

**ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA**

**"Elaboración de un Programa de Computación  
para Diseños de Alumbrado Público"**

# **TESIS DE GRADO**

**Previa a la Obtención del Título de:  
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**Especialización: POTENCIA**

*PRESENTADA POR:*

**Italo Tomalá Rugel**

***Guayaquil - Ecuador***

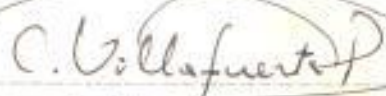
***1.988***

DEDICATORIA

A MIS PADRES.

## AGRADECIMIENTO

Al ING. ALBERTO HANZE B.  
Director de Tesis, por su  
ayuda y colaboración para  
la realización de este  
trabajo.



Ing. Carlos Villafuerte P.  
SUBDECANO DE LA FACULTAD  
DE INGENIERIA ELECTRICA



Ing. Alberto Hanze B.  
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jorge Chiliboga V.  
MIEMBRO PRINCIPAL



Ing. Armando Altamirano Ch.  
MIEMBRO PRINCIPAL

## DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL).



---

ITALO TOMALA RUGEL

## RESUMEN

El alumbrado público tiene como finalidad producir una fácil, adecuada y confortable visibilidad durante la noche, dándole seguridad al tráfico y con la ejecución del mismo se pretende reducir el número de accidentes de tránsito, aumentar la capacidad de tráfico, disminuir el riesgo de accidentes de peatones y ciclistas, disminuir el índice de delincuencia, etc.

Conforme a lo definido anteriormente el presente trabajo se inicia realizando un análisis de los diferentes factores que intervienen en el diseño de alumbrado público.

Fijados los factores que intervienen en el estudio a continuación se desarrollan dos métodos de cálculo de iluminación de vías públicas.

Establecida la metodología de diseño se procede a la elaboración de dos programas de computador, uno por cada método de cálculo, escritos en lenguaje FORTRAN IV, los cuales nos permitirán obtener en un mínimo tiempo las diferentes alternativas de solución a un proyecto de alumbrado público en particular.

Se presenta un modelo para el análisis de costos de las distintas soluciones que satisfacen las exigencias

visuales de un determinado alumbrado, lo cual permitirá elegir aquella que resulte mas ventajosa respecto a las posibilidades económicas disponibles.

Finalmente, se aplican las metodologías establecidas a un proyecto de alumbrado público en particular, y se presentan algunas conclusiones y recomendaciones.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	vi
INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS.....	xiii
INTRODUCCION.....	15
CAPITULO I	
CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LA ILUMINACION DE VIAS PUBLICAS	
1.1. Características de la vía a iluminar.....	17
1.2. Nivel de iluminación promedio.....	18
1.3. Relación de uniformidad.....	19
1.4. Altura de montaje y separación.....	19
1.5. Localización transversal de la luminaria...	21
1.6. Lámpara a ser considerada.....	22
1.7. Disposición de las luminarias.....	24
CAPITULO II	
METODOS DE CALCULO PARA LA ILUMINACION DE VIAS PUBLICAS	
2.1. Cálculo de la iluminación empleando las cur-	



vas del factor de utilización.....	29
2.2. Cálculo de la iluminación empleando el procedimiento punto por punto.....	45

### CAPITULO III

#### ELABORACION DE LOS PROGRAMAS DE COMPUTACION PARA REALIZAR EL CALCULO DE LA ILUMINACION DE VIAS PUBLICAS

3.1. Generalidades.....	63
3.2. Programa para el cálculo de la iluminación empleando las curvas del factor de utilización.....	64
3.2.1. Propósito.....	64
3.2.2. Entrada de datos.....	65
3.2.3. Descripción del programa.....	66
3.2.4. Salida de resultados.....	72
3.3. Programa para el cálculo de la iluminación empleando el procedimiento punto por punto.....	74
3.3.1. Propósito.....	74
3.3.2. Entrada de datos.....	74
3.3.3. Descripción del programa.....	75
3.3.4. Salida de resultados.....	83

### CAPITULO IV

#### ANALISIS ECONOMICO

4.1. Generalidades.....	85
-------------------------	----

4.2. Factores que han de considerarse.....	86
4.3. Modelo de comparación económico.....	91

## CAPITULO V

### APLICACION DE LOS PROGRAMAS A LA ILUMINACION DE UNA VIA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

5.1. Descripción de la vía.....	96
5.2. Datos de entrada al programa.....	97
5.3. Resultados del programa.....	102
5.4. Evaluación económica.....	102
5.5. Análisis de los resultados.....	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
ANEXOS.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	317

## INTRODUCCION

El computador se lo utilizó por primera vez en la ingeniería del alumbrado hace unos 30 años, principalmente en institutos de investigación para el análisis de datos fotométricos. Los rápidos y grandes avances conseguidos desde ese entonces en el área de la computación han hecho del computador una herramienta indispensable en el proyecto de las modernas instalaciones de alumbrado.

Inicialmente el computador se lo utilizó en la producción de documentación de las luminarias, con las cuales se hacían y aún en la actualidad se hacen a mano los cálculos de iluminancia puntual sobre la superficie de una vía.

En la actualidad el computador se utiliza, además de la producción de documentación sobre las luminarias, en la ejecución de los cálculos de los proyectos de alumbrado.

El objetivo principal de este trabajo es el de elaborar dos programas de computador, los cuales tienen como finalidad permitir determinar en un mínimo tiempo las diferentes alternativas de solución a un proyecto de alumbrado público dado.

## CAPITULO I

### CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LA ILUMINACION DE VIAS PUBLICAS

Proveer de iluminación nocturna a una vía es un medio constructivo que favorece la circulación del tránsito vehicular y peatonal, por la misma, haciéndola más cómoda y segura.

De manera general, una buena iluminación favorece el uso nocturno de vías y carreteras, especialmente las de mayor importancia, permitiendo alcanzar mayores velocidades durante la noche, proporcionando al conductor mejores condiciones de visibilidad y una facilidad de percepción tal, de modo que pueda localizar en poco tiempo y con certeza cualquier detalle al igual que los posibles obstáculos, así como también la dirección de la vía, disminuyendo, por lo tanto, los peligros de accidentes.

En cuanto a los requerimientos del peatón que por su reducida velocidad de circulación, son requerimientos menos exigentes pero no menos importantes, ya que es necesario que el peatón pueda distinguir los obstáculos, vehículos y los bordes de las aceras y los pasos peatonales.

Aparte de su efecto sobre el tránsito, la iluminación de las vías contribuye al orden y seguridad públicos, previniendo delitos nocturnos y vandalismo en las zonas junto a las vías; y finalmente, contribuye al progreso de las zonas comerciales, industriales, de diversión y de turismo, favoreciendo los negocios.

### 1.1. CARACTERISTICAS DE LA VIA A ILUMINAR

Para la efectiva determinación del nivel de iluminación deseado, el correcto espaciamiento y ubicación de luminarias, características de distribución de la misma, potencia de la lámpara a ser empleada, etc, se requiere previamente los siguientes datos:

- Plano a escala del sector o calle, indicando en éste sus dimensiones, longitud y ancho de la vía; y demás características geométricas de la vía.
- Densidad de tráfico vehicular y de tráfico de peatones por hora durante la noche en las horas de mayor congestión.
- Clasificación de la vía de acuerdo a los siguientes criterios: Velocidad vehicular, densidad de tráfico vehicular y peatonal.
- Características de reflexión del pavimento.
- Puntos especiales que se puedan encontrar sobre la vía, tales como: arborización, posible

interferencia con otros servicios públicos, espacio, estética, etc.

## 1.2. NIVEL DE ILUMINACIÓN PROMEDIO

Los requerimientos para un alumbrado público generalmente consisten de una iluminación promedio mínima mantenida y de una relación de uniformidad adecuada para la instalación.

Los niveles de iluminación y de uniformidad tomados de recomendaciones internacionales se muestran en las Tablas X, IX, XII y XIII del anexo A. Los niveles de iluminación contenidos en dichas tablas se han establecido basándose en la clasificación de la vía, densidad y velocidad de tráfico, así como del tipo de calzada.

Al usarse las tablas indicadas anteriormente se debe tener en cuenta que, los niveles de iluminación recomendados son los promedios para las calzadas de las vías. Además, los valores calculados para la calzada de la vía deben ser iguales o superiores a los recomendados, después de que se les ha aplicado coeficientes apropiados, los cuales tienen en cuenta la pérdida de flujo luminoso por el envejecimiento normal de la lámpara y por la acumulación de suciedad en las luminarias.

### 1.3. RELACION DE UNIFORMIDAD

Para complementar el nivel de iluminación promedio, se utiliza el concepto de uniformidad. La uniformidad representa la medida de las variaciones de la iluminancia en un plano dado, en este caso sobre la vía, y puede ser expresado como:

La relación entre el valor mínimo y el valor medio de iluminación, sobre la superficie entre dos luminarias adyacentes, es conocida como uniformidad media:

$$RU_{media} = \frac{E_{mínima}}{E_{media}}$$

La relación entre el valor mínimo y el valor máximo de iluminación, sobre la superficie entre dos luminarias adyacentes, es conocida como la uniformidad extrema:

$$RU_{extremo} = \frac{E_{mínima}}{E_{máxima}}$$

### 1.4. ALTURA DE MONTAJE Y SEPARACION

La altura de montaje de las luminarias se define como la altura del centro geométrico de la luminaria por encima del nivel de la calzada (ver

figura 1.1).

La altura de los puntos de luz en una instalación de alumbrado público ejercen una gran influencia sobre la calidad de la iluminación y sobre sus costos.

Cuando se diseña un sistema de alumbrado, la altura de montaje debe ser considerada en conjunto con la separación y la posición transversal de las luminarias, así como de su potencia luminosa. Las alturas de montaje recomendadas en función de la separación entre luminarias respecto al nivel de iluminación que se desea conseguir vienen dadas en la Tabla XIV del anexo A, o puede usarse la Tabla XV del mismo anexo en la cual la altura de montaje está dada como función del flujo luminoso emitido por la fuente, teniendo en cuenta que a mayor altura corresponde menor deslumbramiento.

La separación entre luminarias es la distancia comprendida entre dos luminarias sucesivas medidas según el eje de la vía. Esta separación es a menudo influenciada por la ubicación de los postes utilizados, altura de montaje, longitud del brazo porta-luminaria, y la geometría de la vía.

Es generalmente una práctica más económica usar lámparas de mayor potencia a una mayor separación



y altura de montaje, que el usar lámparas de menor potencia a intervalos más cortos con una menor altura de montaje.

Tanto para la altura de montaje y separación seleccionadas, la uniformidad y los niveles de iluminancia deben ser mantenidos dentro de los índices establecidos.

#### 1.5. LOCALIZACIÓN TRANSVERSAL DE LA LUMINARIA

La localización transversal de la luminaria, se refiere a la posición de avance de la luminaria, ya sea sobre la calzada o sobre la acera, tomando como eje de referencia el bordillo. Esta localización depende de la ubicación del poste sobre la acera y de la longitud del brazo portalumina (ver figura 1.1).

\*Usualmente, un avance de la luminaria, sobre la calzada, que exceda 0.25 veces la altura de montaje no contribuye a la visibilidad y a menudo incrementa el sistema de deslumbramiento y costos.

La localización óptima es determinada mejor por referencia a los datos fotométricos que muestran la distribución y utilización luminosa. Otros factores que deben ser considerados son:

- Acceso a la luminaria para servicio.

- Probable colisión vehículo-poste.
- Aspectos del sistema de deslumbramiento.
- Visibilidad de signos y de señales de tráfico.
- Apariencia estética.
- Arborización.

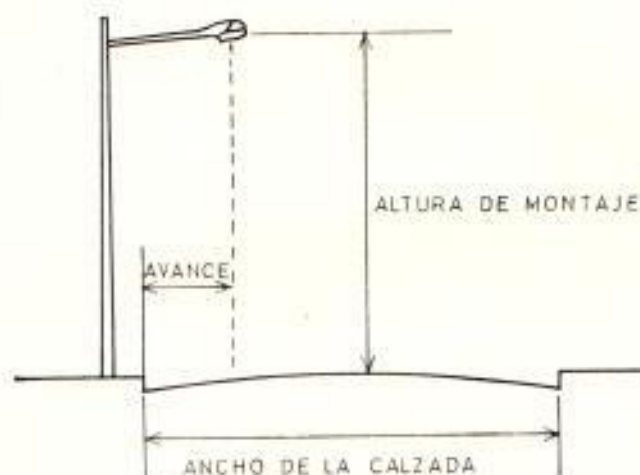


Figura 1.1 Terminología con respecto al arreglo de las luminarias

#### 1.6. LAMPARA A SER CONSIDERADA

Las luminarias empleadas deben responder en cuanto a sus características a las necesidades requeridas a cada caso de alumbrado público que se trate. Las luminarias de distribución asimétrica son las de mayor aplicación en el alumbrado de vías.

La clasificación de las luminarias, de acuerdo a su distribución luminosa, sirve como un medio para seleccionar cual luminaria en una buena elección, para, mediante cálculos, determinar si su distribución luminosa es la adecuada y si es

economicamente disponible para iluminar una vía en particular.

En el anexo A, se muestra la clasificación de las luminarias, de acuerdo a su distribución luminosa, hecha tanto por la Sociedad de Ingenieros de Iluminación de Norte América (IES); y por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).

Dentro de la gran variedad de lámparas existentes, el empleo de uno u otro tipo en el alumbrado público, viene determinado en cada caso por diversos factores entre los que se pueden citar como más importantes:

- El rendimiento luminoso
- Vida útil
- Costo de adquisición
- Color de la luz

Además de estos factores se debe considerar la influencia que ejerce sobre el rendimiento y la duración las fluctuaciones del voltaje y la temperatura ambiente.

El desarrollo de las lámparas de vapor de mercurio y de vapor de sodio a alta presión, en las que dentro de una extensa gama de potencias, se ha llegado a conseguir un alto rendimiento con una larga vida útil y una aceptable reproducción en

colores, ha motivado que su empleo se generalice en las modernas instalaciones de alumbrado público.

Las lámparas de sodio a baja presión que por ahora representan los mayores rendimientos luminosos, a causa de sus color de luz amarilla monocromática, se sigue empleando pero en aquellos casos donde la reproducción de colores no es importante, y se requiera una gran cantidad de luz con la mínima potencia instalada.

#### 1.7. DISPOSICION DE LAS LUMINARIAS

La ubicación de las luminarias dentro del contexto de la vía en general, está dada en función del ancho de la misma, así como de la relación entre la separación de las luminarias y su altura, pudiendo ser una de las siguientes:

- Axial
- Unilateral
- Bilateral alternada
- Bilateral opuesta
- Central doble

La disposición, ver figura 1.2, axial consiste en la colocación de las luminarias a lo largo del eje de la vía, se utiliza para vías estrechas arborizadas o con edificios en ambos lados.

La disposición unilateral, ver figura 1.3, consiste en la colocación de todas las luminarias a un mismo lado de la vía, se utiliza solamente en el caso de que el ancho de la vía sea igual o inferior a la altura de montaje de las luminarias.

La disposición bilateral alternada, ver figura 1.4, consiste en la colocación de las luminarias en ambos lados de la vía, en zig-zag, y se emplea principalmente si el ancho de la vía es de 1 a 1.5 veces la altura de montaje.

La disposición bilateral opuesta, ver figura 1.5, con luminarias colocadas unas opuestas a las otras se utiliza ante todo cuando el ancho de la vía es mayor de 1.5 veces la altura de montaje.

La disposición central doble, se la utiliza en el caso de vías dobles con una separador central o parterri, los postes con brazos dobles van colocados exclusivamente en el parterri, ver figura 1.6. Esto puede considerarse como disposición unilateral para cada una de las dos vías.

Considerando las curvas e intersecciones como los lugares en los cuales existen mayores posibilidades de suscitarse accidentes

vehiculares, se las debe de dotar de una mejor iluminación , utilizando para su efecto una menor separación entre luminarias, y preferiblemente con lámparas de diferente color.

Igual modo de proceder debe observarse en las curvas, en las que además las luminarias deben colocarse en el lado exterior, en disposición unilateral preferiblemente, de modo de proporcionar al conductor una buena orientación visual.

En la Tabla XVI se indican los niveles mínimos y recomendados de las relaciones entre la altura de montaje y el ancho de la vía para cada tipo de disposición de las luminarias.

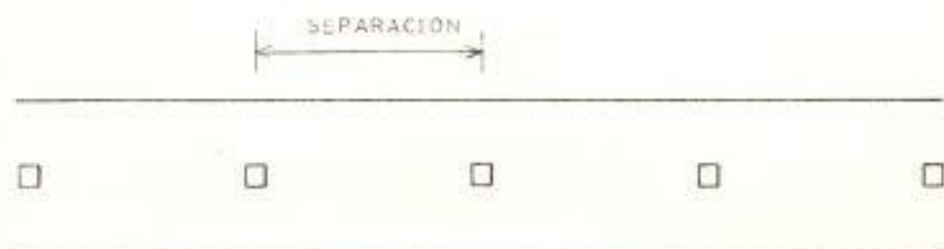


Figura 1.2 Disposición Axial



Figura 1.3 Disposición Unilateral

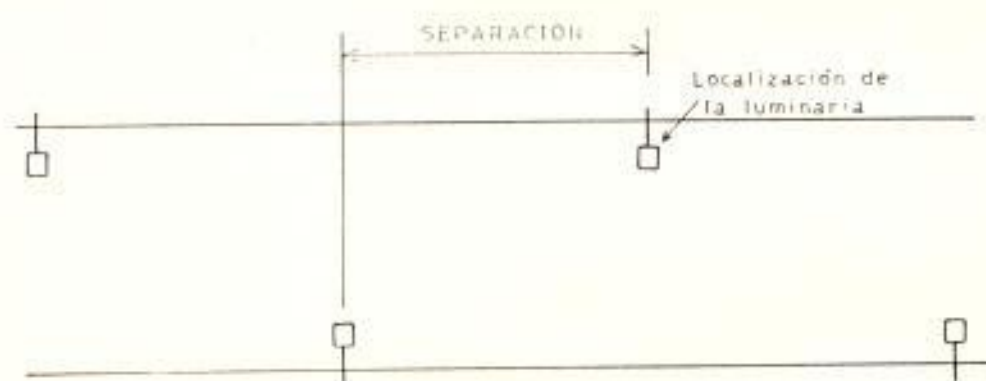


Figura 1.4 Disposición Bilateral Alternada

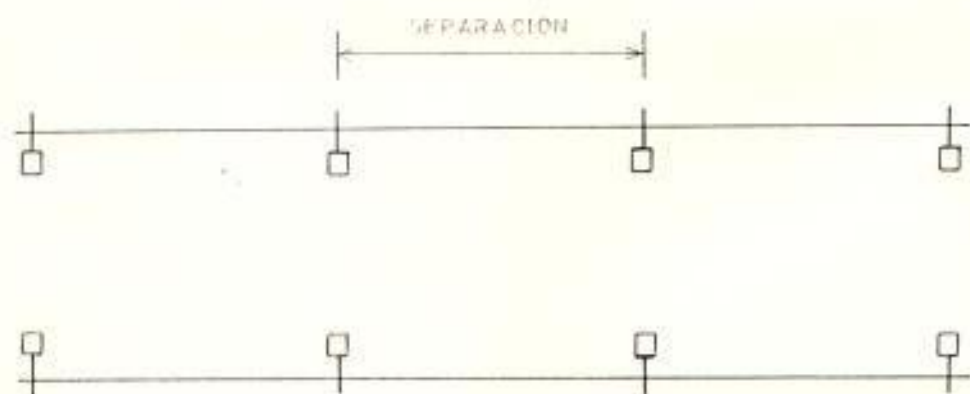


Figura 1.5 Disposición Bilateral Opuesta

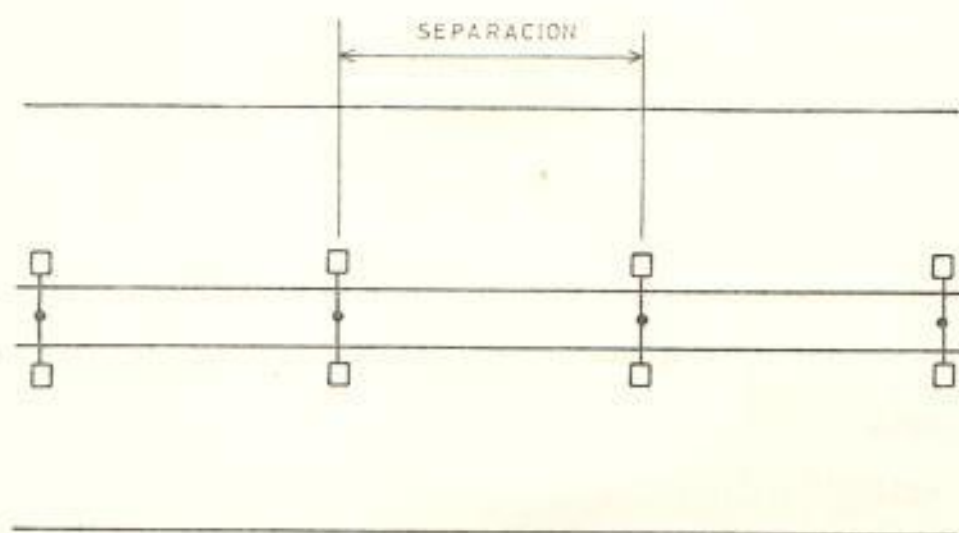


Figura 1.6 Disposición Central Doble



## CAPITULO II

### METODOS DE CALCULO PARA LA ILUMINACION DE VIAS PUBLICAS

Para el cálculo de iluminación de vías pblicas existen diferentes procedimientos, algunos de esos procedimientos emplean métodos numéricos y otros emplean métodos mixtos gráficos-numéricos; los métodos desarrollados en éste capítulo se enmarcan dentro de la primera característica.

#### 2.1. CALCULO DE LA ILUMINACION EMPLEANDO LAS CURVAS DEL FACTOR DE UTILIZACION

El presente método, conocido también como el Método de los Lúmenes, se basa en el cálculo del porcentaje de flujo luminoso o luz radiada desde la lámpara que cae dentro del área a ser iluminada.

Este método se usa para calcular el nivel medio de iluminación sobre la superficie de una vía, donde el flujo luminoso de la lámpara, el ancho de la calzada, el avance y separación entre luminarias se conocen o se asumen. De manera similar, cualquier otro parámetro puede ser determinado si

los otros son dados. El nivel luminoso en cualquier punto dentro del área iluminada sólo puede ser estimado.

Se aplica la siguiente expresión:

$$E_{MEDIA} = \frac{F \times FU \times FC}{S \times W} \quad (2.1)$$

Donde:

$E_{MEDIA}$ : Nivel medio de iluminación sobre la calzada en lux;

F : Flujo luminoso de la lámpara en lúmenes;

S : Separación entre luminarias en metros;

W : Ancho de la calzada en metros;

FU : Factor de Utilización;

FC : Factor de Conservación.

#### FACTOR DE UTILIZACION (FU)

Las curvas de utilización, una medida de la eficiencia de la luminaria, representan la cantidad de luz que cae sobre la vía y áreas adyacentes (ver figura 2.1).

El factor de utilización se lo define como la relación entre el flujo luminoso que es utilizado o cae efectivamente sobre la calzada y el flujo



Figura 2.1 Reparto del Flujo Luminoso sobre la calzada y aceras

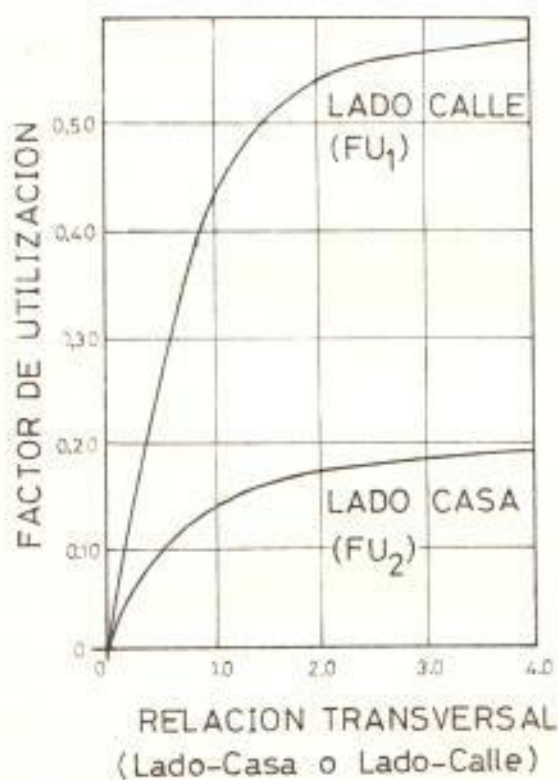


Figura 2.2 Curvas del factor de utilización de una luminaria

luminoso total emitido por la fuente.

Las curvas de utilización son trazadas como un porcentaje de la luz total generada dentro de la luminaria para varias relaciones de distancia transversal (a través de la calle desde la luminaria tanto sobre el lado-casa y el lado-calle) a la altura de montaje (ver figura 2.2).

Las relaciones transversales pueden ser calculadas aplicando las siguientes expresiones:

$$\text{Relación transversal Lado-Calle} = \frac{\text{Ancho de la Vía} - \text{Avance}}{\text{Altura de Montaje}}$$

$$\text{Relación transversal Lado-Casa} = \frac{\text{Avance}}{\text{Altura de Montaje}}$$

El factor de utilización para ambas relaciones transversales (lado-casa y lado-calle) debe ser determinado de las curvas y sumados, obteniéndose el factor de utilización total sobre la calzada.

A continuación se detallan los casos que se presentan en la determinación de los respectivos factores de utilización para las diferentes disposiciones de las luminarias usadas en las vías.

a) Disposición unilateral:

- La vertical de la luminaria coincide con el borde de la calzada.

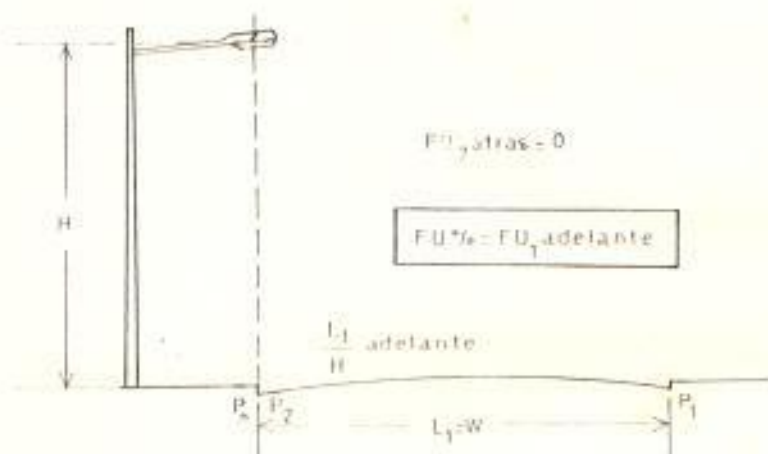


Figura 2.3 Casos que se presentan en la determinación del factor de utilización

- La vertical de la luminaria avanza  $L_2$  sobre la calzada.

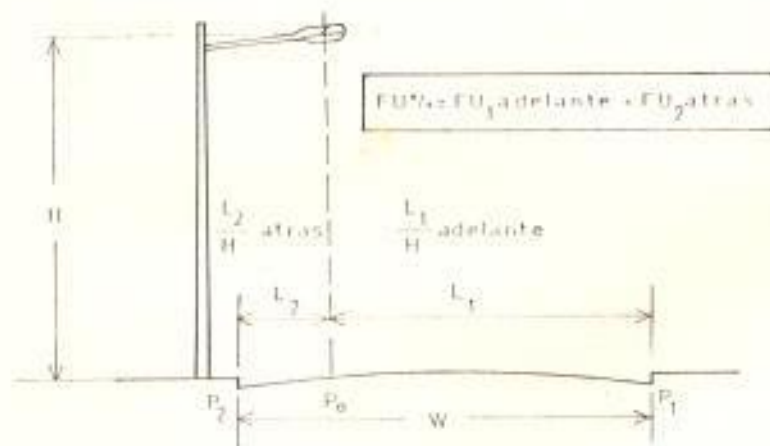


Figura 2.4 Casos que se presentan en la determinación del factor de utilización

- La vertical de la luminaria avanza  $L_2$  sobre la acera.

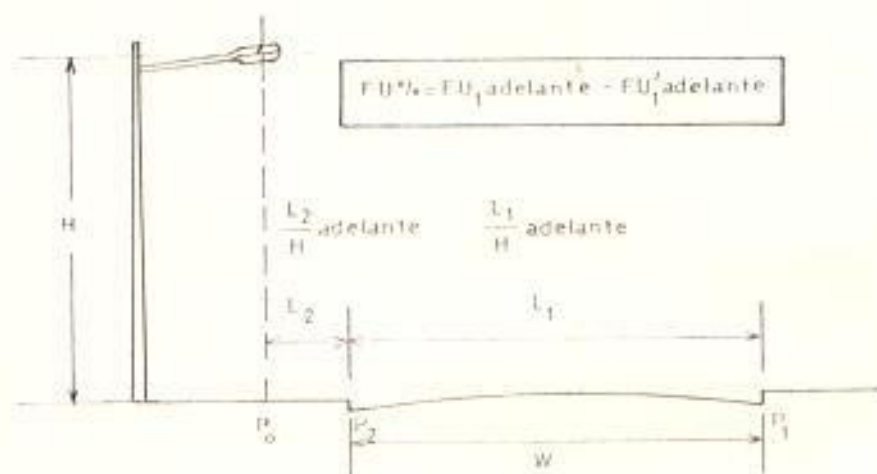


Figura 2.5 Casos que se presenta en la determinación del factor de utilización

- La luminaria ilumina la calzada con el flujo de atrás y su vertical está localizada a  $L_2$  de la calzada.

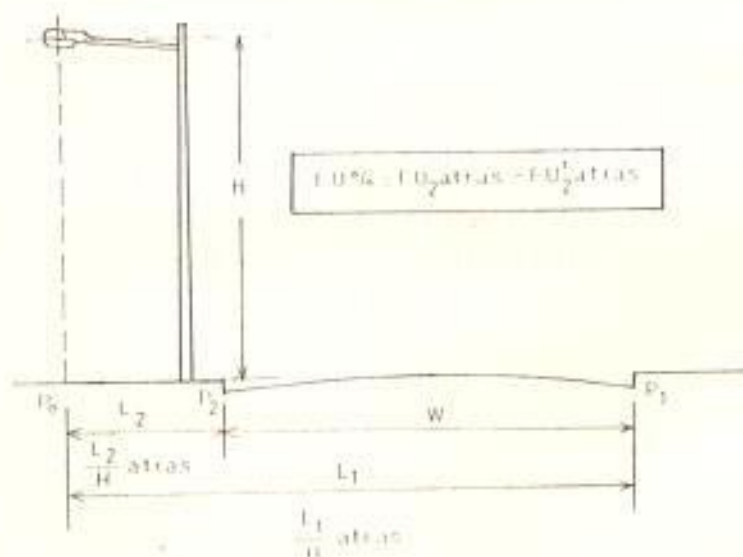


Figura 2.6 Casos que se presentan en la determinación del factor de utilización

## b) Disposición bilateral alternada:

El cálculo es idéntico al realizado para determinar el factor de utilización en la disposición unilateral, suponiendo todas las luminarias localizadas del mismo lado. Si los avances (hacia las calzadas o aceras) de las luminarias son diferentes de un lado con relación al otro, se deben efectuar dos cálculos y el factor de utilización será el promedio de los dos valores encontrados.

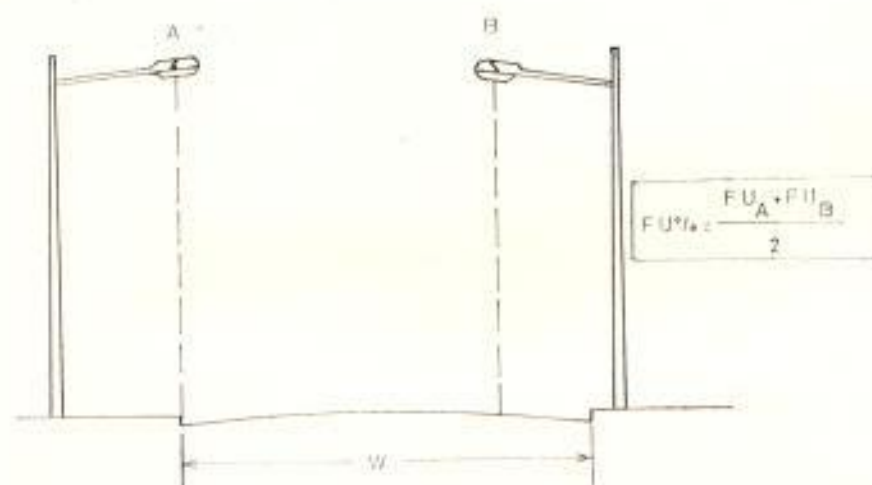


Figura 2.7 Casos que se presentan en la determinación del factor de utilización

## c) Disposición bilateral opuesta:

El cálculo del factor de utilización es idéntico al realizado para la disposición

unilateral para cada uno de los lados, con la misma observación hecha para el caso de la disposición bilateral alternada, con relación al avance de las luminarias.

$$FU \% = \frac{FU_A + FU_B}{2}$$

Es evidente, sin embargo, que el número de luminarias cuyo flujo se toma en consideración es el doble con relación a la disposición unilateral.

d) Disposición central doble:

Se calcula separadamente el factor de utilización de cada luminaria.

$$FU \% = \frac{FU_A + FU_B}{2}$$

El factor de utilización de la luminaria A ( $FU_A$ ) se calcula según uno de los tres primeros casos mencionados en la disposición unilateral:

- La vertical de la luminaria coincide con el borde de la calzada.
- La vertical de la luminaria avanza  $L_2$  sobre



la calzada.

- La vertical de la luminaria avanza  $L_2$  sobre la acera.

El factor de utilización de la luminaria B ( $FU_B$ ) se calcula como se indica en el cuarto caso de la disposición unilateral, es decir la luminaria ilumina la calzada con el flujo de atrás y su vertical está localizada a  $L_2$  de la calzada.

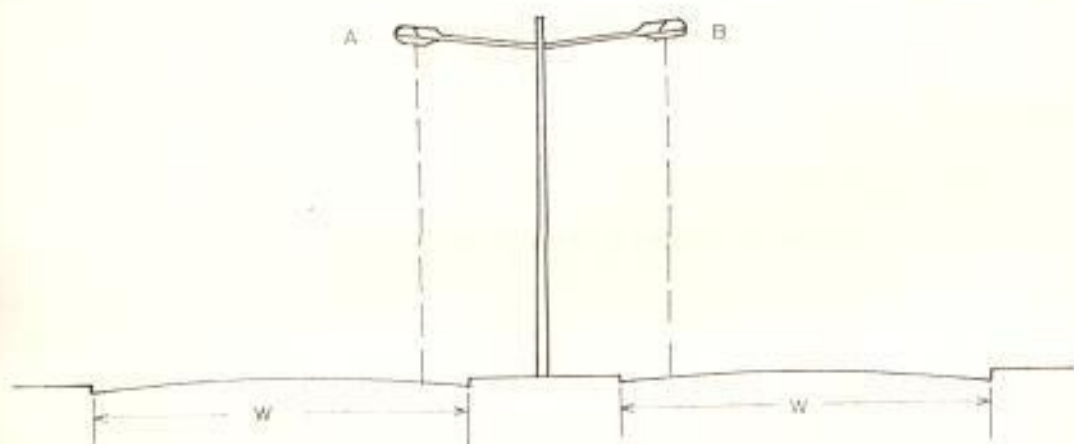


Figura 2.8 Casos que se presentan en la determinación del factor de utilización.

Al igual que la disposición bilateral opuesta, el número de luminarias cuyo flujo se toma en consideración es el doble con relación a la disposición unilateral.

## FACTOR DE CONSERVACION (FC)

En toda instalación de alumbrado público, la iluminación producida por la fuente luminosa es reducida con el paso del tiempo, y una combinación de factores puede fácilmente reducir su iluminancia en un 50%.

Esta reducción luminosa es motivada por:

- Disminución de los lúmenes de la lámpara: la cantidad de reducción es una variable que depende de la clase de lámpara involucrada y su uso.
- Disminución por suciedad de la luminaria: causada por la acumulación de polvo y suciedad sobre la luminaria usada para reflejar o transmitir la luz.
- Lámparas quemadas que no han sido reemplazadas.
- Deterioro de la superficie de la luminaria que refleja o transmite la luz.
- Temperatura de operación.
- Voltaje.

El factor de conservación es simplemente el producto de multiplicar los factores descritos anteriormente; y considerando, que de todos ellos

los dos mayores son el factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara (FDFL) y el factor de depreciación por suciedad de la luminaria (FDSL), tenemos que:

$$FC = FDFL \times FDSL$$

Por lo tanto, al diseñar un sistema de alumbrado público, se debe tomar en cuenta tales factores.

Si no se dispone de una información específica de los factores de depreciación de lámparas y luminarias, pueden consultarse los valores indicados en las Tablas XVII y XVIII, de manera que el nivel medio de iluminación sea mantenido dentro de las recomendaciones establecidas.

#### PROCEDIMIENTO DE DISEÑO EMPLEANDO LAS CURVAS DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN

Para poder desarrollar un proyecto de alumbrado público, empleando las curvas del factor de utilización, es necesario observar el siguiente procedimiento.

##### - Datos del Proyecto

Obtener la información necesaria acerca de las características de la vía a iluminar, como son:

Dimensiones: Longitud de la Vía

## Ancho de la calzada

Características: Tipo de Vía

Densidad del tráfico

Carriles de circulación

Espacio

Estética

- Determinación del nivel medio de iluminación requerido para la vía y relación de uniformidad aceptable.

Al no existir en nuestro país, normas concretas y obligatorias que establezcan las características que deben reunir las instalaciones de alumbrado público, la determinación de los niveles de iluminación y sus correspondiente uniformidad, se la realiza basándose en recomendaciones internacionales, las cuales vienen dadas en función del tipo y categoría de la vía objeto del proyecto, de acuerdo con las exigencias de seguridad del tráfico. Estas recomendaciones se encuentran en las Tablas X, XI, XII y XIII del Anexo A.

- Selección de la lámpara y luminaria

Las lámparas, en el alumbrado público, son seleccionadas tomando en cuenta su espectro luminoso, color de luz, eficiencia, vida útil,

costos de adquisición, mantenimiento y reposición.

La consideración fundamental al seleccionar la luminaria es su apropiada distribución del flujo luminoso que procurará la cantidad y uniformidad de iluminación deseada. Otros factores a tomarse en cuenta son: condiciones de trabajo, propiedades mecánicas y eléctricas, costos de adquisición.

- Determinación del factor de conservación

En su determinación, el factor de conservación debe incluir tanto el factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara seleccionada y el factor de depreciación por acumulación de suciedad en la luminaria seleccionada, los cuales son proporcionados por el fabricante, o en su defecto, pueden ser asumidos usando los valores indicados en las Tablas XVII y XVIII del Anexo A.

- Selección de la altura de montaje y posición lateral de la luminaria.

En la tabla XV del Anexo A se indica, a título orientativo y tomando en cuenta el índice de deslumbramiento, las alturas recomendadas en función del flujo luminoso instalado en cada

luminaria.

La posición lateral de la luminaria (avance), está determinado por la longitud del brazo porta-luminaria y la ubicación del poste sobre la acera.

- Selección de la disposición de las luminarias

La selección se la puede hacer usando la Tabla XVI del Anexo A donde se muestran los niveles mínimos y recomendados de la relación altura de montaje ancho de la calzada para las diferentes disposiciones.

- Selección de la separación entre luminarias

A título orientativo en la Tabla XIV del Anexo A se indican las relaciones aconsejables entre la separación y altura de montaje de la luminaria, en función del nivel medio de iluminación deseado.

- Determinación del factor de utilización

Para determinar el factor de utilización total: Primero, se determinan las relaciones transversales lado-casa y lado-calle de la luminaria. Segundo, usando las curvas del factor de utilización, se determina el factor de utilización tanto para la relación lado-casa y

lado-calle de la luminaria. Finalmente, el factor de utilización total es la suma del factor de utilización lado-casa más el factor de utilización lado-calle.

- Cálculos luminotécnicos

Llegados a este punto, el cálculo a realizar puede ser una de los tres siguientes:

- Determinar el nivel medio de iluminación que se obtiene con una separación entre luminarias fijada de antemano, se aplica la siguiente expresión.

$$E_{\text{MEDIA}} = \frac{F \times FU \times FC}{S \times W}$$

- Averiguar la separación necesaria entre luminarias para obtener el nivel medio de iluminación de acuerdo a las exigencias del tráfico, se aplica la siguiente expresión.

$$S = \frac{F \times FU \times FC}{E_{\text{MEDIA}} \times W}$$

- Determinar la cantidad de flujo luminoso necesario para obtener un nivel medio de iluminación dado, se aplica la siguiente expresión.

$$F = \frac{E_{media} \cdot W \cdot S}{FU \cdot FC}$$

Generalmente, el primer y segundo cálculo se lo emplea en caso de instalaciones de alumbrado nuevas; por el contrario el tercer tipo de cálculo se lo emplea en el caso de instalaciones existentes, donde se va hacer uso de los postes ya instalados.

- Evaluación, ajuste y verificación

En el primer caso, si el valor de iluminación media ( $E_{media}$ ) se encuentra dentro de cierto rango en torno al valor recomendado, la solución se la considera válida, de lo contrario será necesario hacer un cambio ya sea en la altura, luminaria empleada o en alguno de los otros parámetros.

En el segundo caso, si la separación entre luminarias ( $S$ ) se ajusta tanto a las condiciones de diseño de la vía y al valor de iluminación recomendado, la solución se la considera válida, de lo contrario será necesario hacer cambios individuales o simultáneos en alguno de los otros parámetros.

Para el tercer caso, si el valor del flujo



luminoso de la lámpara (F) se encuentra en un rango menor al proporcionado por la lámpara seleccionada, se puede decir que la solución es considerada válida. En caso contrario hay que realizar cambios tanto en la lámpara como en los otros parámetros. La solución está limitada por las condiciones de oferta del mercado, pero en un rango no demasiado amplio.

Luego de la evaluación y los ajustes que se propongan, según el caso que se trate, será necesario reingresar en el proceso de diseño en cualquiera de los pasos indicados para realizar una verificación del mismo.

## 2.2. CALCULO DE LA ILUMINACION EMPLEANDO EL PROCEDIMIENTO PUNTO POR PUNTO

El presente método se emplea para el cálculo de la iluminación en un punto determinado aplicando la ley inversa de los cuadrados y la ley del coseno.

La ecuación básica de este método para calcular la iluminación en un punto P ubicado sobre un plano horizontal es (ver figura 2.9):

$$E_p = \frac{I_{\lambda\theta} \times \cos^3 \theta}{H^2} \quad (2.2)$$

Donde:

$E_p$  = Iluminancia en el punto P;

$I_{\gamma\phi}$  = Intensidad luminosa de una luminaria en dirección al punto P según el ángulo  $\gamma$  y plano  $\delta$  y  $\phi$  ;

H = Altura de montaje;

$\theta$  = Angulo de incidencia.

La iluminación real del punto P, cuando muchas fuentes en posiciones fijas son consideradas, es igual a la suma de las iluminaciones parciales calculada para cada luminaria, dando la iluminación total en el punto.

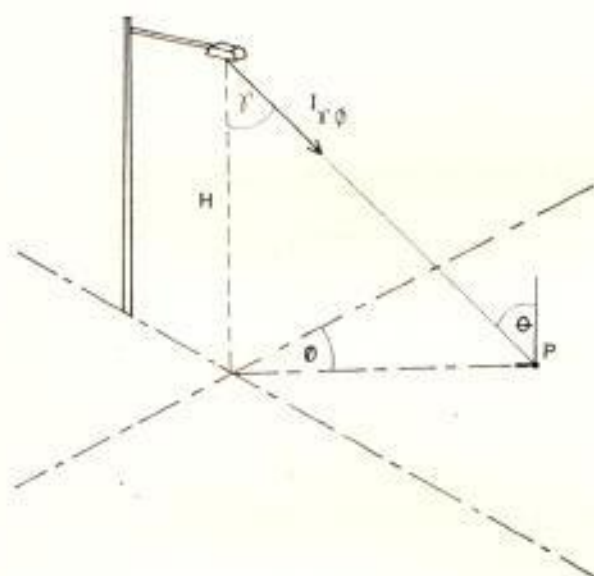


Figura 2.9 Iluminancia en un punto P

Este método hace uso de las curvas de distribución de intensidad luminosa las cuales, generalmente dadas en coordenadas polares, representan la variación de la intensidad luminosa de una lámpara

o luminaria en un plano vertical que atraviesa a la fuente en función del ángulo medido desde una dirección dada. Evidentemente, el número o tipo de curvas a trazar para definir perfectamente la distribución de una luminaria dependerá del tipo de distribución que se trate.

Si la distribución de intensidad luminosa de una fuente es simétrica, casi siempre las firmas suministradoras de lámparas proporcionan media curva fotométrica, pero en los casos donde la curva de distribución no es simétrica se precisan varios grupos de curvas, según los distintos planos que se consideren.

Las curvas mostradas en la figura 2.10 y las Tablas I y II dadas, representan los valores de prueba tomados en diferentes planos verticales a través de la luminaria, de ellos se puede deducir en que sentido está preferentemente emitido el flujo luminoso producido por la lámpara.

#### PROCEDIMIENTO DE DISEÑO EMPLEANDO EL METODO PUNTO POR PUNTO

Para poder desarrollar un proyecto de alumbrado público, empleando el método punto por punto, es necesario observar el siguiente procedimiento.

- Establecidos los datos básicos del proyecto,

CURVAS DE DISTRIBUCION LUMINOSA  
EN CANDELAS PARA 1000 LUMENES

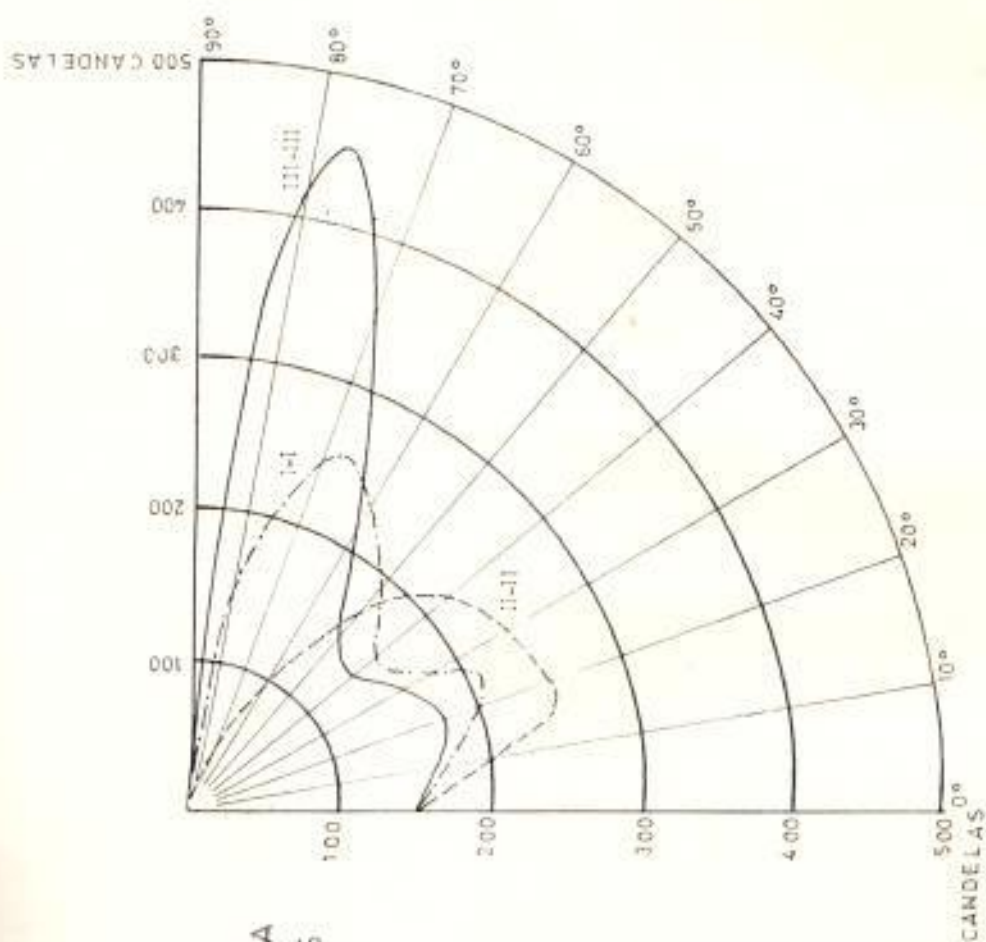
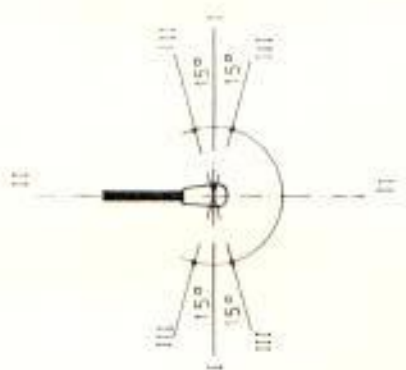


Figura 2.10 Curvas de distribución luminosa de una luminaria

Tabla I

Tabla de Intensidad Luminosa de una Luminaria (Candelas)

Lado-CalleAngulo Lateral ( $\theta$ )

	0.0	5.0	15.0	25.0	35.0	45.0	55.0	65.0	75.0	77.0	85.0
180.0	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.
175.0	375.	375.	375.	375.	361.	361.	361.	361.	368.	361.	361.
165.0	491.	491.	491.	477.	477.	477.	477.	462.	448.	448.	448.
155.0	751.	765.	751.	722.	708.	708.	708.	708.	708.	708.	664.
145.0	1011.	1011.	1025.	982.	939.	924.	939.	967.	1025.	1040.	967.
135.0	1271.	1170.	1198.	1198.	1184.	1227.	1184.	1198.	1112.	1155.	1126.
125.0	1126.	1126.	1112.	1112.	1119.	1097.	1141.	1198.	1242.	1242.	1213.
115.0	924.	910.	924.	910.	910.	910.	924.	953.	1025.	1025.	996.
105.0	635.	635.	650.	650.	664.	664.	708.	765.	838.	823.	809.
95.0	664.	679.	679.	708.	722.	809.	881.	1097.	1170.	1170.	1126.
90.0	852.	852.	852.	874.	953.	1054.	1227.	1552.	1884.	1487.	1726.
87.5	1011.	982.	1011.	1011.	1112.	1198.	1444.	1834.	2310.	2281.	2050.
85.0	1141.	1097.	1126.	1155.	1256.	1372.	1646.	2079.	2556.	2541.	2296.
82.5	1213.	1213.	1242.	1285.	1386.	1502.	1805.	2281.	2758.	2744.	2527.
80.0	1271.	1271.	1300.	1372.	1473.	1603.	1906.	2411.	2874.	2874.	2642.
77.5	1300.	1300.	1328.	1430.	1531.	1675.	1993.	2484.	2917.	2902.	2700.
75.0	1300.	1314.	1357.	1458.	1559.	1733.	2050.	2541.	2931.	2902.	2700.
72.5	1300.	1314.	1357.	1458.	1559.	1762.	2094.	2541.	2888.	2874.	2671.
70.0	1271.	1285.	1343.	1444.	1559.	1776.	2108.	2498.	1787.	2772.	2599.
67.5	1242.	1227.	1300.	1415.	1545.	1762.	2065.	2411.	2642.	2628.	2484.
65.0	1184.	1170.	1256.	1372.	1516.	1704.	1993.	2281.	2484.	2455.	2325.
62.5	1126.	1141.	1198.	1300.	1444.	1632.	1906.	2166.	2296.	2281.	2166.
60.0	1069.	1083.	1126.	1227.	1357.	1545.	1805.	2022.	2152.	2123.	1949.
55.0	924.	939.	996.	1083.	1184.	1357.	1559.	1762.	1877.	1863.	1458.
45.0	780.	751.	780.	823.	895.	982.	1083.	1213.	1328.	1300.	780.
35.0	722.	809.	823.	780.	881.	881.	765.	1054.	953.	1011.	433.
25.0	347.	332.	375.	375.	361.	375.	361.	375.	347.	347.	231.
15.0	231.	231.	231.	231.	231.	231.	231.	202.	173.	173.	173.
5.0	116.	101.	116.	87.	101.	87.	87.	87.	72.	72.	65.
0.0	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.

Plano de Máxima Candela

Cono de Máxima Candela

Fuente: ITL Boulder, CO.

Independent Testing Laboratories, Inc

Tabla II

Tabla de Intensidad Luminosa de una Luminaria (Candelas)

Lado-CasaAngulo Lateral ( $\theta$ )

	90.0	95.0	105.0	115.0	125.0	135.0	145.0	155.0	165.0	175.0	180.0
180.0	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.	356.
175.0	361.	361.	361.	347.	347.	347.	347.	347.	347.	347.	347.
165.0	448.	448.	448.	448.	440.	433.	419.	419.	419.	419.	433.
155.0	664.	679.	664.	650.	650.	650.	621.	635.	635.	621.	635.
145.0	953.	953.	996.	939.	953.	939.	924.	924.	895.	895.	866.
135.0	1083.	1112.	1011.	1025.	1025.	967.	939.	967.	967.	953.	953.
125.0	1227.	1213.	1198.	1184.	1155.	1097.	1097.	1097.	1083.	1097.	1097.
115.0	982.	953.	910.	895.	881.	838.	838.	838.	895.	895.	895.
105.0	780.	765.	708.	664.	650.	650.	650.	664.	693.	679.	693.
95.0	1025.	996.	809.	722.	664.	664.	635.	650.	664.	664.	664.
90.0	1574.	1393.	1076.	859.	765.	722.	700.	700.	722.	729.	722.
87.5	1906.	1646.	1256.	953.	838.	780.	741.	722.	736.	751.	765.
85.0	2152.	1848.	1372.	1011.	881.	794.	765.	736.	736.	751.	765.
82.5	2354.	2050.	1502.	1112.	953.	866.	809.	765.	780.	794.	809.
80.0	2455.	2152.	1574.	1155.	996.	895.	838.	794.	809.	823.	838.
77.5	2498.	2209.	1603.	1198.	1025.	924.	859.	823.	809.	823.	838.
75.0	2484.	2209.	1617.	1227.	1025.	924.	881.	838.	838.	852.	866.
72.5	2455.	2180.	1603.	1227.	1040.	953.	881.	852.	852.	866.	866.
70.0	2397.	2137.	1588.	1213.	1040.	953.	895.	852.	852.	866.	866.
67.5	2296.	2050.	1559.	1213.	1040.	953.	895.	866.	852.	866.	866.
65.0	2180.	1949.	1516.	1184.	1040.	939.	895.	866.	852.	866.	866.
62.5	2050.	1848.	1458.	1155.	1011.	939.	881.	866.	838.	838.	838.
60.0	1812.	1675.	1401.	1112.	982.	924.	881.	852.	838.	838.	852.
55.0	1379.	1300.	1271.	1040.	924.	881.	866.	838.	838.	823.	838.
45.0	823.	866.	1011.	924.	866.	852.	852.	823.	823.	809.	809.
35.0	513.	592.	881.	1011.	1011.	982.	1011.	1054.	1011.	895.	838.
25.0	260.	289.	462.	477.	549.	592.	621.	614.	606.	592.	578.
15.0	173.	188.	217.	260.	289.	318.	347.	347.	375.	375.	375.
5.0	58.	58.	72.	72.	87.	72.	101.	87.	87.	87.	87.
0.0	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.	56.

Plano de Máxima Candela

Cono de Máxima Candela

Fuente: ITL Boulder, CO.  
Independent Testing Laboratories, Inc

clasificada la vía objeto del estudio de acuerdo a las exigencias del tráfico, determinado el nivel de iluminación y uniformidad correspondiente, continuando con la elección del tipo de luminaria, tipo de lámpara más adecuada, altura de montaje, separación y tipo de disposición de las luminarias, siguiendo las indicaciones contenidas en la aplicación del método de las curvas de utilización, el paso a seguir consiste en la determinación del nivel de iluminación en diferentes puntos sobre la calzada haciendo uso de las curvas de distribución de intensidad.

- Determinación del nivel de iluminación en un punto localizado sobre un plano horizontal.

Considere la figura 2.11, en la que se desea encontrar la iluminación en un punto P sobre la calzada.

Para encontrar la intensidad en la dirección FP, haciendo uso de las curvas de distribución de intensidad, el punto P debe ser localizado, con respecto a la luminaria, determinando el ángulo de emisión  $\theta$  y el plano  $\phi$  al cual pertenece el punto.

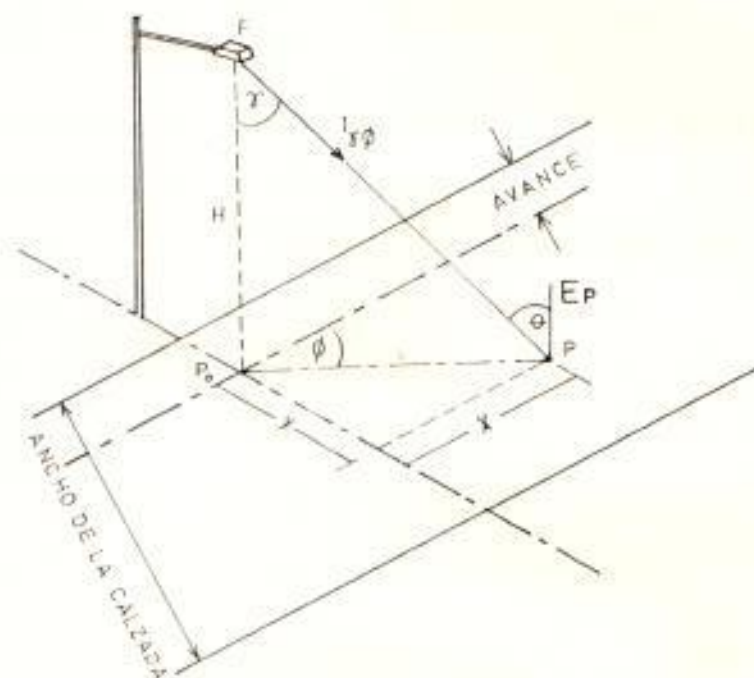


Figura 2.11 Determinación del nivel de iluminación en un punto P

$$\text{Tag } \gamma = R/H \quad (2.3)$$

$$R = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\text{Tag } \phi = y/x \quad (2.4)$$

Donde el par  $(x, y)$  son las coordenadas rectangulares del punto P con respecto a la proyección  $P_0$  de la luminaria sobre el plano a iluminar, R es el radio que forma el punto con respecto a  $P_0$  y H es la altura de montaje de la luminaria.

Conocidos los ángulos  $\gamma$  y  $\phi$ , el valor de intensidad se lo determina para el ángulo  $\gamma$  y de la correspondiente curva según el punto a analizar pertenezca a uno u otro plano  $\beta$ , o bien interpolando valores según entre los planos que se encuentre. El método más frecuentemente usado



es una interpolación independiente en  $\gamma$  y  $\beta$ , los métodos empleados en este trabajo consideran tal independencia y son: técnica de interpolación de intensidad en cinco planos y ajuste de curvas mediante el uso de una spline cúbica, las cuales se encuentran explicados en detalle en el anexo B; el uso de uno u otro método dependerá de la información fotométrica disponible.

Una vez que el valor de intensidad en dirección a P es determinada se lo usa para calcular la iluminación en P aplicando la ecuación (2.2):

$$E_p = \frac{I_{\gamma\beta} \cdot \cos^3\theta}{H^2}$$

Donde  $\cos\theta = H/R$  (2.5)

Siendo  $\theta$  el ángulo de incidencia e  $I_{\gamma\beta}$  es la intensidad en dirección de FP.

Los valores de iluminación obtenidos por la aplicación de la ecuación (2.2) están basados en condiciones iniciales de prueba, y deben ser ajustados a las condiciones actuales mantenidas usando los factores de corrección apropiados, éstos son: el factor de lámpara y el factor de conservación.

El factor de lámpara (FL); son los lúmenes

usados en la luminaria para el valor de los lúmenes de lámpara usados en la información fotométrica.

El factor de conservación (FC); son el factor de depreciación de los lúmenes de la lámpara (FDLL) y depreciación por acumulación de suciedad en la luminaria (FDSL).

De manera que el verdadero valor de iluminación para cada punto P queda determinado por:

$$E_{P(\text{actual})} = E_{P(\text{prueba})} \times FL \times FC$$

- Análisis de la iluminación obtenida por una luminaria tipo

Considere la figura 2.12 en la cual se muestra una vía y algunas luminarias en disposición unilateral con iguales características fotométricas y de localización. Por tratarse de la misma clase de luminaria y de idénticos sistemas de suspensión es posible calcular la iluminación que se obtiene con una sola luminaria para el sector que la misma afecte, y luego por reciprocidad obtener la iluminación producida por la contribución de las luminarias cercanas y de las relativamente lejanas sobre un punto cualquiera.

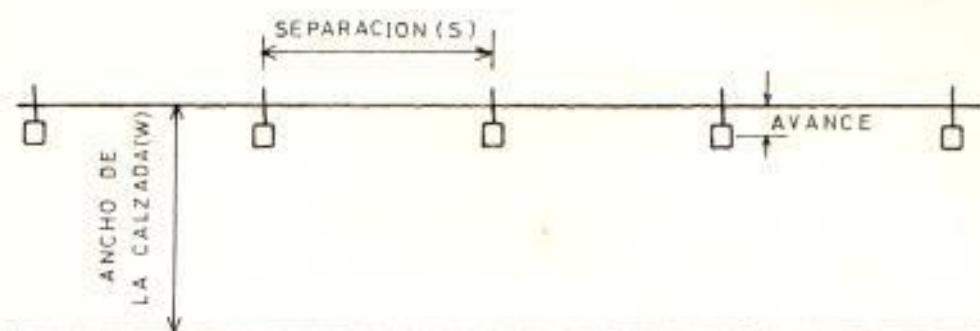


Figura 2.12 Disposición asumida de las luminarias para un cálculo típico

Las recomendaciones internacionales no especifican el número de luminarias a considerar cuando se determina el nivel de iluminación o uniformidad de iluminación. Sin embargo, se ha encontrado que al menos 3 luminarias deben ser consideradas en los cálculos de instalaciones de alumbrado público. En este trabajo, 4 luminarias se consideran en los cálculos de iluminación, por lo tanto la zona de influencia de una sola luminaria será igual a dos veces la separación entre luminarias (ver figura 2.13).

El número de puntos a analizar en la zona de influencia depende de la exactitud de los cálculos, a mayor exactitud mayor debe ser la cantidad de puntos. La localización de los puntos, con respecto a la luminaria, depende del ancho de la vía, el avance, el punto de

proyección de la luminaria sobre la calzada y de la separación entre luminarias.

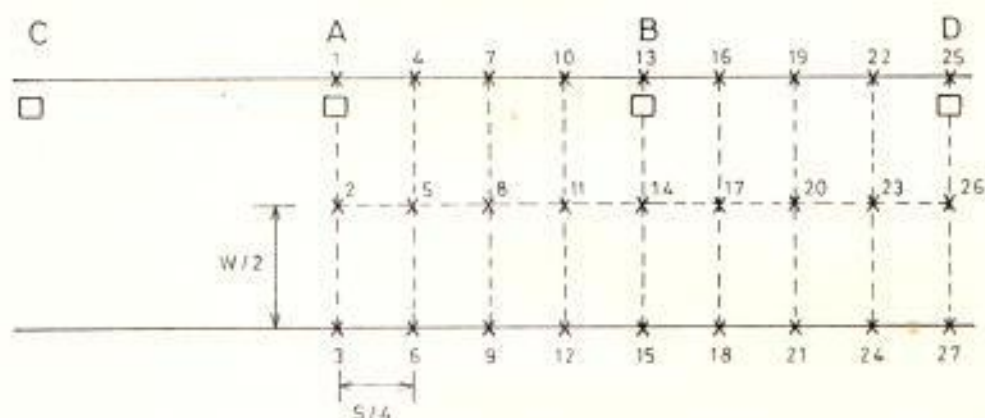


Figura 2.13 Ubicación de los puntos en la zona de influencia para la luminaria A

Una vez que se han localizados los puntos sobre la zona de influencia (ver figura 2.13), se calcula el nivel de iluminación producido por un solo aparato de alumbrado, en este caso la luminaria A, en cada uno de ellos aplicando el procedimiento descrito en el paso anterior. Los resultados de los cálculos pueden ser expuestos en la forma indicada en la Tabla III, mostrando los valores de iluminación correspondiente a todos los puntos afectados por la luminaria considerada.

- Análisis de la iluminación obtenida por todas las luminarias incidentes sobre un sector significativo del conjunto

Es evidente que las características de

iluminación total resultante de todas las luminarias incidentes sobre un punto dará como resultado la repetición de valores iguales para todos aquellos puntos que se encuentren en la misma situación (reciprocidad), esto es útil, porque es necesario analizar una zona más pequeña y que resulta ser representativa para todo el conjunto, llamada la zona de estudio, la cual ha de buscarse a través de ejes de simetría que producen la repetición de sectores similares al estudiado. En la figura 2.14 se indica la ubicación de la zona de estudio para las diferentes disposiciones de las luminarias.

Tabla III

Nivel de iluminación de los puntos ubicados en la zona de influencia aportada por una sola luminaria procedimiento punto por punto.

Punto	Angulo grados $\alpha$	grados $\beta$	$\cos^2 \theta$	Intensidad lúmenes de prueba (candelas)	Intensidad lúmenes actuales (candelas)	Iluminación Horizontal (lux)
1						
2						
3						
.						
.						
.						
27						

La contribución de iluminación es considerada

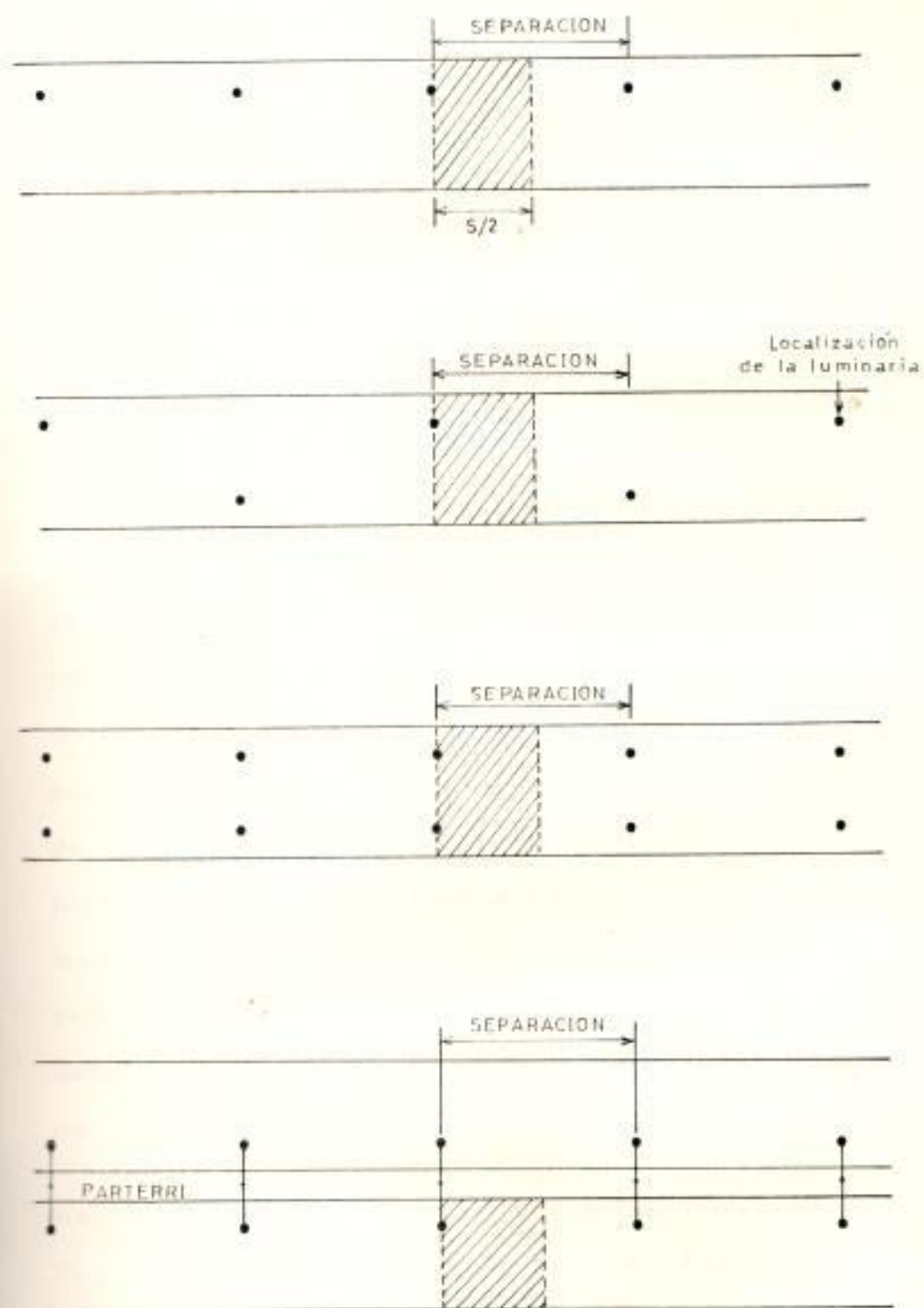


Figura 2.14 Ubicación de la Zona de Estudio para las diferentes disposiciones de las luminarias

desde las luminarias marcadas como A, B, C y D como se muestra en la figura 2.15, donde los puntos marcados sobre la superficie de la vía pertenecen a la zona de estudio; para cada punto de esa zona se puede calcular la iluminación resultante como la suma de las iluminaciones parciales debido a cada luminaria.

Tomando como referencia los datos conocidos de una sola luminaria, por simple reciprocidad se ve que la iluminación que recibe el punto 1 de la luminaria A ya está calculada. Ese mismo punto 1 recibe de la luminaria B el mismo nivel de iluminación que el punto 5 de la A. El mismo punto 1 recibe de la luminaria C el mismo nivel de iluminación que el punto 5 recibe de la A. El punto 1 recibe de la luminaria D el mismo nivel que el punto 9 recibe de la A, mediante el procedimiento descrito anteriormente se determina el nivel de iluminación de cada punto de la zona de estudio.

La iluminancia en cada punto  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ , donde  $n$  es el número de puntos ubicados en la zona de estudio (en este caso 9), aportada por cada luminaria considerada en los cálculos pueden tabularse en la forma indicada en la Tabla IV.

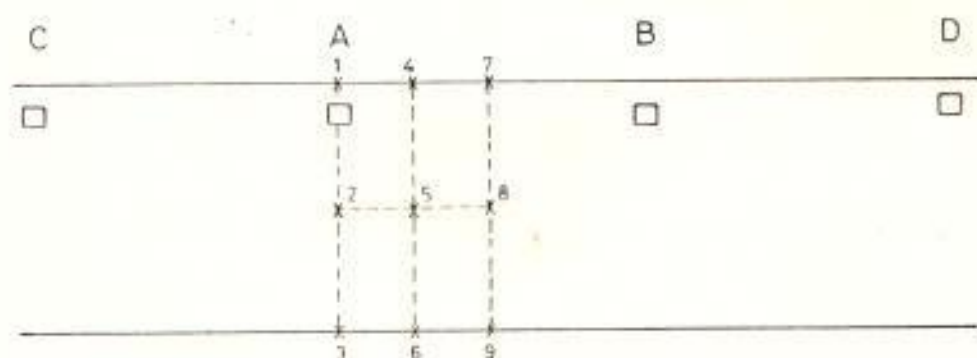


Figura 2.15 Ubicación de los puntos en la zona de estudio para la luminaria A

Tabla IV

Planilla de la Iluminación obtenida por las luminarias consideradas en la zona de estudio procedimiento punto por punto.

Punto	LUMINARIA				TOTAL
	A	B	C	D	
1	P1	P13	P13	P25	$E_{P1}$
2	P2	P14	P14	P26	$E_{P2}$
3	P3	P15	P15	P27	$E_{P3}$
.					.
.					.
.					.
n					$E_{Pn}$

Donde las sumas  $E_{P1}$ ,  $E_{P2}$ , ...,  $E_{Pn}$  representan las iluminancias horizontales en luxes para cada punto.



- Cálculo del nivel medio de iluminación y uniformidad de iluminación

Considerando las sumas totales para cada punto ( $E_{P1}$ ,  $E_{P2}$ , ..... ,  $E_{Pn}$ ), el nivel medio de iluminación se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$E_{MEDIA} = \frac{E_{P1} + E_{P2} + \dots + E_{Pn}}{n}$$

Para hallar el grado de uniformidad, se determina entre las sumas  $E_{P1}$ ,  $E_{P2}$ , ..... ,  $E_{Pn}$  tanto el punto de mínima iluminancia como el de máxima iluminancia.

Para determinar la uniformidad media y extrema se calculan las siguiente relaciones:

$$RU_{MEDIA} = \frac{E_{mínima}}{E_{MEDIA}}$$

$$RU_{extrema} = \frac{E_{mínima}}{E_{máxima}}$$

- Evaluación, ajuste y verificación

El nivel medio de iluminación y uniformidad de iluminación, calculados sobre la calzada de una vía, deben satisfacer los límites admisibles establecidos en las recomendaciones internacionales de manera que puedan ser

aceptables.

De no ser así, el diseño debe ser corregido por cambios en ciertos parámetros del mismo. La Tabla V representa en una forma muy general, los cambios que se pueden obtener por cambios en los parámetros de diseño con una distribución luminosa dada.

Tabla V

Variación en el nivel medio y uniformidad de iluminación producida por cambios en los parámetros de diseño

Parámetro Cambiado	Cambio Esperado	
	EMEDIA	RU <sub>MINIMA</sub>
Incremento Flujo luminoso	Incrementa	Sin Cambio
Altura	Decrece	Decrece
Avance	Incierto	Incierto
Separación	Decrece	Incrementa
Angulo de in- clinación	Incierto	Decrece

Luego de la evaluación y los ajustes que se propongan es necesario un reingreso en el proceso de diseño, en cualquiera de los pasos indicados anteriormente para realizar una verificación del mismo.

## CAPITULO III

### ELABORACION DE LOS PROGRAMAS DE COMPUTACION PARA REALIZAR EL CALCULO DE LA ILUMINACION DE VIAS PUBLICAS

#### 3.1. GENERALIDADES

En los capítulos anteriores se ha descrito en detalle los criterios y metodologías a seguirse en el diseño de iluminación de vías públicas. En el presente capítulo se implementan en programas de computadora, escritos en lenguaje FORTRAN IV, las metodologías descritas.

Los programas desarrollados han sido implementados en un computador IBM 4341, de propiedad de la ESPOL, pero pueden ser adaptados en cualquier otro modelo de computador. Se han elaborado dos programas de computación, uno por cada método de cálculo, el primero llamado CDFU para el método de cálculo que emplea las curvas del factor de utilización, el segundo llamado PPP el cual utiliza el método punto por punto. Cada programa incluye tanto el programa principal así como sus respectivas subrutinas, existiendo para cada uno de ellos un banco de datos el mismo que contiene

la información fotométrica, de las luminarias consideradas, necesaria para ser utilizada por las metodologías aplicadas.

Los programas se ejecutan en forma conversacional, es decir, los parámetros necesarios para el diseño son ingresados directamente del teclado en la medida que son requeridos, pero antes de ser almacenados en las variables respectivas, el programa solicita al usuario sean confirmados en sus valores.

La lectura de datos se la realiza mediante el formato libre indicado por un asterisco en la preposición READ, por ejemplo, se tiene READ (4,\*). De esta manera los datos deben escribirse separados por una coma sin necesidad de especificar un campo determinado para cada uno. Cuando se escribe un grupo de datos, separados por comas, el último de ellos no debe llevar coma al final, debiendo escribirse el siguiente grupo de datos, si los hay, en una nueva línea.

### 3.2. PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LA ILUMINACION EMPLEANDO LAS CURVAS DEL FACTOR DE UTILIZACION

#### 3.2.1. Propósito

El propósito de este programa es determinar, en función de las

características de una vía, el factor de utilización a partir de las curvas del factor de utilización, el cual permite efectuar los siguientes cálculos:

Cálculo del nivel medio de iluminación.

Cálculo de la separación entre luminarias para obtener un nivel medio de iluminación.

Cálculo del flujo luminoso necesario para obtener un nivel medio de iluminación.

### 3.2.2. Entrada de datos

El programa tiene dos fuentes de entrada de datos: Datos ingresados directamente del teclado (terminal), y datos ingresados desde un archivo.

La primera fuente está compuesta por los diferentes parámetros que intervienen en un proyecto de alumbrado público, los cuales son ingresados en la medida que el programa los requiera, y son:

Nombre del diseño.

Altura de montaje, ancho de la calzada, separación entre luminarias.

Tipo de luminaria (seleccionada del menú

que aparece en la pantalla).

Factores de depreciación.

Angulo de inclinación de la luminaria.

Disposición de las luminarias (seleccionada del menú que aparece en la pantalla).

Localización transversal de la luminaria (avance).

La segunda fuente corresponde a la información fotométrica (Curvas del Factor de Utilización) de las luminarias consideradas, información que se encuentra almacenada en diferentes archivos, existiendo uno por cada luminaria. El programa tiene acceso a estos archivos respondiendo a un código, seleccionado del menú que aparece en la pantalla, el cual está asociado con cada tipo de luminaria. La información fotométrica contenida en estos archivos está compuesta de: Flujo luminoso y las curvas del factor de utilización que se encuentran almacenadas en forma de tablas.

### 3.2.3. Descripción del programa

El programa CDFU, Curvas del Factor de Utilización, consta de un programa principal llamado Curvas y de siete subprogramas

subrutinas llamadas Datos, Setilu, Angulo, Dispos, Avance, Dfu e Interp.

Las cinco primeras son las encargadas de leer los parámetros que intervienen en el diseño, y las dos restantes tienen como función realizar los cálculos de iluminación.

Para una mejor comprensión, la explicación de las subrutinas irá en orden secuencial a medida que son llamadas.

Los diagramas de flujo del programa principal y de las diferentes subrutinas se pueden observar en el apéndice C.

#### Programa Principal CURVAS

El programa principal Curvas ha sido estructurado de tal forma que los parámetros que intervienen en el diseño sean leídos por diferentes subrutinas, con la finalidad de que si es necesario un reingreso en el proceso de diseño, el cambio pueda ser realizado en cualquier punto del mismo.

Iniciada su ejecución, el programa Curvas realiza las siguientes funciones:

- Se encarga de leer el nombre del diseño, el cual irá en la primera línea de cada hoja del reporte de salida.
- Solicita al usuario el tipo de cálculo a realizar, el cual puede ser uno de los indicados en la sección 3.2.1..
- Invoca a cada uno de los subprogramas subrutinas encargados de leer los diferentes parámetros que intervienen en el diseño, solicitando a su vez confirmarlos en sus valores.
- Ingresados los parámetros, el programa, en función de ellos, determina el factor de utilización, para posteriormente realizar el tipo de cálculo seleccionado.
- Realizados los cálculos, el programa muestra en pantalla los resultados obtenidos para su análisis.
- Finalmente, procede a mostrar un menú de las diferentes opciones en caso de ser necesario un reingreso en el proceso de diseño, en cualquier punto del mismo, o de lo contrario manda a imprimir tanto los datos ingresados así como los



resultados obtenidos a un archivo o reporte de salida.

#### Subrutina DATOS

DATOS es una subrutina de lectura e impresión. Es la encargada de leer los siguientes parámetros: ancho de la calzada, altura de montaje y separación entre luminarias en metros, además realiza la lectura del nivel medio de iluminación recomendado en luxes.

Ingresado el valor de cada parámetro, y sólo una vez que han sido confirmados por el usuario, la subrutina los escribe en el reporte de salida.

#### Subrutina SETILU

Al igual que DATOS, SETILU (selección del tipo de luminaria) es una subrutina de lectura e impresión, y cumple las siguientes funciones.

Primero, muestra en pantalla el menú de luminarias consideradas y su respectivo código, realizando la lectura de éste y su verificación. Segundo, seleccionada y verificada el tipo de luminaria, mediante

su código, SETILU realiza la lectura del archivo de datos, el cual contiene la información fotométrica de la luminaria seleccionada y lo transfiere por medio de un COMMON (bloque de memoria común) al programa principal.

Realizados los pasos anteriores, esta subrutina procede a la lectura de los respectivos factores de depreciación, los mismos que deben ser confirmados por el usuario.

Finalmente, la luminaria seleccionada y sus respectivos factores de depreciación son escritos en el reporte de salida.

#### Subrutina DISPOS

Al igual que las anteriores, DISPOS (disposición) es una subrutina de lectura e impresión, encargada de la lectura de la disposición de las luminarias a lo largo de toda la vía.

La disposición es seleccionada del menú que aparece en la pantalla, el cual contiene las diferentes disposiciones consideradas por el programa.

Seleccionada la disposición a emplearse, y una vez que ha sido confirmada por el usuario, DISPOS la escribe en el reporte de salida.

#### Subrutina AVANCE

AVANCE es la subrutina encargada de realizar la lectura de la localización transversal de la luminaria o avance según la disposición seleccionada.

Ingresado el valor del avance y confirmado por el usuario, la subrutina avance lo escribe en el reporte de salida.

#### Subrutina ANGULO

ANGULO es la subrutina encargada de leer el ángulo de inclinación de la luminaria con respecto a la horizontal.

Ingresado el ángulo de inclinación y confirmado por el usuario, su valor es escrito en el reporte de salida.

#### Subrutina DFU

La subrutina DFU (determinación del factor de utilización), es la encargada de realizar el cálculo de las relaciones

transversales, lado-calle y lado-casa, en función del ancho de la calzada, altura de montaje, avance y ángulo de inclinación de la luminaria.

Determinadas las relaciones transversales, la subrutina DFU, llama a otra subrutina con el nombre de INTERP que obtiene por interpolación los factores de utilización para ambas relaciones transversales.

#### Subrutina INTERP

Su función es interpolar puntos de un conjunto de  $n$  pares ordenados  $(x,y)$ , los cuales son entregados por el programa que la llama. Los puntos corresponden a las relaciones transversales, los pares ordenados son las curvas del factor utilización y los valores entregados son los respectivos factores de utilización.

El método de interpolación en que se fundamenta esta subrutina es el de Lagrange, el mismo que se encuentra desarrollado en el apéndice C.

#### 3.2.4. Salida de Resultados

El reporte de salida del programa incluye:

En el encabezamiento se indica el método de cálculo empleado y a continuación aparecen en el siguiente orden:

Nombre del diseño.

Ancho de la calzada, altura de montaje y separación entre luminarias.

Relación altura de montaje ancho de la calzada.

Relación separación entre luminarias altura de montaje.

Luminaria seleccionada.

Los factores de depreciación del flujo luminoso de la lámpara y por suciedad de la luminaria.

Angulo de inclinación.

Disposición de las luminarias a lo largo de la vía.

Localización transversal de la luminaria o avance.

Finalmente, dependiendo del tipo de cálculo realizado, muestra:

- Nivel medio de iluminación (asumido o calculado).
- Separación entre luminarias (asumida o calculada).
- Flujo luminoso (ingresado o calculado).
- Factor de utilización (calculado).

### 3.3. PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LA ILUMINACION EMPLEANDO EL PROCEDIMIENTO PUNTO POR PUNTO

#### 3.3.1. Propósito

El propósito de este programa es determinar si los parámetros conocidos y asumidos, considerados en un proyecto de alumbrado, satisfacen los requerimientos de diseño para el nivel medio y de uniformidad de la iluminación, mediante la aplicación del método punto por punto analizado en la sección 2.2 del capítulo II.

#### 3.3.2. Entrada de datos

Al igual que en la sección 3.2.2., este programa tiene dos fuentes de entrada de datos: datos ingresados directamente del teclado (terminal), y datos ingresados directamente desde un archivo.

Donde la primera fuente está formada por los diferentes parámetros considerados en el diseño, y la segunda fuente corresponde a la información fotométrica (curvas de distribución de intensidad) de las luminarias consideradas.

La información fotométrica contenida en

estos archivos está compuesta de:

Flujo luminoso de la lámpara a la cual fueron obtenidas las curvas, flujo luminoso de la lámpara standar para esa luminaria, número de puntos tomados de las curvas de distribución de intensidad, almacenadas en forma de tablas para diferentes planos verticales.

### 3.3.3. Descripción del programa

El programa PPP, procedimiento punto por punto, consta de un programa principal llamado DIMPP y de once subprogramas subrutinas llamadas Datos, Setilu, Angulo, Dispos, Avance, Puntos, Levin, Interp, Spline, Ilumi y Dibujo.

Las cinco primeras son las encargadas de leer los parámetros que intervienen en el diseño, y las seis restantes tienen como función realizar los cálculos de iluminación.

Para una mejor comprensión, la explicación de las subrutinas irá en orden secuencial a medida que son llamadas. Los diagramas de flujo del programa principal y de las diferentes subrutinas se pueden observar en

el apéndice C.

#### Programa principal DIMPP

El programa principal DIMPP, determinación de la iluminación mediante el procedimiento punto por punto, ha sido estructurado de tal manera que los parámetros que intervienen en el diseño sean leídos por diferentes subrutinas, con la finalidad de que si es necesario un reingreso en el proceso de diseño éste pueda ser realizado en cualquier punto del mismo.

Iniciada su ejecución, el programa principal realiza las siguientes funciones:

- Se encarga de leer el nombre del diseño, el cual irá en la cabecera de cada hoja del reporte de salida.
- Invoca a cada uno de los subprogramas subrutinas encargados de leer los diferentes parámetros que intervienen en el diseño, solicitando a su vez confirmar sus valores.
- Ingresados los parámetros se procede a determinar la iluminación producida por una



luminaria tipo, para la zona de influencia que la misma afecte, a continuación se localizan los puntos, en dicha zona, con respecto al punto de visión o enfoque de la luminaria sobre la calzada dimensionándolos en coordenadas rectangulares.

- Mediante la aplicación de la ecuación (2.3) del capítulo II se determina el valor del ángulo de emisión  $\gamma$  del haz luminoso correspondiente a cada punto de la zona de influencia; necesario para entrar a las curvas de distribución de intensidad. Además se determina el plano  $\beta$ , ecuación (2.4), al cual pertenece cada uno de los puntos a calcular.
- El valor de intensidad es determinado eligiendo la curva correspondiente, según que el punto a analizar pertenezca a uno u otro plano  $\beta$ , o por interpolación entre los planos en que se encuentre.
- La iluminación en cada punto de la zona de influencia es determinado por la aplicación de la ecuación 2.2 del capítulo II.
- Ahora los valores de iluminación son ajustados para las condiciones actuales del

sistema: primero, para los lúmenes correctos de la lámpara; segundo, por el factor de conservación del conjunto lámpara luminaria.

- Una vez determinados los niveles de iluminación de los puntos ubicados en la zona de influencia, se realiza el análisis de la iluminación de los puntos ubicados en la zona representativa del sistema, dicha zona es llamada la zona de estudio. Para cada uno de los puntos ubicados en la zona de estudio la iluminación es calculada como la suma de las iluminancias parciales debido a cada una de las luminarias incidentes.
- Calculados los niveles de iluminación de los puntos ubicados en la zona de estudio, se determina la iluminación media, el nivel mínimo y máximo de la zona, y las relaciones de uniformidad media y extrema. El número de puntos considerados por el programa en la zona de estudio son 20.
- Realizado el cálculo de la iluminación obtenida por todas las luminarias incidentes sobre la zona de estudio, se muestra en pantalla los resultados obtenidos para su análisis.

- Finalmente, procede a mostrar un menú de las diferentes opciones en caso de ser necesario un reingreso en el proceso de diseño, en cualquier punto del mismo, o de lo contrario manda a imprimir tanto los datos ingresados así como los resultados obtenidos a un archivo o reporte de salida.

#### Subrutinas DATOS, SETILU, ANGULO, DISPOS Y AVANCE

Las subrutinas Datos, Setilu, Angulo, Dispos y Avance son las mismas subrutinas utilizadas por el programa CDFU, las cuales al no sufrir variación en su contenido no necesitan comentario adicional alguno.

#### Subrutina PUNTOS

Esta subrutina inicialmente es la encargada de calcular los diferentes puntos sobre la zona de influencia de la calzada, ubicándolos en coordenadas rectangulares y tomando como punto de referencia el punto de enfoque de la luminaria.

Internamente se encuentra dividida en dos partes, de las cuales en la primera los puntos son ubicados en el eje transversal

de la vía, dependiendo de su ancho y de la localización transversal de la luminaria, pudiendo estos puntos encontrarse atrás, bajo o delante de la luminaria.

En la segunda parte, una vez calculada la ubicación de los puntos respecto a la posición transversal de la luminaria, se procede a determinar su ubicación a lo largo del eje longitudinal, la cual depende de la separación entre luminarias y del número de puntos a analizar.

Una vez que ha sido calculada la ubicación de los puntos considerados sobre la calzada, se determina el ángulo de emisión del haz luminoso de la fuente a los diferentes puntos y el plano  $\varphi$  en el que se encuentra cada punto.

Determinada la ubicación de los puntos, el ángulo de emisión  $\vartheta$  y el plano  $\varphi$  en el que se encuentran, la subrutina Puntos invoca, dependiendo del método de interpolación, a otra subrutina la cual es la encargada de determinar, por interpolación en las curvas de distribución de intensidad, la intensidad luminosa en cada punto sobre la zona de influencia de la calzada.

Finalmente, calculada la intensidad luminosa en cada punto, conociendo la altura de montaje y el ángulo de incidencia, mediante la aplicación de la ecuación 2.2 del capítulo II se determina la iluminancia en cada punto sobre la zona de influencia de la calzada.

#### Subrutinas LEVIN, SPLINE e INTERP

Tanto la subrutina LEVIN como la SPLINE funcionan en conjunto con la subrutina INTERP, el uso de una u otra dependerá de la información fotométrica disponible.

Estas subrutinas son las encargadas de determinar la intensidad luminosa de una fuente en dirección a cada uno de los puntos, ubicados sobre la zona de influencia de la calzada, según el ángulo y plano  $\gamma$  y  $\phi$  de dichos puntos.

Los métodos de interpolación en que se fundamentan las subrutinas LEVIN, SPLINE e INTERP son técnica de interpolación de intensidad en base a 5 planos, ajuste de curvas mediante una spline cúbica e interpolación usando un polinomio de Lagrange respectivamente, las mismas que se

encuentran desarrolladas en el apéndice B.

#### Subrutina ILUMI

ILUMI (iluminación), es una subrutina de cálculo y escritura, tiene como función realizar el cálculo del nivel de iluminación en cada uno de los puntos ubicados sobre la zona de estudio de la calzada como la suma de las iluminancias parciales producidas por las luminarias incidentes consideradas en cada punto.

Después de haber calculado los valores de la iluminancia en los puntos sobre la zona de estudio de la calzada, la subrutina Ilumi determina el nivel medio, mínimo y máximo de iluminación, así como la relación de uniformidad mínima y extrema sobre la zona de estudio.

Finalmente, manda a escribir al reporte de salida la iluminación total para cada punto de estudio y la iluminación parcial aportada por cada luminaria incidente considerada.

#### Subrutina DIBUJO

Esta subrutina manda a imprimir al reporte

de salida en forma gráfica la zona de estudio y la ubicación de las luminarias incidentes que se consideran en el cálculo.

Además, la ubicación de los puntos sobre la zona de estudio según la disposición de las luminarias.

#### 2.3.4. Salida de Resultados

El reporte de salida del programa incluye:

En el encabezamiento se indica el método de cálculo empleado y a continuación aparecen en el siguiente orden:

Nombre del diseño.

Ancho de la calzada, altura de montaje y separación entre luminarias.

Relación altura de montaje ancho de la calzada.

Relación separación entre luminarias altura de montaje.

Luminaria seleccionada.

Los factores de depreciación del flujo luminoso de la lámpara y por suciedad de la luminaria.

Angulo de inclinación.

Disposición de las luminarias a lo largo de

la vía.

Localización transversal de la luminaria o avance.

Muestra en forma de tabla el nivel de iluminación total en luxes para cada punto de estudio, así como el nivel de iluminación parcial aportado por cada luminaria incidente considerada.

En forma gráfica muestra la zona de estudio y la ubicación de las luminarias incidentes que se consideran en el cálculo, además la ubicación de los puntos en la zona de estudio según la disposición de las luminarias.

Finalmente, en forma de tabla muestra el nivel mínimo, máximo, medio sugerido, medio calculado de iluminación y las relaciones de uniformidad media y extrema.



## CAPITULO IV

### ANALISIS ECONOMICO

#### 4.1. GENERALIDADES

De lo expuesto en la sección 1.2 y 1.3 una instalación de alumbrado público debe estar proyectada para cumplir ciertos requisitos de calidad definidos rigidamente. Pero los aspectos de costo total de la instalación de iluminación y los costos derivados del uso de dicha instalación también deben considerarse al proyectar un sistema de alumbrado público.

El costo y consumo de energía de una instalación varían dependiendo del tipo de lámpara y luminaria elegida, soportes, estructuras de montaje y su localización adecuada para cumplir los requisitos de iluminación de la vía objeto del proyecto.

El hecho de que siempre haya más de una combinación de estos parámetros del proyecto lleven a una solución aceptable, quiere decir que es de esperar una variación considerable entre los costos totales resultantes entre un proyecto y otro. Por lo tanto es importante que la persona encargada de un proyecto, considere cuidadosamente

durante el proceso de diseño, cual de las muchas alternativas de solución a un proyecto de iluminación dado sea la mejor elección para la aplicación desde los puntos de vista de la tecnología del alumbrado y costos.

En el presente capítulo se definen los diferentes factores que intervienen y son necesarios conocer para determinar el costo de un sistema de iluminación; y presenta un modelo de comparación económico el cual permite valorizar a las posibles soluciones de un proyecto en forma de una comparación de costos.

## 4.2. FACTORES QUE HAN DE CONSIDERARSE

El costo total de un sistema de iluminación puede ser calculado reuniendo todos los factores que intervienen en el costo de una instalación, y estos son: La inversión inicial, los costos de operación y el costo total anual del sistema de iluminación.

### Inversión Inicial

La inversión inicial esta compuesta por el costo de adquisición del equipo de alumbrado y los costos de instalación (mano de obra y materiales adicionales). Estos costos representan el capital invertido en la construcción del sistema de

iluminación.

Un sistema de alumbrado económicamente depende el nivel de iluminación requerido por la instalación, ya que un mayor nivel de iluminación incrementa los costos a causa de que más equipo de alumbrado es necesario.

Por otro lado, la eficacia de las fuentes luminosas y la utilización de las luminarias inciden en los costos iniciales de un sistema; y se las debe considerar en conjunto a causa de que fuentes de mayor eficacia resulta en el uso de pocas luminarias, y un nivel de iluminación se puede lograr con el uso de pocas luminarias de mayor utilización.

Otros factores a tomarse en cuenta son el sistema de alimentación, sistema de control, estructura de montaje, soportes, etc, pero los mencionados anteriormente tienden a ser los más significativos en la mayoría de los casos.

#### Costos de Operación

Son los costos derivados del uso u operación del sistema de alumbrado. El costo de operación se compone del costo de energía y los costos de mantenimiento.

El costo de energía para operar un sistema varía directamente con el costo por kilovatiohora de energía, la potencia de la lámpara incluidos sus accesorios, consiguiéndose menos gastos de energía con el uso de fuentes de mayor eficacia y luminarias de mayor utilización.

$$\text{Costo Anual de energía} = \text{Potencia (Kw)} \times \text{Horas anuales encendidas} \times \text{Costo por KWH}$$

La calidad de un sistema de iluminación depende de como se atiende y cuide su mantenimiento. Un mantenimiento adecuado implica reposiciones ordenadas, limpieza sistemática e inspecciones regulares.

Cuando las lámparas se queman, en un sistema de iluminación, éstas pueden sustituirse una a una cuando se funden o pueden sustituirse todas antes de que alcancen su vida media. La sustitución individual se denomina normalmente así; la sustitución en masa se denomina en grupo.

Otro gasto significativo dentro de los costos de operación es el de la limpieza de las luminarias. Los sistemas de iluminación son diseñados para mantener un nivel mínimo de iluminación. El programa de limpieza de las luminarias es implícitamente diseñado y determinado. El factor

de depreciación por acumulación de suciedad en la luminaria es función de la categoría de la luminaria, la condición de suciedad del medio y el intervalo de limpieza en meses. Este intervalo de limpieza es usado para determinar el costo anual de limpieza de las luminarias. Además es necesario considerar el costo por hora de mano de obra para la limpieza y el tiempo de limpieza por luminaria.

Otros tipo de gasto de operación son el reemplazo de los accesorios eléctricos y mecánicos, el mantenimiento de las estructuras de soporte, etc.

#### Costo Anual Total

La comparación directa entre la inversión inicial o los costos de operación de dos o más alternativas de iluminación es útil para ciertos propósitos; sin embargo, la elección de cual de ellas resulta ser la mejor desde el punto de vista económico no se la puede realizar comparando sólo sus inversiones iniciales o sus costos de operación, ya que un sistema con la menor inversión inicial o menor costo de operación no es necesariamente el sistema con el mejor valor económico.

En razón de lo anterior, la evaluación de los

diferentes sistemas se la debe realizar considerando tanto la inversión inicial como los costos de operación. El costo total anual en un sistema de iluminación representa el efecto combinado de su inversión inicial (la cual ocurre en un punto en el tiempo) y sus costos de operación (los cuales ocurren como un flujo de gastos en un período de tiempo), tomando en cuenta el valor en el tiempo del dinero.

La suma directa de la inversión inicial y los costos de operación se la puede obtener convirtiendo la inversión inicial del sistema de iluminación a su costo anual equivalente. El costo anual equivalente es obtenido multiplicando la inversión inicial del sistema por el respectivo factor de recuperación del capital, el cual es determinado en base al período de amortización de la instalación y la tasa de interés anual.

$$\text{Costo Anual equivalente} = \text{Inversión Inicial} \times \text{Factor de recuperación del Capital}$$

$$\text{Costo Total Anual} = \text{Costo Anual equivalente} + \text{Costo operación Anual}$$

El factor de recuperación del capital (FRC) puede ser calculado por la aplicación de la siguiente ecuación:

$$FRC = \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Donde:

i : Tasa de interés anual

n : Período de amortización

Mediante la aplicación del procedimiento descrito es posible combinar la inversión inicial y el costo de operación de un sistema incluyendo el efecto del interés. Tal combinación permite realizar directamente y de manera apropiada, un número de comparaciones entre una alternativa y otra.

### 4.3. MODELO DE COMPARACION ECONOMICO

Una de las razones más importantes para desear conocer el costo de un sistema de iluminación es para poder realizar la comparación de dos o más alternativas de un proyecto, eligiendo aquella que resulte más ventajosa respecto a las posibilidades económicas disponibles.

Los factores a incluirse para la comparación de los distintos sistemas de iluminación son tanto la inversión inicial como los costos de operación. Mientras que uno de estos puede ser un factor dominante en la selección final, el indicador que

permite valorizarlos es el costo total anual, de manera que la comparación sea la apropiada midiendo la ventaja de la inversión inicial de un sistema contra la ventaja del costo de operación de otro sistema.

El cálculo de la inversión inicial, el costo de operación y el costo total anual para los diversos sistemas considerados, debe basarse en ciertos supuestos para una comparación equitativa de los sistemas. Algunas de las consideraciones importantes son:

- Iguales resultados de iluminación; puesto que distintos sistemas pueden no producir iguales niveles de iluminación, todos los costos han de compararse sobre una misma base de iluminación mantenida.
- Deben usarse iguales tasas de amortización de la inversión inicial.
- Las condiciones de funcionamiento, tales como el valor de la energía eléctrica, horas de encendido por año y frecuencia de arranque de las lámparas, tienen que ser iguales para los sistemas que se consideren.
- La programación de la limpieza será la apropiada a cada tipo de sistema.



- Deben usarse valores de mano de obra uniformes entre los sistemas para el cálculo del costo de las instalaciones, limpieza y sustituciones.

La Tabla VI presenta una forma de análisis de costos, la cual lista los varios elementos incluidos al hacer una comparación económica de dos o más sistemas de iluminación a ser estudiados en un proyecto dado.

Muchos de los items se expresan claramente, pero la línea 9, "Costo de cada luminaria", línea 10, "Costos de los accesorios por luminaria", línea 11, "Costo del alambrado e instalación por luminaria", deben ser explicados.

La línea 9 incluye la luminaria, el poste y el brazo portaluminaria.

La línea 10 incluye el costo del alambrado, transformador y equipo de control. Este costo por luminaria es obtenido dividiendo el costo de un circuito completo por el número de unidades del circuito.

La línea 11 incluye la mano de obra para la instalación y conexión de todo el equipo. De igual manera, este costo por luminaria es obtenido calculando el costo total de un circuito, y luego se divide este costo por el número de luminarias

del circuito para obtener el costo por luminaria.

No es práctico incluir una lista completa de todos los materiales usados al realizar estas comparaciones. El costo de cualquier instalación particular dependerá de muchos factores, y variarán grandemente dependiendo de las condiciones específicas encontradas para cada instalación.

TABLA VI

## SELECCION DE LUMINARIAS - CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE ILUMINACION	SISTEMA DE ILUMINACION			
	1	2	3	4
1 Tipo de lampara .....				
2 Tipo de luminaria .....				
3 Numero de lamparas por luminaria .....				
4 Vida de la lampara .....				
5 Varios por luminaria incluyendo los accesorios .				
6 Numero de luminarias .....				
7 Horas de encendido por ano .....				
8 Precio del Kwh .....				
<b>INVERSION INICIAL</b>				
9 Costo de cada luminaria .....				
10 Costo de los accesorios por luminaria .....				
11 Costo estimado del alambrado e instalacion por luminaria .....				
12 Costo de cada lampara .....				
13 Costo de lamparas por luminaria (3x12) .....				
14 Costo total inicial por luminaria (9+10+11+13) .				
15 Costo total inicial (6x14) .....				
16 Costo Anual Equivalente (15xTasa) .....				
<b>COSTOS DE OPERACION ANUAL</b>				
17 Lamparas reemplazadas anualmente (3x6x7/4) .....				
18 Costo anual de las lamparas reemplazadas (12x17) .....				
19 Costo anual de partes reemplazadas.....				
20 Costo total anual del material para mantenimiento (18+19) .....				
21 Costo estimado de mano de obra para reemplazar las lamparas .....				
22 Costo total de mano de obra para el reemplazo de las lamparas (21+20) .....				
23 Costo estimado de limpieza por luminaria .....				
24 Numero de limpiezas por ano .....				
25 Costo anual por limpieza (6x23x24).....				
26 Costo total anual de mano de obra para mantenimiento (23+25) .....				
27 Costo total anual de mantenimiento (20+26) .....				
28 Costo anual por consumo de energia(5x6x7x8/1000)				
29 Costo Total Anual de Operacion (27+28) .....				
<b>COSTOS TOTALES Y RELATIVOS</b>				
30 Costo Total Anual (16+29) .....				

## CAPITULO V

### APLICACION DE LOS PROGRAMAS A LA ILUMINACION DE UNA VIA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

#### 5.1. DESCRIPCION DE LA VIA

Para la aplicación se ha escogido un tramo de la Av. Machala, comprendido entre la Av. 9 de Octubre y la calle Gómez Rendón.

El tramo considerado de la vía es totalmente recto, no existiendo a lo largo de la misma árboles, siendo los edificios de una altura media. El diseño de la vía está formado por tres calzadas con dos separadores centrales o parterres y aceras a los costados.

Por características de diseño de la vía se consideran dos tramos, de la siguiente manera:

El primero, desde la Av. 9 de Octubre hasta la calle Sucre, siendo el ancho total de la vía igual a 15 metros.

El segundo, desde la calle Sucre hasta la calle Gómez Rendón con un ancho un ancho total de la vía igual a 22 metros.

Se considera a la vía como principal compuesta de un tráfico automotor liviano y pesado, con una velocidad media de circulación de 60 Km/h. La densidad del tráfico vehicular se la ha estimado entre unos 1000 y 1800 vehículos por hora.

### 5.2. DATOS DE ENTRADA AL PROGRAMA

El diseño del sistema de iluminación de la vía se lo hará bajo los criterios de nivel medio y uniformidad de iluminación; por lo tanto la aplicación realizada en el presente capítulo hace uso del programa PPP, procedimiento punto por punto, basado en la siguiente información:

Conocida la categoría de la vía, densidad y velocidad del tráfico vehicular, según las Tablas XII y XIII el nivel medio y uniformidad media de iluminación recomendados serán 22 lux y 0.3 <sup>①</sup> respectivamente.

Se utilizarán las estructuras existentes <sup>②</sup> formada por postes tubulares de concreto tipo ornamental de 10 metros de altura, los cuales se encuentran ubicados en los separadores centrales; la altura de montaje de las luminarias será de 9 metros. Las luminarias serán dirigidas transversalmente hacia la calzada central.

La disposición de las luminarias será bilateral

alternada, a causa de que todas las estructuras se encuentran físicamente dispuestas así, con una separación media entre luminarias de 26 metros.

④ El tipo de luminaria a emplearse será hermética con una distribución asimétrica del flujo luminoso. Por tratarse de una vía en la que la reproducción en colores no es importante, pero sí el poder distinguir bien los objetos, se ha escogido el uso de lámparas de sodio de alta presión a causa de su buen rendimiento luminoso; además, se considera el hecho de poder distinguir esta vía de las calles próximas las cuales se encuentran iluminadas con lámparas de vapor de mercurio de alta presión. El modelo de luminaria y tamaño de la fuente luminosa serán determinadas por la aplicación del programa. <sup>P10</sup>

Los factores de depreciación por suciedad de la luminaria y el factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara son determinados con la ayuda de las Tablas XVII y XVIII. ⑤

⑥ <sup>P11</sup> Para el análisis de la iluminación de la vía se la ha dividido en cuatro zonas de estudio, tal como se indica en la figura 5.3. La zona de estudio 1 cubre todo el ancho de la vía, la zona de estudio 2 cubre la calzada central, la zona de estudio 3 cubre la calzada lateral 1 y la zona de estudio 4 cubre la calzada lateral 2.

A continuación se describe como se encuentran localizadas las luminarias con respecto a cada una de las zonas de estudio.

Para el análisis de la zona de estudio 1 las luminarias se encuentran en disposición bilateral alternada, el avance para la fila A y B de luminarias, para cada uno de los tramos, es determinado de las figuras 5.1 y 5.2. El ancho de la calzada será igual al ancho total de la vía.

Para el análisis de la zona de estudio 2, calzada central, las luminarias se encuentran en disposición bilateral alternada, el avance de las luminarias, para ambas filas de luminarias, es determinado de las figuras 5.1 y 5.2, en este caso el ancho de la vía es igual al ancho de la calzada central, la cual es medida entre los ejes de los parterres.

El análisis de la iluminación para cada una de las calzadas laterales, zonas de estudio 3 y 4, se lo ha dividido en dos partes. Primero, se determina la contribución hecha por la fila A de luminarias a cada una de las zonas de estudio; segundo, se determina la contribución hecha por la fila B de luminarias a cada una de las zonas de estudio. El nivel de iluminación total en cada zona será igual a la suma de la contribución hecha por la fila A y

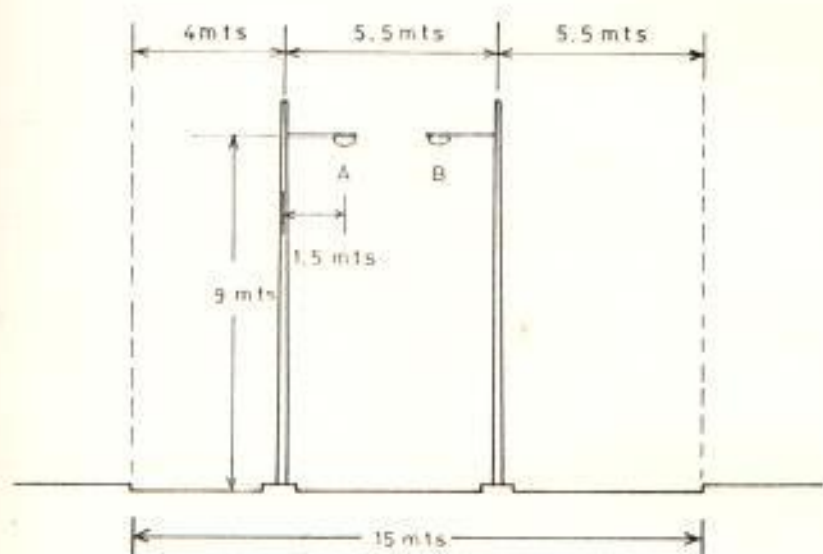


Figura 5.1 Arreglo de las luminarias en la Av. Machala (Tramo 1)

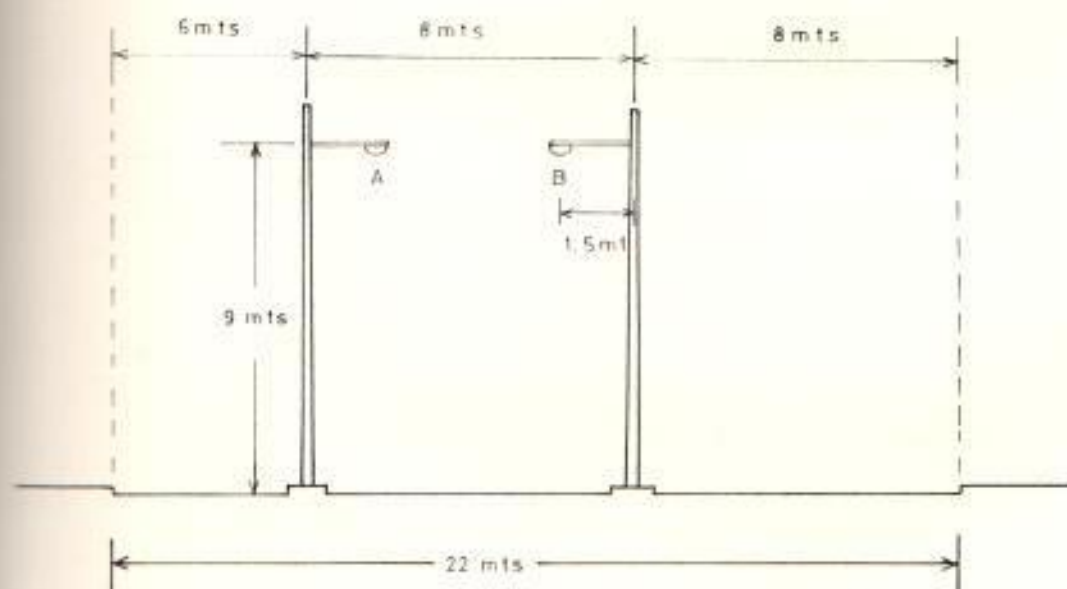


Figura 5.2 Arreglo de las luminarias en la Av. Machala (Tramo 2)



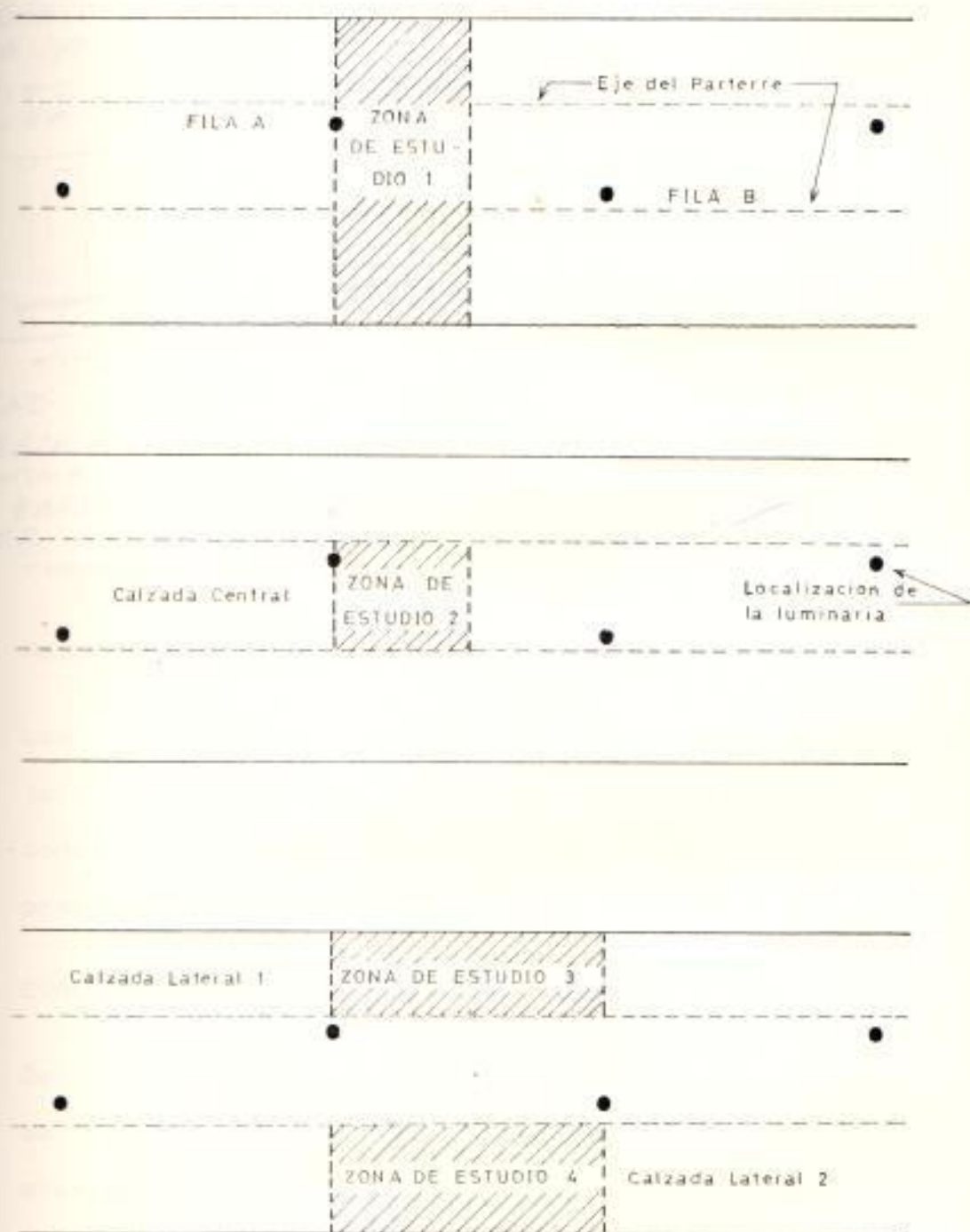


Figura 5.3 Ubicación de las zonas de estudio para los Tramos 1 y 2 de la Avenida Machala.

B de luminarias. Es de notar que para el análisis, la fila A y B de luminarias se encuentran en disposición unilateral con respecto a las calzadas laterales, y una de ellas, dependiendo de la zona de estudio, está iluminando la calzada con el flujo de atrás. Para cada zona de estudio el ancho de la vía será igual al ancho de la calzada lateral medido entre el eje del parterre y el bordillo. El avance de la fila A y B de luminarias para cada una de las calzadas laterales es determinado de las figuras 5.1 y 5.2. (3)

### 5.3. RESULTADOS DEL PROGRAMA

Los reportes o archivos de salida del programa PPP (procedimiento punto por punto) para las cuatro zonas de estudio analizadas en cada tramo se presentan en el Anexo C.

### 5.4. EVALUACION ECONOMICA

De lo expuesto en la sección 5.2, el nuevo sistema de iluminación hará uso de las instalaciones ya existentes, como son las estructuras de montaje y el sistema de alimentación de energía; por lo tanto desde el punto de vista económico, el sistema de iluminación queda determinado por el costo de la luminaria y potencia de la lámpara que cumplan con el nivel medio y uniformidad de iluminación

deseados; además, se debe considerar el costo de mano de obra por la instalación de las mismas y por último el costo de los programas de mantenimiento.

### 5.5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

- ① Los resultados de iluminación obtenidos por la aplicación del programa PPP, para cada una de las zonas de estudio de los dos tramos en los que se dividió la Avenida Machala, <sup>14.0000</sup> se encuentran resumidos en las Tablas VII, VIII <sup>5160000000</sup> y IX. Los niveles de iluminación han sido obtenidos aplicando un factor de conservación igual a 0.64.

Tabla VII

Nivel medio y uniformidad de Iluminación  
de la Avenida Machala (Tramo 1).

Alternativa 1

Zona de Estudio	Nivel medio de Iluminación en Lux		Uniformidad Media	
	Sugerido	Calculado	Sugerida	Calculada
1	22	19.85	0.30	0.365
2	22	28.59	0.30	0.593
3	22	21.30	0.30	0.498
4	22	18.98	0.30	0.402

Tabla VIII

Nivel medio y uniformidad de Iluminación  
de la Avenida Machala (Tramo 1).  
Alternativa 2

Zona de Estudio	Nivel medio de Iluminación en Lux		Uniformidad Media	
	Sugerido	Calculado	Sugerida	Calculada
1	22	38.65	0.30	0.378
2	22	54.83	0.30	0.556
3	22	42.02	0.30	0.500
4	22	37.60	0.30	0.422

Tabla IX

Nivel medio y uniformidad de Iluminación  
de la Avenida Machala (Tramo 2).

Zona de Estudio	Nivel medio de Iluminación en Lux		Uniformidad Media	
	Sugerido	Calculado	Sugerida	Calculada
1	22	29.59	0.30	0.226
2	22	49.63	0.30	0.565
3	22	30.39	0.30	0.328
4	22	26.41	0.30	0.264

Para el tramo 1 de la Av. Machala, comprendido entre la Av. 9 de Octubre hasta la calle Sucre, por ser el menos ancho se consideran dos alternativas de solución usando luminarias PHILIPS con lámparas de vapor de sodio de 250 vatios (alternativa 1) y 400 vatios (alternativa 2) con un flujo luminoso de 25000 y 50000 lúmenes respectivamente.

Como se puede observar en la Tabla VII los resultados obtenidos con el uso de lámparas de 250 vatios, indican que los niveles medios de iluminación calculados en las zonas de estudio se encuentran ligeramente por debajo del recomendado, excepto para la zona de estudio 2 (calzada central) el cual es superior; en cambio la uniformidad media, para las cuatro zonas de estudio, es aceptable ya que está por encima de la mínima permitida que es de 0.30.

Al contrario de la anterior alternativa, el uso de lámparas de 400 vatios (Tabla VIII) indica que el nivel medio y uniformidad de iluminación para las cuatro zonas de estudio son aceptables ya que están muy por encima de los valores recomendados.

Es de notar que aún cuando el nivel medio de iluminación alcanzado en la alternativa 2 es casi el doble del calculado en la alternativa 1, para las cuatro zonas de estudio, la uniformidad de

iluminación es prácticamente la misma, por lo tanto la selección de cual es la más aceptable quedará determinada por los niveles de iluminación que se obtengan en el tramo 2 de la Av. Machala.

Para el tramo 2 de la Av. Machala se considera un solo caso usando luminarias PHILIPS con lámparas de vapor de sodio de 400 vatios. Los resultados obtenidos (Tabla IX) indican que el nivel medio de iluminación para las cuatro zonas de estudio se encuentran por encima del nivel recomendado. Sin embargo, la uniformidad para la zona de estudio 1 y 4 se encuentran por debajo del valor recomendado, pero estos valores, principalmente el obtenido en la zona de estudio 4, se los puede considerar como aceptables si se toma en cuenta que la calzada con mayor densidad y velocidad de circulación es la central presenta un nivel medio y uniformidad de iluminación aceptables.

Finalmente, los niveles de iluminación logrados por las alternativas 1 y 2 del tramo 1, en ambos casos son inferiores a los del tramo 2; sin embargo, se observa que los de la alternativa 1 lo son aún más que los de la alternativa 2. Por lo tanto para mantener un nivel medio de iluminación uniforme y una uniformidad aceptable a lo largo de toda la vía se recomienda el uso de lámparas de vapor de sodio de 400 vatios.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

Al finalizar el presente trabajo se concluye que para establecer un proyecto de alumbrado público es necesario el conocimiento y determinación de lo siguiente:

- Clasificar la vía objeto del proyecto.
- Características de la vía a iluminar.
- Nivel medio y uniformidad de iluminación.
- Selección del tipo de luminaria y lámpara a usar.
- Programas de mantenimiento
- Selección de la altura de montaje, soporte y separación entre luminarias.
- Disposición de las luminarias.

Desde el punto de vista económico se ha logrado determinar que todos estos factores juegan un papel importante en el costo de inversión y rendimiento de una instalación de alumbrado público.

Se ha logrado exponer dos técnicas de cálculo para la iluminación de vías públicas, las cuales al ser implementadas en programas de computador permiten, a la persona encargada, determinar en un mínimo tiempo las diferentes alternativas de solución a un proyecto de

alumbrado público en particular.

El uso de cada técnica está determinado por el tipo de cálculo en que se está interesado.

Sin embargo, a pesar de la enorme ayuda que presta el uso de un computador en un proyecto de alumbrado, éste no debe ser considerado como un instrumento capaz de realizar el proceso práctico del proyecto; es la persona responsable la encargada de decidir la ubicación definitiva del equipo de iluminación, pues la localización de éstos depende a menudo de un gran número de limitaciones impuestas, principalmente, por el medio.

Por lo tanto se puede decir que el computador sirve simplemente para disponer rápidamente del conocimiento sobre la calidad resultante del alumbrado a partir de una propuesta de un proyecto dado.

#### Recomendaciones:

Como puede verse el método de las curvas de utilización, programa CDFU, es de aplicación sencilla aunque presenta el inconveniente de no ser por regla general tan preciso como el método punto por punto, programa PPP. Por otra parte, no permite determinar la uniformidad de la iluminación, cálculo que se lo determina aplicando el segundo programa.



A pesar de todo es de gran utilidad en la mayor parte de los casos prácticos y puede servir como un complemento al programa PPP, toda vez que permite determinar además del nivel medio de iluminación, la separación aproximada entre luminarias o el flujo luminoso necesario de una lámpara capaz de proporcionar un determinado nivel de iluminación.

Para cubrir un campo más amplio en cuanto a las luminarias consideradas por los programas, es recomendable incrementar su banco de datos, solicitando a los fabricantes de luminarias suministrar la información fotométrica necesaria como son las curvas del factor de utilización y las curvas de distribución de intensidad en la mayor cantidad de planos verticales (para un cálculo preciso), los cuales servirán para el análisis respectivo de cualquier proyecto.

Si bien la elaboración de los programas se la ha realizado bajo los criterios de iluminancia, es recomendable ampliarlos, de tal manera que la calidad de una instalación de alumbrado público pueda juzgarse no sólo por los valores de iluminación, sino también en base a los valores resultantes de luminancia sobre la calzada.

## BIBLIOGRAFIA

1. ALAVA CARLOS, Criterios y Normas Aplicadas en el Diseño de Iluminación de Vías Públicas, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1985.
2. BASCHUK B. J. y VAIMBERG J. D., Criterios de Predimensionados y Métodos de Cálculo de Iluminación, Ediciones Espacio, Buenos Aires, 1977.
3. IES LIGHTING EDUCATION, Introductory Lighting, Cap. 9, New York, Illuminating Engineering Society of North America.
4. IES LIGHTING EDUCATION, Roadway Lighting, Cap. 12, New York, Illuminating Engineering Society of North America.
5. IES LIGHTING HANDBOOK, 1981 Application Volume, New York, Illuminating Engineering Society of North America, 1981.
6. LEVIN, ROBERT E., Interpolation of Intensity Distributions, Journal of the Illuminating Engineering Society, Volume 14, No. 1, Abril, 1984, pp. 27-38
7. OSRAM, Manual de Alumbrado, 2da. Edición, Madrid, 1975.

8. PHILIPS, Manual de Alumbrado, 2da. Edición, Paraninfo, Madrid, 1979.
9. PHILIPS, Outdoor Lighting Catalogue.
10. PRADA EDGAR, Seminario "Iluminación Pública e Industrial", Copia mimeografiada, ESPOL, Junio, 1984.
11. Proposed American National Standard Practice for Roadway Lighting, Journal of the Illuminating Engineering Society, Volume 12 No. 3, Abril, 1983.
12. TERRY E. SHOUP, Applied Numerical Methods for the Micro-Computer, Prentice-Hall Inc., 1984.
13. WESTINGHOUSE, Manual de Luminotecnia, 1965.