capacidad (mF)</i>	<i>550 V Capacidad (mF)</i>
18	8 a 20	8 a 15	2 a 6	-----
18	25 a 33	16 a 25	10 a 18	-----
16	35 a 45	28 a 40	20 a 24	-----
14	-----	45 a 55	-----	20 a 26

Fuente: Manual único de alumbrado público - UESP

5.2.4. Bombillas de Sodio

Los requisitos técnicos requeridos para las bombillas deberán estar en cumplimiento de las Normas. En los casos requeridos, el oferente debe presentar la información de las características del pulso de tensión (alto y ancho), para la correcta operación de la bombilla; así mismo, las características del arrancador que cumpla con las condiciones establecidas¹³.

5.3. APLICACIÓN DE NORMAS TÉCNICAS

Las normas aplicables para el “Proyecto de Modernización del Alumbrado Público del Distrito Capital” son:

- Normas de Construcción de Alumbrado Público, Tomo VI, Codensa S.A. E.S.P.
- Norma Técnica Ambiental NTA-409 Manipulación y disposición final de bombillas de vapor de mercurio – Codensa S.A. E.S.P.
- Normas de Construcción de Redes Aéreas Urbanas de Distribución, Tomo I, Codensa S.A. E.S.P.

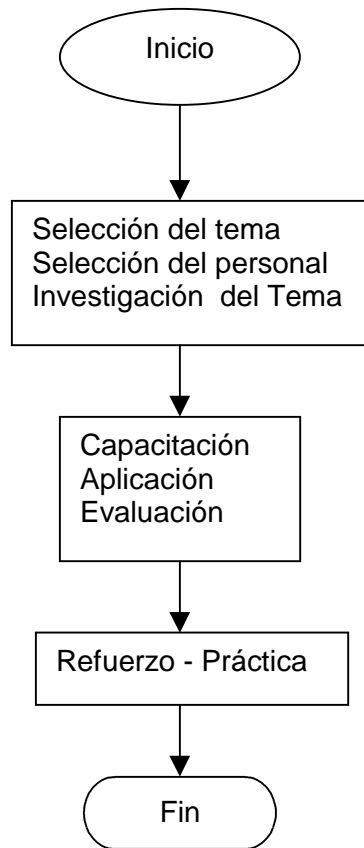
5.4. CAPACITACIÓN DE PERSONAL

El personal operativo del proyecto de modernización debe cumplir con el perfil establecido del cargo que desempeña (supervisor, revisor, liniero, ayudante y conductor), sin embargo es compromiso de la empresa desarrollar jornadas de capacitación para mejorar las habilidades del personal, así como charlas breves para profundizar en la aplicación de los procedimientos operativos.

Las capacitaciones específicas para el área de modernización están enfocadas a las labores asociadas al retiro e instalación de luminaria, trabajos en redes de baja tensión, manipulación y disposición final de las bombillas de vapor de mercurio, uso de la brújula.

En la figura 32 se plantea la metodología para el desarrollo de las capacitaciones.

Figura 32. Metodología para el desarrollo de las capacitaciones



5.5. APLICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS

Para el proyecto de modernización aplican los siguientes procedimientos e instructivos operativos:

- Procedimiento para el levantamiento de información de replanteo y presupuesto
- Procedimiento para cambio de luminaria
- Procedimiento para ensamble de luminaria
- Instructivo para la manipulación de bombillas de vapor de mercurio

La descripción de cada procedimiento se realiza a continuación.

5.5.1. Procedimiento para el levantamiento de información de replanteo y presupuesto

1. Recepción de los planos de cada centro de distribución de la localidad a ejecutar.
2. Clasificación de los planos de acuerdo al minisector al que pertenece el centro de distribución.
3. Establecer un orden de levantamiento por minisector de acuerdo a la densidad del trabajo, dando mayor prioridad al minisector con mayor número de luminarias de mercurio por centro de distribución.
4. Localización del CD en terreno con ayuda de los planos y la dirección relacionada.
5. Registrar la información del CD: número de CD, minisector, dirección, barrio, tipo de red, observaciones, nombre del supervisor y fecha de levantamiento.
6. Numerar todos los nodos del circuito, tomando como referencia el nodo donde se encuentra el transformador; si no existe luminaria en la estructura del transformador, entonces se tomará como referencia la luminaria más cercana.
7. Recorrer todo el circuito y registrar para cada nodo la siguiente información: dirección de la luminaria, rótulo en plano, rótulo en terreno, potencia existente, código de mano de obra, potencia proyectada, tipo de soporte requerido, accesorios para el montaje, accesorios para la conexión de la luminaria a la red, estado de la caja de derivaciones (cuando sea el caso), reporte para expansiones, reporte para redes, observaciones.
8. Adjuntar la planilla de registro al plano, entregando para la digitación el conjunto de planos de un minisector terminado.

5.5.2. Procedimiento para cambio de luminaria¹⁴

1. Identificar y señalar el sitio de trabajo, mediante plano, indicaciones o dirección
2. Realizar inspección visual del sitio de trabajo, para identificar los materiales necesarios para realizar la actividad y para evaluar posibles condiciones inseguras.
3. Selección de los equipos, herramientas y materiales, inspeccionando el estado de los mismos.
4. Ubicarse a la altura de la luminaria con ayuda de pretales, escalera o carrocanasta.
5. Asegurar la línea de seguridad al poste, y soltar la línea de vida (ayudador)
6. Realizar la desconexión de la luminaria a la red.
7. Realizar el desmonte de la luminaria, aflojando los herrajes del brazo y sujetando el extremo libre del ayudador al brazo de la luminaria para completar el retiro de manera cuidadosa.
8. Realizar la orientación del fotocontrol con ayuda de la brújula, tomando como referencia la posición final de montaje de la luminaria, ajustar la base del fotocontrol y el tornillo de la seguridad del mismo.
9. Completar la instalación de la luminaria previamente seleccionada, asegurando los herrajes para el montaje.
10. Realizar las conexiones apropiadas a la red y verificar el estado de las mismas.
11. Comprobar la normalidad del servicio de la luminaria.

5.5.3. Procedimiento para el ensamble de luminaria

El procedimiento para el ensamble de una luminaria es descrito a continuación:

1. Se cortan 7 m de cable de Cu AWG # 14 y se dobla por la mitad para crear la acometida de la luminaria.
2. Se introduce por el soporte desde el orificio para el paso de conductores hacia el extremo donde se ubicará la luminaria.
3. Se retira la luminaria del empaque y se verifica que se encuentre en buenas condiciones físicas para ser instalada en terreno.
4. Con el cortafíos se corta el extremo doblado del cable de manera que quedan los dos conductores, los cuales se introducen por el pasa cables de la luminaria.
5. Se retira la platina de la luminaria para poder introducir el tornillo de seguridad antihurto de la luminaria a través del soporte, se coloca nuevamente la platina para asegurar el soporte a la luminaria, se ajustan levemente todas las tuercas, antes de apretar se debe centrar la luminaria con respecto al soporte, finalmente se aprietan las tuercas laterales y se 'revienta' el tornillo de seguridad.
6. Una vez fijado el soporte se abre la luminaria y se realizan las conexiones internas: la acometida al portafusibles, se conecta la base del fotocontrol, el portabombillas y si es necesario se deriva el balasto para trabajar a 208 V o 277 V según sea el caso.
7. Se retira el portabombillas y se instala la bombilla de la potencia necesaria.
8. Se afloja la base del fotocontrol y el tronillo de seguridad de la misma, para poder instalar el fotocontrol y permitir su orientación durante su instalación de la luminaria.

9. Se instala el fotocontrol en la base introduciéndolo y girándolo en sentido antihorario, luego se ajusta el tornillo de seguridad, teniendo la precaución de no zafar el fotocontrol de la base.
10. Se prueba el encendido de la luminaria tapando con un guante el fotocontrol.
11. Si la luminaria enciende correctamente, se cierra y se rotula, quedando terminada y lista para su instalación.
12. Si la luminaria no enciende se deben revisar sus conexiones: que no estén flojas y que estén bien realizadas, posteriormente se revisan los componentes externos de la luminaria (fusibles, bombilla y fotocontrol) si la falla se encuentra en alguno de estos componentes se reemplaza, se reporta al almacén como falla del material en ensamble y se continua con el paso 11. Si el daño de la luminaria se debe a una falla de sus componentes eléctricos se debe entregar al almacén para realizar la reclamación por garantía con el proveedor, junto con los otros materiales en falla.

Nota: Si la luminaria es sin soporte se omiten los pasos 2 al 5.

5.5.4. Procedimiento para la atención de emergencia por derrame de mercurio.

- 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 un 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 (telf: 1-2886012) a quienes se les solicitara atender la emergencia por el derrame.

5.6. REGISTROS, REPORTE FINAL Y ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA

A continuación se relacionan los registros empleados para el control del material y la ejecución de las actividades realizadas en terreno, los cuales deberán ser procesados para realizar la actualización del sistema de información del alumbrado público del Distrito

- Registro de replanteo y presupuesto
- Control de ensamble
- Control de salida de luminarias
- Resumen diario
- Planilla de trabajo diario
- Planilla de pendientes
- Control de reintegro
- Asignación de material a operarios en terreno
- Inventario de vehículo
- Devolución al almacén de material nuevo

La actualización del sistema de información deberá realizarse de manera periódica, previa verificación y validación de la información almacenada en la base de datos, empleada por Cenercol S.A. para el registro magnético de los reemplazos.

6. CONCLUSIONES

- La metodología planteada para la ejecución de actividades de modernización de una localidad describe secuencialmente los pasos ideales a seguir durante el proyecto de modernización, empleando lazos de retroalimentación producto de la autoevaluación de los procesos buscando la mejora continua de la organización y sus operarios.
- La guía desarrollada define los criterios técnicos aplicados para los cambios de luminaria, desde la proyección del reemplazo, la planeación, el control, selección de recursos, metodología para la capacitación del personal, aplicación de procedimientos operativos y registro de actividades.
- Como se ha ilustrado a lo largo del presente trabajo, el proyecto de modernización del alumbrado público del distrito, presenta una oportunidad única para mejorar la calidad del servicio de alumbrado, haciendo más eficiente el uso de la energía, reduciendo costos de operación, repotenciación en zonas comerciales, escolares, hospitales y vías principales, recuperación y normalización de la infraestructura empleada.
- Se realizaron valiosas contribuciones en capacitación del personal operativo y mejorando los procedimientos operativos empleados por Cenercol S.A., para la realización de actividades asociadas al cambio

de luminarias, así como la inclusión de nuevos procedimientos para el manejo de sustancias peligrosas, ensamble de luminarias, reintegro de materiales.

- Se han establecido como los principales criterios para la correcta implementación de la modernización del alumbrado público: la altura del montaje, el tipo de vía, la interdistancia y el tipo de sector. Pues con base en ellos es que se deben encausar las acciones de replanteo y ejecución de actividades.
- El diseño asistido por computador permite anticipar y predecir el comportamiento de un sistema de iluminación, basándose en las características fotométricas de la luminaria empleada, ayudando a la identificación de problemas, como el efecto cebra, mediante la variación de los parámetros que definen el diseño del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

CODENSA S.A. E.S.P., Normas de Construcción de Alumbrado Público, Tomo VI, 1998.

CODENSA S.A. E.S.P., Normas de Construcción de Redes Aéreas Urbanas de Distribución, Tomo I, 1998.

CODENSA S.A. E.S.P., Norma Técnica Ambiental NTA-409 Manipulación y disposición final de bombillas de vapor de mercurio, 2000.

CODENSA S.A. E.S.P., Manual de alumbrado público, 1998.

EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, Manual de alumbrado público, 1996.

UNIDAD EJECUTIVA DE SERVICIOS PÚBLICOS, Manual Único de Alumbrado Publico, 2002.

ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC – 900, Norma de Alumbrado Público.

<http://www.lighting.philips.com>

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE ILUMINACIÓN

Se establece el diseño por kilómetro típico, calculado de acuerdo con la metodología descrita en la Norma CIE-30-2 TC-4.6 (1982), aclarando, en los casos necesarios, la información relevante al diseño.

Para efectos del diseño de iluminación y el cálculo de los parámetros correspondientes, se debe tener en cuenta, entre otros, los aspectos establecidos en el capítulo 1.

Las luminarias deben ser adecuadas para utilizar en las vías del Anexo D, de acuerdo con la clasificación establecida en los Artículos 155 "Clasificación de las secciones viales" y 158 "Definición y dimensión de las reservas viales" del Plan de Ordenamiento Territorial –POT-

1. La superficie de la vía es tipo R2 (*concreto usado*) ó R3 (*asfalto usado*), con base en la CIE 30-2, cuyo coeficiente de luminancia promedio es $Q_0 = 0,07$
2. Las dimensiones de los brazos de las luminarias deben cumplir con lo establecido en el anexo A
3. La altura del andén, para todos los cálculos será igual a 0,15 m para los andenes actuales ó 0,20 m para los andenes nuevos y recuperados.
4. La distancia entre el borde del andén y el eje del poste será mínimo de 0,60 m.
5. La inclinación máxima, para instalación y diseño, de la luminaria será de 20° con respecto a la horizontal. El brazo del poste será especificado para satisfacer este requisito.

6. El factor de mantenimiento, aplicado al conjunto óptico, para diseño, operación y mantenimiento será el señalado a continuación con base en lo establecido en la

Tabla 16. Factores de mantenimiento estimados

<i>Índice IP de la Luminaria</i>	<i>Condiciones ambientales (Nivel de Polución)</i>	<i>Etapa de diseño Etapa de operación y mantenimiento</i>
IP = 5 X	Medio	0.84
IP = 6 X	Alto	0.86

Fuente: Manual único de alumbrado público - UESP

7. Para cálculo del diseño de iluminación, se utilizaran bombillas con los siguientes flujos luminosos:

Tabla 17. Flujo luminoso de las bombillas de sodio alta presión

<i>Bombillas de Sodio Alta Presión</i>	<i>Flujo luminoso [Lm]</i>
70 W	6 500
150 W	16 500
250 W	32 000
400 W	55 000
1 000 W	130 000

Fuente: Manual único de alumbrado público - UESP

ANEXO D: CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES VIALES

Tabla 18. Anchos mínimos para el desarrollo de vías

Vía	Descripción
V - 0	100 m.
V - 1	60 m.
V - 2	40 m.
V - 3	30 m. (en sectores sin desarrollar) 28 m. (en 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: Manual único de alumbrado público - UESP

Tabla 19. Secciones viales

<i>Malla Arterial Principal y Malla Arterial Complementaria</i>	V-0, V-1, V-2 y V-3
<i>Malla vial Intermedia</i>	V-4, V-5 y V-6
<i>Malla vial local</i>	V-7, V-8 y V-9

Fuente: Manual único de alumbrado público - UESP

ANEXO E: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BOMBILLAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

Tabla 20. Características de la bombilla de 70 W de vapor de sodio de alta presión

Bombilla de Vapor de Sodio de Alta Presión : 70 W

Características: Sodio Alta Presión 70 W				
1.	Potencia nominal (W)	70		
2.	Tensión en los terminales de la bombilla (V) (r.m.s)	Objetivo	Máximo	Mínimo
		90	105	75
3.	Tensión de extinción de la Bombilla (V) (r.m.s)	Objetivo	Máximo	Mínimo
		105		
4.	Incremento de tensión máximo en los terminales de la bombilla (V)	5		
5.	Corriente de la Bombilla (A) (r.m.s)	0,98		
6.	Bulbo (Forma / Tipo)	Tubular / Claro		
7.	Posición operación	Universal		
8.	Base o casquillo	E-27		
9.	Tensión de ensayo para estabilización "calentamiento" (V)	198		
10.	Tiempo máximo requerido para alcanzar 50 V mínimo en los terminales de la bombilla (minutos)	7		
11.	Correlación de la temperatura del color (°K)	2 100		
12.	Coordenadas de la cromaticidad x / y	0,519 / 0,4180		
13.	Índice del rendimiento del color	21 – Clase 4		
14.	Eficacia mínima (Lm/W)	92.86		
15.	Luminancia promedio (cd/cm^2)	≥ 300		
16.	Flujo luminoso 100 horas (Lm)	$\geq 6 500$		
17.	Vida promedio (horas)	24 000		

Fuente: Manual único de alumbrado público - UESP

Tabla 21. Características de la bombilla de 150 W de vapor de sodio de alta presión

Bombilla de Vapor de Sodio de Alta Presión : 150 W

Características: Sodio Alta Presión 150 W				
1.	Potencia nominal (W)	150		
2.	Tensión en los terminales de la bombilla (V) (r.m.s)	Objetivo	Máximo	Mínimo
		100	115	85
3.	Tensión de extinción de la Bombilla (V) (r.m.s)	Objetivo	Máximo	Mínimo
		116		
4.	Incremento de tensión máximo en los terminales de la bombilla (V)	7		
5.	Corriente de la Bombilla (A) (r.m.s)	1.80		
6.	Bulbo (Forma / Tipo)	Tubular / Claro		
7.	Posición operación	Universal		
8.	Base o casquillo	E-40 ó MOGUL		
9.	Tensión de ensayo para estabilización "calentamiento" (V)	198		
10.	Tiempo máximo requerido para alcanzar 50 V mínimo en los terminales de la bombilla (minutos)	7		
11.	Correlación de la temperatura del color (K)	2 100		
12.	Coordenadas de la cromaticidad x / y	0,519 / 0,4180		
13.	Índice del rendimiento del color	21 – Clase 4		
14.	Eficacia mínima (Lm/W)	110		
15.	Luminancia promedio (cd/cm ²)	≥ 300		
16.	Flujo luminoso 100 horas (Lm)	≥ 16 500		
17.	Vida promedio (horas)	24 000		

Fuente: Manual único de alumbrado público - UESP

Tabla 22. Características de la bombilla de 250 W de vapor de sodio de alta presión

Bombilla de Vapor de Sodio de Alta Presión : 250 W

Características: Sodio Alta Presión 250 W				
1.	Potencia nominal (W)	250		
2.	Tensión en los terminales de la bombilla (V) (r.m.s)	Objetivo	Máximo	Mínimo
		100	115	85
3.	Tensión de extinción de la Bombilla (V) (r.m.s)	Objetivo	Máximo	Mínimo
		120		
4.	Incremento de tensión máximo en los terminales de la bombilla (V)	10		
5.	Corriente de la Bombilla (A) (r.m.s)	2.95		
6.	Bulbo (Forma / Tipo)	Tubular / Claro		
7.	Posición operación	Universal		
8.	Base o casquillo	E-40 ó MOGUL		
9.	Tensión de ensayo para estabilización "calentamiento" (V)	198		
10.	Tiempo máximo requerido para alcanzar 50 V mínimo en los terminales de la bombilla (minutos)	7		
11.	Correlación de la temperatura del color (°K)	2 100		
12.	Coordenadas de la cromaticidad x / y	0,519 / 0,4180		
13.	Índice del rendimiento del color	21 – Clase 4		
14.	Eficacia mínima (Lm/W)	128		
15.	Luminancia promedio (cd/cm ²)	≥ 350		
16.	Flujo luminoso 100 horas (Lm)	≥ 32 000		
17.	Vida promedio (horas)	24 000		

Fuente: Manual único de alumbrado público - UESP

ANEXO F: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ARRANCADORES PARA BOMBILLAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

Tabla 23. Características para arrancadores de la bombillas de vapor de sodio de alta presión

Arrancadores para bombillas de Sodio de 70, 100, 150, 250, 400 y 1000 W

Bombillas de sodio alta presión	Pulso [kV]		Ancho del pulso medido a . . .		Tasa de repetición del pulso
	Mínimo	Máximo	$\geq [\mu s]$	[V]	
70 W	1.8	2.5	2	1.620	2 por ciclo
150 W	2.8 / 2.5	5.0 / 4.0	1	2.520 / 2.250	1 por ciclo
250 W	2.8 / 2.5	5.0 / 4.0	1	2.520 / 2.250	1 por ciclo
400 W	2.8 / 2.5	5.0 / 4.0	1	2.520 / 2.250	1 por ciclo
1000 W	3.0	5.0	4	2.700	1 por ciclo

Características del Pulso	Práctica Americana	Práctica Europea
Altura (V)	2225 \pm 25 5.000	2775 \pm 25 4.500
Forma de Onda	Cuadrada	Sinusoidal
Dirección	Un pulso negativo durante el medio ciclo negativo de la onda de tensión rms	Un pulso positivo durante el medio ciclo positivo de la onda de tensión rms
Posición	Entre 80 y 100 grados eléctricos de la tensión de alimentación rms	Entre 80 y 90 grados eléctricos de la tensión de alimentación rms
Tiempo de elevación $T_{m\acute{a}x}$	0.100 μs	0.100 μs
Duración,	0.95 \pm 0.05 μs	
Tasa de repetición	Uno por ciclo	

Fuente: Manual único de alumbrado público - UESP

- El valor pico del pulso medido desde el valor cero de la tensión eficaz de alimentación.
- El ancho del pulso debe ser mínimo el establecido, medido a la tensión anteriormente indicada.
- La tasa de repetición del pulso, debe ser al menos igual a la establecida anteriormente para cada bombilla.
- La posición del pulso para bombillas de 70 W a 400 W, debe estar de acuerdo con el circuito del balasto.

ANEXO G: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS BALASTOS PARA BOMBILLAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

Tabla 24. Características de los balastos para bombillas de vapor de sodio de alta presión

Descripción		70 W	150W	250 W	400 W	1000 W	
Tensión de conexión	Reactor	V	208 220 240	208 220 240	208 220	208 220	
	Potencia en la bombilla a tensión objetivo en la misma	W	95 a 105% de lo medido con el balasto y la bombilla de referencia a tensión objetivo				
	Tensión bombilla: IEC Objetivo	V	90		100	100	
	Máxima	V	105		115	117	
	Mínima	V	75		85	74	
Tensión bombilla: ANSI Objetivo		V		100	100	100	250
	Máxima	V		115	115	115	275
	Mínima	V		85	85	84	210
Corriente máxima de corto circuito (entre 92% y 106% de la tensión nominal de conexión)		A	1,96	3,24	5,4	8,28	8,46
Tensión mínima de circuito abierto (92% de tensión nominal de conexión)		V	198	198	198	198	456
Voltaje pico de arranque							
	- Mínimo	V	1800	2500	2500	2500	3000
	- Máximo	V	2500	5000	5000	5000	5000
Variación máxima de la potencia de la bombilla para variaciones de la tensión nominal de línea de $\pm 5\%$			Cumplir con el trapecioide, de acuerdo con los requerimientos establecidos en las normas NTC 2243 (IEC 662)				

Fuente: Manual único de alumbrado público - UESP



МІНІСТАРСТВА АСВЕТА
НАУКІ І СПОРТА РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ



ПРАКТЫКА НАСТАВНІЦКА-МЕТАДЫЧЭСКАГА ПЕДАГОГІКА

НАСТАВНІЦКА-МЕТАДЫЧЭСКАЯ ПРАКТЫКА НАСТАВНІЦА

КЛАС/ГРУПА:		НАСТАВНІЦКА-МЕТАДЫЧЭСКАЯ ПРАКТЫКА:										НАСТАВНІЦКА-МЕТАДЫЧЭСКАЯ ПРАКТЫКА:								ІНШЫЕ:	
ІНСТРУКЦІЯ:		ІНСТРУКЦІЯ:		ІНСТРУКЦІЯ:		ІНСТРУКЦІЯ:		ІНСТРУКЦІЯ:		ІНСТРУКЦІЯ:		ІНСТРУКЦІЯ:		ІНСТРУКЦІЯ:		ІНСТРУКЦІЯ:		ІНСТРУКЦІЯ:		ІНШЫЕ:	
№	К	ІНСТРУКЦІЯ				НАСТАВНІЦКА-МЕТАДЫЧЭСКАЯ ПРАКТЫКА				НАСТАВНІЦКА-МЕТАДЫЧЭСКАЯ ПРАКТЫКА								ІНШЫЕ			
		КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА	КА		КА	КА	КА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
31																					
32																					
33																					
34																					
35																					
36																					

Página 1



CERECOL S.A.
RIT. 000.000.102-6



PROYECTO + MODERNIZACIÓN ALBERGADO PÚBLICO

CONTROL DE REINTEGROS

INGRESOS-	EGRESOS-	RESERVIAS-	INGRS.	PERIOD. ____ DE ____
-----------	----------	------------	--------	----------------------

N°	DESCRIPCIÓN	INGRESOS			RESERVIAS			EGRESOS			REINTEGROS			TOTAL
		INGRS	RESER	EGRES	RESER	RESER	RESER	INGRS	RESER	RESER	RESER	RESER	RESER	
		COP	COP	COP	COP	COP	COP	COP	COP	COP	COP	COP	COP	
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
TOTAL (CONTINUO)														

Página 1

.....			



CENECOL S.A.
NIT. 939.000.102-5



**PROYECTO HABILITACION ALBERGADO PUBLICO
RESUMEN LABORES EJECUTADAS EN TERRENO**

INDICACION:	FECHA:
EXPLICACION:	PAJES: _____ DE _____

N°	C. D.	CANTOS EJECUTADOS [M3 / M2]			CONCRETO EJECUTADO [M3]			HAYAS EJECUTADAS [M2]			HAYAS CORTADAS [M2]		DESCRIPCION
		70	100	200	70	100	200	120	200	100	1000	1000	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													

Página 1



CRVENKI B.B.
BIB. 020.000.102-6



PROJEKAT ODRŽIVOSTI VEŠTAČENJE
KONTROLA VEŠTAČENJE

IMENJE ODRŽIVOSTI VEŠTAČENJE:

IMENJE ODRŽIVOSTI VEŠTAČENJE:

IMENJE:

S R E B R O	IMENJE					TIPO ODRŽIVOSTI	TIPO VEŠTAČENJE	TIPO VEŠTAČENJE	REZULTAT	REMARKS
	IMENJE	IMENJE	IMENJE	IMENJE	IMENJE					
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60										
61										
62										
63										
64										
65										
66										
67										
68										
69										
70										
71										
72										
73										
74										
75										
76										
77										
78										
79										
80										
81										
82										
83										
84										
85										
86										
87										
88										
89										
90										
91										
92										
93										
94										
95										
96										
97										
98										
99										
100										

Página 1

REMARKS

IMENJE	IMENJE	IMENJE

**ANEXO I: MATRIZ DE INTENSIDADES LUMINARIA ROYALPHA
REFERENCIA AMAZONAS 70 W, EN FORMATO IES**

AMAZONAS I 297

AMAZONAS I 70W Na

NORMA IESNA: LM-31-1995

LABORATORIO: ROY ALPHA S.A.

FABRICANTE: ROY ALPHA S.A.

REFERENCIA: AMAZONAS I

No. PRUEBA: 297

FECHA: 30/11/04

HORA:7:49 PM

DESCRIPCION LUMINARIA: Alumbrado Publico

DESCRIPCION BOMBILLA UTILIZADA: PHILIPS PIA PLUS MASTER SON-T TUBULAR
CLARA

IDENTIFICADA CON NUMERO 4. 88.39V/0.9758A/71.80W.FACTOR POTENCIA 0.832P.U

DESCRIPCION DEL CONJUNTO OPTICO: MUESTRA IDENTIFICADA CON NUMERO 2 POR
CODENSA

S.A E.S.P.LUMINARIA USADA EN MEDICIONES DE VIA TIPO EL DIA
29/11/2004.VIDRIO PLANO.

TILT=NONE

1 6656 1.000 25 52 1 2 .17 .245 .084

1 1 70

0 10 20 30 35 40 45 50 55

60 62 64 66 68 70 72 74 76

78 80 82 84 86 88 90

0 15 30 40 45 50 55 60 65

70 75 80 85 90 95 100 105 110

115 120 125 130 135 140 150 165 180

195 210 220 225 230 235 240 245 250

255 260 265 270 275 280 285 290 295

300 305 310 315 320 330 345

1092.5 2050.0 2560.0 2290.0 1980.0 1720.0 1460.0 1181.0 985.0

866.0 841.0 808.0 780.0 747.0 702.0 669.0 628.0 597.0

573.0 538.0 503.0 465.0 428.0 389.0 360.0

1096.5 2010.0 2560.0 2320.0 1980.0 1610.0 1290.0 960.0 808.0

622.0 595.0 521.0 494.0 445.0 417.0 397.0 370.0 376.0

353.0 367.0 344.0 360.0 327.0 345.0 325.0
1093.5 1830.0 2300.0 2120.0 1840.0 1530.0 1260.0 1091.0 972.0
904.0 874.0 834.0 777.0 744.0 705.0 695.0 662.0 639.0
603.0 571.0 549.0 530.0 503.0 486.0 456.0
1093.5 1680.0 1990.0 1960.0 1920.0 1800.0 1600.0 1420.0 1250.0
1071.0 977.0 909.0 877.0 851.0 804.0 759.0 683.0 655.0
635.0 619.0 598.0 575.0 546.0 523.0 490.0
1094.0 1580.0 1810.0 1930.0 1950.0 1900.0 1720.0 1550.0 1410.0
1162.0 1102.0 1041.0 988.0 927.0 823.0 757.0 710.0 683.0 660.0
642.0 617.0 591.0 563.0 529.0 497.0
1092.0 1480.0 1650.0 1900.0 1960.0 1950.0 1860.0 1760.0 1580.0
1380.0 1320.0 1240.0 1141.0 1017.0 920.0 856.0 783.0 739.0
698.0 665.0 632.0 599.0 567.0 525.0 491.0
1091.5 1370.0 1500.0 1840.0 1910.0 1970.0 1990.0 1970.0 1820.0
1700.0 1640.0 1510.0 1390.0 1300.0 1170.0 1068.0 959.0 865.0
784.0 720.0 657.0 610.0 562.0 511.0 470.0
1092.5 1270.0 1380.0 1760.0 1850.0 1970.0 2110.0 2150.0 2160.0
2100.0 2020.0 1950.0 1860.0 1750.0 1590.0 1440.0 1280.0 1118.0
968.0 825.0 715.0 622.0 554.0 484.0 340.0
1094.0 1174.0 1260.0 1640.0 1760.0 1950.0 2180.0 2310.0 2530.0
2510.0 2500.0 2440.0 2350.0 2210.0 1980.0 1780.0 1530.0 1300.0
1090.0 896.0 746.0 615.0 481.0 135.0 45.9
1091.5 1087.0 1161.0 1520.0 1650.0 1870.0 2130.0 2500.0 2780.0
2840.0 2840.0 2730.0 2580.0 2360.0 2070.0 1800.0 1490.0 1240.0
1035.0 832.0 660.0 304.0 94.5 52.2 35.7
1091.5 1008.0 1071.0 1380.0 1500.0 1720.0 2010.0 2530.0 2870.0
2900.0 2830.0 2610.0 2390.0 2090.0 1810.0 1530.0 1270.0 1063.0
879.0 587.0 210.0 109.1 70.1 43.2 26.8
1091.0 927.0 995.0 1240.0 1360.0 1480.0 1840.0 2320.0 2690.0
2530.0 2400.0 2100.0 1870.0 1580.0 1390.0 1174.0 1010.0 818.0
392.0 193.0 125.0 76.2 46.6 27.7 18.5
1090.0 866.0 935.0 1129.0 1196.0 1230.0 1600.0 2000.0 2240.0
1910.0 1730.0 1470.0 1300.0 1169.0 1031.0 890.0 659.0 280.0
165.0 111.3 73.3 43.3 26.2 16.7 13.8
1093.5 817.0 886.0 1028.0 975.0 1040.0 1270.0 1560.0 1660.0
1290.0 1157.0 1015.0 940.0 853.0 758.0 431.0 196.0 129.0
87.4 52.5 34.2 20.8 14.6 10.9 7.5
1094.5 776.0 840.0 932.0 831.0 888.0 962.0 1097.0 1092.0

846.0 807.0 727.0 695.0 568.0 241.0 121.2 84.6 54.4
37.5 23.9 16.1 12.8 8.1 7.4 7.2
1089.0 742.0 796.0 799.0 747.0 776.0 792.0 803.0 744.0
631.0 600.0 540.0 394.0 111.8 71.8 51.8 35.6 22.7
17.2 13.4 10.0 7.2 7.3 7.5 7.5
1094.0 714.0 749.0 701.0 691.0 695.0 689.0 657.0 590.0
504.0 456.0 243.0 63.7 45.0 33.5 22.9 17.0 13.3
11.3 7.2 7.3 7.2 7.5 7.8 8.0
1096.0 689.0 698.0 647.0 643.0 641.0 618.0 570.0 500.0
396.0 191.0 47.7 35.6 25.1 18.1 14.3 12.2 9.4
6.9 7.2 7.5 7.5 7.8 8.0 8.3
1098.0 670.0 642.0 606.0 597.0 589.0 555.0 499.0 427.0
159.0 39.8 30.8 22.0 16.2 13.1 11.3 7.7 7.1
7.3 7.2 7.7 7.8 8.0 8.3 8.5
1097.5 656.0 582.0 566.0 556.0 535.0 490.0 426.0 356.0
35.5 26.6 19.6 14.9 12.3 10.0 6.9 6.8 6.9
7.0 7.2 7.5 7.7 7.9 8.1 8.3
1099.0 645.0 520.0 532.0 513.0 489.0 438.0 368.0 249.0
25.1 18.8 14.1 12.0 9.7 7.1 7.2 7.0 7.2
7.3 7.5 7.8 8.1 8.1 8.3 8.6
1099.5 634.0 462.0 499.0 474.0 439.0 374.0 304.0 100.9
19.1 15.0 12.7 10.2 8.5 8.5 8.3 8.2 8.5
8.6 8.7 9.1 9.3 9.3 9.4 9.6
1099.5 627.0 408.0 464.0 434.0 390.0 321.0 244.0 31.9
15.9 13.7 11.4 9.7 9.4 9.4 9.4 9.4 9.5
9.7 9.8 10.1 10.2 10.2 10.4 10.5
1102.0 622.0 363.0 431.0 398.0 346.0 269.0 188.0 23.5
14.8 12.8 10.6 10.5 10.6 10.4 10.5 10.4 10.7
10.7 10.9 11.1 11.2 11.3 11.4 11.4
1100.5 618.0 327.0 350.0 340.0 264.0 182.0 80.2 19.1
13.5 12.5 13.1 12.5 13.2 12.4 13.1 12.4 13.3
12.6 13.3 13.2 13.7 13.2 14.0 13.3
1101.0 626.0 403.0 254.0 225.0 197.0 126.0 28.8 18.2
14.8 14.5 14.5 14.4 14.6 14.3 14.8 14.1 14.4
14.4 14.3 14.9 14.8 14.9 15.0 15.0
1092.5 632.0 473.0 345.0 262.0 188.0 90.3 29.1 17.4
14.4 14.1 13.9 14.1 14.0 14.1 13.7 13.7 13.5
14.2 13.9 14.2 14.0 14.1 13.9 14.1

1096.5 653.0 498.0 385.0 317.0 251.0 161.0 39.3 18.5
14.6 14.1 14.1 14.0 14.1 13.7 13.8 13.4 13.7
13.7 13.7 14.0 13.9 13.9 14.1 13.8
1093.5 674.0 530.0 430.0 386.0 309.0 216.0 110.6 22.7
17.4 14.6 14.5 14.4 14.3 14.1 14.0 13.8 14.0
14.1 14.0 14.3 14.6 14.3 14.6 14.3
1093.5 699.0 562.0 475.0 435.0 378.0 303.0 221.0 35.1
22.3 19.6 15.4 15.1 14.8 14.5 14.4 14.3 14.3
14.5 14.4 14.6 14.5 14.8 14.8 14.8
1094.0 722.0 581.0 502.0 466.0 419.0 347.0 274.0 80.4
25.6 22.3 19.5 15.6 15.3 14.8 14.6 14.4 14.4
14.5 14.6 14.8 15.0 15.0 15.0 15.0
1092.0 744.0 604.0 536.0 506.0 464.0 397.0 335.0 207.0
32.3 25.8 22.7 20.0 15.9 15.2 14.9 14.5 14.5
14.6 14.5 14.8 15.0 15.1 15.1 15.1
1091.5 772.0 631.0 575.0 547.0 514.0 461.0 394.0 310.0
41.6 32.8 26.4 23.3 21.1 15.8 15.2 14.6 14.5
14.4 14.4 14.7 14.8 15.1 15.2 15.1
1092.5 806.0 668.0 612.0 588.0 566.0 517.0 458.0 380.0
113.3 41.7 33.8 27.1 24.1 21.8 16.7 15.1 14.8
14.6 14.3 14.5 14.7 14.8 15.1 15.1
1094.0 845.0 719.0 653.0 633.0 617.0 580.0 529.0 446.0
344.0 129.0 44.1 35.7 29.4 25.0 23.2 18.1 15.3
15.0 14.5 14.6 14.6 14.9 15.0 15.1
1091.5 888.0 781.0 691.0 684.0 673.0 655.0 610.0 527.0
441.0 389.0 165.0 50.9 40.4 32.5 26.6 23.8 20.6
15.4 14.8 14.8 14.5 14.6 14.8 14.9
1091.5 933.0 845.0 737.0 740.0 761.0 775.0 760.0 639.0
552.0 500.0 449.0 274.0 76.2 51.6 40.0 30.6 25.9
23.9 17.5 14.7 14.5 14.5 14.4 14.4
1091.0 979.0 907.0 789.0 814.0 883.0 985.0 1069.0 903.0
713.0 665.0 611.0 558.0 443.0 126.0 76.2 54.5 41.2
29.8 25.1 20.6 14.8 14.5 14.1 14.1
1090.0 1031.0 970.0 844.0 912.0 1091.0 1290.0 1490.0 1400.0
1005.0 905.0 839.0 760.0 690.0 572.0 274.0 113.5 80.7
55.8 37.8 27.7 25.3 18.2 14.1 13.8
1093.5 1090.0 1048.0 942.0 1034.0 1300.0 1650.0 1900.0 1950.0
1470.0 1230.0 1113.0 1009.0 915.0 801.0 678.0 460.0 171.0

106.9 74.8 50.1 34.5 26.2 22.6 14.3
1094.5 1158.0 1149.0 1116.0 1177.0 1530.0 1970.0 2210.0 2370.0
2050.0 1750.0 1480.0 1290.0 1170.0 1044.0 908.0 768.0 628.0
285.0 134.0 87.6 61.2 38.8 27.9 24.3
1089.0 1240.0 1280.0 1260.0 1330.0 1750.0 2240.0 2490.0 2580.0
2580.0 2350.0 2070.0 1780.0 1560.0 1350.0 1198.0 1025.0 888.0
712.0 503.0 170.0 94.8 63.4 43.2 28.3
1094.0 1300.0 1450.0 1410.0 1510.0 1840.0 2390.0 2700.0 2650.0
2760.0 2710.0 2560.0 2330.0 2090.0 1810.0 1580.0 1360.0 1169.0
950.0 760.0 572.0 284.0 90.6 57.4 39.8
1096.0 1390.0 1660.0 1550.0 1620.0 1880.0 2410.0 2770.0 2750.0
2690.0 2680.0 2630.0 2570.0 2410.0 2180.0 1930.0 1650.0 1420.0
1159.0 924.0 713.0 583.0 452.0 120.4 48.7
1098.0 1480.0 1880.0 1710.0 1710.0 1870.0 2240.0 2630.0 2690.0
2540.0 2470.0 2400.0 2360.0 2270.0 2170.0 1980.0 1770.0 1560.0
1310.0 1063.0 841.0 666.0 555.0 467.0 294.0
1097.5 1570.0 2080.0 1910.0 1820.0 1840.0 2010.0 2280.0 2430.0
2340.0 2240.0 2110.0 2020.0 1900.0 1810.0 1660.0 1530.0 1380.0
1230.0 1029.0 848.0 692.0 589.0 509.0 454.0
1099.0 1660.0 2260.0 2120.0 1970.0 1830.0 1850.0 1920.0 2040.0
1980.0 1910.0 1780.0 1660.0 1520.0 1410.0 1260.0 1152.0 1029.0
927.0 824.0 720.0 640.0 586.0 527.0 477.0
1099.5 1730.0 2410.0 2300.0 2140.0 1890.0 1730.0 1690.0 1640.0
1560.0 1500.0 1390.0 1310.0 1199.0 1081.0 973.0 895.0 820.0
759.0 691.0 648.0 614.0 582.0 537.0 502.0
1099.5 1780.0 2540.0 2490.0 2270.0 1940.0 1710.0 1550.0 1390.0
1250.0 1198.0 1109.0 1045.0 965.0 900.0 819.0 760.0 723.0
692.0 648.0 621.0 602.0 577.0 540.0 506.0
1102.0 1830.0 2620.0 2610.0 2340.0 1980.0 1690.0 1480.0 1300.0
1081.0 1025.0 955.0 903.0 845.0 803.0 754.0 715.0 680.0
656.0 629.0 603.0 586.0 566.0 529.0 497.0
1100.5 1940.0 2660.0 2620.0 2290.0 1910.0 1630.0 1390.0 1184.0
989.0 912.0 845.0 812.0 773.0 746.0 713.0 687.0 662.0
633.0 601.0 580.0 556.0 537.0 504.0 478.0
1101.0 2020.0 2580.0 2350.0 2050.0 1740.0 1500.0 1260.0 1048.0
912.0 874.0 834.0 809.0 776.0 749.0 708.0 676.0 646.0
615.0 579.0 554.0 525.0 492.0 450.0 415.0

ANEXO J: RESULTADOS SIMULACIÓN REALIZADA CON EL SOFTWARE CALCULUX VIARIO v2.0

Resumen de las configuraciones empleadas en la simulación.

Ancho de Vía = 6 [m]

Interdistancia = 22 [m]

- Esquema 1: Altura de Montaje = 6 [m]
- Esquema 2: Altura de Montaje = 7 [m]
- Esquema 3: Altura de Montaje = 8 [m]
- Esquema 4: Altura de Montaje = 8.5 [m]
- Esquema 5: Altura de Montaje = 9 [m] (*)
- Esquema 6: Altura de Montaje = 9.5 [m]

Ancho de Vía = 6 [m]

Interdistancia = 24 [m]

- Esquema 7: Altura de Montaje = 6 [m]
- Esquema 8: Altura de Montaje = 7 [m]
- Esquema 9: Altura de Montaje = 8 [m]
- Esquema 10: Altura de Montaje = 8.5 [m]
- Esquema 11: Altura de Montaje = 9 [m]
- Esquema 12: Altura de Montaje = 9.5 [m] (*)

Ancho de Vía = 6 [m]

Interdistancia = 26 [m]

- Esquema 13: Altura de Montaje = 6 [m]
- Esquema 14: Altura de Montaje = 7 [m]

- Esquema 15: Altura de Montaje = 8 [m]
- Esquema 16: Altura de Montaje = 8.5 [m]
- Esquema 17: Altura de Montaje = 9 [m]
- Esquema 18: Altura de Montaje = 9.5 [m] (*)

Ancho de Vía = 9 [m]

Interdistancia = 22 [m]

- Esquema 19: Altura de Montaje = 6 [m]
- Esquema 20: Altura de Montaje = 7 [m]
- Esquema 21: Altura de Montaje = 8 [m]
- Esquema 22: Altura de Montaje = 8.5 [m]
- Esquema 23: Altura de Montaje = 9 [m]
- Esquema 24: Altura de Montaje = 9.5 [m] (*)

Ancho de Vía = 9 [m]

Interdistancia = 24 [m]

- Esquema 25: Altura de Montaje = 6 [m]
- Esquema 26: Altura de Montaje = 7 [m]
- Esquema 27: Altura de Montaje = 8 [m]
- Esquema 28: Altura de Montaje = 8.5 [m]
- Esquema 29: Altura de Montaje = 9 [m]
- Esquema 30: Altura de Montaje = 9.5 [m] (*)

Ancho de Vía = 9 [m]

Interdistancia = 26 [m]

- Esquema 31: Altura de Montaje = 6 [m]
- Esquema 32: Altura de Montaje = 7 [m]

- Esquema 33: Altura de Montaje = 8 [m]
- Esquema 34: Altura de Montaje = 8.5 [m]
- Esquema 35: Altura de Montaje = 9 [m]
- Esquema 36: Altura de Montaje = 9.5 [m] (*)

Ancho de Vía = 6 [m]

Interdistancia = 28 [m]

- Esquema 37: Altura de Montaje = 8.5 [m]
- Esquema 38: Altura de Montaje = 9 [m] (*)

Ancho de Vía = 6 [m]

Interdistancia = 30 [m]

- Esquema 39: Altura de Montaje = 8.5 [m]
- Esquema 40: Altura de Montaje = 9 [m] (*)

Ancho de Vía = 9 [m]

Interdistancia = 28 [m]

- Esquema 41: Altura de Montaje = 9.5 [m]
- Esquema 42: Altura de Montaje = 10 [m] (*)

Ancho de Vía = 9 [m]

Interdistancia = 30 [m]

- Esquema 43: Altura de Montaje = 9.5 [m]
- Esquema 44: Altura de Montaje = 10 [m] (*)