

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

**NIVELES LUMÍNICOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO
EN EL ECUADOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

WALTER HERNÁN ALARCÓN MUÑOZ

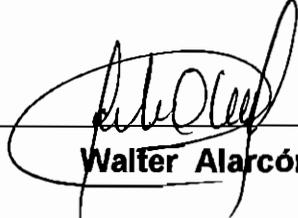
DIRECTOR: ING. EDUARDO CAZCO

Quito, Mayo 2002

DECLARACIÓN

Yo, **WALTER HERNÁN ALARCÓN MUÑOZ**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley, Reglamento de Propiedad Intelectual y por la normatividad institucional vigente.



Walter Alarcón M.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **WALTER HERNÁN ALARCÓN MUÑOZ**, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, reading "Eduardo Cazco". The signature is written in a cursive style with a large, prominent loop at the beginning of the name.

Ing. Eduardo Cazco
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi **DIOS**, por su inmenso amor...

A la **Escuela Politécnica Nacional**, por plasmar en mí todos los conocimientos necesarios para servir al país.

Al **Ing. Eduardo Cazco**, por su acertada dirección en el estudio del presente Proyecto de Titulación.

A mi **Familia**, por todo el apoyo brindado para culminar con uno de los objetivos más importantes de mi vida.

Walter Hernán

DEDICATORIA

A **DIOS**, por consentirme permanecer a su lado en todo momento.

A mis padres: **Manuel Humberto y Eva María**, por su invaluable amor, apoyo y comprensión para conmigo.

Walter Hernán

CONTENIDO

	Pág.
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 METODOLOGÍA	2
1.4 ALCANCE	3
1.5 ASPECTO LEGAL	4
CAPÍTULO 2. CONCEPTOS BÁSICOS	
2.1 DEFINICIONES FUNDAMENTALES	11
2.1.1 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	11
2.1.1.1 Frecuencia	11
2.1.1.2 Período	11
2.1.1.3 Longitud de Onda	12
2.1.2 FLUJO LUMINOSO	12
2.1.3 INTENSIDAD LUMINOSA	12
2.1.4 ILUMINACIÓN	13
2.1.5 LUMINANCIA	13
2.1.6 LEY FUNDAMENTAL DE LA ILUMINACIÓN	14
2.1.7 LEY DEL COSENO	15

2.1.8	LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LAS DISTANCIAS ..	16
2.1.9	LEY DE LAMBERT	17
2.1.10	CONTROL DE LA LUZ	18
2.1.10.1	Reflexión	19
2.1.10.1.1	<i>Reflexión Especular</i>	19
2.1.10.1.2	<i>Reflexión Difusa</i>	20
2.1.10.1.3	<i>Reflexión Mixta</i>	21
2.1.10.2	Refracción	22
2.1.10.3	Absorción	23
2.1.10.4	Transmisión	24
2.2	DEFINICIONES ESPECÍFICAS CON RELACIÓN AL ALUMBRADO PÚBLICO	25
2.2.1	ACERA	25
2.2.2	ALTURA DE MONTAJE	25
2.2.3	ANCHO DE CALZADA	25
2.2.4	BERMA	25
2.2.5	CALZADA	25
2.2.6	CAMINO	26
2.2.7	CAMINO DE DOBLE CALZADA	26
2.2.8	ESPACIAMIENTO	26
2.2.9	EXTENSIÓN	26
2.2.10	LADO DE LA CASA	26
2.2.11	SALIENTE	26
2.2.12	MEDIANA	27
2.2.13	ADAPTACIÓN	27
2.2.14	ANGSTROM	27

2.2.15	ACOMODACIÓN	28
2.2.16	BALASTRO	28
2.2.17	COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN	28
2.2.18	DEPRECIACIÓN DE LÚMENES DE LA LÁMPARA LLD	28
2.2.19	EFICACIA LUMINOSA DE UNA LÁMPARA	28
2.2.20	EFICIENCIA DE UNA LUMINARIA	29
2.2.21	FACTOR DE DEPRECIACIÓN DE LOS LÚMENES	29
2.2.22	FACTOR DE LÁMPARAS QUEMADAS	29
2.2.23	FACTOR DE PÉRDIDA DE LUZ	29
2.2.24	FUENTE LUMINOSA	29
2.2.25	NANÓMETRO	30
2.2.26	NIT	30
2.2.27	NIVEL LUMINOSO	30
2.3	REPRESENTACIONES GRÁFICAS	30
2.3.1	CURVAS DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA	30
2.3.1.1	Clasificación de las Curvas de Distribución Luminosa	33
2.3.1.1.1	<i>Distribución Corta</i>	33
2.3.1.1.2	<i>Distribución Media</i>	33
2.3.1.1.3	<i>Distribución Larga</i>	34
2.3.1.1.4	<i>Distribución Cutoff</i>	34
2.3.1.1.5	<i>Distribución Semicutoff</i>	34
2.3.1.1.6	<i>Distribución Noncutoff</i>	34
2.3.2	CURVAS DE ILUMINACIÓN DEL SUELO	35

CAPÍTULO 3. LÁMPARAS

3.1	CLASIFICACIÓN	38
3.1.1	LÁMPARAS INCANDESCENTES	38
3.1.1.1	Partes Principales	39
3.1.1.1.1	<i>El Filamento</i>	39
3.1.1.1.2	<i>El Gas de Relleno</i>	40
3.1.1.1.3	<i>La Ampolla</i>	40
3.1.1.1.4	<i>El Casquillo</i>	41
3.1.1.2	Funcionamiento	41
3.1.1.3	Tipos	42
3.1.1.3.1	<i>Halógenas</i>	42
3.1.1.3.2	<i>Reflectoras</i>	43
3.1.1.3.2.1	<i>Ampolla de Vidrio Prensado</i>	43
3.1.1.3.2.2	<i>Ampolla de Vidrio Soplado</i>	43
3.1.1.3.3	<i>Lámparas para Iluminación por Proyección</i>	44
3.1.1.3.4	<i>Lámparas para Estudios y Teatros</i>	44
3.1.1.3.5	<i>Lámparas para Aplicaciones Fotográficas</i>	45
3.1.2	LÁMPARAS DE DESCARGA EN GASES	45
3.1.2.1	Partes Principales	46
3.1.2.1.1	<i>El tubo de descarga</i>	46
3.1.2.1.2	<i>Los Electrodo</i> s	47
3.1.2.1.3	<i>La Ampolla Exterior</i>	47
3.1.2.1.4	<i>El Casquillo</i>	47

3.1.2.2	Funcionamiento	47
3.1.2.3	Tipos	48
3.1.2.3.1	<i>Sodio de Baja Presión</i>	48
3.1.2.3.2	<i>Sodio de Alta Presión</i>	50
3.1.2.3.3	<i>Mercurio</i>	53
3.1.2.3.4	<i>Luz Mezcla</i>	55
3.1.2.3.5	<i>Vapor de Mercurio con Halogenuros</i>	56
3.1.3	LÁMPARAS FLUORESCENTES	58
3.1.3.1	Encendido	60
3.1.3.1.1	<i>Por Cebador</i>	60
3.1.3.1.2	<i>Sin Cebador</i>	60
3.1.3.1.2.1	<i>Encendido Rápido</i>	60
3.1.3.1.2.2	<i>Arranque Rápido</i>	61
3.1.3.2	Tipos	61
3.1.3.2.1	<i>Con Cebador</i>	61
3.1.3.2.1.1	<i>"TL" Estándar</i>	61
3.1.3.2.1.2	<i>"TL" de Colores</i>	61
3.1.3.2.1.3	<i>"TL" Miniatura</i>	61
3.1.3.2.1.4	<i>"TL" D</i>	62
3.1.3.2.1.5	<i>"TL" E</i>	62
3.1.3.2.1.6	<i>"TL" F</i>	62
3.1.3.2.1.7	<i>"TL" H</i>	63
3.1.3.2.1.8	<i>"TL" U</i>	63
3.1.3.2.2	<i>Sin Cebador</i>	63
3.1.3.2.2.1	<i>"TL" Slimline</i>	63
3.1.3.2.2.2	<i>"TL" A</i>	64

3.1.3.2.2.3	"TL" M	64
3.1.3.2.2.4	"TL" S	64
3.1.3.2.2.5	"TL" RS	64
3.1.3.2.2.6	"TL" X	65
3.1.3.2.2.7	SL*	65
3.1.3.2.2.8	PL*	66
3.1.4	LÁMPARAS DE ÚLTIMA TECNOLOGÍA	67
3.1.4.1	Lámparas de Radiación Ultravioleta	67
3.1.4.1.1	TL Actínicas	67
3.1.4.1.2	De Luz Negra	68
3.1.4.1.3	Solares	68
3.1.4.1.4	Germicidas	68
3.1.4.1.5	De Ozono	69
3.1.4.2	Lámparas de Radiación Infrarrojo	69
3.1.4.2.1	De Onda Corta	69
3.1.4.2.2	De Onda Media	69
3.1.4.2.3	De Onda Larga	69
3.2	ELEMENTOS AUXILIARES	70
3.2.1	BALASTOS	70
2.2.1.1	Para Corriente Alterna	72
2.2.1.2	Para Corriente Continua	73
3.2.2	CEBADORES	74
3.3	DIAGRAMAS DE BLOQUE DEL BALANCE ENERGÉTICO PARA LÁMPARAS DE ALUMBRADO PÚBLICO	75

3.3.1	LÁMPARAS INCANDESCENTES	75
3.3.2	LÁMPARAS FLUORESCENTES	75
3.3.3	LÁMPARAS DE HALURO METÁLICO	76
3.3.4	LÁMPARAS DE ALTA PRESIÓN DE SODIO	76
2.4	EFICACIA Y POTENCIA CONSUMIDA	77

CAPÍTULO 4. LUMINARIAS

4.1	DEFINICIÓN	79
4.2	REQUISITOS BÁSICOS	79
4.3	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	79
4.4	CLASIFICACIÓN	79
4.4.1	CLASIFICACIÓN GENERAL	79
4.4.1.1	Distribución del Flujo Luminoso	79
4.4.1.2	Distribución de la Componente Directa	81
4.4.1.3	Distribución de la Intensidad Luminosa	82
4.4.1.3.1	<i>BRITISH IES</i>	82
4.4.1.3.2	<i>CIE</i>	82
4.4.1.3.3	<i>BSI</i>	82
4.4.1.3.4	<i>IES</i>	83
4.4.1.4	Protección Eléctrica	84
4.4.1.5	Condiciones de Trabajo	85
4.4.1.6	Otras Clasificaciones	85
4.4.2	CLASIFICACIÓN FOTOMÉTRICA	85

4.4.2.1	Luminarias para Alumbrado de Vías Públicas	85
4.4.2.1.1	<i>Alcance</i>	86
4.4.2.1.2	<i>Dispersión</i>	87
4.4.2.1.3	<i>Control</i>	88
4.4.2.2	Proyectores	89
4.5	TIPOS DE LUMINARIAS	90
4.5.1	COMERCIALES	90
4.5.1.1	Reflectores de Espejo	90
4.5.1.2	Paneles de Reflectores	90
4.5.1.3	Rejillas	90
4.5.1.4	Paneles Difusores	93
4.5.1.5	Luminarias Integradas Aire-Luz	94
4.5.2	INDUSTRIALES	94
4.5.2.1	Fluorescentes	94
4.5.2.2	Naves altas	95
4.5.2.3	Lugares Peligrosos	95
4.5.2.4	Atmósferas cargadas de Humedad y Polvo	96
4.5.3	PARA ILUMINACIÓN DE VÍAS PÚBLICAS	97
4.5.4	PROYECTORES	99
4.5.5	ILUMINACIÓN CONCENTRADA	100
4.5.5.1	Iluminación Concentrada	100
4.5.5.2	Iluminación hacia el Suelo	101
4.6	RENDIMIENTO LUMINOSO DE UNA LUMINARIA	101
4.6.1	FACTORES QUE INCIDEN EN EL RENDIMIENTO LUMÍNICO	102

4.6.1.1	Factor de Balastro	102
4.6.1.2	Variaciones de Voltaje	102
4.6.1.3	Temperatura Ambiente	103
4.6.1.4	Acumulación de Suciedad	104
4.6.1.4.1	<i>Clasificación</i>	104
4.6.1.4.2	<i>Factores</i>	105
4.6.1.4.2.1	<i>Muy Limpio</i>	105
4.6.1.4.2.2	<i>Limpio</i>	105
4.6.1.4.2.3	<i>Moderado</i>	106
4.6.1.4.2.4	<i>Sucio</i>	106
4.6.1.4.2.5	<i>Muy Sucio</i>	106

CAPÍTULO 5. ALUMBRADO PÚBLICO

5.1	GENERALIDADES	107
5.2	CRITERIOS DE DISEÑO	109
5.2.1	NIVEL DE LUMINANCIA	109
5.2.2	UNIFORMIDAD DE LA LUMINANCIA EN LA SUPERFICIE DE LA CARRETERA	112
5.2.3	LIMITACIÓN DEL DESLUMBRAMIENTO	113
5.2.3.1	Deslumbramiento Molesto	113
5.2.3.2	Deslumbramiento Perturbador	115
5.2.4	ESPECTRO DE LA LÁMPARA	118
5.2.5	ORIENTACIÓN VISUAL	121
5.3	DISEÑO DEL ALUMBRADO PÚBLICO	123

5.3.1 DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS	124
5.3.1.1 Vías con Tráfico en Ambos Sentidos	124
5.3.1.1.1 <i>Unilateral</i>	124
5.3.1.1.2 <i>Tresbolillo</i>	124
5.3.1.1.3 <i>En Oposición</i>	125
5.3.1.1.4 <i>Suspendidas en la Mitad de la Vía</i>	126
5.3.1.2 Autopistas y Vías de Dos Calzadas	126
5.3.1.2.1 <i>En la Mediana con Brazo Doble</i>	127
5.3.1.2.2 <i>Disposición en Catenaria</i>	127
5.3.1.2.3 <i>Combinación de Brazos Dobles y</i> <i>Disposición en Oposición</i>	128
5.3.1.3 Bifurcaciones o Confluencias	128
5.3.1.3.1 <i>Con Luminarias Clásicas</i>	128
5.3.1.3.2 <i>Alumbrado con Postes Altos</i>	129
5.3.1.4 Curvas	131
5.3.1.4.1 <i>Reducción del Espaciamiento en las Curvas</i>	131
5.3.1.4.2 <i>Pendientes y Cumbres</i>	132
5.3.1.4.3 <i>Cruces de Caminos y Cruces Peatonales</i>	132
5.3.1.4.4 <i>Redondeles</i>	134
5.3.1.4.5 <i>Postes de Alumbrado como un Peligro</i>	135
5.3.2 CARACTERÍSTICAS REFLECTIVAS DE LA SUPERFICIE DE LA CALZADA	135
5.3.2.1 Coeficiente de Luminancia	136
5.3.2.2 Indicatríz de Reflexión	137

5.3.2.3	Clasificación de los Pavimentos	139
5.3.3	DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA INSTALACIÓN	141
5.3.3.1	Altura de Montaje de las Luminarias	141
5.3.3.2	Espaciamiento entre las Fuentes	141
5.3.3.3	Saliente de las Luminarias	141

CAPÍTULO 6. CÁLCULOS PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO

6.1	ANTECEDENTES	142
6.2	CÁLCULOS DE ILUMINANCIA	142
6.2.1	ILUMINANCIA EN UN PUNTO	142
6.2.1.1	Método del Cálculo “Punto por Punto”	142
6.2.1.2	Diagrama Isolux trazado por Computador	143
6.2.2	ILUMINANCIA MEDIA	145
6.2.2.1	Calculada como Valor Numérico	145
6.2.2.2	Cálculo empleando las Curvas del Factor de Utilización	145
6.3	CÁLCULOS DE LUMINANCIA	148
6.3.1	LUMINANCIA EN UN PUNTO	148
6.3.1.1	Método del Cálculo “Punto por Punto”	148
6.3.1.2	Diagrama Iso-cd/m ² trazado por Computador	148

6.3.2	LUMINANCIA MEDIA	152
6.3.2.1	Calculada como Valor Numérico	152
6.3.2.2	Cálculo utilizando las Curvas de Rendimiento de Luminancias	153
6.4	ALUMBRADO EN ZONAS PEATONALES.....	154
6.4.1	CRITERIOS VISUALES	156
6.4.1.1	Detección de Obstáculos	156
6.4.1.2	Identificación Facial	156
6.4.1.3	Orientación Visual	156
6.4.1.4	Ambientación	157
6.4.1.5	Seguridad	157
6.4.2	EXIGENCIAS LUMÍNICAS	157
6.4.2.1	Iluminación Media Horizontal	157
6.4.2.2	Uniformidad de Iluminación	158
6.4.2.3	Iluminación en Planos Verticales	158
6.4.2.4	Modelado	158
6.4.2.5	Color	159
6.4.2.6	Control del Deslumbramiento	160
6.4.2.7	Iluminación del Entorno	161
6.4.3	MATERIAL E INSTALACIÓN	161
6.4.3.1	Seguridad de las Instalaciones	161
6.4.3.2	Riesgo de Vandalismo	161
6.4.3.3	Escala Dimensional	162
6.4.3.4	Diseño Formal	162

6.5	AHORRO ENERGÉTICO: MEJORAS EN LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO	163
6.5.1	GENERALIDADES	163
6.5.2	APLICACIÓN PRÁCTICA	163
6.5.2.1	Reemplazo con Luminarias de Sodio Nuevas	164
6.5.2.2	Luminarias de Sodio Repotenciadas en Fábrica	164
6.5.2.3	Reemplazo del Bombillo de Mercurio por Lámparas de Sodio Compatibles	165
6.5.2.4	Repotenciación a Sodio.....	166
6.6	CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	167
6.6.1	EL IMPACTO DE LA LUZ EN EL AMBIENTE	167
6.6.1.1	Causas y Consecuencias	169
6.6.1.2	Soluciones	170
6.6.2	TIPOS DE LÁMPARAS ACTUALES	172
6.6.3	BUENA Y MALA ILUMINACIÓN	173
6.6.3.1	Ejemplos de Buena Iluminación	173
6.6.3.2	Ejemplos de Mala Iluminación	175
6.6.3.3	Lo Feo de la Contaminación Lumínica	176
6.6.4	ILUMINACIÓN DE CARTELES Y MUROS	177
6.6.5	ILUMINACIÓN DE ESPACIOS ABIERTOS	177
6.6.6	ILUMINACIÓN DE RECINTOS ABIERTOS	177

CAPÍTULO 7. DEFINICIÓN DE LA NORMATIVA

7.1	PARÁMETROS INVOLUCRADOS	178
7.1.1	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE VÍA	178
7.1.2	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA	183
7.1.3	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS BÁSICOS	187
7.2	SELECCIÓN DE MATERIALES	187
7.2.1	LÁMPARAS	187
7.2.1.1	Espectro Luminoso	188
7.2.1.2	Eficiencia Luminosa	188
7.2.1.3	Análisis Económico	189
7.2.2	LUMINARIAS	190
7.3	DETERMINACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN	191
7.3.1	POSIBILIDAD FÍSICA DE IMPLANTACIÓN	191
7.3.2	ALTURA DE LOS POSTES	191
7.4	PREDIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN	192
7.4.1	ALTURA DE LOS POSTES	192
7.4.2	POTENCIA DE LA LÁMPARA	193
7.4.3	CÁLCULO DE LA INTERDISTANCIA	194
7.4.4	COMPROBACIÓN DE LA UNIFORMIDAD CORRECTA	194
7.5	DESARROLLO DEL PROYECTO	195
7.5.1	CÁLCULO FOTOMÉTRICO	195

7.5.2	DISEÑO DE LA IMPLANTACIÓN	197
7.5.3	ASPECTOS NO FOTOMÉTRICOS	198
7.5.3.1	Cálculos Eléctricos y Mecánicos	198
7.5.3.2	Presupuesto	198
7.5.3.3	Planos	199
7.5.3.4	Pliego de Condiciones	199
7.6	NORMATIVA OBTENIDA	199
7.7	RESUMEN DE LA NORMATIVA	205
7.7.1	PROYECTOS POR EJECUTARSE	205
7.7.2	PROYECTOS EJECUTADOS	206
7.7.3	CONSIDERACIONES ECONÓMICAS	206
7.7.3.1	Rendimiento de la Lámpara y Precio	207
7.7.3.2	Características de las Luminarias	208
7.7.3.3	Planificación y Mantenimiento.....	208
7.7.3.4	Control de Utilización	209

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1	CONCLUSIONES	210
8.2	RECOMENDACIONES	214

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

RESUMEN

En el presente Proyecto de Titulación denominado: **NIVELES LUMÍNICOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL ECUADOR**, se realiza un estudio sobre los diferentes parámetros involucrados en el diseño del Alumbrado Público, con la finalidad de determinar una normativa que permita obtener proyectos de iluminación más óptimos.

Para definir la normativa se realizó un estudio de los parámetros involucrados en el diseño del Alumbrado Público, recurriendo para ello a información redactada en las normas internacionales vigentes, a libros, manuales e información obtenida de las páginas web visitadas.

Definidos los parámetros involucrados, con la ayuda del software respectivo se simuló diferentes iniciativas de diseños con la finalidad de obtener el resultado más recomendable, obviamente considerando aspectos técnicos y de ahorro energético.

Los resultados obtenidos para la normativa se sintetizan en cuadros que se indican en el capítulo respectivo; mismos que deben ser considerados como los valores más recomendables para los diferentes tópicos que se presentan en los diseños.

PRESENTACIÓN

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

En este Capítulo se presenta una descripción global de la realidad actual de las Empresas Eléctricas del país en cuanto al Alumbrado Público tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista legal.

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS BÁSICOS

Este Capítulo contiene las Definiciones Fundamentales como: Radiación Electromagnética, Flujo Luminosos, Intensidad Luminosa, Iluminación y Luminancia; Leyes Fundamentales como: de la Iluminación, del Coseno, de la Inversa del Cuadrado de las Distancias, de Lambert; y el Control de la Luz; que son el cimiento teórico técnico sobre el cual se basa el presente estudio. Además, se describen las Definiciones Específicas como: Acera, Altura de Montaje, Ancho de la Calzada, Coeficiente de Iluminación, Eficacia Luminosa, Fuente Luminosa, entre otras; con relación al Alumbrado Público que permitirán una mejor comprensión de la terminología empleada en este trabajo.

CAPÍTULO 3. LÁMPARAS

En éste se presenta una clasificación general de las Lámparas sus partes constitutivas y funcionamiento. Involucra también a las Últimas Tecnologías de las lámparas y se describen los elementos auxiliares que utilizan para mejorar su rendimiento y eficiencia.

CAPÍTULO 4. LUMINARIAS

En este capítulo se desarrolla una descripción general de las Luminarias; empezando por su definición, clasificación y tipos, de acuerdo a las diversas aplicaciones. Se analiza y describe los factores más relevantes que intervienen en el Rendimiento Lumínico, así como también su Rendimiento desde el punto de vista del Ahorro Energético.

CAPÍTULO 5. ALUMBRADO PÚBLICO

Referencia los Criterios Sociales y Técnicos relacionados con el Diseño del Alumbrado Público, como son: el Nivel y Uniformidad de Luminancia, Limitación del deslumbramiento, Orientación Visual, Disposición de las Luminarias, Diseño Gráfico de la instalación, entre otras.

CAPÍTULO 6. CÁLCULOS PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO

Se identifican los diferentes parámetros involucrados en el diseño del Alumbrado Público como son: Luminancia e Iluminancia, sus definiciones y las diversas relaciones que las gobiernan. Se analiza también los Criterios más relevantes para el Alumbrado de Zonas Peatonales. El tema del Ahorro Energético también es tratado mediante la referencia de un ejemplo práctico; y finalmente, a manera de información se incluye el tema de la Contaminación Lumínica, muy de modo en la actualidad.

CAPÍTULO 7. DEFINICIÓN DE LA NORMATIVA

En este Capítulo, se ajustan y especifican los parámetros, sobre la base de los criterios expuestos en los capítulos anteriores y de la información recopilada en las diferentes instituciones; y que serán el sustento teórico-técnico de la normativa en cuestión.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este Capítulo se mencionan algunos resultados finales consecuencia del estudio realizado, así como también se sugieren ciertas recomendaciones dirigidas específicamente a las Empresas de Distribución, que de ser aplicadas, proporcionarán resultados técnicos y económicos importantes.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Al momento no existe una normatividad general con relación a los niveles lumínicos de áreas públicas para aplicarse a nivel nacional. La carencia de esta normativa para las Empresas Eléctricas de Distribución ha provocado que los diseños de los sistemas de Alumbrado Público no se hayan concebido en forma optimizada. De otra parte el consumo del Alumbrado Público ha servido como una fuente para justificar pérdidas técnicas y no técnicas de algunas distribuidoras.

El establecimiento de una normativa homogénea, basada en estudios técnicos, permitirá efectuar diseños eficientes, disminuir pérdidas y ahorros económicos para la Empresas Eléctricas de Distribución

La existencia de normas internacionales como la ANSI, NEC, IEC, NEMA, CIE, entre otras, constituyen referencias de instituciones que vienen trabajando en este aspecto desde mucho tiempo atrás, y que serán el soporte técnico para fundamentar los resultados a obtener del presente estudio.

El Alumbrado Público, ha sido tema de estudio en las diferentes Empresas Eléctricas del país, ya que al no existir un adecuado control, mantenimiento y en algunos casos, una correcta utilización de los parámetros involucrados en el diseño, ha contribuido al incremento de las pérdidas técnicas, las cuales en ciertas empresas son muy elevadas y que según la Nueva Ley del Sector Eléctrico lo estipula, deben ir disminuyendo; caso contrario, estas pérdidas deberán ser absorbidas por las mismas Empresas.

Los estudios realizados hasta el momento en este campo por algunas de las Empresas Eléctricas del País, permitirán partir de una base de datos ya disponible, y sobre los cuales se analizarán los criterios técnicos, con la finalidad de que la normativa a definirse sea la más objetiva posible.

1.2 OBJETIVOS

Los principales objetivos que persigue el siguiente estudio son:

- Analizar las normas internacionales existentes referidas al tema y determinar los factores considerados en ellas para adecuarlas a la realidad del país.
- Determinar las relaciones matemáticas respectivas involucradas en las diferentes normas, para sobre la base de ellas, realizar las diferentes correcciones aplicables al país.
- Definir una reglamentación para normar los Niveles Lumínicos del Alumbrado Público del Ecuador, tomando como base las normas internacionales vigentes.
- Optimizar los recursos técnicos y económicos para el Alumbrado Público, recurriendo para ello al empleo del uso eficiente de la energía.

1.3 METODOLOGÍA

El estudio básicamente inicia con la recopilación de la información de las normas internacionales de Alumbrado Público existentes tales como ANSI, NEC, IEC, NEMA, CIE.

Un minucioso análisis y la determinación de las variables involucradas en estas normas, permitirán encontrar y establecer las relaciones entre estas variables. Estas relaciones entre variables son el resultado ajustado a ciertas condiciones internacionales preestablecidas; para aplicarlas a la realidad del país serán corregidas y como consecuencia de esas correcciones se obtendrá nuevas condiciones que permitirán optimizar los recursos tanto técnicos como económicos.

Estas correcciones así determinadas, son probadas por medio de simulaciones realizadas con software adecuado para este estudio, con la finalidad de verificar si estas nuevas condiciones cumplen con los requerimientos técnicos mínimos internacionales.

1.4 ALCANCE

En el presente trabajo, el Capítulo 1. Generalidades, presenta una descripción global de la realidad actual del país en cuanto al Alumbrado Público tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista legal.

En el Capítulo 2. Conceptos Básicos, se describen las Definiciones Fundamentales que son el cimiento teórico técnico sobre el cual se basa el presente estudio; y las Definiciones Específicas con relación al Alumbrado Público que permitirán una mejor comprensión de la terminología empleada en este trabajo.

En el Capítulo 3. Lámparas, se presenta una clasificación general de estas y además también se describen los elementos auxiliares que utilizan para mejorar su rendimiento y eficiencia.

En el Capítulo 4. Luminarias, se desarrolla una descripción general de las luminarias; empezando por su definición, clasificación, tipos y su rendimiento desde el punto de vista del ahorro energético.

El Capítulo 5. Alumbrado Público, referencia los Criterios Sociales y Técnicos relacionados con el Diseño del Alumbrado Público.

En el Capítulo 6. Cálculos para el Alumbrado Público, se identifican los diferentes parámetros involucrados en el diseño del Alumbrado Público, sus definiciones y las diversas relaciones que las gobiernan.

En el Capítulo 7. Definición de la Normativa, se ajustan y especifican los parámetros, sobre la base de los criterios expuestos en los capítulos anteriores y que serán el sustento teórico-técnico de la normativa en cuestión.

En el Capítulo 8. Conclusiones y Recomendaciones, se mencionan algunos resultados consecuencia del estudio realizado, así como también se sugieren ciertas recomendaciones que de ser aplicadas, proporcionarán resultados técnicos y económicos importantes.

1.5 ASPECTO LEGAL ^{10*}

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), es el ente regulador y de control del Sector Eléctrico del país; en lo referente al Alumbrado Público destaca los siguientes aspectos:

- El Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, que contiene las normas generales que deben observarse para la prestación del servicio eléctrico de distribución y comercialización; y, que regula las relaciones entre el Distribuidor (persona natural o jurídica titular de una concesión para la prestación del servicio público de distribución de energía eléctrica por virtud

^{10*} www.conelec.gov.ec

de la cual asume la obligación de prestar el suministro de electricidad a los consumidores finales ubicados dentro del área respecto de la cual goza de exclusividad regulada) y el Consumidor (persona natural o jurídica que hace uso de la energía eléctrica proporcionada por el distribuidor, previo contrato celebrado por las partes y cuyo suministro está sujeto a las tarifas establecidas en la Ley, el Reglamento General, Reglamento de Concesiones y el Contrato de Concesión), tanto en los aspectos técnicos como en los comerciales; en su Artículo 7 señala: *“El Distribuidor asume la responsabilidad de prestar el servicio a los Consumidores ubicados en su zona de concesión de acuerdo a estas normas y de mantener el suministro de energía y la atención al consumidor, dentro de los límites de calidad previstos. El Distribuidor será responsable por la prestación de los servicios de Alumbrado Público de avenidas, calles, caminos públicos y plazas, de conformidad con los niveles de iluminación que se establecerán en las regulaciones que dicte el CONELEC”.*

- El Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias para la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica, que tiene por objeto establecer las reglas y procedimientos generales bajo los cuales el Estado podrá delegar en favor de otros sectores de la economía las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, así como regular la importación y exportación de energía eléctrica; en su Artículo 77: Obligaciones de las Empresas Eléctricas, literal c) establece que: *“El Distribuidor será responsable por la prestación de los servicios de Alumbrado Público de avenidas, calles, caminos públicos y plazas, de conformidad con lo establecido en sus Contratos de Concesión”.*
- El Contrato de Concesión (acto jurídico por el cual el CONELEC a nombre del Estado, conviene con una persona natural o jurídica, la delegación de facultades que incluyen los derechos y obligaciones para ejercer actividades de generación y para la prestación del servicio público de transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, y en el cual se precisan los términos, condiciones y alcances de la facultad delegada) en su Cláusula

Vigésimo Tercera establece que: *"A más de las obligaciones estipuladas en el presente Contrato de Concesión, es obligación del Concesionario (persona natural o jurídica que ha celebrado con el CONELEC un contrato de concesión bajo el cual adquiere las obligaciones y derechos para la realización de actividades de generación o para la prestación del servicio público de transmisión, distribución o comercialización de energía eléctrica) suministrar el servicio de energía eléctrica al Alumbrado Público en avenidas, calles y plazas públicas"*.

En consecuencia, por Ley, las Empresas Distribuidoras están obligadas a la prestación de los servicios de Alumbrado Público dentro de su área de concesión, cumpliendo con:

- Los Niveles de Iluminación que emita el ente regulador y de control, el CONELEC
- Con el mantenimiento de las instalaciones de Alumbrado Público con la finalidad de que el sistema de iluminación pública funcione dentro de los parámetros técnicos adecuados y que son emitidos por el CONELEC

Además, las Empresas de Distribución dentro de su área de concesión, tienen la obligación de hacer cumplir con las regulaciones emitidas por el CONELEC; así como también de facilitar la información necesaria a los profesionales de la ingeniería y empresas interesadas en realizar los proyectos de iluminación en urbanizaciones, ciudadelas, barrios, avenidas, calles y plazas.

En cuanto a las obligaciones económicas generadas por el servicio del Alumbrado Público, el CONELEC señala:

- El Reglamento de Tarifas establece las normas y los procedimientos que se emplearán para fijar la estructura, cálculo y reajuste de las tarifas aplicables al Consumidor Final y el pago por el uso de los sistemas de transmisión y distribución; en su Capítulo IV: Pliegos Tarifarios, Sección II, Artículo 18,

señala: *“Los pliegos tarifarios contendrán: tarifas al consumidor final, tarifas de transmisión, peajes de distribución, tarifas de alumbrado público y las fórmulas de reajuste correspondientes. Las tarifas al consumidor final estarán destinadas a todos los Consumidores que no hayan suscrito ni contrato a plazo con un Generador o un Distribuidor. La correcta aplicación de estas tarifas estará a cargo de los Distribuidores en su zona de concesión. Las tarifas de transmisión y los peajes de distribución serán los pagos que deberán realizarse a favor del Transmisor o del Distribuidor, respectivamente, por quienes utilicen dichas instalaciones. La liquidación de estos pagos estará a cargo del Consejo Nacional de Control de Energía, CENACE, en coordinación con el Transmisor y los Distribuidores y de conformidad con los Reglamentos de Operación y Despacho del Sistema Nacional Interconectado y de Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista. El pago del Alumbrado Público, es de responsabilidad de las respectivas municipalidades; el mecanismo de cobro se sujetará a las disposiciones que mediante Regulación dictará el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC”.*

- El Municipio deberá cancelar las facturas dentro de los plazos establecidos en las regulaciones vigentes; en caso de planillas impagas, la Empresa Eléctrica de Distribución tendrá derecho a suspender el servicio, respaldándose para ello en la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, que en su Artículo 9 reza: *“La falta de pago del suministro de energía eléctrica dará derecho al proveedor a interrumpir el servicio conforme a las disposiciones reglamentarias pertinentes”.*

En cuanto a los mecanismos de cobro del Alumbrado Público a las Municipalidades, el CONELEC señala:

- La energía consumida mensualmente por las instalaciones de Alumbrado Público será determinada a partir de la cantidad y tipo de luminarias instaladas, y sobre la base de un factor de utilización acordado en conjunto con el Municipio correspondiente.

- Para el caso en que el Área de Concesión involucre a varios Municipios, se deberá establecer la cantidad y el tipo de luminarias correspondientes a cada Municipio con la finalidad de determinar la energía consumida mensualmente y que le concierne responder a cada Municipalidad.
- Para definir el monto mensual a pagar por parte del o de los Municipios a la Empresa Eléctrica de Distribución por concepto de Alumbrado Público, se utilizará la tarifa definida entre las partes involucradas y que haya sido aprobada por el CONELEC.
- El Municipio respectivo será el responsable del pago de la factura mensual por consumo de energía eléctrica de las instalaciones de Alumbrado Público; en la misma factura se incluirá el o los montos que sean imputables debido a robo, destrucción o vandalismo por parte de terceros sobre las instalaciones de iluminación pública y materiales relacionados, obviamente la Empresa Eléctrica deberá presentar las debidas justificaciones.
- Si el Municipio ha emitido Ordenanzas (conjunto de preceptos o reglamentos) que disponen la recaudación de tasas de Alumbrado Público a través de la Empresa Eléctrica de Distribución, la Empresa de Distribución estará facultada para imputar el monto de la factura mensual a los valores que por concepto de Tasa de Alumbrado Público, deba recaudar para el Municipio correspondiente.

Respecto de las Ordenanzas Municipales, se presentan casos especiales:

- Los Municipios en los que se hayan emitido Ordenanzas que involucren el Alumbrado Público y que estas contemplen la recaudación de una tasa en las planillas de la Empresa Eléctrica de Distribución, el Municipio podrá requerir de la Empresa Eléctrica involucrada, la ejecución de obras de Alumbrado Público endosables a los montos obtenidos de la recaudación de dicha tasa.

- Las obras imputables a la tasa de Alumbrado Público serán ejecutadas por la Empresa Eléctrica de Distribución de manera directa o por medio de contratistas. Será responsabilidad de la Empresa Eléctrica de Distribución, la aprobación de los diseños y el cumplimiento de las regulaciones técnicas emitidas por el CONELEC.
- Todas las obras ejecutadas bajo los casos anteriores serán propiedad del Municipio, hasta que por mutuo acuerdo, la Empresa Eléctrica de Distribución, cancele el valor de las mismas al Municipio. Mientras estas obras permanezcan en propiedad del Municipio, el mantenimiento rutinario será responsabilidad de la Empresa Eléctrica de Distribución pero los rubros correspondientes a este mantenimiento serán recargados a la tasa de Alumbrado Público.

Sin embargo, la Ley de Régimen Municipal, dispone en el Artículo 15: *Son funciones primordiales del Municipio la dotación y mantenimiento del Alumbrado Público, que es además un servicio público.* El Artículo 64 de la misma Ley, establece las atribuciones y deberes del Consejo Municipal y el numeral 14 dispone: *Aprobar el programa de servicios públicos, reglamentar su prestación y aprobar las especificaciones y normas a que debe sujetarse la instalación, suministro y uso de servicios de energía eléctrica y alumbrado.*

De conformidad con el Artículo 163 literal g) de esta Ley *corresponde al Municipio prever del servicio de energía eléctrica y Alumbrado Público en su circunscripción cantonal;* en concordancia, el Artículo 420, literal e) establece *la contribución especial de mejoras por Alumbrado Público, que según el Artículo 428 será pagada en su costo total en proporción al avalúo catastral de las propiedades con frente a la vía;* el Artículo 512, literal e) por su parte, señala *entre las tasas a las que tiene derecho el Municipio, la correspondiente a luz y fuerza eléctrica.*

Los Municipios *fijan mediante Ordenanza la Tasa de Alumbrado Público*, en uso de la potestad legislativa que les confiere el Artículo 228 de la Constitución; *tanto las tasas como las contribuciones especiales de mejoras son ingresos tributarios de los Municipios*, según el Artículo 510 de la Ley de Régimen Municipal y en consecuencia forman parte de su presupuesto.

El Artículo 17 numeral 4 de esta Ley *prohíbe que se prive a los Municipios de sus ingresos*, en concordancia con el Artículo 259 de la Constitución Política que dispone que: *Ningún organismo público será privado del presupuesto necesario para cumplir con los fines y objetivos para los que fue creado*.

Para determinar la competencia sobre el tema, el CONELEC consultó al Procurador General del Estado, mismo que en su pronunciamiento manifiesta: *Si bien de conformidad con la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, corresponde al CONELEC la regulación y control de la prestación de los servicios de energía eléctrica, respecto al Alumbrado Público no existe en dicho cuerpo legal ni en su Reglamento norma alguna que regule la forma como se prestará dicho servicio. Mientras que por el contrario, la Ley de Régimen Municipal establece expresamente la competencia y atribuciones de los Municipios en materia de Alumbrado Público, señalando que les corresponde proveer tal servicio en su Cantón, estableciendo como ingresos tributarios de los Municipios, las tasas y contribuciones provenientes de la prestación del servicio de Alumbrado Público*.

Bajo los antecedentes antes señalados, el Procurador General del Estado manifiesta: *En materia de Alumbrado Público, el Municipio tiene atribuciones expresamente establecidas en la Ley de Régimen Municipal, y por ello, debe ser la Ley de Régimen Municipal la que regule todo lo relacionado con la prestación del servicio de Alumbrado Público*.

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS BÁSICOS

2.1 DEFINICIONES FUNDAMENTALES: ¹ ²

2.1.1 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Algunos tipos de energía necesitan de un medio material para propagarse, sin embargo existen otros tipos de energía que se propagan por medio de radiaciones, que son perturbaciones periódicas o cíclicas del estado electromagnético. A estos tipos de energía se los denomina Energía Radiante.

La propiedad común de las radiaciones electromagnéticas es la velocidad de propagación en el vacío (c), mismo que es de 300000 km/s. Cada tipo de radiación se distingue de las demás por una de las tres características siguientes:

2.1.1.1 Frecuencia

Es una característica invariable, se expresa en ciclos por segundo y se representa por la letra **f**.

2.1.1.2 Período

También es una característica invariable, es el tiempo que tarda una radiación en recorrer un ciclo, se expresa en segundos y se representa por la letra **T**.

¹ RAMÍREZ VAZQUEZ, Luminotecnia: Enciclopedia CEAC de Electricidad.

² COLOMA YÁNEZ, El ahorro de la Energía en el campo de la Iluminación, EPN.

2.1.1.3 Longitud de Onda

Es una propiedad no invariable, es el camino recorrido por una radiación durante un período, es decir, es la menor distancia que separa dos puntos del espacio a lo largo de la dirección de propagación; se expresa en unidades de longitud y se representa por la letra λ .

Estas tres características se relacionan entre sí por la relación: $c = f \cdot \lambda$

2.1.2 FLUJO LUMINOSO

Es la energía luminosa radiada al espacio por unidad de tiempo; no se distribuye por igual en todas las direcciones del espacio, sino que depende del dispositivo empleado para la iluminación, en otras palabras, es la potencia de una energía radiante apreciada de acuerdo con la sensación luminosa producida. Se simboliza con la letra ϕ , su unidad es el lumen (lm) y como unidad de potencia corresponde a 1/680 W emitidos a la longitud de onda de 5550 Å.

2.1.3 INTENSIDAD LUMINOSA

Es el flujo luminoso (ϕ) emitido por una fuente en una determinada dirección dividido por el ángulo sólido que lo contiene. Se simboliza con la letra I , y su unidad es la candela (cd); se expresa por la siguiente relación:

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (2.1)$$

I = intensidad luminosa en la dirección considerada (cd)

ϕ = flujo luminoso contenido en el ángulo sólido (lm)

ω = valor del ángulo sólido, definido como un cono con base esférica cuya unidad es el estereorradián (sr)

2.1.4 ILUMINACIÓN

Es el flujo luminoso incidente por unidad de superficie, se simboliza por medio de la letra E , tiene como unidad el lux (lx) que se define como la iluminancia de una superficie de 1 m^2 cuando sobre ella incide uniformemente repartido un flujo luminoso de 1 lumen. La iluminación se expresa por medio de la siguiente relación:

$$E = \frac{d\phi}{dS} \quad (2.2)$$

E = iluminación (lx)

ϕ = flujo luminoso incidente (lm)

S = superficie sobre la cual incide el flujo luminoso (m^2)

2.1.5 LUMINANCIA

Es la magnitud que mide el brillo de los objetos iluminados o fuentes de luz tal como son observados por el ojo humano, es decir, es la verdadera medida de la sensación de iluminación de un objeto.

Se define como la intensidad luminosa por unidad de superficie aparente de una fuente de luz primaria o secundaria. Se simboliza con la letra L y viene dada por la siguiente relación:

$$L = \frac{I}{S} \quad (2.3)$$

L = luminancia (cd/m^2)

S = superficie (m^2)

I = intensidad luminosa (cd)

2.1.6 LEY FUNDAMENTAL DE LA ILUMINACIÓN

La intensidad luminosa de un manantial luminoso viene dado por: $I = \frac{d\phi}{d\omega}$,

de donde:

$$d\phi = I * d\omega \quad (2.4)$$

La iluminación viene definida por: $E = \frac{d\phi}{dS}$

La superficie esférica viene dada por:

$$dS = r^2 * d\omega \quad \text{ó} \quad dS = d^2 * d\omega, \quad (2.5)$$

de donde:

$$d\omega = \frac{dS}{r^2} \quad \text{ó} \quad d\omega = \frac{dS}{d^2} \quad (2.6)$$

En la Fig. 2.1. se indica un manantial luminoso puntiforme.

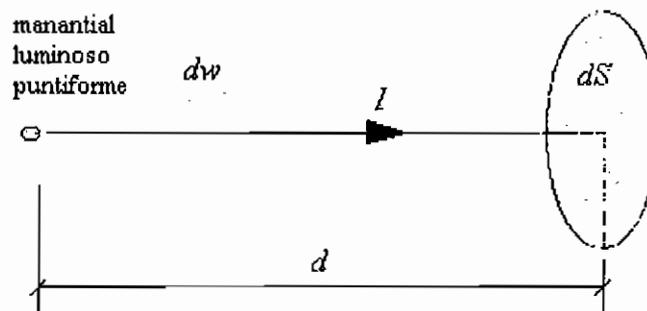


Fig. 2.1. Ley Fundamental de la Iluminación.

La iluminación está dada por:

$$E = \frac{d\phi}{dS} = \frac{I * d\omega}{dS} = \frac{I * dS}{d^2 * dS} = \frac{I}{d^2} \quad (2.7)$$

E = iluminación (lx)

I = intensidad luminosa (cd)

d = distancia desde el manantial luminoso hasta el área iluminada (m)

De esta demostración se concluye que: "la iluminación E de una superficie es directamente proporcional a la intensidad luminosa I e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia d considerada desde el manantial luminoso hasta el área iluminada". Como una acotación a esta ley, se debe considerar que únicamente funciona para los casos en los que se trate de manantiales luminosos puntiformes.

En la práctica se puede considerar a una superficie luminosa como si fuera un manantial puntiforme cuando la distancia a dicha superficie luminosa sea diez veces mayor al diámetro de la superficie luminosa; y para el caso de superficies irregulares, sea mayor a su superficie transversal.

2.1.7 LEY DEL COSENO

En la Figura 2.2. se representa una superficie que es perpendicular a la dirección del flujo luminoso uniforme ϕ que es producido por un manantial de luz y cuya iluminación E viene dada por: $E = \frac{d\phi}{dS}$.

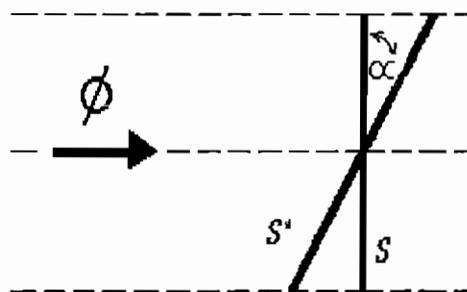


Fig. 2.2. Ley del Coseno

La superficie S^* que tiene una inclinación (ángulo α) con respecto a la superficie perpendicular S , viene dada por la relación:

$$S' = S^* \cdot \cos \alpha \quad (2.8)$$

Como ambas superficies reciben el mismo flujo luminoso Φ y recordando la ley fundamental de la iluminación, se tiene la siguiente expresión:

$$E^* = \frac{I}{d^2} \cos \alpha = E \cdot \cos \alpha \quad (2.9)$$

De donde se concluye que "la iluminación E es proporcional al coseno del ángulo α de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado", entendiéndose por ángulo de incidencia a aquel formado entre la dirección del flujo y la perpendicular a la superficie en el punto de incidencia. Esta definición es la denominada Ley del Coseno.

2.1.8 LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LAS DISTANCIAS

Esta Ley dice: "Para un mismo manantial luminoso, las iluminaciones en diferentes superficies son inversamente proporcionales al cuadrado de las distancias a dicho manantial". Su deducción se basa en la Ley Fundamental de la Iluminación, así:

Para la superficie A1 se tiene:

$$E1 = \frac{I}{d_1^2} \cos \alpha \quad (2.10)$$

Para la superficie A2 se tiene:

$$E2 = \frac{I}{d_2^2} \cos \alpha \quad (2.11)$$

En el gráfico de la Fig. 2.3 se ilustran las superficies mencionadas con las respectivas variables involucradas.

$$I = I_{m\acute{a}x} * \cos\alpha \quad (2.13)$$

$$I_1 = I_{m\acute{a}x} * \cos\alpha_1 \quad (2.14)$$

$$I_2 = I_{m\acute{a}x} * \cos\alpha_2 \quad (2.15)$$

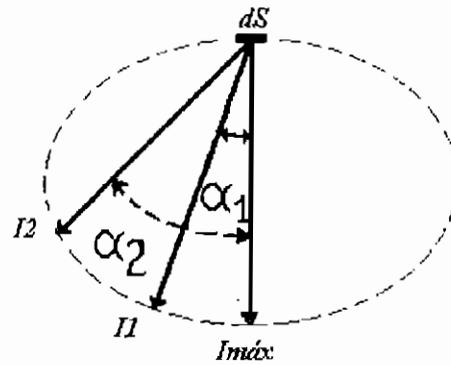


Fig. 2.4. Ley de Lambert

Aplicando la expresión dada por la ecuación (2.3) y si consideramos que:

$$S = dS * \cos\alpha \quad (2.16)$$

Se llega a la conclusión final que:

$$L = I_1 = I_2 = \frac{I_{m\acute{a}x}}{dS} \quad (2.17)$$

En consecuencia, "la luminancia L se mantiene constante cualquiera sea la dirección que se considere para analizarla".

2.1.10 CONTROL DE LA LUZ

El control de la luz es muy necesario debido a que los manantiales de luz no realizan una distribución del flujo luminoso que permita aplicaciones directas.

Las modificaciones de las características luminosas de un manantial para aplicaciones eficientes de luz emitida, puede realizarse aprovechando uno o varios fenómenos físicos siguientes:

2.1.10.1 Reflexión

Es el retorno de la radiación que incide en una superficie sin que se produzca cambios de frecuencia en ninguno de los componentes monocromáticos que la integran.

Cuando se refleja la luz que incide en una superficie una porción de aquella se pierde por absorción. La razón entre el flujo reflejado y el flujo incidente se denomina " Reflectancia de la superficie" (antes llamado factor de reflexión).

La porción de luz reflejada aumenta con el ángulo de incidencia, que es aquel ángulo formado entre el rayo incidente y la normal a la superficie. La cantidad que refleje y la manera en que se refleje queda determinada por circunstancias como:

- Una superficie lisa refleja mejor la luz que una superficie rugosa
- El ángulo de incidencia de los rayos luminosos
- La luz blanca se refleja mejor que la luz coloreada

Respecto de la Reflexión se pueden definir los siguientes tipos:

2.1.10.1.1 Reflexión Especular

Es la que tiene lugar en una superficie pulimentada o extremadamente lisa; esta reflexión esta regida por dos leyes fundamentales:

- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en un mismo plano
- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión

En la Fig. 2.5. se ilustra la reflexión especular.

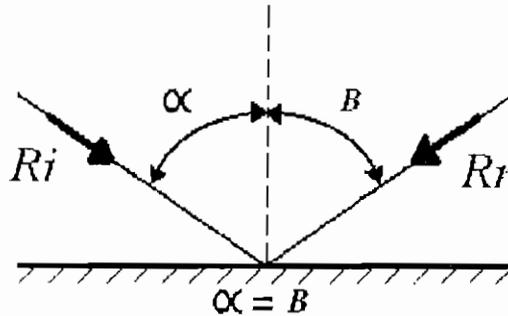


Fig. 2.5. Reflexión Especular

R_i = Rayo incidente

R_r = Rayo reflejado

α = ángulo de incidencia

β = ángulo de reflexión

Esta reflexión especular proporciona una luminancia máxima en la dirección del rayo reflejado, y nula en las demás direcciones del espacio. El conjunto de rayos reflejados forma una imagen del objeto reflejado en la superficie. Las superficies capaces de reflejar especularmente se emplean en luminotecnica como espejos, incorporándose en algunos tipos de luminarias; entre los materiales más utilizados para este fin se tiene aluminio anodizado, láminas de cromo, oro, plata y vidrios o plásticos aluminizados o plateados.

2.1.10.1.2 Reflexión Difusa

Si una superficie es rugosa o está compuesta de partículas minúsculas reflectantes (por ejemplo, una superficie cristalina), la reflexión es difusa.

Las partículas actúan como reflector especular, pero como la superficie de cada una de ellas está orientada según planos diferentes, aparece luz reflejada con diferentes ángulos.

El papel blanco mate, los techos de yeso o escayola y la nieve son ejemplos de superficies que producen una superficie totalmente difusa. La pintura blanca mate se emplea en reflectores donde se requiere un ángulo de distribución de luz muy amplio; en la Fig. 2.6 se ilustra este tipo de reflexión.

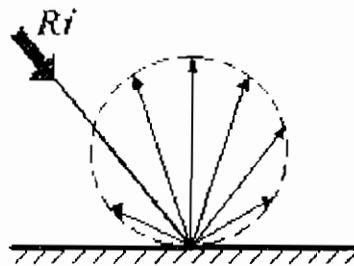


Fig. 2.6. Reflexión Difusa

La reflexión difusa proporciona una luminancia constante en cualquier dirección del espacio pero de menor valor que la proporcionada por la reflexión dirigida. Con este tipo de reflexión se evita el efecto de deslumbramiento.

2.1.10.1.3 Reflexión Mixta

Su reflexión no es especular ni difusa, sino una combinación de ambas por ejemplo es el caso de un reflector difuso con una delgada capa de barniz transparente actuará como reflector casi difuso con ángulos pequeños de incidencia y como reflector más bien especular con ángulos de incidencia grandes.

En la figura 2.7. se ilustra este tipo de reflexión.

Esta constante se denomina "Índice de Refracción Relativo" de un medio respecto a otro, que es la relación de la velocidad de luz a través del aire y su velocidad a través del medio considerado. Esta ley es conocida como "Ley de Snell" y se expresa así:

$$n_1 \operatorname{sen} \alpha_1 = n_2 \operatorname{sen} \alpha_2 \quad (2.18)$$

$$\frac{\operatorname{sen} \alpha_1}{\operatorname{sen} \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \mu \quad (2.19)$$

En la figura 2.8. se ilustra este fenómeno.

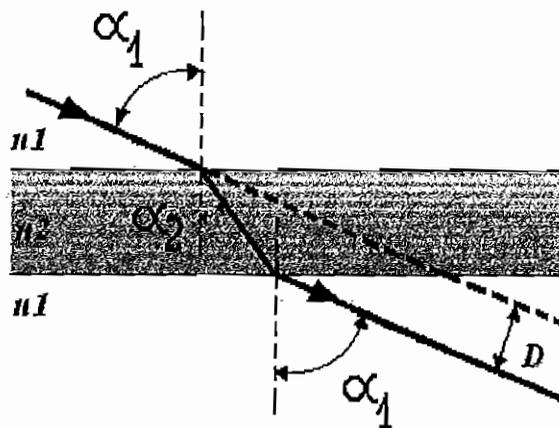


Fig. 2.8. Fenómeno de la Refracción de la luz en dos medios

n_1 = índice de refracción del primer medio respecto del aire

n_2 = índice de refracción del segundo medio respecto del aire

α_1 = ángulo de incidencia

α_2 = ángulo de refracción

2.1.10.3 Absorción

En un fenómeno de reflexión de luz, no todo el flujo luminoso que incide sobre los cuerpos se refleja, parte de este flujo luminoso es absorbido en mayor o menor proporción según los materiales componentes de cada cuerpo; a este fenómeno se le llama Absorción, consecuencia de éste, es el color de los cuerpos.

Así, si el cuerpo es de color blanco, al incidir luz blanca sobre él, esta se refleja en su totalidad sin haber absorción; mientras que si el cuerpo fuera negro, al incidir luz blanca sobre él, es absorbida completamente y no se produce reflexión alguna; y para el caso de cuerpos grises, parte de la luz blanca es reflejada y otra parte es absorbida.

2.1.10.4 Transmisión

Se denomina transmisión al paso de los rayos de luz a través de un medio sin que se produzca ninguna alteración de la frecuencia de sus componentes monocromáticos; este fenómeno es característico de ciertos tipos de vidrio, cristal agua y otros líquidos.

Cuando se ilumina una superficie, una parte del flujo se refleja, otra parte atraviesa la superficie y queda absorbida por el cuerpo y finalmente una última parte se transmite a través del cuerpo. En consecuencia, los fenómenos de reflexión, absorción y transmisión están íntimamente ligados, de ahí se tiene la siguiente relación:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Flujo} & & & & \text{Flujo} & & \text{Flujo} \\ \text{Luminoso} & & & & \text{Luminoso} & & \text{Luminoso} \\ \text{Total} & = & \text{Flujo Luminoso} & + & \text{Absorbido} & + & \text{Transmitido} \\ & & \text{Reflejado} & & & & \end{array}$$

Para que se cumpla la afirmación anteriormente mencionada, se ha realizado las siguientes consideraciones:

- En los cuerpos opacos, el flujo luminoso transmitido es nulo debido a que los cuerpos opacos no dejan pasar la luz.
- En la práctica, no existen cuerpos reflectantes puros, el cuerpo más reflectante es la plata pulida, aún en este caso, el flujo luminoso queda absorbido.
- Según estas aplicaciones, los cuerpos iluminados se convierten en fuentes luminosas secundarias o virtuales.

2.2 DEFINICIONES ESPECÍFICAS ³ ^{1*}

2.2.1 ACERA

Es la parte de un camino reservada exclusivamente para el uso peatonal.

2.2.2 ALTURA DE MONTAJE (H)

Es la distancia vertical entre el centro de una fuente de luz y la superficie de la calzada (ver Fig. 2.9).

2.2.3 ANCHO DE CALZADA (w)

Es la distancia entre las líneas de bordillos o límites interiores de las bermas, medida en ángulo recto con el eje longitudinal de la calzada (ver Fig. 2.9).

2.2.4 BERMA

La parte de un camino contiguo al borde exterior de la calzada.

2.2.5 CALZADA

Constituye la parte de un camino destinada al uso vehicular.

³ NORMA ICOTEC 900, Instituto Colombiano de Normas Técnicas

^{1*} www.holoplane.com.mx/infotecnica

2.2.6 CAMINO

Es una o más calzadas con sus respectivas aceras (con bordillos) o bermas (sin bordillos).

2.2.7 CAMINO DE DOBLE CALZADA

Es un esquema formado por dos calzadas separadas, cada una reservada para el tránsito en una dirección determinada.

2.2.8 ESPACIAMIENTO (S)

La distancia entre luminarias adyacentes sobre el mismo lado de la calzada (ver Fig. 2.9).

2.2.9 EXTENSIÓN (r)

La distancia horizontal entre el centro de una luminaria y el eje del poste que la soporta (ver Fig. 2.9).

2.2.10 LADO DE LA CASA

El lado de una luminaria más alejado de la calzada (ver Fig. 2.9).

2.2.11 SALIENTE (p)

La distancia horizontal medida en ángulo recto al eje de la calzada, entre el centro de una fuente de luz y la línea del bordillo (ver Fig. 2.9).

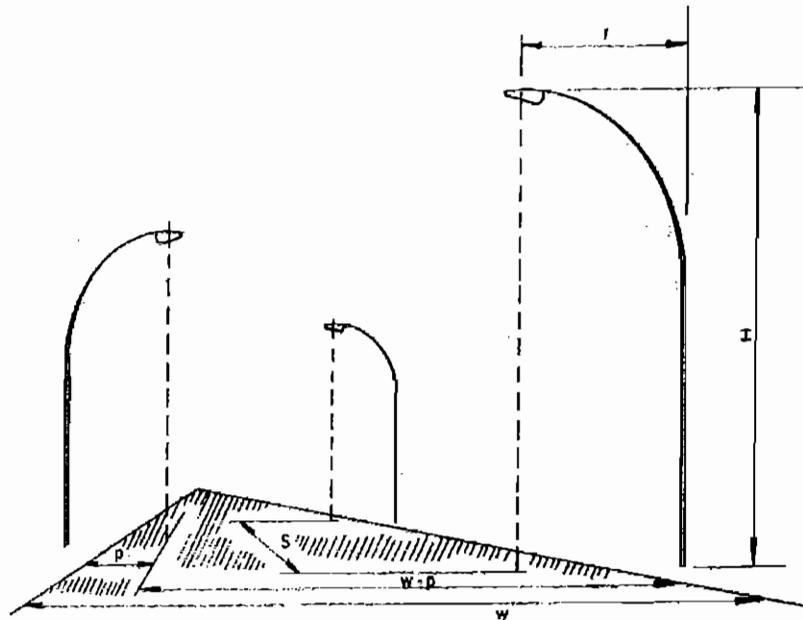


Fig. 2.9. Dimensiones características de la ubicación de las luminarias: H = altura de montaje de la luminaria, S = espaciamiento entre luminarias, w = ancho de la calzada, r = extensión, p = saliente o distancia transversal hacia el lado de la casa, w - p = distancia transversal hacia el lado de la calle.

2.2.12 MEDIANA (RESERVA CENTRAL)

El espacio longitudinal que separa las calzadas en un camino de doble calzada.

2.2.13 ADAPTACIÓN

Proceso mediante el cual el sistema visual se acostumbra a una menor o mayor cantidad de luz, o a luz de color diferente. Ello resulta en un cambio de la sensibilidad del ojo a la luz.

2.2.14 ANGSTROM

Unidad de longitud de onda, representado por $^{\circ}\text{A}$ y equivale a 10^{-10} m.

2.2.15 ACOMODACIÓN

Proceso por el cual el ojo cambia de foco, al variar la distancia del objeto observado.

2.2.16 BALASTO

Dispositivo electromagnético o electrónico usado para operar lámparas eléctricas de descarga. Sirve para proporcionar a éstas las condiciones de operación necesarias como son: tensión, corriente y forma de onda.

2.2.17 COEFICIENTE DE UTILIZACION

Relación entre el flujo luminoso (lúmenes) emitidos por una luminaria que incide sobre el plano de trabajo y el flujo luminoso emitido por las lámparas solas de la luminaria.

2.2.18 DEPRECIACION DE LUMENES DE LA LÁMPARA (LLD)

Es la pérdida de la emisión luminosa (lúmenes), emitidos por la lámpara debido al uso normal de operación. Se le representa por las letras LLD (Lamp Lumen Depreciation), sus siglas en inglés.

2.2.19 EFICACIA LUMINOSA DE UNA LÁMPARA

Relación de flujo luminoso total emitido en lúmenes por la lámpara entre la potencia eléctrica consumida por la misma. Su unidad está dada en lúmenes/watt.

2.2.20 EFICIENCIA DE UNA LUMINARIA

Es la relación de flujo luminoso emitido por una luminaria con aquel que produce la(s) lámpara(s) desnuda(s) usada(s) en su interior.

2.2.21 FACTOR DE DEPRECIACION DE LOS LUMENES DE LAS LAMPARAS (LLD)

Relación de los lúmenes emitidos por la lámpara al 70% de su vida entre los lúmenes iniciales de esta misma.

2.2.22 FACTOR DE LAMPARAS QUEMADAS

Pérdidas fraccionales de iluminancia debido a lámparas fundidas después de que han funcionado por largos periodos.

2.2.23 FACTOR DE PÉRDIDA DE LUZ (FACTOR DE MANTENIMIENTO)

Factor utilizado en el cálculo de iluminancia bajo condiciones dadas de tiempo y de uso. En él se toma en cuenta las variaciones de temperatura y tensión, acumulación de suciedad en las superficies y en la luminaria, depreciación de la emisión luminosa de la lámpara, procedimientos de mantenimiento y condiciones atmosféricas.

2.2.24 FUENTE LUMINOSA

Es toda materia, objeto o dispositivo, de la que parte la energía Radiante que emite, cae dentro de los límites visibles del espectro electromagnético.

2.2.25 NANÓMETRO

Es la unidad de longitud de onda igual a 10^{-9} m.

2.2.26 NIT (cd/m^2)

Unidad de brillantez (luminancia) en el Sistema Internacional y es igual a una candela sobre metro cuadrado.

2.2.27 NIVEL LUMINOSO O ILUMINANCIA

Se define como la densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie. Se mide en luxes o footcandles.

2.3 REPRESENTACIONES GRÁFICAS ^{1 4}

2.3.1 CURVAS DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA

Las curvas de distribución luminosa son las representaciones gráficas de las medidas de las intensidades luminosas efectuadas del centro de la luminaria; estas mediciones se las realiza con aparatos llamados Goniofotómetros, cuya misión consiste en sostener a las luminarias y hacerlas girar en distintas direcciones de tal forma que el centro de giro coincida con el centro óptico de dichas luminarias.

¹ RAMÍREZ VAZQUEZ, Luminotecnia: Enciclopedia CEAC de Electricidad.

⁴ CARDENAS DÍAZ, Estudio, Planificación y Diseño de Sistemas de Iluminación, EPN

Las mediciones realizadas se representan sobre un sistema de coordenadas polares, en donde se indican las distancias entre un punto cualquiera y el centro tomado como referencia y su respectivo desplazamiento angular.

Se utilizan también diagramas de coordenadas cartesianas o rectangulares para aquellos aparatos cuya distribución luminosa es muy intensa. A las Curvas de Distribución Luminosa se las llama también Curvas Fotométricas.

Un manantial luminoso puntiforme o una pequeña esfera luminosa radiará flujo luminoso con igual intensidad en todas direcciones del espacio y su curva de distribución luminosa será un círculo cuyo radio será la intensidad luminosa máxima ($I_{\text{máx}}$); esta situación constituye un caso teórico, ya que en la práctica no existen manantiales luminosos puntiformes.

Por ejemplo, en la Fig. 2.10. se representa la curva de distribución luminosa de un manantial luminoso en forma de superficie plana, la intensidad luminosa máxima está representada como $I_{\text{máx}}$, y donde los otros valores de iluminación I_{α} , vienen dados por la expresión:

$$I_{\alpha} = I_{\text{máx}} \cdot \cos \alpha \quad (2.20)$$

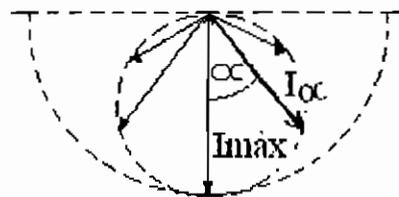


Fig. 2.10. Curva de distribución luminosa de un manantial luminoso en forma de superficie plana.

Otro tipo de distribución luminosa se representa en la Fig. 2.11, en la que se tiene una distribución luminosa en el plano vertical. También se puede obtener la curva de distribución luminosa en el plano horizontal, como la representada en la Fig. 2.12.

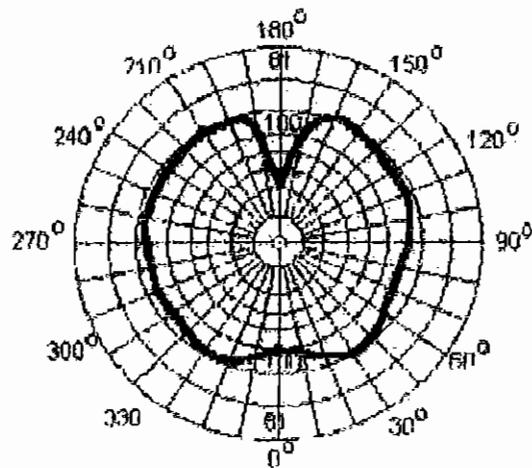


Fig. 2.11. Curva de distribución luminosa en el plano vertical

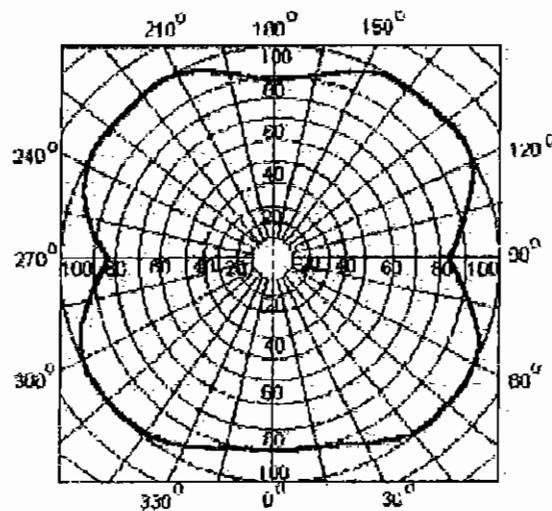


Fig. 2.12. Curva de distribución luminosa en el plano horizontal

Si la curva de distribución luminosa es simétrica, es suficiente suministrar la media curva de distribución luminosa. Los manantiales luminosos representados anteriormente tienen curvas de distribución luminosa simétrica.

Existe también manantiales luminosos cuya distribución luminosa no es simétrica por ejemplo, en la Fig. 2.13. se representa la distribución luminosa correspondiente a una lámpara tubular de vapor de sodio.

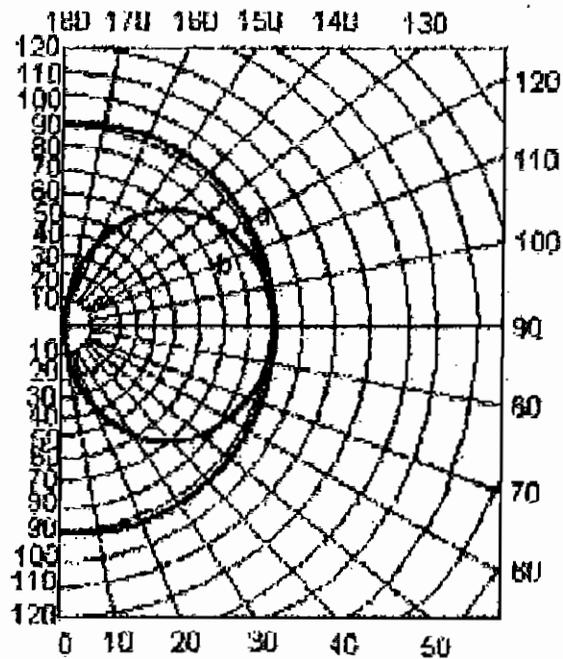


Fig. 2 13 Curvas fotométricas de una lámpara tubular de vapor de sodio:
 a. Curva circular que corresponde al plano perpendicular al eje de la lámpara;
 b. Curva que corresponde al plano del eje de la lámpara.

2.3.1.1 Clasificación de las Curvas de Distribución.

2.3.1.1.1 *Distribución Corta*

Se clasifica la curva de distribución de una luminaria como CORTA, cuando la máxima potencia en candelas cae entre 1,0 y 2,25 veces la altura de montaje en el sentido longitudinal de la calle.

2.3.1.1.2 *Distribución Media*

Se clasifica la curva de distribución de una luminaria como MEDIA, cuando la máxima potencia en candelas cae entre 2,25 y 3,75 veces la altura de montaje en el sentido longitudinal de la calle.

2.3.1.1.3 Distribución Larga

Se clasifica la curva de distribución de una luminaria como LARGA, cuando la máxima potencia en candelas cae entre 3,75 y 6,00 veces la altura de montaje en el sentido longitudinal de la calle.

2.3.1.1.4 Cutoff

Se designa como CUTOFF a la distribución de luz de una luminaria cuando la potencia en candelas por cada 1000 lúmenes emitidos por la lámpara no excede numéricamente 2,5 % del total en ángulo de 90° sobre el nadir (horizontal) y 10 % en el ángulo vertical de 80° sobre el nadir. Esto se aplica a cualquier ángulo lateral alrededor de la luminaria.

2.3.1.1.5 Semicutoff

Se designa como SEMICUTOFF a la distribución de luz de una luminaria cuando la potencia en candelas por cada 1000 lúmenes emitidos por la lámpara no excede numéricamente 5% del total en un ángulo de 90° sobre el nadir (horizontal) y un 20% en un ángulo vertical de 80° sobre el nadir. Esto se aplica a cualquier ángulo lateral alrededor de la luminaria.

2.3.1.1.6 Noncutoff

En esta categoría no hay limitación de la potencia en candelas en ningún ángulo.

2.3.2 CURVAS DE ILUMINACIÓN DEL SUELO

Para tener idea sobre la iluminación horizontal producida por un manantial luminoso se traza la llamada Curva de Iluminación del Suelo, (ver Fig. 2.14), para ello, se recurre a la siguiente expresión:

$$E_{hor} = \frac{I\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \quad (2.21)$$

E_{hor} = iluminación horizontal [lx]

$I\alpha$ = intensidad luminosa [cd]

h = altura [m]

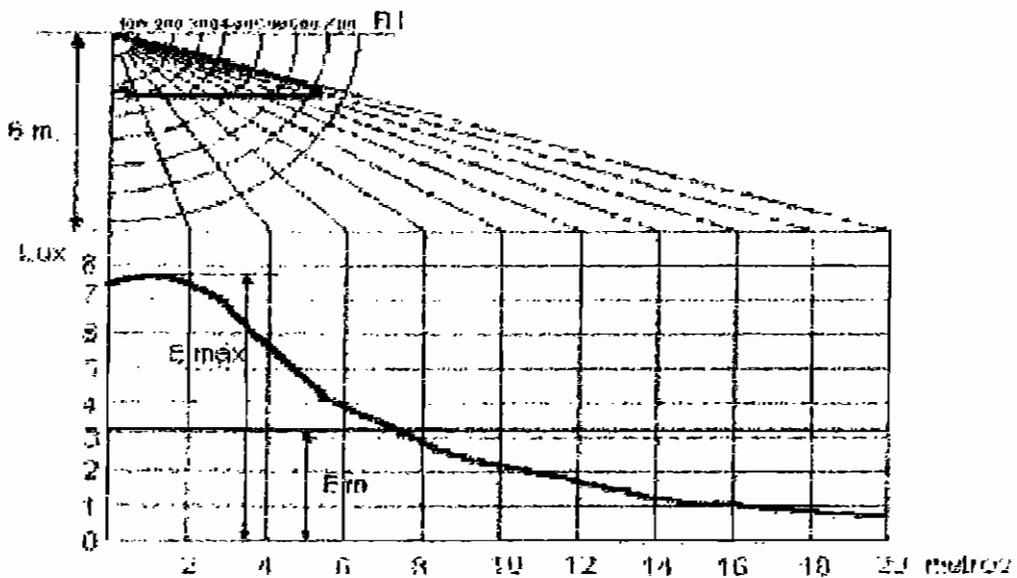


Fig. 2.14. Curva de iluminación del suelo con un solo manantial luminoso.

Para trazar la curva de iluminación del suelo con un solo manantial luminoso partimos de la curva fotométrica para 1000 lúmenes (ver Fig. 2.15).

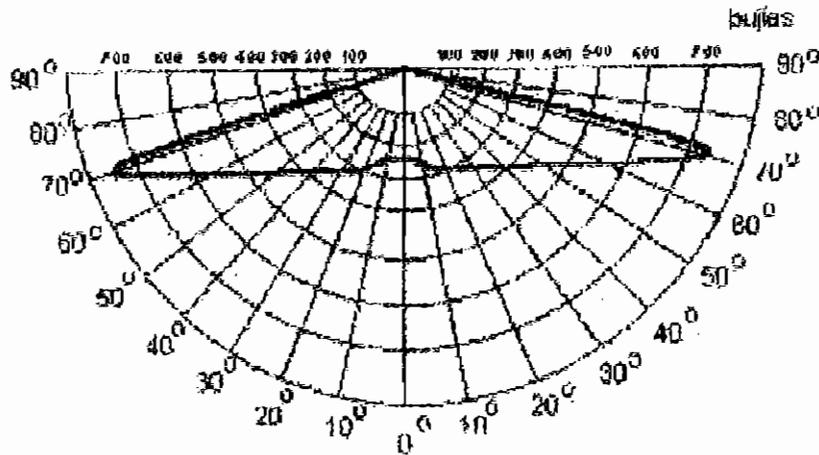


Fig. 2.15 Curva fotométrica para 1000 lúmenes.

Para realizar los cálculos de la iluminación horizontal se utilizan intensidades luminosas bajo los siguientes ángulos: 0°, 18°, 33°, 45°, 53°, 58°, 64°, 67°, 69°, 71° y 73°, y se considera una altura de 6 metros, es decir que el manantial luminoso se encuentra a 6 m del suelo.

Los valores de la iluminación se toman desde el pie del foco a distancias de: 2, 4, 6, 8... hasta 20 metros; las distancias se ubican en el eje de las abscisas y los valores de las diferentes iluminaciones en el eje de las ordenadas. Al unir los puntos se obtiene la curva de iluminación del suelo.

La línea de trazos horizontal indica el valor de la iluminación media E_m ; y el máximo valor de iluminación corresponde a $E_{m\acute{a}x}$ como se indica en la Fig. 2.14.

Para calcular la iluminación media E_m se aplica la siguiente relación:

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (2.22)$$

donde:

E_i : iluminaciones horizontales

n : número de iluminaciones horizontales

Cuando en la iluminación intervienen varios manantiales luminosos, la superficie del suelo recibe por lo menos luz de dos de ellos; en este caso la iluminación horizontal del espacio comprendido entre dos manantiales contiguos se obtiene por adición de los valores correspondientes de las dos curvas de iluminación del suelo, tal como se representa en la Fig. 2.16.

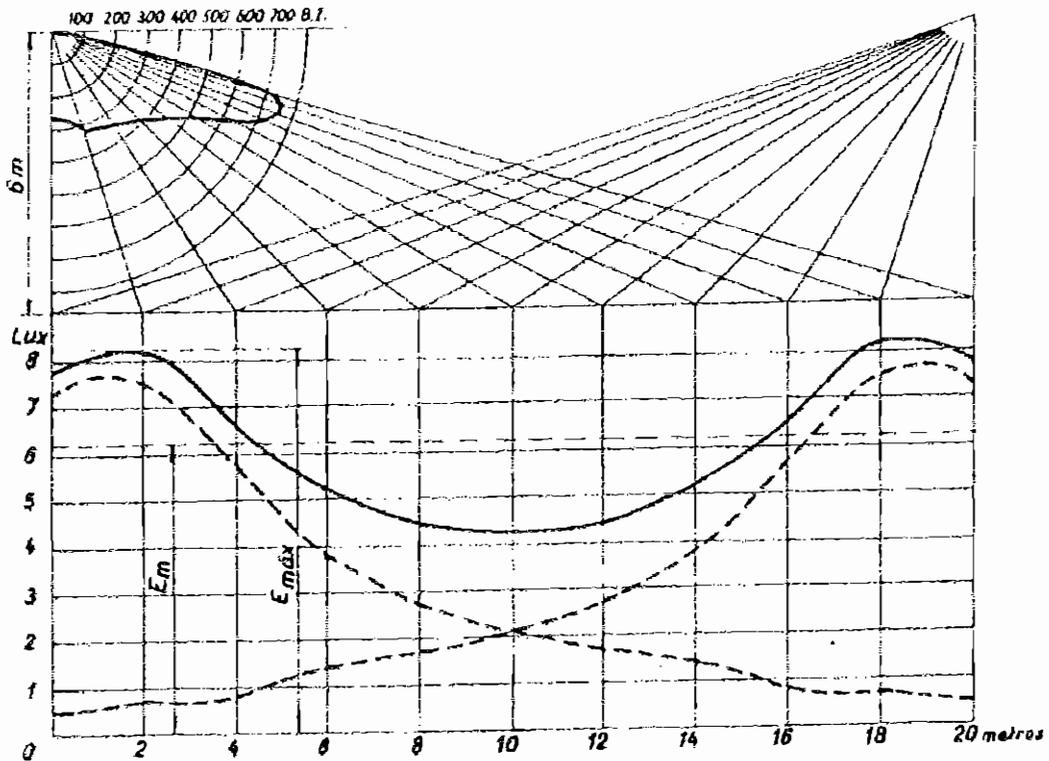


Fig. 2.16 Curva de iluminación del suelo con dos manantiales luminosos iguales y contiguos.

En esta Figura, se ha representado por líneas de trazos las curvas de iluminación del suelo de cada fuente luminosa; se suman los valores de las dos curvas en cada punto, y se obtiene la curva total o real de iluminación del suelo, misma que esta representada por una línea continua.

CAPÍTULO 3: LÁMPARAS ^{5 2*}

3.1 CLASIFICACIÓN

Las lámparas eléctricas de alumbrado son fuentes luminosas artificiales y pueden ser clasificadas en dos grandes grupos: lámparas incandescentes y lámparas de descarga en gas.

3.1.1 LÁMPARAS INCANDESCENTES

El principio de funcionamiento de la lámpara incandescente se debe al paso de la corriente eléctrica por un filamento, lo que hace que dicho filamento se ponga incandescente. Se pueden conectar directamente a la red, sin necesidad de ningún accesorio eléctrico.

Las lámparas incandescentes normales se caracterizan por la gran proliferación de subtipos, el fácil control de la luz por su reducido tamaño, el color adecuado, su baja eficacia luminosa y elevada luminosidad. El flujo emitido puede regularse mediante equipos electrónicos adecuados, conservando una elevada eficacia (aprox. 65%)

Sus características técnicas principales iniciales son, entre otros:

- Potencias: 25, 50, 100, 150, 200, 500 y 1000 W
- Flujos luminosos; para las potencias enumeradas, pueden considerarse como valores mínimos para el caso de ampollas claras los siguientes: 220, 600, 1250, 2000, 2900, 8300 y 18000 Lúmenes
- Vida media de un lote, aproximadamente 1000 h.
- Reducción del flujo.

⁵ WESTINGHOUSE, Manual de Alumbrado, 1989

^{2*} www.lighting.philips.com

3.1.1.1 Partes Principales

Las partes principales de una lámpara incandescente son el filamento, el gas de relleno, la ampolla y el casquillo; estas partes se ilustran en la Fig. 3.1.

3.1.1.1.1 El Filamento

Cuanto más elevada sea la temperatura del filamento mayor será la parte de la energía radiada por él comprendida en la región visible del espectro y mayor la eficacia de la lámpara. El material del filamento que se utiliza actualmente es el tungsteno debido a que tiene un alto punto de fusión y un bajo porcentaje de evaporación, por lo que permite alcanzar temperaturas de funcionamiento más altas que con cualquier otro tipo de material, y por consiguiente, incrementar la eficacia en la lámpara.

Para mejorar la eficacia de la lámpara se utiliza un arrollamiento en doble espiral del hilo de tungsteno, consiguiéndose reducir el tamaño del filamento y también presentar una menor superficie al gas de relleno, lo que trae como consecuencia una disminución de las pérdidas de calor por conducción y convección.

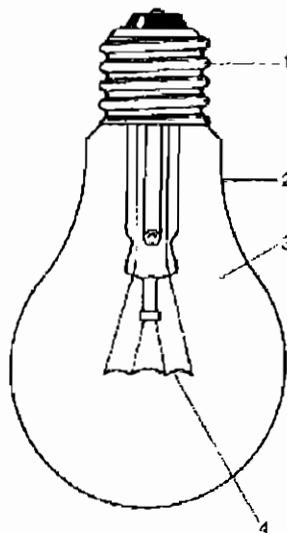


Fig. 3.1. Partes principales de una lámpara incandescente: 1 Casquillo, 2 Ampolla, 3 Gas de relleno, 4 Filamento.

3.1.1.1.2 El Gas de Relleno

La evaporación del filamento se reduce cuando la ampolla se rellena con un gas inerte, consiguiéndose un aumento en la temperatura de funcionamiento del filamento. Los gases que generalmente se utilizan son nitrógeno y argón; existe otro elemento llamado criptón, que también es un gas inerte que causa una menor pérdida de calor pero que no se lo emplea debido a su alto costo, y si se lo emplea se lo hace en algunas lámparas especiales.

3.1.1.1.3 La Ampolla

El filamento de la lámpara incandescente está situado dentro de una ampolla de vidrio cerrada, misma que puede ser de vidrio claro, blanco o coloreado. Existe una gran variedad de formas de las ampollas, algunas de estas se indican en la siguiente Fig. 3.2.

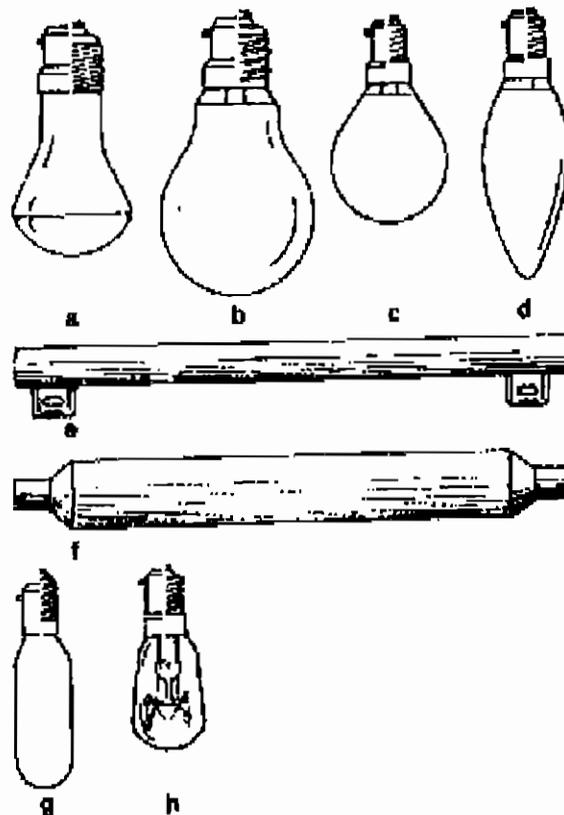


Fig. 3.2. Formas típicas de la ampolla de las lámparas incandescentes.
 a) Forma de hongo "E", b) Forma "A", c) Esférica, d) Vela,
 e) Filínea, f) Sofito escarpates, g) Tubular, h) Lámpara piloto.

Una ampolla blanca llamada también "mateada", se puede obtener tratando su superficie interior con ácido pero mejores resultados se obtiene al revestir la capa interna de la ampolla con una capa de silicato blanco.

3.1.1.1.4 El Casquillo

Es la parte metálica que conecta la lámpara con el portalámparas; existen dos formas de casquillo: de rosca y de bayoneta, que se identifican con la letra E (Edison) y B (Bayoneta) respectivamente, seguidos por una cifra que especifica el diámetro del casquillo expresa en milímetros.

3.1.1.2 Funcionamiento de las Lámparas Incandescentes

Básicamente el rendimiento y la duración de esta lámpara dependen de la temperatura del filamento; cuanto mayor sea la temperatura mayor será su eficacia y menor su vida. Toda variación de la tensión aplicada a una lámpara incandescente produce cambios en sus características. La Fig. 3.3. muestra la relación entre estas características y la tensión.

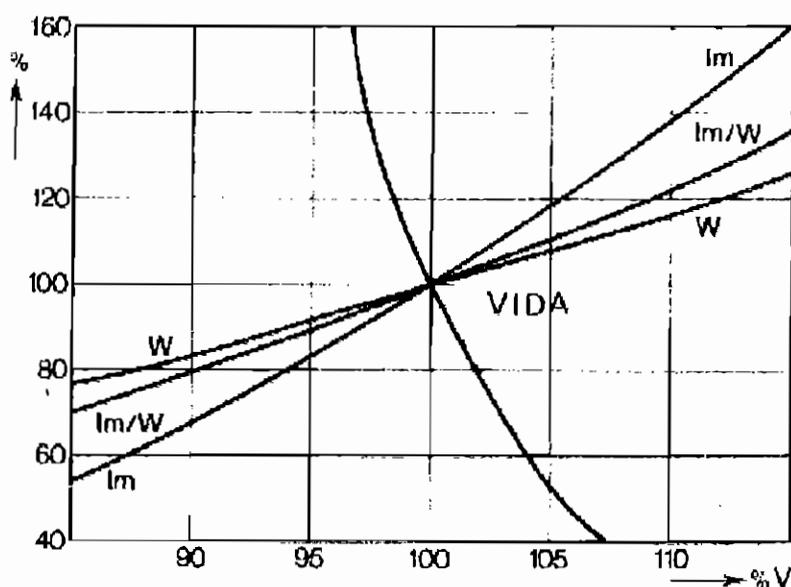


Fig. 3.3. Influencia de las variaciones de tensión (%V) sobre las características de funcionamiento nominal de las lámparas incandescentes.

3.1.1.3 Tipos de Lámparas Incandescentes

3.1.1.3.1 Lámparas Halógenas

En estas lámparas, llamadas frecuentemente de cuarzo-yodo, se logran mejorar la conservación del flujo emitido, la vida media y el color de las lámparas incandescentes de uso normal; tienen el inconveniente de la elevada temperatura (500 °C) que puede alcanzarse en la superficie exterior del tubo; también resulta desfavorable su elevada luminosidad y el montaje obligado en posición horizontal, salvo que se emplee el modelo de doble envoltura.

Al igual que las lámparas incandescentes normales, su flujo puede regularse mediante dispositivos atenuadores. Debido a la alta temperatura del filamento en las lámparas incandescentes, se produce evaporación de las partículas de tungsteno que se encuentran adheridas a él, mismas que se condensan en las paredes de la ampolla ennegreciéndola.

En las lámparas de halógenos se agrega un halógeno que puede ser bromo, flúor o yodo, como gas de relleno, produciéndose un ciclo de regeneración que evita el ennegrecimiento de la ampolla; esto se debe a que la temperatura de la ampolla es tan alta que impide la condensación en sus paredes, con lo que el tungsteno se combina con el halógeno formando un compuesto químico gaseoso de tungsteno-halógeno. Cuando este gas se aproxima al filamento debido a las altas temperaturas se descompone en tungsteno que se deposita nuevamente en el filamento, y en halógeno que vuelve a ingresar en el ciclo regenerativo.

Para la fabricación de la ampolla exterior de las lámparas de halógeno se utiliza un vidrio de cuarzo especial que resiste las altas temperaturas necesarias para que se establezca el ciclo del halógeno. Este tipo de lámparas generalmente se utiliza para la iluminación por proyección, en proyectores de cine y faros de automóviles.

3.1.1.3.2 *Lámparas Reflectoras*

Este tipo de lámparas tienen incorporado un acabado de espejo aplicado a una parte de la superficie interior de la ampolla, con lo que no se ensucia ni tampoco sufre corrosión evitando con esto reducir los gastos por mantenimiento luminoso durante toda la vida útil de la lámpara. En el mercado se presentan en dos grandes grupos de lámparas reflectoras:

3.1.1.3.2.1 *Ampolla de Vidrio Prensado*

Son construidas con vidrio duro, resistente al calor y su parte frontal actúa como lente que de acuerdo al acabado emite haces de luz de diferente abertura: estrecho (SPOT), ancho (FLOOD) y muy ancho (WIDW-FLOOD). Son resistentes a los choques térmicos, por lo que pueden instalarse sin protección alguna al ser empleadas en instalaciones a la intemperie. También son requeridas en alumbrado decorativo, en donde se utilizan lámparas coloreadas en sus dos versiones: las lámparas PAR 38 "FLOOD" en las que se ha recubierto el vidrio frontal con una capa de laca coloreada de silicona, y las lámparas PAR 38 "SPOT" en las que se ha teñido la masa de vidrio frontal de colores rojo, azul, amarillo y verde.

3.1.1.3.2.2 *Ampolla de Vidrio Soplado*

Se fabrican con haces SPOT y FLOOD, y también en colores al igual que las de vidrio prensado; tienen como característica que la parte frontal es esmerilada y el ancho del haz depende de la posición del filamento dentro de la lámpara reflectora. La intensidad luminosa de estas lámparas es menor que la de las de vidrio prensado de la misma potencia. Por su tamaño y peso más reducidos, y además porque se fabrican en potencias inferiores, las lámparas de vidrio soplado constituyen una fuente ideal para un gran número de aplicaciones en interiores. En la Fig. 3.4. se ilustra estos dos tipos de lámparas reflectoras.

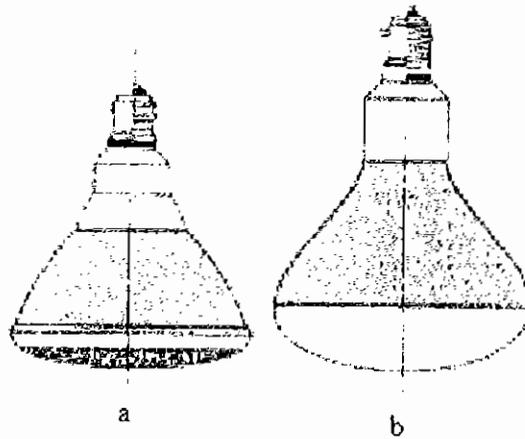


Fig. 3.4. Lámparas reflectoras: a) vidrio prensado, b) vidrio soplado.

Existe un tercer grupo de lámparas reflectoras, las denominadas de *LUZ INDIRECTA*, que se caracterizan por tener la capa reflectora interior en la parte frontal de la ampolla y se usan con un reflector separado para obtener la distribución luminosa deseada.

3.1.1.3.3 *Lámparas para Iluminación por Proyección (floodlight) y para Proyección de Imágenes.*

Todas las lámparas de este tipo tienen como característica el filamento concentrado, colocado con gran precisión en relación con el casquillo, con la finalidad de obtener una alineación exacta del filamento con el eje del sistema óptico en que se vaya a utilizar.

Hay también lámparas halógenas para proyectores de imágenes que tienen forma elipsoidal con reflector incorporado, diseñadas específicamente para uso en proyectores de cine de película estrecha y de diapositivas. El reflector de estas lámparas es del tipo de espejo dicróico de "luz fría": refleja prácticamente toda la luz, pero solamente el 40 % del calor, con lo cual contribuye a que la temperatura de la película no sea muy elevada y por tanto a prolongar su vida útil. Este tipo de lámparas se utiliza también en el sistema TVasis de luces de aproximación en aeropuertos.

3.1.1.3.4 Lámparas para Estudios y Teatros.

Estas lámparas se fabrican con un filamento muy concentrado, para lograr la máxima intensidad luminosa dentro del haz, el filamento está centrado exactamente con respecto al casquillo de la lámpara, con lo que se puede reemplazarla sin necesidad de ajustar nuevamente su enfoque.

3.1.1.3.5. Lámparas para Aplicaciones Fotográficas.

Las lámparas para fotografía, ya sean blanco y negro o en colores, tienen una alta intensidad luminosa y se fabrican con ampolla esmerilada o con reflector incorporado; estas últimas, las de reflector incorporado tienen la ventaja de que no se necesita reflector separado.

3.1.2 LÁMPARAS DE DESCARGA EN GAS

La luz emitida por una lámpara de descarga en gas (o en arco) no se genera calentando un filamento, sino excitando un gas (vapor metálico o mezcla de diferentes gases o vapores) contenido en un tubo de descarga. El tubo de descarga está situado en el interior de una ampolla tubular o elipsoidal como se indica en la Fig. 3.5.

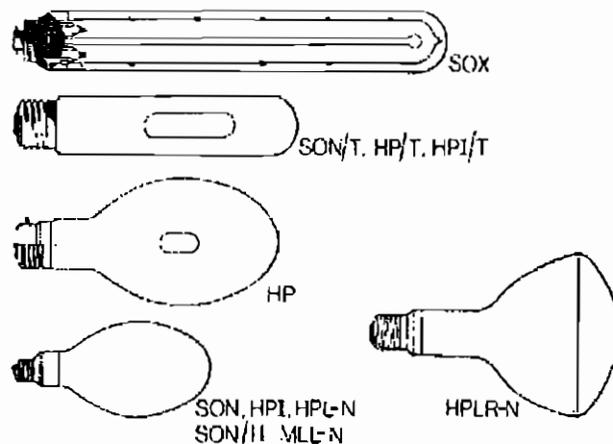


Fig. 3.5. Formas típicas de las lámparas de descarga en gas.

3.1.2.1 Partes Principales

Las partes principales de una lámpara de descarga típica, lámpara de mercurio a alta presión, son las mostradas en la Fig. 3.6.

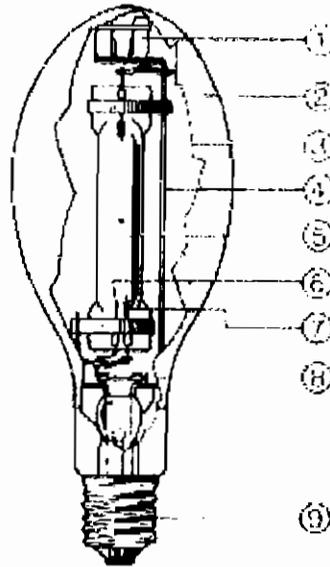


Fig. 3.6. Partes principales de la lámpara de vapor de mercurio a alta presión: 1. Muelle soporte; 2. Envoltura ovoide de vidrio duro; 3. Revestimiento interno de fósforo; 4. Alambre conductor/soporte; 5. Tubo de descarga; 6. Electrodo auxiliar; 7. Electrodo principal; 8. Resistencia de encendido; 9. Casquillo a rosca.

3.1.2.1.1 El Tubo de Descarga

El tubo en que tiene lugar la descarga es normalmente de forma cilíndrica; en las lámparas fluorescentes tubulares (o de mercurio a baja presión) ese tubo está hecho de cristal transparente de silicato de sosa y cal.

En las lámparas de mercurio a alta presión se emplea cristal de cuarzo o de sílice; en las lámparas de sodio a baja presión el tubo de descarga es de cristal de sosa-cal guarnecido internamente por cristal de boro resistente al sodio, para las lámparas de sodio a alta presión se emplea alúmina sinterizada traslúcida.

3.1.2.1.2 *Los Electrodo*s

Estos constituidos generalmente de alambre de tungsteno, bien arrollados en helicoides o con estructura de panel, dependiendo del tipo de lámpara. En ambos casos, el material contiene un material emisor para facilitar la emisión de electrones en el tubo de descarga. El electrodo está conectado al casquillo de la lámpara a través del vidrio en forma sellada y hermética.

3.1.2.1.3 *La Ampolla Exterior*

Sirve para proteger al tubo de descarga frente a los agentes atmosféricos, esta rellena de un gas inerte (por ejemplo nitrógeno) o al vacío; puede estar recubierta internamente con una capa difusora de la luz o con una capa de fósforo para mejorar el rendimiento en color. Absorbe la radiación ultra violeta emitida por muchos tipos de lámparas.

3.1.2.1.4 *El Casquillo*

El casquillo sirve para conectar los electrodos de la lámpara al portalámparas y puede ser de rosca o de bayoneta.

3.1.2.2 **Funcionamiento de las Lámparas de Descarga.**

Las lámparas de descarga operan con balastos, mismos que tienen la función primordial de limitar la corriente que atraviesa la lámpara al valor establecido. Para que se produzca la descarga a través de un gas se necesita una cierta tensión mínima de encendido o de cebado; después del encendido la corriente que circula por la lámpara crece rápidamente como consecuencia de la avalancha de electrones que se libera en el interior del tubo de descarga sin obstáculo alguno.

Esta corriente alcanza valores peligrosamente altos, para ello se conecta en serie con la lámpara una bobina autoinductiva que es el balasto el cual limita dicha corriente en un valor tal que conserva constante la descarga a través del gas contenido en el tubo. Las lámparas fluorescentes tubulares tienen un intervalo más corto de arranque, mientras que la de descargas en gas a alta presión lo tienen más largo.

La descarga crea un espectro de radiación multilinear cuya composición está determinada por el gas o vapor que se llena el tubo y por la presión a la que está sometido. Las lámparas a baja presión presentan un espectro lineal claro; la lámpara de sodio a baja presión tiene prácticamente una sola línea de resonancia y constituye un ejemplo extremo de las denominadas fuentes de luz monocromáticas (ver Fig. 3.8); el extremo opuesto de la gama está la lámpara de mercurio a alta presión con aditivos de halogenuros de diversos metales y tierras raras, cuyo espectro multilínea cubre todo el campo visible de radiación.

3.1.2.3 Tipos de Lámparas de Descarga

3.1.2.3.1 Lámparas de Sodio de Baja Presión (SOX)

El tubo de descarga de una lámpara de sodio de baja presión (SOX) es de vidrio, en forma de U, contiene sodio que se evapora a 98 °C con una presión de unos pocos N/m^2 y una mezcla de gases inertes generalmente (neón y argón), con una presión de unos cientos de N/m^2 para conseguir una tensión de encendido baja.

El tubo de descarga está situado en el interior de una ampolla de vidrio al vacío, revestida en su interior con óxido de indio, mismo que actúa como reflector infrarrojo y mantiene así la pared del tubo de descarga a la temperatura correcta de funcionamiento, 270 °C.

Estos requisitos permiten que el sodio, que cuando se condensa se introduce en los hoyuelos del cristal, se vaporice a la temperatura más baja posible logrando así una alta eficacia luminosa. Todas las partes constitutivas de este tipo de lámpara pueden observarse en la Fig. 3.7.

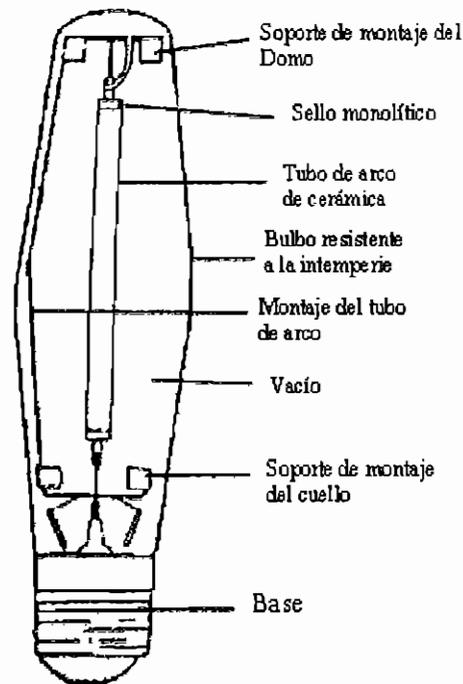


Fig. 3.7. Partes de una lámpara de sodio a baja presión SOX

Este tipo de lámpara se caracteriza por su radiación casi monocromática (ver Fig. 3.8.), alta eficacia luminosa que puede alcanzar 200 lm/W y larga vida. Se utiliza cuando no es importante la reproducción correcta de los colores, pero sí la percepción de contrastes, por ejemplo en autopistas, puertos y zonas de clasificación en ferrocarriles. La lámpara SOX se fabrica en potencias desde 18 hasta 180 W.

En este tipo de lámparas la luz se produce en gran cantidad por descarga en vapor de sodio a baja presión; dada su deficientísima reproducción del color, generalmente solo se emplea cuando no sea necesaria la reproducción cromática.

La regulación de su flujo es posible, aunque presenta problemas. Se caracterizan por ciertas condiciones, como las siguientes:

- Potencias: Se dispone de lámparas de 18, 35, 55, 90, 135, y 180 W.
- Eficacia luminosa: Están en función a las características del fabricante, de manera referencial se puede indicar valores entre 125 y 185 lm/W, según el orden creciente de las potencias.
- Consumo incluyendo equipos auxiliares: se pueden considerar entre 100 y 150 lm/W.
- La vida útil de un lote representativo de lámparas es de 9000 h.
- Permiten la regulación de la emisión luminosa conservando un alto rendimiento.

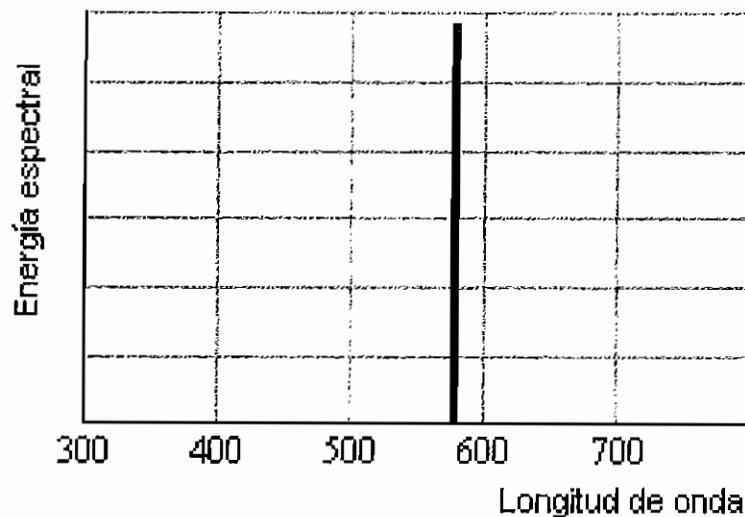


Fig. 3.8. Distribución espectral de la energía de una lámpara de sodio de baja presión.

3.1.2.3.2 Lámparas de Sodio de Alta Presión (SON)

El tubo de descarga de este tipo de lámpara contiene una cantidad tal de sodio que permite que, cuando la lámpara funciona con una presión entre 13 y 26 kN/ m², en el interior del tubo queda un remanente de sodio, dando como resultado un vapor de sodio saturado, al mismo tiempo que sirve para compensar la absorción de las superficies interiores (ver Fig. 3.9.)

Se utiliza también un exceso de mercurio como gas amortiguador y se incluye xenón a baja presión para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor del arco hacia la pared del tubo; el tubo de descarga es de óxido de aluminio sinterizado, que resiste la intensa actividad química del vapor de sodio en la temperatura de funcionamiento de 7000 °C, y se aloja en el interior de una ampolla protectora de vidrio duro, en la que se ha hecho el vacío.

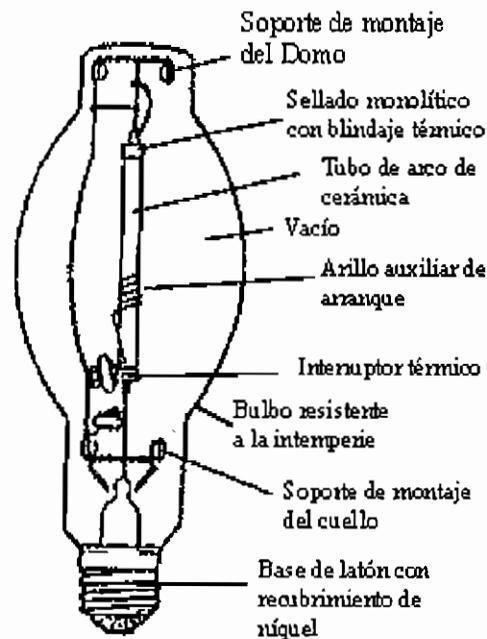


Fig. 3.9. Partes de una lámpara de sodio de alta presión SON

Emiten energía a todo lo largo del espectro visible (ver Fig. 3.10.) y su rendimiento en color es bastante bueno, si lo comparamos con el de las de sodio de baja presión.

Su eficacia luminosa es de unos 130 lm/W y la temperatura de color, de aproximadamente 2100 °K. Además de tener la ampolla una forma tubular y ovoide, este tipo de lámparas se caracteriza por lo siguiente:

- Potencias: 70, 150, 250, 400, 1000 W
- Rendimiento Luminoso: entre 90 y 130 lm/W
- Luminancia media: 500 cd/m²

- Vida media: La duración de una emisión aceptable de flujo es de unas 10000 horas para las bajas potencias y alcanza más 20000 horas, para las de potencia elevada.

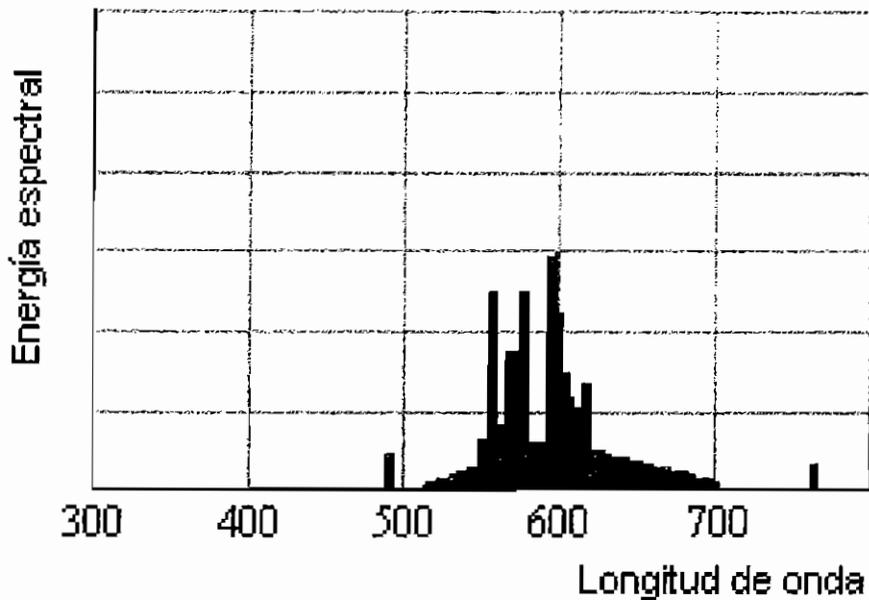


Fig. 3.10. Distribución espectral de la energía de una lámpara de sodio de alta presión.

Existe un tipo especial de lámparas de sodio de alta presión: la SON-H, con esta lámpara se puede reemplazar una de vapor de mercurio de alta presión, sin necesidad de sustituir también el balasto ni agregar algún dispositivo de arranque. Actualmente estas lámparas se fabrican en 350 y 210 W. La primera puede reemplazar a lámparas de vapor de mercurio de alta presión de 400W con un ahorro en el consumo de energía (-10%) y un aumento del flujo luminoso de 30000 lúmenes (+25 %); la segunda puede reemplazar a una lámpara de vapor de mercurio de alta presión de 250 W, con ventajas similares al caso anterior.

Las lámparas de sodio de alta presión, con su alta eficacia y agradables propiedades de color, encuentran cada día una mayor aplicación en el alumbrado público y en el industrial de naves altas. Los tipos SON y SON-H tienen una ampolla exterior elíptica, revestida interiormente con un polvo difusor. La ampolla del tipo SON-T es de vidrio claro y de forma tubular.

3.1.2.3.3 Lámparas de Mercurio

Las lámparas de mercurio durante su funcionamiento, el tubo de descarga, hecho de sílice fundida, contiene mercurio vaporizado a una presión entre 2×10^5 N/m² y 10^6 N/m². A la temperatura ambiente el mercurio está en estado líquido.

Para facilitar el arranque se introduce en el tubo de descarga una pequeña cantidad de un gas de vaporización más rápida. Un electrodo principal está situado en cada extremo del tubo y al lado de uno de ellos hay un electrodo auxiliar de arranque. La ampolla exterior contiene normalmente un gas que es inerte a la presión atmosférica cuando funciona la lámpara, el cual estabiliza la lámpara, manteniendo una temperatura casi constante dentro de las condiciones normales del ambiente en que funciona (ver Fig. 3.11).

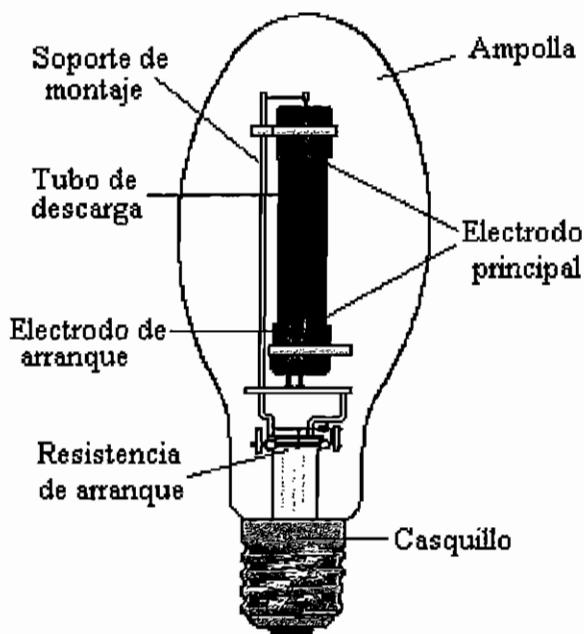


Fig. 3.11. Partes de una lámpara de mercurio a alta presión

La lámpara de mercurio de alta presión presenta un color blanco azulado, aun cuando el arco produce un espectro de rayas, con emisión dentro de la banda visible y en longitudes de onda de amarillo, azul y verde, con ausencia de radiación roja.

El arco producido por el mercurio tiene un bajo índice de rendimiento en color, pero emite una parte importante de su energía en la región ultravioleta del espectro. Mediante una capa de fósforo aplicada en la pared interior de la ampolla, esta energía ultravioleta puede servir para producir un componente rojo (ver Fig. 3.12.) mejorando así el rendimiento y el aspecto cromático. Las lámparas de vapor de mercurio se caracterizan por:

- Potencias: 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000 y 2000 W
- Eficacia luminosa: están en función a las características del fabricante, de manera referencial se puede indicar valores entre 40 y 60 lm/W, según el orden creciente de las potencias.
- La vida útil de un lote representativo de lámparas puede fijarse entre las 9000 y 14000h.
- Para que emita todo el flujo hace falta que transcurra unos 6 segundos a partir de la conexión, a no ser que haya sido desconectado poco antes, en cuyo caso son precisos unos 10 minutos.

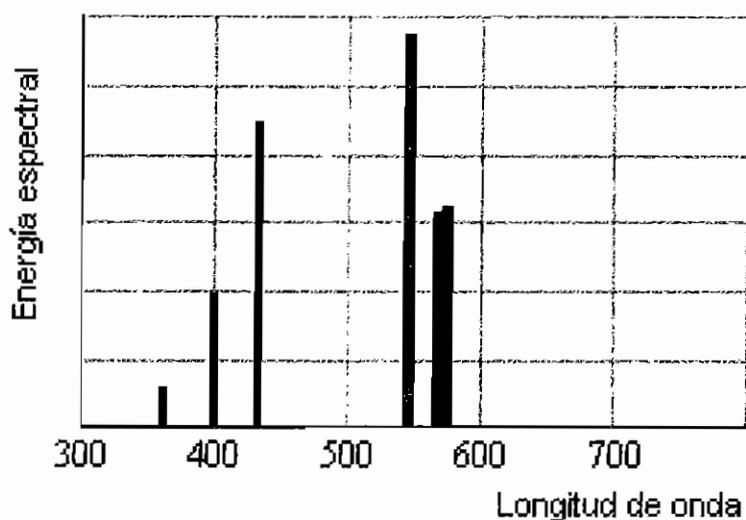


Fig. 3.12. Distribución espectral de la energía de una lámpara de mercurio con ampolla clara

Las lámparas de mercurio de alta presión diseñadas para la iluminación por proyección tienen una ampolla exterior ovoide de vidrio claro (tipos HP) y tubular (tipos HP/T), las que llevan una capa de fósforo para mejorar el rendimiento en color se designan con las letras HPL-N.

También hay una versión de la lámpara HPL-N con reflector incorporado, serie HPLR-N. Ambos tipos de lámparas HPL se emplean frecuentemente en alumbrado público y en el industrial.

3.1.2.3.4 Lámparas de Luz Mezcla (ML)

La lámpara de luz mixta o lámpara de luz mezcla consiste en una ampolla llena de gas, revestida con una capa de fósforo que contiene, además, el tubo de descarga de mercurio conectado en serie con un filamento de tungsteno (ver Fig. 3.13).

La lámpara de luz mezcla (serie MLL-N), como la de mercurio HPL-N de la cual se deriva, convierte la radiación ultravioleta de la descarga de mercurio en otra visible mediante la capa de fósforo. A ésta se agrega la radiación visible del tubo de descarga y la luz cálida del filamento incandescente.

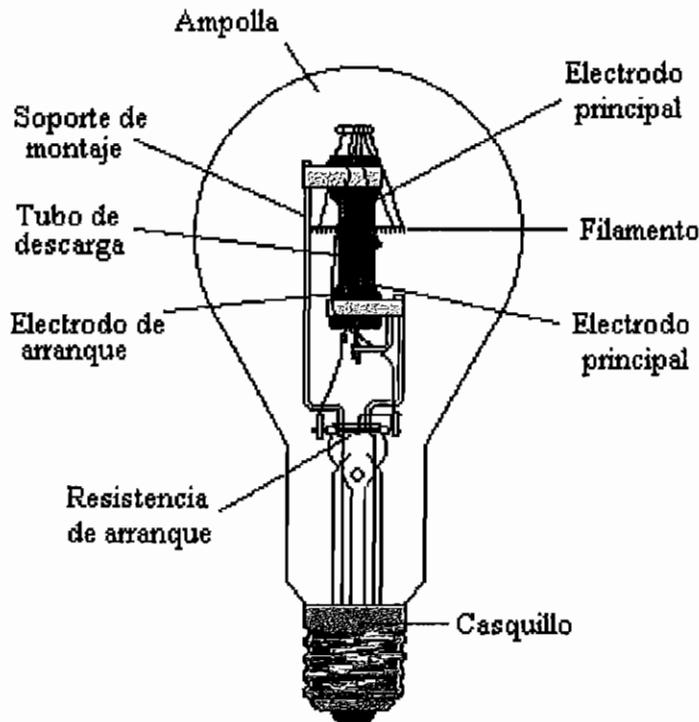


Fig. 3.13. Partes de una lámpara de Luz Mezcla

La radiación de estas dos fuentes de luz se combinan armoniosamente al atravesar la capa de fósforo, produciendo una luz blanca y difusa, con un agradable aspecto cromático. El filamento actúa como balasto para la descarga, estabilizando la corriente de la lámpara, sin que aquél sea preciso.

Las lámparas de luz mezcla pueden, por consiguiente, conectarse directamente a la red. Esto significa que las instalaciones existentes de lámparas incandescentes pueden modernizarse fácilmente, instalando lámparas de luz mezcla, que tienen doble eficacia y una vida casi seis veces mayor, sin necesidad de adquirir accesorios especiales o renovar el cableado de las luminarias.

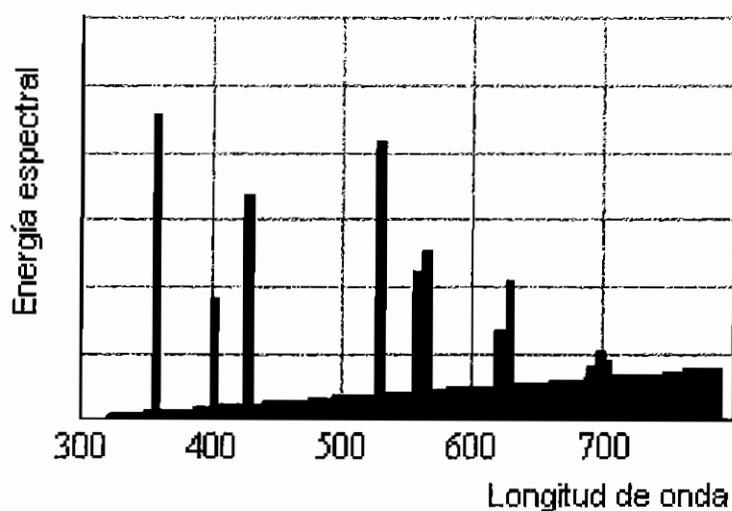


Fig. 3.14. Distribución espectral de una Lámpara de Luz Mezcla

3.1.2.3.5 Lámparas de Vapor de Mercurio con Halogenuros Metálicos (HPI)

Son muy parecidas en su construcción a las de mercurio y contienen aditivos de yoduros tales como, indio, talio y sodio, para producir una sustancial mejora de eficacia y rendimiento en color. Además de tener la ampolla una forma tubular y ovoide, este tipo de lámparas se caracteriza por lo siguiente:

- Potencias : 175, 250, 360, 400 W
- Rendimiento Luminoso entre 68 y más de 100 lm/W

- Luminancia media de 700 cd/m^2
- Vida media; la duración de un lote significativo de lámparas oscila entre 15000 y 20000 horas.

Las partes constitutivas de una lámpara de vapor de mercurio con halogenuros metálicos se indican en la Fig. 3.15.

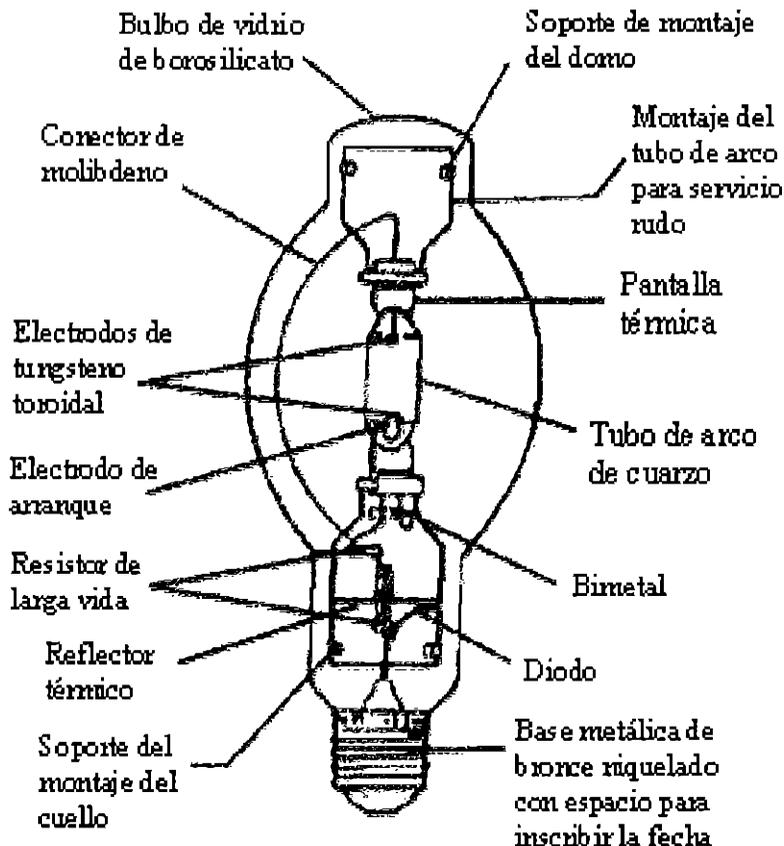


Fig. 3.15. Partes de una lámpara de vapor de mercurio con halogenuros metálicos (HPI).

Las lámparas de vapor de mercurio con halogenuros se denominan HPI (ampolla ovoide con capa difusora) y HPI/T (ampolla tubular clara) se utilizan principalmente en campos de deporte y otras zonas de parecida extensión, tales como centros de aglomeración urbana o aparcamientos de automóviles. Por su forma compacta son la solución ideal en un sinnúmero de aplicaciones.

La distribución relativa de energía espectral de estas lámparas se muestra en la Fig. 3.16.

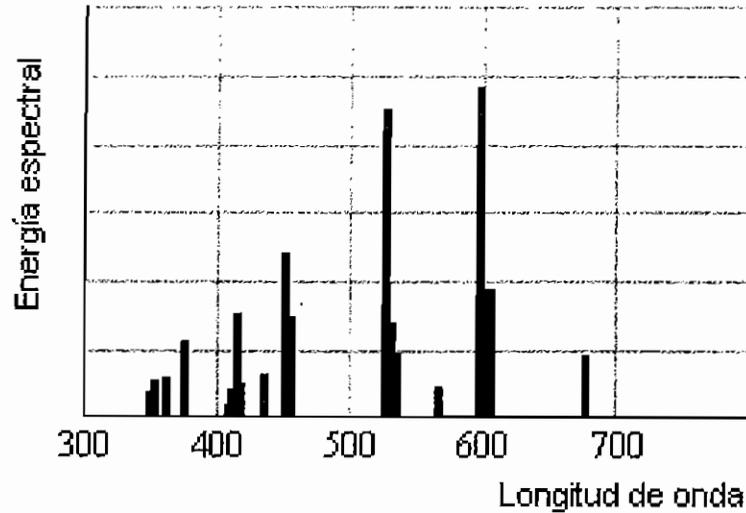


Fig. 3.16. Distribución espectral de la energía de una lámpara de vapor de mercurio con halógenos.

Existen lámparas para sustituir a las de incandescencia, compactas, roscadas y con equipo auxiliar electrónico incorporado cuyas potencias son de 15 W, 30 W y 45 W.

3.1.3. LÁMPARAS FLUORESCENTES

Este tipo de lámpara es de descarga en mercurio a baja presión, en la cual la luz está generada predominantemente mediante polvos fluorescentes, activados por la radiación ultravioleta de la descarga; su ampolla tiene generalmente la forma de un tubo cilíndrico con un electrodo situado en cada extremo, contiene vapor de mercurio a baja presión y una pequeña cantidad de gas inerte para facilitar el encendido. La superficie interior del tubo está recubierta con un polvo fluorescente o fósforo, cuya composición determina la cantidad y el color de la luz emitida. En la Fig. 3.17 se muestran cada una de las partes que forman una lámpara fluorescente.

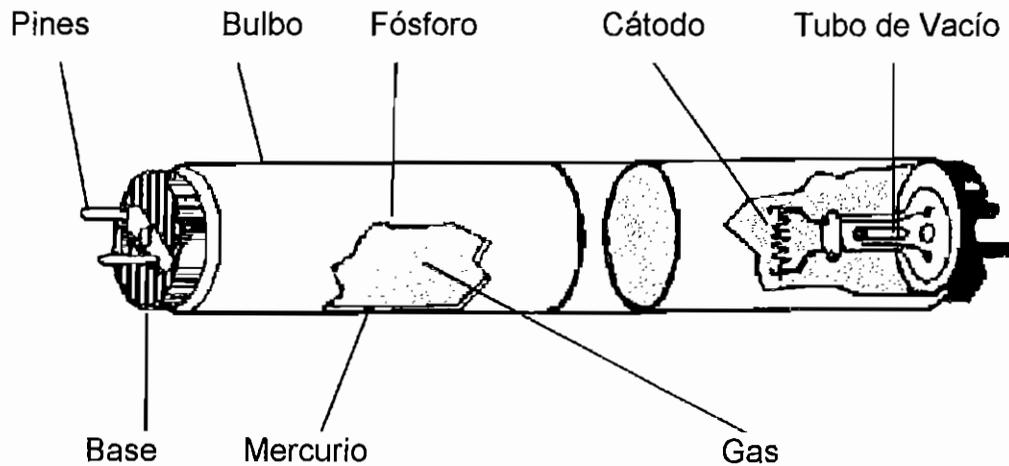


Fig. 3.17. Partes de una lámpara fluorescente.

Como características básicas enumerarán las siguientes:

- Eficacia luminosa; dada la variedad de tipos existentes son muy variables, entre 50 y 85 lm/W.
- Vida Media; depende mucho del tipo (y de la forma de su utilización), variando entre 4000 y 20000 horas.
- Por su color; existen del color blanco cálido, blanco frío, luz día.

En cuanto a las condiciones de utilización cabe destacar las siguientes:

- El número y tipo de encendidos influye decisivamente en la vida de los fluorescentes.
- Los consumos en los aparatos auxiliares pueden estimarse en un campo de variación de alrededor al 10 % del consumo en el fluorescente.
- Las variaciones en la tensión del suministro los afectan reduciendo el flujo luminoso emitido.

Si existe riesgo de estos defectos se deben elegir balastos adecuados (autoestabilizadores) que atenuarían esta disminución y al mismo tiempo mejorarían la vida y las condiciones de encendido.

3.1.3.1 Encendido de las Lámparas Fluorescentes

3.1.3.1.1 Encendido por Cebador

El funcionamiento de las lámparas fluorescentes del tipo de electrodos precaldeados y cebador se inicia calentando los electrodos de la lámpara antes de aplicar la alta tensión de encendido; este precalentamiento dura unos pocos segundos, se consigue normalmente mediante un cebador, que conecta los electrodos en serie a través de la salida del balasto.

A continuación se abren las láminas del cebador, aplicando la tensión del balasto a la lámpara. Un pico de alta tensión producido por dicha apertura ocasiona el encendido de la lámpara. Si la lámpara no se enciende con el primer impulso, se repite el proceso descrito.

3.1.3.1.2 Encendido sin Cebador

En el exterior de las lámparas fluorescentes que funcionan sin cebador se aplica una capa protectora de silicona, que asegura el encendido en condiciones de humedad. Se dispone de dos tipos:

3.1.3.1.2.1 De Encendido Rápido

Los electrodos de una lámpara de arranque rápido se caldean constantemente desde el momento del encendido mediante un devanado de baja tensión incorporado al balasto, no se dispone del impulso de alta tensión producido por el cebador; están provistas de una banda metálica de encendido a lo largo de la ampolla y situada en su parte exterior, que ayuda a su encendido.

3.1.3.1.2.2 *De Arranque Instantáneo*

El encendido de este tipo de lámparas fluorescentes depende exclusivamente de la aplicación de una alta tensión a través de ésta, tensión que está dada por el balasto.

3.1.3.2 **Tipos de Lámparas Fluorescentes**

3.1.3.2.1 *Lámparas Fluorescentes con Cebador (arranque)*

3.1.3.2.1.1 *Lámparas "TL" Estándar*

Las lámparas fluorescentes de uso más normal son las de la gama estándar "TL". Estas lámparas, con un diámetro de 38 mm, se fabrican de distintas longitudes y tonalidades, y cubren la mayoría de las posibles aplicaciones en el campo del alumbrado general. En la Fig. 3.17 se ilustra este tipo de lámpara.

3.1.3.2.1.2 *Lámparas "TL" de Colores*

Estas lámparas, idénticas a las estándar en cuanto a dimensiones y características eléctricas, se fabrican de cuatro colores: rojo, azul, amarillo y verde. Se usan para crear efectos atractivos en el campo del alumbrado decorativo.

3.1.3.2.1.3 *Lámparas "TL" Miniatura.*

Son lámparas pequeñas, sus dimensiones varían entre 15 a 53 cm de largo, 16 mm de diámetro y de reducida potencia.

Son ideales donde se requiera un funcionamiento continuado de bajo costo, sin que sea de gran importancia un gran rendimiento lumínico; por ejemplo, iluminación de entradas, señales de tráfico, alumbrado de señalización y de seguridad.

3.1.3.2.1.4 Tipo "TL" D.

Son lámparas de reducido diámetro (26 mm), de 15 y 30 W.; generalmente se utilizan para el alumbrado de vitrinas, cocinas, escritorios y camas; están sustituyendo gradualmente en muchas aplicaciones a las lámparas estándar anteriores TL de 30 mm de diámetro.

3.1.3.2.1.5 Tipo "TL" E.

Estas lámparas compactas, de forma circular, son eléctricamente idénticas a las estándar; se usan principalmente para efectos decorativos. Se ofrece también una versión de encendido rápido tipo " TL" EM RS.

3.1.3.2.1.6 Tipo "TL" F.

Las lámparas con la letra F en su número de catálogo tienen una capa adicional altamente reflectora, entre la capa de fósforo y la pared interior del tubo, la cual cubre las dos terceras partes de la superficie de la ampolla de vidrio, de tal forma, que la luz se radia a través del tercio restante, con una intensidad aumentada.

La ventaja del reflector es que el polvo acumulado en la parte superior del tubo no influye en su rendimiento lumínico. Las lámparas "TL" F se recomiendan para ambientes polvorientos como fábricas, talleres, depósitos, etc.

3.1.3.2.1.7 Tipo "TL" H.

Son lámparas que, comparadas con las estándar, emiten el máximo de luz en una temperatura ambiente más elevada y mantienen además su eficacia luminosa en un margen de temperatura mucho más amplio que aquéllas.

En luminarias cerradas, donde la temperatura ambiente puede alcanzar fácilmente hasta 60 °C, el uso de lámparas "TL" H se traduce en un aumento de la luz emitida del 40% sobre el nivel de las lámparas estándar.

3.1.3.2.1.8 Tipo "TL" U.

Tienen la forma de la letra U, son eléctricamente lámparas "TL" estándar y por su forma compacta son recomendadas especialmente para luminarias decorativas, vienen en potencias de 20, 40 y 65W.

3.1.3.2.2 Lámparas Fluorescentes sin Cebador:

3.1.3.2.2.1 Tipo "TL" Slimline.

Este tipo de lámparas es de encendido instantáneo con cátodos no precalentados, debido a esta característica necesitan un balasto que genere un pico de alta tensión para su encendido, con lo que la lámpara se enciende inmediatamente sin ningún parpadeo.

Las lámparas "Slimline" son sólo recomendables, realmente, en países donde la red de alumbrado sea de 110 a 120 y que haya temperaturas bajas o alta humedad. En países con redes de 220 V resulta más económico el tipo "TL" M/RS; se fabrican también en diámetros de 26 mm.

3.1.3.2.2.2 Tipo "TL" A.

Estas lámparas están diseñadas para Inglaterra y los países donde se utiliza el sistema específicamente británico de encendido instantáneo.

El tipo "TL" AF tiene la misma capa reflectora descrito en la "TL" F.

3.1.3.2.2.3 Tipo "TL" M.

Estas lámparas son susceptibles de funcionar con reguladores de flujo; llevan una cinta metálica de encendido en el exterior del tubo, la cual, junto con un balasto especial, proporciona un encendido rápido.

Se emplean donde, por razones de comodidad, se desee evitar el parpadeo en el momento del encendido; son especialmente apropiadas para tranvías y trenes y cuando se exija una regulación de la luz.

3.1.3.2.2.4 Tipo "TL" S.

Son lámparas de encendido instantáneo (20 y 40 W) que funcionan con corriente alterna. Llevan cinta metálica interna de encendido y funcionan con un balasto o con una lámpara incandescente especial estabilizadora.

3.1.3.2.2.5 Tipo "TL" RS.

Las lámparas con las letras RS ("Rapid Start") en su número de catálogo encienden casi instantáneamente, sin necesidad de cebador separado.

3.1.3.2.2.6 Tipo "TL" X.

Estas lámparas (15, 20 y 40 W) han sido diseñadas especialmente para su uso en ambientes donde haya peligro de explosión. El casquillo del tubo tiene una sola patilla larga y gruesa para ofrecer una gran superficie de contacto con los portalámparas especiales, eliminando así toda posibilidad de chispas en el momento del encendido. Funcionan sin cebador, con el fin de evitar chispas en los contactos de este último.

Las lámparas "TL" X son la fuente de luz prescrita para la industria química y petroquímica, minas, laboratorios y lugares parecidos, donde puede haber vestigios de gases explosivos.

Una protección adicional contra la rotura de las lámparas y acumulación de gases consiste en colocarlas en luminarias de las clases de "seguridad aumentada" (Increased Safety) o "para ambientes explosivos" (Flameproof).

En ninguna circunstancia deberán instalarse lámparas "TL" X donde haya una concentración explosiva de hidrógeno, acetileno o gas ciudad si la concentración de hidrógeno alcanza más de un 70 % por unidad de volumen.

3.1.3.2.2.7 Lámparas SL*

La lámpara SL* es una lámpara fluorescente en miniatura de mercurio a baja presión, incorporando su propio dispositivo de control contenida en una ampolla de vidrio y dotada de un casquillo convencional de lámpara de incandescencia (ver Fig. 3.18)

Pueden utilizarse directamente para reemplazar a lámparas incandescentes con el mismo casquillo (E27 o B22) y sin embargo tiene un 25 % del consumo de energía de una lámpara incandescente GLS de similar cantidad de luz.

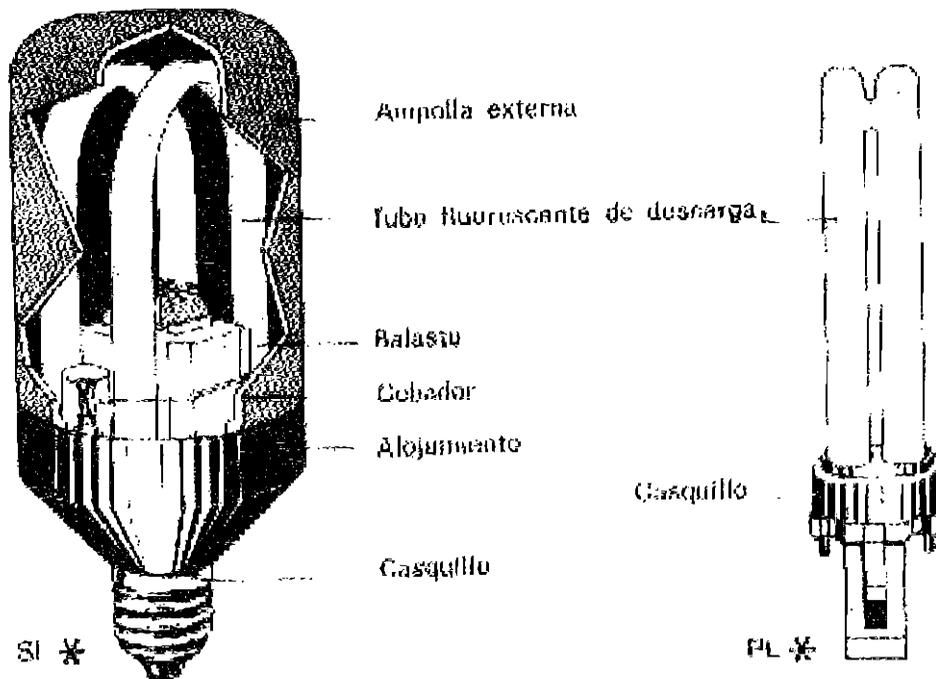


Fig. 3.18. Partes Principales de las lámparas SL* y PL*

Al igual que las lámparas incandescentes, las SL* dan sensación de color blanco cálido y tienen un buen rendimiento en color. Su duración es de 5000 horas, es decir, cinco veces la de una incandescente; se fabrican en dos versiones: una con ampolla prismática transparente, y la otra con ampolla opal; ambas en potencias de 9, 13, 18 y 25 vatios.

3.1.3.2.2.8 Lámparas PL*

La lámpara PL* es una lámpara fluorescente compacta de mercurio a baja presión, con extremo único, que consta de dos estrechos tubos soldados juntos (ver Fig. 3.18).

El cebador está incorporado dentro del casquillo; tiene las buenas propiedades en cuanto a color de una lámpara incandescente pero con un consumo de energía muchísimo más bajo.

Estas cualidades hacen que sea aconsejable su utilización en una amplia gama de aplicaciones, especialmente en aquellas en que se desea crear un ambiente grato y cordial; por ejemplo: en hoteles, restaurantes, museos, teatros y hogares. En el mercado existen estas lámparas en potencias de 7, 9 y 11 vatios.

3.1.4 LÁMPARAS DE ÚLTIMA TECNOLOGÍA

3.1.4.1 Lámparas de Radiación Ultravioleta

Las lámparas empleadas como fuentes de radiación ultravioleta (UV) son primordialmente las lámparas de descarga, ya que las de filamento sólo contienen en su espectro cantidades relativamente pequeñas. La gama de lámparas UV es extensa, se mencionaran únicamente los siguientes:

3.1.4.1.1 Lámparas TL Actínicas

Son lámparas de vapor de mercurio a baja presión de forma tubular y revestidas interiormente con una capa fluorescente que transforma la energía ultravioleta de onda corta del arco en radiación actínica utilizable. La máxima radiación se produce a 370 nm o 420 nm de acuerdo al tipo de lámpara.

Las dimensiones y características eléctricas de estas lámparas son idénticas a las de las fluorescentes normales de la misma potencia. Los balastos y demás accesorios son comunes para ambos tipos de lámparas.

La lámpara actínica es una fuente muy eficaz de radiación ultravioleta de onda larga y se emplea en diversos procesos fotoquímicos, fototerapia médica y reprografía (sistema diazoico).

3.1.4.1.2 *Lámparas de Luz Negra*

Las lámparas de luz negra emiten su máxima radiación en la banda de 350 a 370 nm; la luz visible se elimina utilizando vidrio wood en la construcción de la ampolla exterior de la lámpara.

Este vidrio tiene un color azul púrpura oscuro y está basado en la capacidad que tienen ciertos metales alcalinos para absorber casi toda la radiación visible y transmitir prácticamente toda la radiación UV; esta radiación emitida es completamente inofensiva para la vista y la piel.

3.1.4.1.3 *Lámparas Solares*

Debido a que la luz solar contiene radiación ultravioleta con efectos nocivos para la piel; los aparatos diseñados para producir radiación en esta misma zona del espectro se conocen con el nombre de Lámparas Solares; las aplicaciones de este tipo de lámparas incluyen los bronceadores domésticos y el envejecimiento de plásticos.

3.1.4.1.4 *Lámparas Germicidas*

La fuente de radiación UV de onda corta de una lámpara germicida es un arco de vapor de mercurio a baja presión, misma que se produce en las mismas condiciones que el de una lámpara fluorescente y radia el mismo tipo de energía ultravioleta.

Sin embargo, la diferencia radica en que la ampolla de la lámpara fluorescente esta revestida interiormente con fósforo, el cual convierte la radiación UV en luz visible. La lámpara germicida no tiene capa de fósforo y está hecha de un vidrio especial que es atravesado por la radiación UV de onda corta generada por el arco.

3.1.4.1.5 *Lámparas de Ozono*

Estas lámparas funcionan según el principio de la descarga en vapor de mercurio; la ampolla es de un vidrio que transmite la radiación a los 185 nm, que produce ozono y también un alto nivel de radiación germicida a los 253,7 nm.

3.1.4.2 **Lámparas de Radiación Infrarroja**

Existen básicamente tres grupos de lámparas eléctricas de radiación infrarroja:

3.1.4.2.1 *Lámparas de Onda Corta*

Son lámparas de incandescencia con un filamento espiralizado de tungsteno.

3.1.4.2.2 *Lámparas de Onda Media*

Formada de un tubo de cuarzo con un arrollamiento de hilo resistivo que está soportado por el propio tubo, este arrollamiento es de una aleación de aluminio con un gran número de otros materiales (cantal).

3.1.4.2.3 *Lámparas de Onda Larga*

Constituida de un arrollamiento resistivo de hilo de níquel-cromo dentro de un tubo metálico, separados entre sí por un polvo aislante (óxido de magnesio); la superficie del tubo metálico constituye la superficie radiante de la fuente emisora.

3.2 ELEMENTOS AUXILIARES

3.2.1 BALASTOS

Toda lámpara de descarga necesita un dispositivo para controlar o estabilizar la corriente que la atraviesa. Este dispositivo (el balasto) está diseñado para satisfacer requisitos muy estrictos. Aparte de estabilizar en forma segura la corriente de la lámpara, debe tener:

- Un alto factor de potencia, lo que asegura el uso económico de la energía suministrada
- Un reducido porcentaje de armónicos de la corriente recibida de la red
- Una impedancia alta en las frecuencias audibles
- Una supresión adecuada de las interferencias de radio causadas por la lámpara
- Condiciones requeridas para el encendido de la lámpara.

Desde el punto de vista del fabricante de luminarias, el balasto debe además tener un volumen reducido con una sección pequeña (unidades largas, pero estrechas); ser de poco peso y tener un bajo autocalentamiento.

El usuario está interesado en reducidas pérdidas, bajo precio, ausencia de zumbido acústico, larga vida, ausencia de interferencias que afecten la TV o la radio y sobretodo brinde seguridad.

El balasto más simple es el de autoinducción, colocado en serie con la lámpara (ver Fig. 3.19.a). Por sí mismo, el factor de potencia de tal circuito es bajo, 0,5 en retrazo aproximadamente. Hay varios métodos para elevar ese factor de potencia hasta 0,85 o más. La Fig. 3.19.b. muestra un circuito que consiste en un balasto en serie con la lámpara y un condensador conectado en paralelo con la red.

Debido a la distorsión en la forma de onda que producen las lámparas de descarga en general, no se puede corregir el factor de potencia al valor unitario mediante un condensador conectado en paralelo.

Sin embargo, se puede conseguir un factor de potencia que se aproxime a la unidad combinando el circuito de 0,5 en retraso con otro circuito de 0,5 en adelanto.

El factor de potencia de 0,5 adelantado se consigue conectando un condensador adecuado en serie con la reactancia inductiva (ver Fig. 3.19.c). El circuito dúo que resulta con dos lámparas iguales y con factor de potencia casi unitario se muestra en la Fig. 3.19.d.

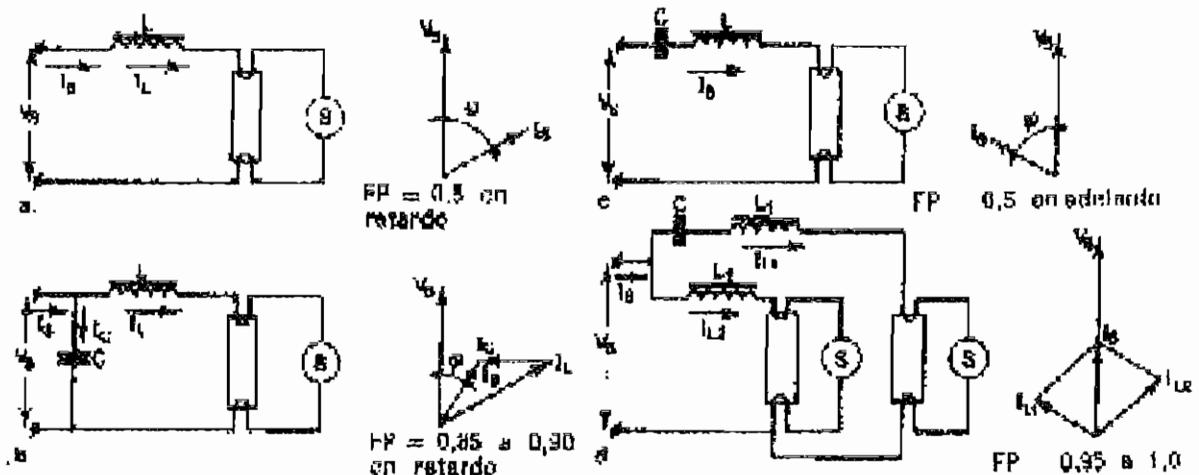


Fig. 3.19. Balastos para lámparas con cebador: a. Balasto inductivo simple, b. Balasto con condensador de compensación en paralelo, c. Balasto con condensador en serie, d. Balastos a. Y c. combinados para corregir el factor de potencia al valor óptimo

Por ejemplo, las lámparas fluorescentes pertenecen al grupo de las lámparas de descarga y, por consiguiente, necesitan para su funcionamiento un balasto, conectado en serie con ellas.

Los balastos para lámparas fluorescentes se dividen en los de uso con corriente alterna (c.a.) y los de uso con corriente continua (c.c.)

3.2.1.1 Balastos para Corriente Alterna

Se dividen a su vez en las que sirven para lámparas con cebador y las destinadas a lámparas sin cebador. Un circuito típico con cebador está ilustrado en la Fig. 3.20.a; se ha logrado un buen factor de potencia conectando dos lámparas en paralelo, una con un balasto inductivo (L_1) y la otra con uno capacitivo (C en serie con L_2).

Un circuito típico sin cebador es el de la Fig. 3.20.b; el dispositivo de control está formado por un balasto en serie y un transformador con salida de baja tensión para el precaldeo de los electrodos de la lámpara.

La Fig. 3.20.c. muestra un circuito sin cebador que utiliza un balasto llamado "semirresonante", tiene la ventaja de un alto factor de potencia (0,95 o más), funcionamiento seguro en temperaturas muy bajas (hasta $-20\text{ }^\circ\text{C}$), un bajo porcentaje de ondas armónicas (6% o menos en el tercer armónico, quedando los más altos virtualmente eliminados) y una alta impedancia en audiodfrecuencia.

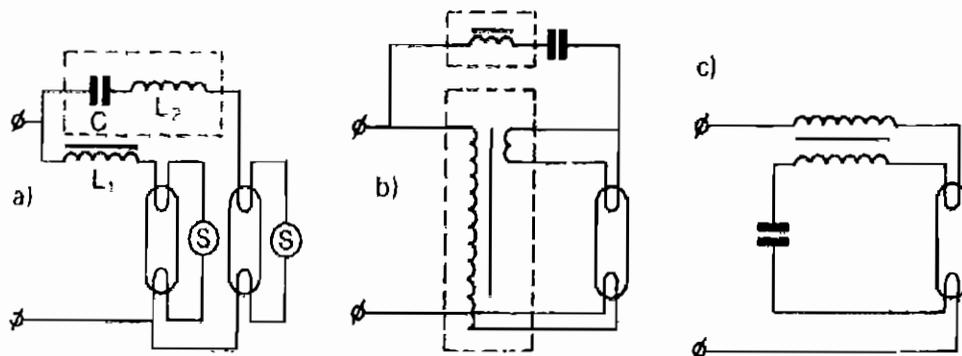


Fig. 3.20. Balastos para lámparas fluorescentes: a) inductivo y capacitivo en un circuito con cebador, b) inductivo y transformador de precaldeo en un circuito sin cebador; c) semirresonante en un circuito sin cebador.

Las bobinas que se utilizan en los balastos fluorescentes tienen un núcleo de láminas metálicas troqueladas. La constante inversión del campo magnético en el núcleo causa vibraciones. Estas vibraciones amplificadas por un efecto de resonancia producido en la luminaria, podrían generar un nivel de zumbido molesto.

3.2.1.2 Balastos para Corriente Continua.

Las lámparas fluorescentes pueden funcionar con corriente continua c.c. utilizando resistencias como estabilizador; sin embargo, este método presenta tantos inconvenientes que en la práctica casi no se usa.

Un método más conveniente para la estabilización lo ofrecen los balastos transistorizados. Estos transforman la corriente continua c.c. de alimentación en corriente alterna c.a., efectúan el encendido y estabilizan la corriente de la lámpara. Debido a las altas frecuencias empleadas (20 kHz o más), el balasto funciona silenciosamente y la lámpara trabaja eficientemente.

Los balastos transistorizados se emplean donde sólo se dispone de corriente continua c.c. y donde, a pesar de esta circunstancia, se desea aprovechar las ventajas del alumbrado fluorescente.

Así ocurren en los vehículos de transporte público tales como autobuses, buques, aeronaves. Los balastos transistorizados se emplean también frecuentemente en el alumbrado de emergencia.

Al instalar balastos transistorizados y esto vale igualmente para los clásicos, se debe evitar colocarlos en lugares donde puedan estar expuestos a un calentamiento excesivo. Por lo general, se especifica la temperatura máxima permitida, en la placa de montaje del balasto, o la temperatura de ambiente para determinados usos.

Al cumplir con estos límites de temperatura se asegura que también los componentes electrónicos del balasto no sufrirán calentamiento excesivo. Descuidar estos límites acortará la vida del elemento.

Cualquiera que sea el sistema seleccionado para compensar el bajo factor de potencia, las características del balasto deben corresponder a los requisitos específicos de la lámpara.

3.2.2 CEBADORES

Las lámparas que se encienden con la tensión de red se conectan normalmente con un simple balasto.

Por otra parte, las de vapor de mercurio con halogenuros (HPI) y las de sodio de alta presión, necesitan una tensión más alta que la dada por la red para iniciar la descarga y, por consiguiente, deben conectarse con un dispositivo auxiliar de encendido.

La lámpara HPI arranca mediante un cebador de tiristores, conectado a través de la lámpara (Fig. 3.21.a). El cebador genera una serie de impulsos de alta tensión (600 a 700V, valor máximo) que cesan cuando la lámpara se ha encendido.

Las lámparas SON necesitan una tensión de un valor máximo de 1500 a 3000 V, según el tipo de lámpara, para su encendido la tensión necesaria se consigue mediante una derivación en el devanado del balasto que actúa como un elevador de tensión para los impulsos de arranque del cebador (Fig. 3.21.b).

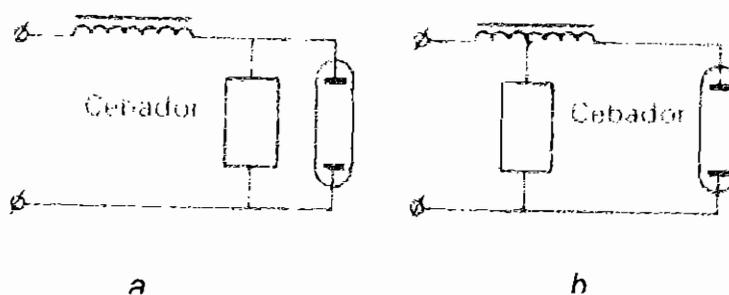
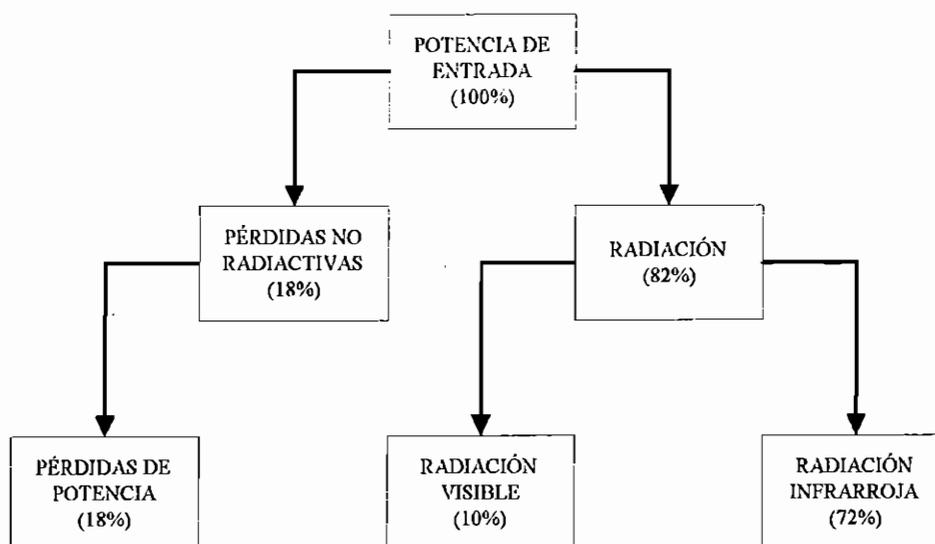


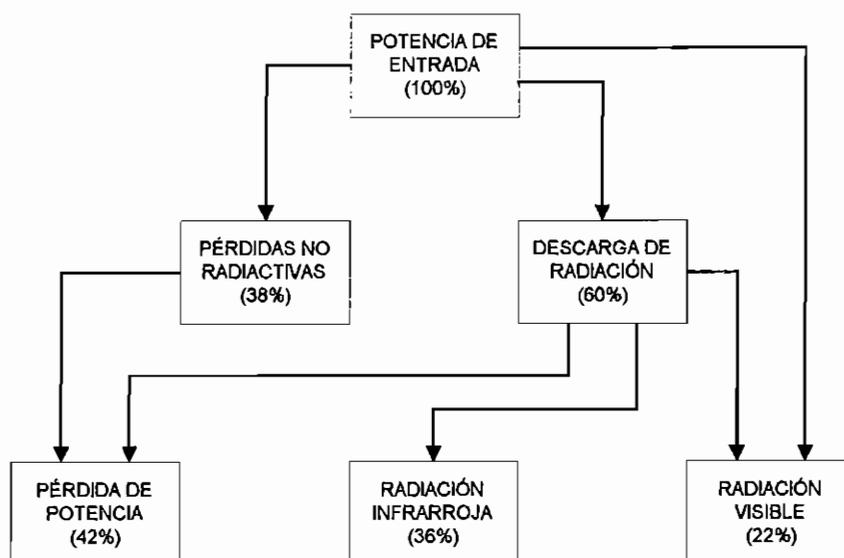
Fig. 3.21. Circuitos con cebador de tiristores: a) una lámpara HPI y b) una lámpara SON.

3.3 DIAGRAMAS DE BLOQUES DEL BALANCE ENERGÉTICO PARA LÁMPARAS DE ALUMBRADO PÚBLICO ^{6 1*}

3.3.1 LÁMPARAS INCANDESCENTES



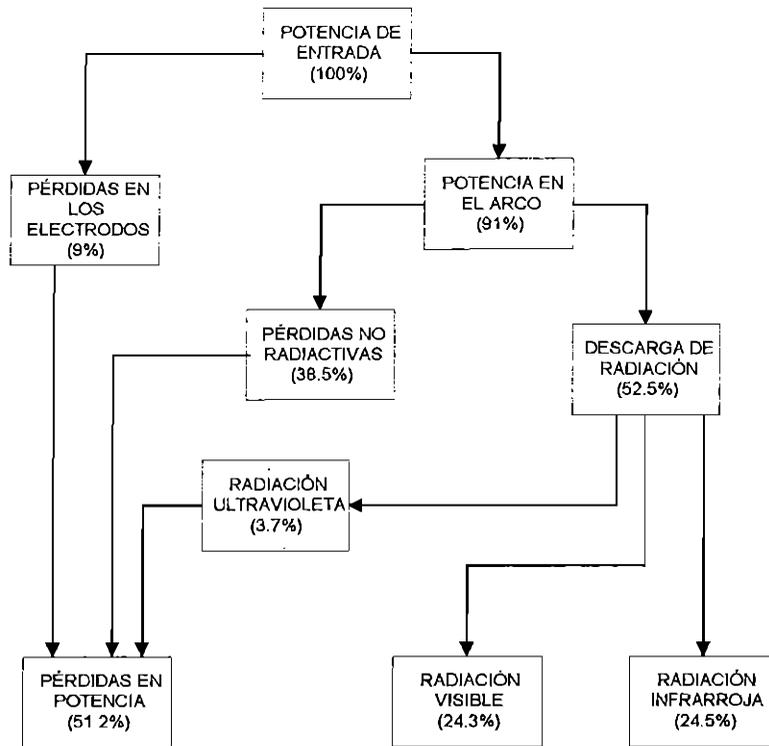
3.3.2 LÁMPARAS FLUORESCENTES



⁶ MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DEL PERÚ, Proyecto para el Ahorro de Energía, 1999
^{1*} www.holoplane.com.mx/infotecnica

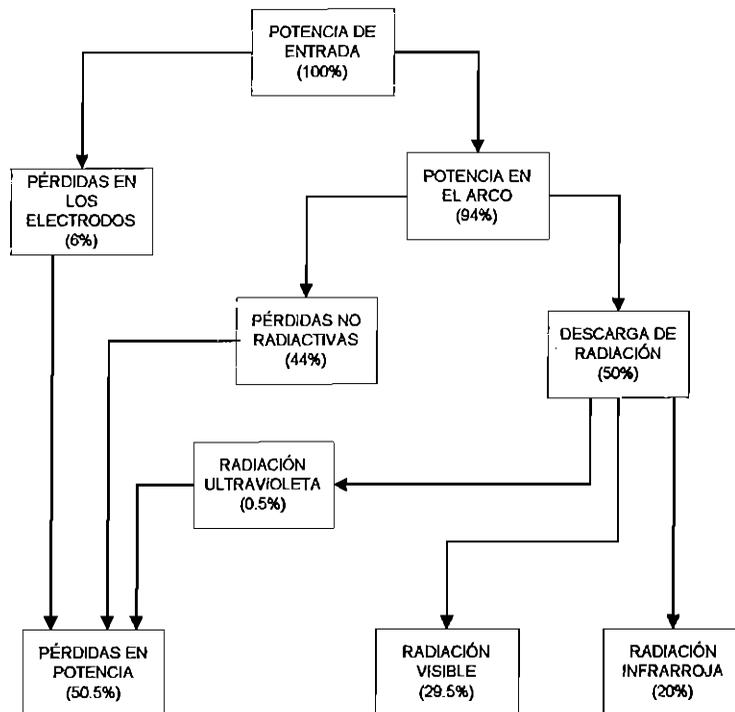
3.3.3

LÁMPARAS DE HALURO METÁLICO



3.3.4

LÁMPARAS DE ALTA PRESIÓN DE SODIO



3.4 EFICACIA Y POTENCIA CONSUMIDA

Las investigaciones y desarrollos continuos han llevado a un constante aumento de su eficacia luminosa en todos los tipos de lámparas como se ilustra en la Fig. 3.22; de igual manera, en el Anexo 3.1, se indica la situación actual de las lámparas utilizadas para Alumbrado Público. Sin embargo esta situación cambia continuamente; así, la eficacia luminosa de algunos tipos de lámparas fluorescentes ha aumentado recientemente en más del 50 %.

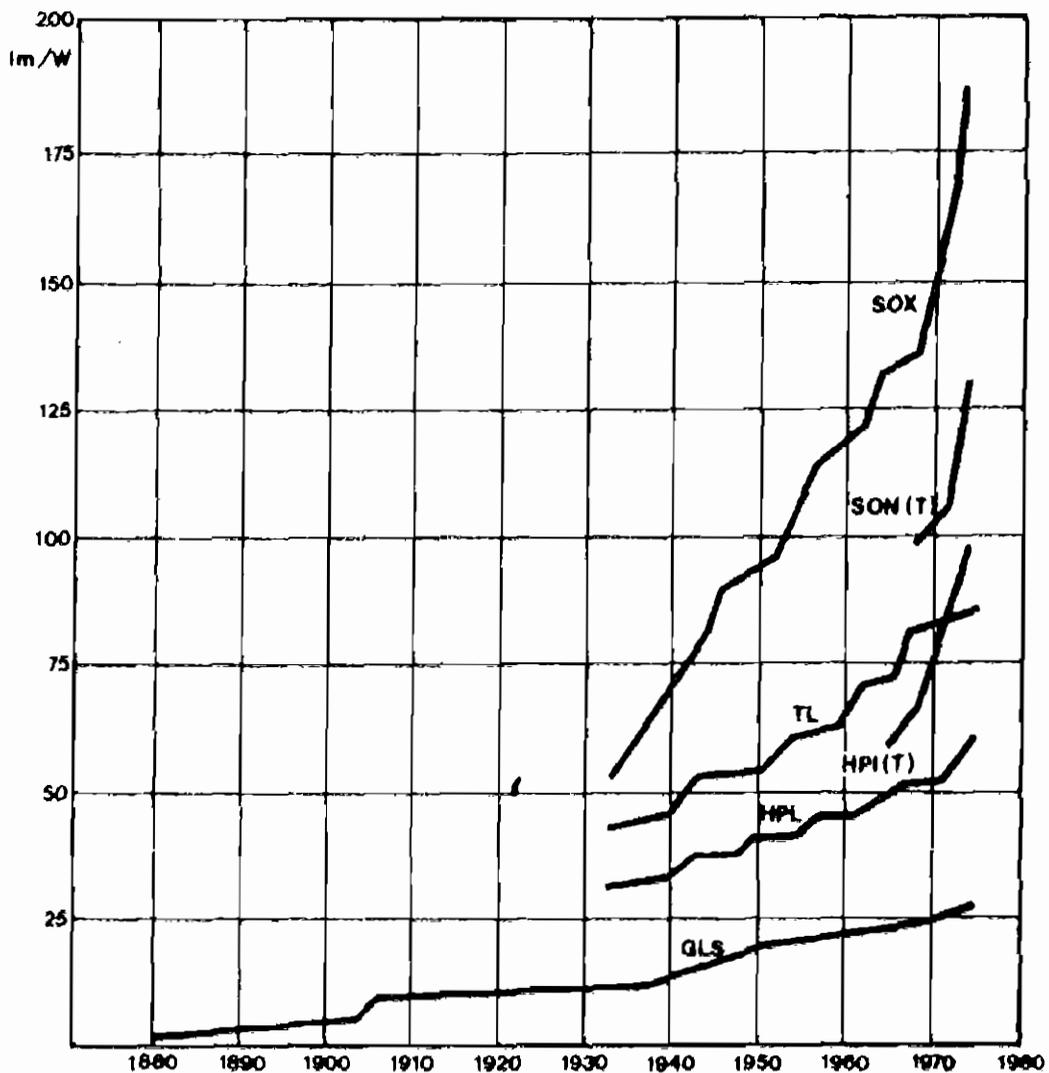


Fig. 3.22. Gráfico que representa el aumento del rendimiento luminoso de varios tipos de lámparas desde 1880.

Un punto de vista diferente para valorar una fuente de luz, especialmente si se desea ahorrar energía y reducir el costo de funcionamiento, es el cálculo del valor inverso de su eficacia es decir, los vatios consumidos por lumen producido.

Una comparación de los vatios consumidos por 1000 lúmenes para una selección de tipos actuales, puede verse en la Fig. 3.23.

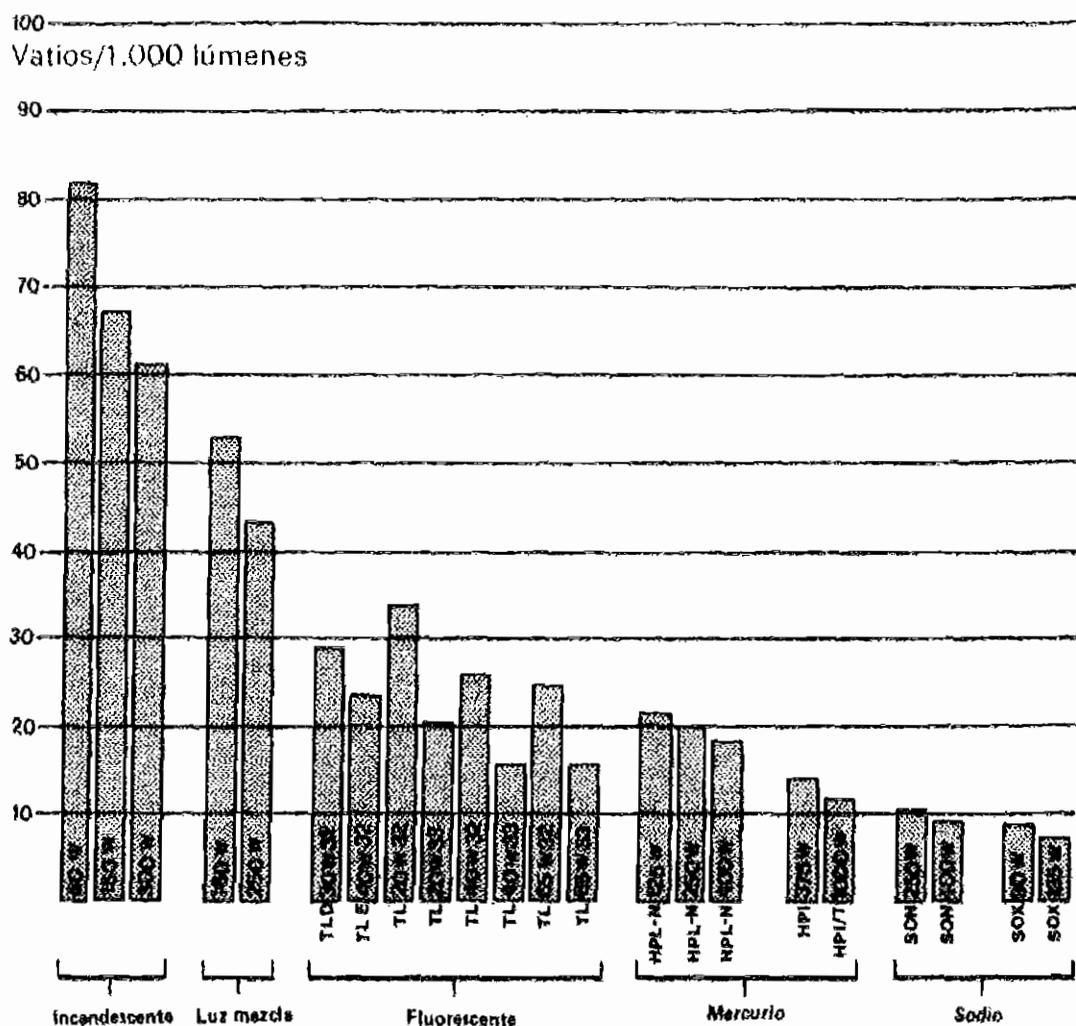


Fig. 3.23. Consumo de energía eléctrica de varios tipos de lámparas por cada 1000 lúmenes emitidos.

CAPÍTULO 4. LUMINARIAS ^{5 7 8}

4.1 DEFINICIÓN

Una luminaria es un aparato que sirve para repartir, filtrar o transformar la luz de las lámparas, y que incluye todas las piezas necesarias para fijarlas y protegerlas y para conectarlas al circuito de alimentación.

Con las componentes ópticas de las luminarias se trata de disminuir la luminosidad (luminancia) de las lámparas y de redistribuir la luz de forma más conveniente para la iluminación deseada, conservando un elevado rendimiento luminoso.

4.2 REQUISITOS BÁSICOS

Cualquier luminaria debe cumplir los siguientes requisitos:

- Hacer de soporte y de conexión eléctrica para las lámparas que alberga.
- Controlar y distribuir la luz emitida por las lámparas.
- Mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites autorizados.
- Ser de fácil instalación y mantenimiento.
- Tener un aspecto agradable.
- Resultar económica.

4.3 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Como características constructivas más importantes se señalan las siguientes:

⁵ WESTINGHOUSE, Manual de Alumbrado

⁷ PHILIPS, Lighting Manual

⁸ OSRAM, Manual de Luminotecnia

- Distribución luminosa y reparto de flujo; este dato fotométrico proporciona la intensidad luminosa (en candelas) emitida por la lámpara en cierto número de direcciones con una serie de intervalos de ángulos. Estos valores se dan generalmente para una emisión unitaria (1000 lm) de flujo luminoso.
- Luminancias límites para apreciar la luminosidad de una luminaria para tubos fluorescentes es necesario conocer la luminancia (cd/m^2), con que se ve en ángulos elevados (mayor que 45° y generalmente 55° , 65° , 75° y 85°) respecto al nadir (vertical descendente).
- Apantallamiento; el ángulo crítico por encima del cual puede provocarse deslumbramiento directo es de 45° con la vertical descendente.
- Envejecimiento irrecuperable; algunos de los componentes de la luminaria sufren a lo largo de su utilización unas pérdidas permanentes, no recuperables mediante operaciones de mantenimiento.

En el caso de reflectores, las superficies con acabados especulares envejecen más lentamente que las que tiene acabados mates.

4.4 CLASIFICACIÓN

Las luminarias se clasifican de acuerdo a diversos criterios, de los cuáles mencionaremos los siguientes:

4.4.1 CLASIFICACIÓN GENERAL

4.4.1.1 Distribución del Flujo Luminoso

Las luminarias para la iluminación general de interiores se han clasificado por la CIE de acuerdo con el porcentaje de flujo luminoso total distribuido por encima y por debajo de la horizontal. Esta clasificación se indica en la Fig. 4.1.

Clase de Luminaria	Distribución del Flujo (%) respecto a la horizontal	
	Encima de:	Debajo de:
Directa	0 – 10	90 – 100
Semi-directa	10 – 40	60 – 90
General difusa	40 – 60	40 – 60
Directa-indirecta	40 – 60	40 – 60
Semi-indirecta	60 – 90	10 – 40
Indirecta	90 – 100	00 – 10

Fig. 4.1. Clasificación de la CIE para luminarias, según la distribución del flujo luminoso. La ilustración gráfica se encuentra en el Anexo 4.1.

4.4.1.2 Distribución de la Componente Directa

Las luminarias para iluminación industrial directa se pueden clasificar, como se hace en EE.UU., según la distribución lumínica de su componente directa; misma que se hace en función de la relación espacio permisible/altura de instalación, esta clasificación se ilustra en la Fig. 4.2.

Clase de Luminaria	Relación espacio/altura
Muy concentradora	Hasta 0,5
Concentradora	De 0,5 a 0,7
Dispersión media	De 0,7 a 1,0
Dispersión normal	De 1,0 a 1,5
Gran dispersión	Por encima de 1,5

Fig. 4.2. Clasificación de luminarias industriales de iluminación directa, según la relación espacio permisible/altura de instalación.

4.4.1.3 Distribución de la Intensidad Luminosa

4.4.1.3.1 *British IES*

La "British IES" clasifica las luminarias en diez grupos de acuerdo con su distribución de intensidad luminosa debajo del plano horizontal. En la Fig. 4.3. se indica esta clasificación, además junto a cada distribución se define su correspondiente fórmula.

Clase de luminaria	Distribución
BZ 1	$I \propto \cos^4 \theta$
BZ 2	$I \propto \cos^3 \theta$
BZ 3	$I \propto \cos^2 \theta$
BZ 4	$I \propto \cos^{1.5} \theta$
BZ 5	$I \propto \cos \theta$
BZ 6	$I \propto (1+2\cos \theta)$
BZ 7	$I \propto (2+\cos \theta)$
BZ 8	I constante
BZ 9	$I \propto (1+\sin \theta)$
BZ 10	$I \propto \sin \theta$

Fig. 4.3. Clasificación (BZ) "British Zonal".

4.4.1.3.2 *CIE*

Las luminarias empleadas para iluminación de vías públicas y calzadas se clasifican de acuerdo a la CIE (1965) en Cut-off, Semi cut-off y Non cut-off. En la Fig.4.4 se resumen las características más relevantes de las luminarias mencionadas.

Tipo de luminaria	Dirección de intensidad máxima desde la vertical descendente	Valor máximo permisible de intensidad luminosa en la horizontal emitida en el ángulo de:	
		90° de la vertical descendente	80° de la vertical descendente
Cut-off	0 – 65°	10 cd/1000 lm*	30 cd/1000 lm
Semi-cut-off	0 – 75°	50 cd/1000 lm*	100 cd/1000 lm
Non-cut-off	–	Hasta 1000 cd	cualquiera

* Hasta un valor máximo de 1000 cd cualquiera que sea el flujo luminoso emitido.

Fig. 4.4. Clasificación CIE de luminarias para Alumbrado Público

3.4.1.3.2 BSI

La BSI (British Standards Institution) de acuerdo con su distribución de intensidad, clasifica a las luminarias para alumbrado público como se indica en la Fig. 4.5.

Tipo de distribución luminosa (Inglaterra)	En el plano vertical paralelo al eje de la vía		Límites de la relación de intensidad en cualquier dirección dentro del cono entre la vertical descendente y 30° (el máximo no debe exceder 80% del PIR)		En el plano de la curva polar vertical principal		Relación máxima de intensidad en el plano horizontal	
	Angulo de elevación contenido dentro del haz luminoso	Límites de la relación de intensidad máxima (PIR)	mín	máx	Angulo de elevación donde se produce una relación de intensidad de 1,2	mín		máx
Cut-off	65°	2,0	4,0	0,3	2,0	72°	78°	0,15
Semi-cut-off	75°	1,8	4,0	0,3	1,7	78°	84°	0,6
Semi-cut-off (S*)	75°	1,8	4,0	0,3	1,7	80°	86°	0,7

* Para sistemas de tipo semi-cut-off con lámparas de sodio

Fig. 4.5. Clasificación BSI de luminarias para Alumbrado Público

4.4.1.3.3 IES

La IES (American National Standard) hace una clasificación de las luminarias para alumbrado público como se indica en la Fig. 4.6.

Tipo de distribución luminosa (EE.UU)	Valor máximo admisible de la intensidad luminosa emitida en:	
	90°	80°
Cut-off	25 cd/1000 lm	100 cd/1000 lm
Semi-cut-off	50 cd/1000 lm	200 cd/1000 lm
Non-cut-off	-	-

Fig. 4.6. Clasificación IES de luminarias para Alumbrado Público

4.4.1.4 Protección Eléctrica

Según la CCE (International Comisión on Rules for the Approval of Electrical of Equipment), las luminarias se pueden clasificar también de acuerdo con la protección que ofrezcan contra derivaciones eléctricas, como se indica en la Fig. 4.7.

Clase de Luminaria	Protección Eléctrica
0	Luminaria con aislamiento normal, pero sin toma de tierra ni aislamiento de conjunto doble o reforzado
1	Estas luminarias tienen al menos un aislamiento normal de conjunto y toma de tierra y para luminarias diseñadas para conexión con cable flexible o manguera, previstas bien sea con dispositivo de entrada con toma de tierra o con cable flexible inseparable o manguera con conductor de tierra y enchufe con contacto de tierra.
2	Con doble aislamiento o aislamiento reforzado de conjunto sin toma de tierra.
3	Diseño especial para conexión de circuitos de muy baja tensión, sin otros circuitos internos o externos que operen a otras tensiones distintas a la mencionada.

Fig. 4.7. Clasificación CEE de luminarias de acuerdo con el tipo de Protección Eléctrica

4.4.1.5 Condiciones de Trabajo

La IEC hace una clasificación importante según el grado de protección que ofrecen las luminarias contra la penetración de la humedad y el polvo (ver Anexos 4.2 y 4.3 respectivamente).

4.4.1.6 Otras Clasificaciones.

Las luminarias pueden clasificarse también de otras muchas formas, tales como: comportamiento, protección óptica, atendiendo el número de planos de simetría que tenga el sólido fotométrico (ver Anexo 4.4), entre otras.

Es muy frecuente, por ejemplo, prefijar la palabra luminaria con un término que describe el tipo de fuente de luz que aloja (lámpara fluorescente, incandescente) o haciendo referencia a la aplicación para la cual fue diseñada (industrial, comercial, o quizá más específicamente: naves industriales, exposición comercial).

El método de instalación empleado es otra característica importante para clasificar las luminarias; así por ejemplo: empotrada, semiempotrada, colgante, de brazo, aplique, punta de poste, columna, catenaria y otras.

4.4.2 CLASIFICACIÓN FOTOMÉTRICA

4.4.2.1 Luminarias para Alumbrado de Vías Públicas

La CIE ha propuesto un nuevo sistema para la clasificación de las luminarias usadas en el alumbrado de vías públicas que sustituye al sistema de cut-off, semi cut-off y non cut-off, anteriormente indicado en la Fig. 4.4.

Esta nueva clasificación está basada en tres características básicas de la luminaria, estas son:

- El alcance de la luminaria, que se refiere a la distancia a la que la luz de la luminaria queda distribuida a lo largo de la calzada.
- La dispersión, que tiene que ver con la distribución luminosa en el sentido transversal de la calzada.
- El control, que es la facilidad de poder controlar el deslumbramiento producido por la luminaria.

4.4.2.1.1 Alcance

Esta definido por el ángulo de elevación del centro del haz, $\gamma_{\text{máx}}$ (medido desde el nadir hacia arriba); es el ángulo medio entre los dos ángulos de elevación del 90% de $I_{\text{máx}}$ del plano que pasa por el máximo, este ángulo se visualiza en la Fig. 4.8.

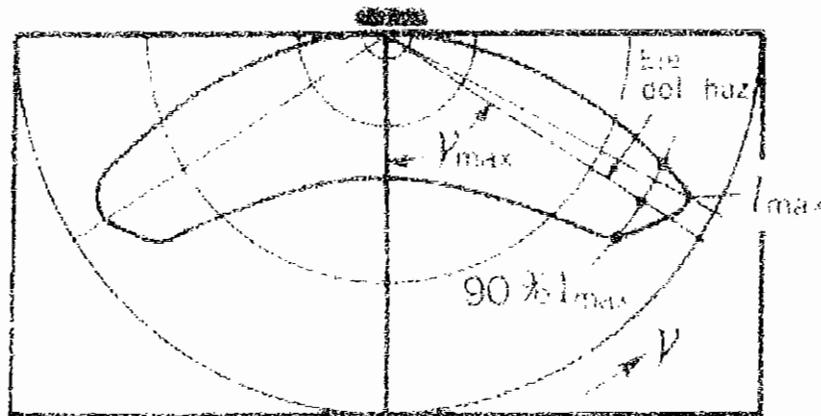


Fig. 4.8. Curva polar de intensidad en el plano de intensidad luminosa máxima, con indicación del ángulo $\gamma_{\text{máx}}$ para determinar el alcance de la luminaria.

Se definen tres grados de alcance:

Alcance corto : $\gamma_{\text{máx}} < 60^\circ$

Alcance intermedio: $60^\circ \leq \gamma_{\text{máx}} \leq 70^\circ$

Alcance largo : $\gamma_{\text{máx}} > 70^\circ$

4.4.2.1.2 *Dispersión*

Es la posición de la línea que siendo paralela al eje de la calzada, es tangente al contorno de la curva 90% de $I_{m\acute{a}x}$ en la calzada. De las dos líneas que aparecen normalmente, la más alejada de la luminaria es la que se considera como tal, la posición de esta línea se representa por el ángulo γ_{90} y se muestra en la Fig. 4.9.

Los grados de dispersión definidos son los siguientes:

Dispersión estrecha : $\gamma_{90} < 45^\circ$

Dispersión media : $45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$

Dispersión ancha : $\gamma_{90} > 55^\circ$

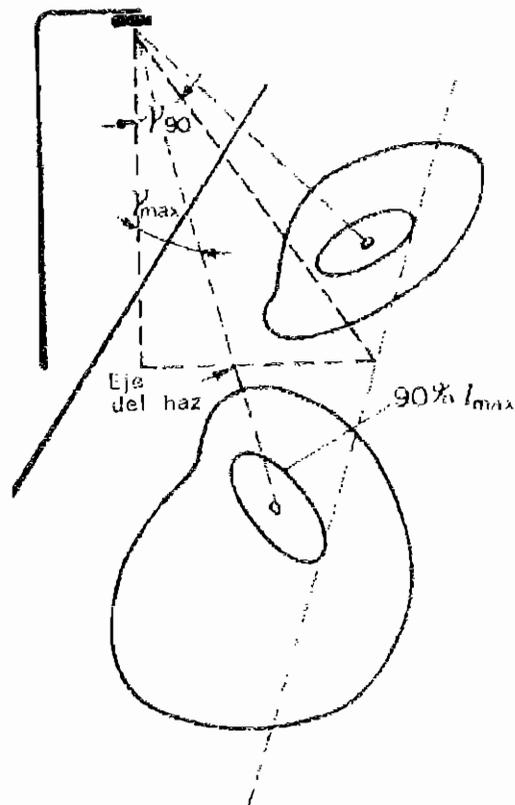


Fig. 4.9. Diagrama isocandela relativo proyectado en la calzada que incluye una indicación del ángulo γ_{90} para la determinación de la dispersión.

Tanto el alcance como la dispersión de una luminaria pueden determinarse fácilmente a partir del diagrama de intensidad de la luminaria en proyección azimutal. Este método se muestra en la Fig. 4.10.

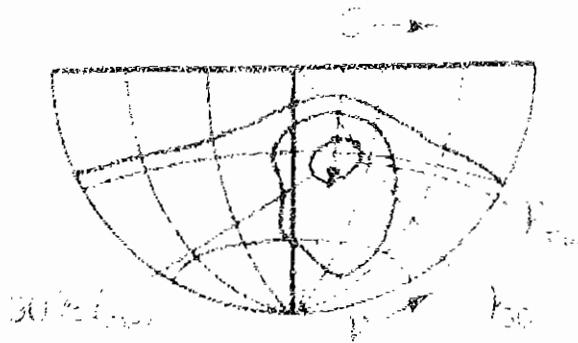


Fig. 4.10. Diagrama isocandela relativo en proyección azimutal (sinusoidal), con indicación de los ángulos $\gamma_{\text{máx}}$ y γ_{90} para la determinación del alcance y la dispersión.

4.4.2.1.3 Control

Está determinado por el índice específico de la luminaria SLI , que es la parte del índice de deslumbramiento que está definido por las propiedades de la luminaria. Estas características se manifiestan en la siguiente relación:

$$SLI = 13,84 - 3,31 * \log I_{80} + 1,3 * \log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)^{0,5} - 0,08 * \log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right) + 1,29 * \log F + C$$

donde:

I_{80} : intensidad luminosa para un ángulo de elevación de 80° , en un plano paralelo al eje de la calzada (cd).

I_{80} / I_{88} : razón entre las intensidades luminosas para 80° y 88° (razón de retroceso).

F : superficie aparente del área de la luminaria, vista bajo un ángulo de 76° (m^2)

C : factor cromático que depende del tipo de lámpara: +0,4 para lámparas de sodio a baja presión (SOX); 0 para otros tipos de lámparas.

Para el control (SLI) también se definen tres grados:

Control limitado : $SLI < 2$

Control moderado : $2 \leq SLI \leq 4$

Control intenso : $SLI > 4$

4.4.2.2 **Proyectores**

Algunas veces los proyectores se clasifican según la menor o mayor abertura de su haz; definiéndose como la abertura de un haz como el ángulo para el que la intensidad luminosa cae a un porcentaje determinado (generalmente el 50% o el 10%) del valor de la intensidad en el eje del haz, que es la dirección de máxima intensidad.

Para los proyectores que tienen una distribución luminosa con simetría rotacional (haces de forma cónica en que la distribución sobre cualquier plano que pase por el eje del haz es constante) basta mencionar una cifra como abertura del haz; así por ejemplo, $6^\circ/24^\circ$, que indican las aberturas del haz en dos planos de simetría perpendiculares entre sí (planos vertical y horizontal, respectivamente).

En ciertas ocasiones, la distribución en el plano vertical es también disimétrica con respecto al eje del haz; en esos casos se presentan dos cifras de abertura del haz en ese plano; por ejemplo, $5^\circ - 8^\circ/24^\circ$ que significa 5° por encima y 8° por debajo del eje del haz, y en el plano horizontal 12° a la izquierda y 12° a la derecha.

Una clasificación utilizada para aberturas de haces esta basada en un valor de intensidad para el ángulo de abertura igual al 50% de la intensidad máxima.

Estos valores son:

Haces de poca abertura : Menor a 20°

Haces de abertura media : De 20° a 40°

Haces de gran abertura : Mayor a 40°

4.5 TIPOS DE LUMINARIAS

4.5.1 COMERCIALES

La lámpara empleada más frecuentemente en la aplicación de alumbrado comercial es la fluorescente, la luminaria de estas lámparas aloja uno o varios tubos fluorescentes, así por ejemplo, en tiendas, almacenes, oficinas, etc; también es el tipo preferido en muchas aplicaciones industriales cuando la altura de montaje no supera los cinco o seis metros.

La gama de luminarias de este tipo es muy extensa; en su forma más simple, consta de una regleta de montaje en plancha que aloja el accesorio de control y soporte para una lámpara totalmente desnuda.

Al otro extremo de la gama está la luminaria multilámpara con ventilación, con reflectores incorporados (de espejo u otros), con rejillas metálicas o cubetas prismáticas. Lo que distingue a un tipo de luminaria de otro es su forma de controlar la luz (y, por ende, el tipo de distribución de intensidad luminosa y de luminancia), el número de lámparas empleadas o el método de montaje (ver Anexo 4.5.).

El propósito fundamental del control de luz es dirigir ésta en las direcciones precisas y reduciéndola en aquellas direcciones que pueden provocar deslumbramiento molesto.

La única luminaria normalmente utilizada sin ninguna forma de control de luz es la regleta de montaje antes mencionada; sin embargo, la mayoría de luminarias incorporan reflectores (esmaltados o de espejo, con o sin rejilla de apantallamiento), rejillas, paneles prismáticos o cubetas difusoras.

4.5.1.1 Reflectores de Espejo

Para concentrar la luz según un haz estrecho se usa un reflector especular o de espejo; la luz tiene entonces un carácter direccional y un buen efecto de sombreado. Las luminarias con este tipo de canalizador de luz incorporan un apantallamiento adecuado para evitar luminancias fuertes en la dirección normal de visión.

4.5.1.2 Paneles Refractores

El panel refractor da a la luz un ligero carácter direccional con razonable efecto de sombra; mismo que es más fuerte cuando el reflector es del tipo con acabado de espejo.

En algunos casos el propio reflector está diseñado para obtener un cierto grado de apantallamiento de las lámparas, pero cuando se precisa un ocultamiento más eficaz se añade alguna forma de rejilla; existen paneles de diversas configuraciones ópticas para lograr distintos efectos lumínicos. Hay también paneles perforados para luminarias ventiladas.

4.5.1.3 Rejillas

Las rejillas, que normalmente están hechas de bandas de plástico opalescente o de metal pintado de blanco, son dispositivos de apantallamiento para evitar que las lámparas fluorescentes sean visibles directamente bajo un determinado ángulo.

Para aplicaciones normales basta un ángulo de corte (cut-off) de 30° (ver Fig. 4.11. y 4.12.), pero para un alumbrado de alta calidad este ángulo deberá acercarse a los 45° .

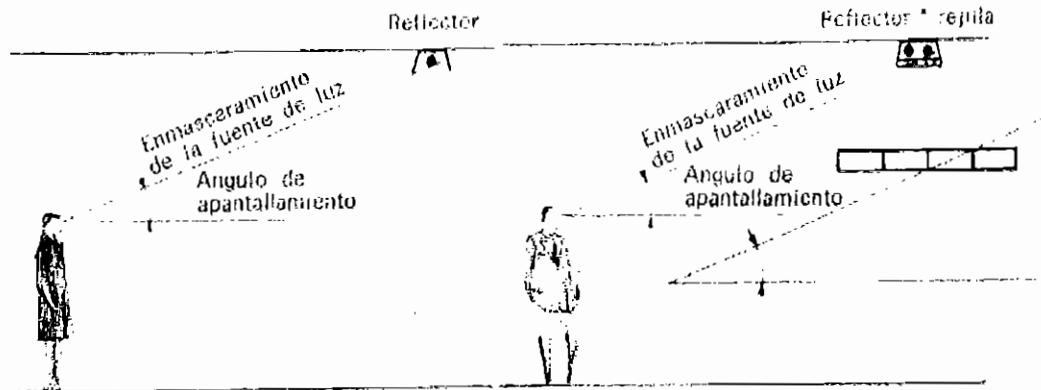


Fig. 4.11. Control del deslumbramiento (Algunas veces se utiliza el término ángulo de corte cut-off en lugar de ángulo de apantallamiento; son ángulos complementarios).

Básicamente, hay tres tipos de rejillas: de malla cuadrada, de malla rómbica (o en diamante) y de lamas. Las rejillas de mallas cuadradas y rómbicas, que se utilizan ampliamente con luminarias rectangulares y sin reflector, ocultan las lámparas longitudinal y lateralmente.

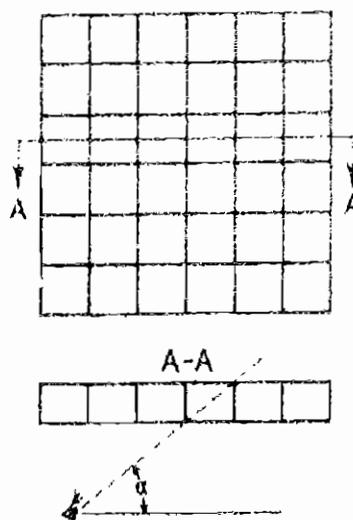


Fig. 4.12. Ángulo α de apantallamiento de una rejilla de malla cuadrada.

Las rejillas de lamas, en que las bandas de apantallamiento forman ángulos rectos con los ejes de las lámparas ofrecen sólo ocultamiento en sentido longitudinal; el ocultamiento lateral debe obtenerse en este caso ya sea de las caras laterales de la propia luminaria, ya sea de los bordes inferiores de los reflectores de espejo que suelen usarse con rejillas de este tipo. Estas rejillas en algunos casos presentan una sección transversal en V y un acabado de espejo con la finalidad de reducir aún más el brillo directo de la luminaria.

Un panel difusor prismático (o refractor) sirve para dar al haz de rayos cierta característica de direccionalidad, mientras reduce la luminancia en aquellas direcciones en que el deslumbramiento resultaría incómodo (ver Fig. 4.11.); estos paneles se fabrican generalmente en una diversidad de modelos que cubren los efectos de alumbrado requeridos.(ver Anexo 4.5.)

4.5.1.4 Paneles Difusores.

La luminancia de una luminaria equipada con panel difusor es virtualmente uniforme en todas direcciones, por lo que esta luminaria no permite el control direccional de la luz necesario en instalaciones de alta iluminancia; la iluminación producida por este tipo de difusores "envolvente" consigue el mínimo efecto de sombra de todas las luminarias descritas.(ver Anexo 4.5.)

Estos tipos de luminarias pueden ser colocados empotrándolas en el techo, montándolas sobre la superficie del mismo o de la pared, colgándolas de alguna parte de la estructura del techo o del tejado.

Las luminarias tipo caja están diseñadas principalmente para montaje empotrado o superficial. Las luminarias tipo regleta, con o sin accesorios, se montan habitualmente sobre el techo, o se cuelgan del techo o de alguna parte de su estructura, o bien se ubican en carriles especiales diseñados específicamente con ese fin.

4.5.1.5 Luminarias Integradas Aire-Luz.

Este tipo de luminarias son para trabajar en combinación con el sistema de aire acondicionado, existen tres tipos adecuados de luminarias, como se muestra en la Fig. 4.13. y a las que se pueden acoplar diversos sistemas de control de luz, por ejemplo, reflectores de espejo, paneles refractores, rejillas de lamas, entre otras. Hay tres tipos de sistemas de acondicionamiento de aire en la actualidad: de extracción por plenum, de un solo conducto y de dos conductos.

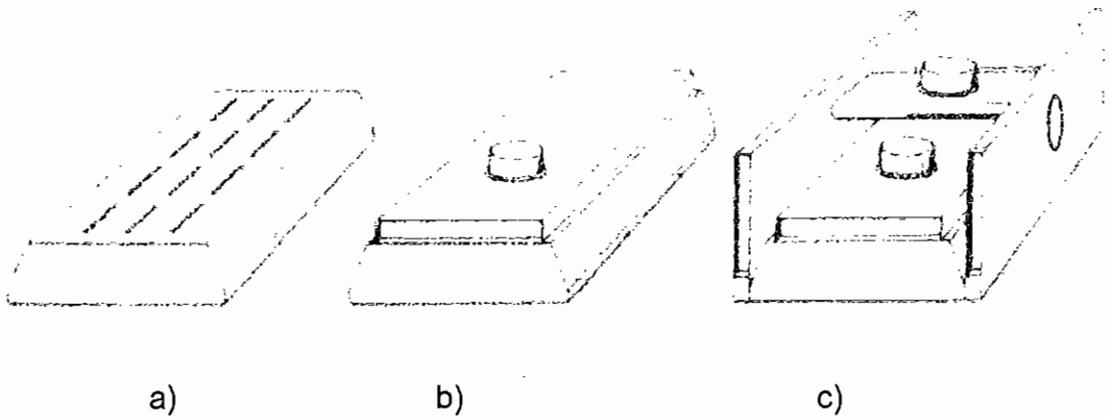


Fig. 4.13. Luminarias integradas aire-luz: a) extracto por plenum; b) de un conducto
c) de dos conductos.

4.5.2 INDUSTRIALES

4.5.2.1 Luminarias para Lámparas Fluorescentes

La fuente de luz preferida para aplicación industrial, de interiores, hasta una altura de instalación de aproximadamente 6 m, es la luminaria de lámpara fluorescente, equipada con un reflector blanco mate.

4.5.2.2 Luminarias para Naves Altas.

Las alturas de instalación superiores a los 6 m requieren luminarias especiales capaces de alojar lámparas de descarga de elevada intensidad y espejos reflectores.

Por ejemplo, las luminarias Philips HDK se han diseñado especialmente para naves altas y constan de una carcasa de aluminio que contiene el portalámpara y el balasto. Esta parte va unida a una caperuza que aloja los condensadores para compensar el factor de potencia, así como el cableado eléctrico; este conjunto forma una luminaria compacta, fácil de instalar y mantener.

4.5.2.3 Luminarias para Lugares Peligrosos.

Existen dos tipos principales de luminarias para trabajar en lugares donde se presuman atmósferas explosivas, vapores o líquidos volátiles; pueden ser con encapsulación a "*prueba de presión*" o de "*seguridad incrementada*".

Las luminarias *encapsuladas resistentes a la presión* están diseñadas para soportar la presión eventual originada por una explosión interna; así evitan la ignición en una atmósfera potencialmente explosiva alrededor de la luminaria. Esta aplicación entraña una construcción muy robusta; por ejemplo, la carcasa deberá ser de acero o hierro fundido y la ventana de vidrio duro. Estas luminarias se distinguen, según acuerdo internacional, por el símbolo **Ex_d**.

Las luminarias de *seguridad incrementada* emplean una cubierta de respiración restringida, que tiende a eliminar virtualmente la posibilidad de entrada de gases dentro de la carcasa. Si, a pesar de esta precaución, entrasen sustancias explosivas en el interior, los dispositivos especiales de seguridad incorporados en el equipo de conmutación y cableado evitarán que se produzca la explosión. Estas luminarias, siguiendo un criterio internacional como el anterior, se conocen con el símbolo **Ex_e**.

Este tipo de luminarias tienen las siguientes ventajas respecto de las resistentes a la presión:

- Se obtiene mayor rendimiento lumínico.
- Precios notablemente más bajos.
- Son más ligeras, por utilizar materiales sintéticos en lugar de hierro fundido.
- Son estancas al polvo y al chorro de agua, mientras que las otras lo son al goteo y al polvo.
- No se corroen y son prácticamente inertes a los agentes químicos.

Las luminarias del tipo de seguridad incrementada se han diseñado especialmente para su empleo en lugares clasificados como "Zona 2"; que son aquellos lugares que abarcan el 95 % de todos los que presentan posibilidades de existencia de gases explosivos, están incluidos en la clasificación británica internacionalmente aceptada, basada en el grado de probabilidad de existencia de atmósferas peligrosas.

- Zona 0: Lugares donde la atmósfera explosiva está presente continuamente.
- Zona 1: Lugares donde la atmósfera explosiva aparece en circunstancias normales de trabajo.
- Zona 2: Lugares donde la atmósfera explosiva se presenta esporádicamente en circunstancias anormales.

4.5.2.4 Luminarias para Atmósferas Cargadas de Humedad y Polvo.

Los cuartos de duchas, lavanderías, carpinterías, molinos harineros, etc. constituyen zonas típicas donde se requieren luminarias herméticas. Las luminarias para lámpara fluorescente adecuadas en tales lugares responden a los tipos TMW 062 y TCW 070.

El tipo TMW 062 de una o dos lámparas, incorpora juntas herméticas elásticas entre óptica y carcasa y entre lámpara y portalámparas, que hacen a la luminaria resistente al chorro de agua y proyección de polvo (ver Anexos 4.2 y 4.3).

La lámpara propiamente dicha puede encerrarse dentro de un tubo acrílico protector. La TCW 070, de una o dos lámparas, se protege también contra chorro de agua y polvo, pero en este caso la lámpara en sí va encapsulada dentro de un difusor acrílico.

4.5.3 LUMINARIAS PARA ILUMINACIÓN DE VÍAS PÚBLICAS

Las luminarias necesarias para autopistas de intenso tráfico pueden estar equipadas con fuentes de luz muy distintas. La mayoría se han diseñado para una sola lámpara, pero también las hay de dos.

Casi todas estas lámparas incorporan un sistema óptico que contiene un reflector o refractor de espejo para canalizar el flujo de la lámpara o lámparas en la dirección específica deseada. El portalámparas, el balasto y el condensador suelen formar un paquete precableado, que permite su instalación rápida dentro de la carcasa.

Las luminarias utilizadas en el alumbrado de vías públicas son de tres tipos básicos: luminarias convencionales, luminarias para catenaria y proyectores. Las luminarias convencionales son aquellas que están diseñadas para ser montadas en columnas, paredes o suspendidas de un cable transversal a la calzada y de manera que el principal plano vertical de simetría es perpendicular al eje de la calzada, lanzando, por tanto, la mayor parte de luz a lo largo de la calzada.

Las luminarias para catenaria son diseñadas para ser colgadas de un cable longitudinal (catenaria), presentan su principal plano vertical de simetría paralelo al eje de la carretera, lanzando la mayor parte de la luz a lo ancho de la carretera. Finalmente, están los proyectores, que, a diferencia de las luminarias convencionales y para catenaria, pueden orientarse libremente con respecto a la carretera.

La distribución de la intensidad luminosa de una luminaria se logra mediante la aplicación de los fenómenos físicos de reflexión, refracción y difusión, aunque este último sólo se usa generalmente cuando el control óptico no es crítico, como ocurre en el caso de las luminarias más decorativas que se diseñan para uso en paseos y avenidas urbanas.

La mayoría de las luminarias para alumbrado de vías públicas utilizan el apantallamiento de la luz, de una u otra forma, principalmente para obtener el grado preciso de control del deslumbramiento. La forma en que se emplean estas técnicas de control en una luminaria determinada y las propiedades ópticas de los materiales empleados se combinan para determinar el rendimiento de la luminaria. Estas características se indican en el Anexo 4.6.

La luminaria y sus elementos de montaje deberán ser de construcción robusta para garantizar una colocación exacta y perdurable de la luminaria y sus lámparas, ya que cualquier fallo o movimiento afecta a la distribución de la luz de la luminaria. La atmósfera puede contener muchos gases que, en presencia de vapor húmedo, formarán compuestos altamente corrosivos.

Para aquellas áreas donde exista este peligro deberán escogerse luminarias hechas con materiales resistente a la corrosión recubiertas con capas protectoras. Las luminarias cerradas tienen mucha mejor protección contra la corrosión y la acumulación de suciedad que las luminarias abiertas, siempre que estén dotadas del sellado pertinente.

El montaje, la sustitución de lámparas y la limpieza se lleva a cabo generalmente a cierta altura del suelo, por lo que el diseño ergonómico de la luminaria debe procurar que estas operaciones se puedan realizar fácilmente. La temperatura no deberá aumentar durante su uso, hasta el extremo de impedir el funcionamiento correcto de la lámpara o lámparas.

A este respecto es muy importante el volumen de la luminaria, especialmente si es del tipo de las cerradas completamente; en algunas luminarias se necesitan aletas refrigeradas en la carcasa, sobre todo cuando se emplean lámparas de muy alta potencia.

En aceras para peatones o zonas residenciales se usan luminarias de punta de poste ("post-top"). Estas luminarias encuentran su aplicación en alturas de tres a cuatro metros, utilizando generalmente una esfera opal, que en muchos casos está rematado con un casquete metálico para conseguir una perfecta iluminación difusa. Se pueden emplear indistintamente como fuentes de luz lámparas de incandescencia o de descarga.

4.5.4 PROYECTORES

El proyector más sencillo no es más que un pequeño portalámparas estanco dotado de una lámpara de vidrio prensado, sea ésta de haz ancho o estrecho. En el otro extremo de la gama tenemos proyectores de un metro de envergadura o más que admiten lámparas del orden del kilovatio.

Entre estos dos extremos hay una gran variedad de proyectores que ofrecen, por ejemplo, selección del tipo de lámpara, vidrio frontal, reflector, peso y consumo de energía, con lo cual es posible satisfacer las múltiples exigencias de la Iluminación por proyección.

Las lámparas usadas en la iluminación por proyección varían desde la típica de incandescencia, lámparas reflectoras de vidrio prensado, halógenas, mercurio de alta presión, hasta la de sodio de alta y baja presión.

Todas ellas pueden ser de diversas potencias, proporcionando en cada caso un tipo específico de iluminación, rendimiento en color y eficacia.

En algunos proyectores la lámpara propiamente dicha determina la anchura del haz; en otros es el proyector quien la fija por medio del vidrio frontal o de la geometría del reflector.

4.5.5 ILUMINACIÓN CONCENTRADA

Cuando se desea concentrar acusadamente la luz se utilizan pequeñas luminarias que se pueden clasificar en dos grupos:

- Iluminación concentrada (spot light).
- Iluminación hacia el suelo (down light).

4.5.5.1 Iluminación Concentrada

Las luminarias para esta aplicación, parten de una base común que admite diversos tipos de lámparas y accesorios según lo requiera su empleo. Estas lámparas suelen contener espejo interior y están fabricadas de vidrio prensado, soplado o soplado semiplateado. Pueden estar coloreadas para filtrar la luz roja, verde, amarilla o azul.

Lo mencionado anteriormente puede combinarse con diafragmas fijos o móviles, que admiten colimar el haz luminoso hasta conseguir el ángulo de corte deseado. Distintos brazos de soporte, fijos o articulados, permiten adosar el aparato a techos, paredes, mesas, pedestales o rieles.

4.5.5.2 Iluminación hacia el suelo

Son realmente luminarias concentradoras suspendidas del techo o empotradas en él, de tal forma que su haz de luz se proyecta hacia el suelo. Con el empleo de diferentes tipos de lámparas, reflectores, lentes, diafragmas y rejillas de distintas configuraciones, este tipo de luminarias puede ofrecer una distribución de luz de muy variadas formas. Su situación fija o ajustable permite orientar la luz también hacia las paredes o superficies verticales.

4.6 RENDIMIENTO LUMINOSO DE UNA LUMINARIA ^{3*} ^{4*} ^{5*}

El rendimiento luminoso de una luminaria llamado también "*eficiencia de la luminaria*", se define como la razón o cociente entre el flujo luminoso de una luminaria y la suma total del flujo de las lámparas funcionando fuera de la luminaria; esta definición no considera la forma en que se distribuya la luz de la luminaria.

El rendimiento luminoso así definido es de hecho el rendimiento total de la luminaria y es igual a la suma de los rendimientos hacia arriba y hacia abajo. La luz emitida por la luminaria hacia arriba sólo contribuirá indirectamente a la iluminación del plano de trabajo, es decir, a través de la reflexión en el techo; lo que se necesita, por tanto, para una óptima utilización de la energía en alumbrado son luminarias en que la proporción de salida descendente de luz sea lo más alta posible.

Las luminarias con reflectores pero sin apantallamiento tienen el rendimiento más elevado, y deberán ser las primeras en elegirse cuando la posibilidad de deslumbramiento no tenga mucha importancia.

^{3*} www.frc.utn.edu.ar

^{4*} www.constru.web.co/catalogos/schereder

^{5*} www.venemca.com

De las luminarias con apantallamiento, las de rejillas de lamas tienen en general los máximos rendimientos y las de difusores opalinos los mínimos.

4.6.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL RENDIMIENTO LUMINOSO

Entre los factores más importantes que interviene en el rendimiento luminoso de una luminaria tenemos: el factor de balastro, las variaciones de voltaje, la temperatura ambiente, la acumulación de suciedad en las luminarias.

4.6.1.1 Factor de Balastro

Es la relación del flujo luminoso emitido por una lámpara la cual es operada por un balastro convencional entre el flujo luminoso emitido por la misma lámpara cuando ésta es operada por un balastro patrón.

4.6.1.2 Variaciones de voltaje

Las variaciones de voltaje en la línea de alimentación de las lámparas afectan tanto a su rendimiento luminoso como también su vida útil. En la Fig. 4.14 se ilustra este comportamiento para diferentes tipos de lámparas.

Las variaciones de voltaje en las lámparas incandescentes y las lámparas con balastro H.I.D. no regulado inciden notablemente en sus rendimientos lumínicos, razón por la que necesitan una alimentación de red lo más constante a su valor nominal de funcionamiento.

Esta situación es menos significativa para el caso de las lámparas fluorescentes.

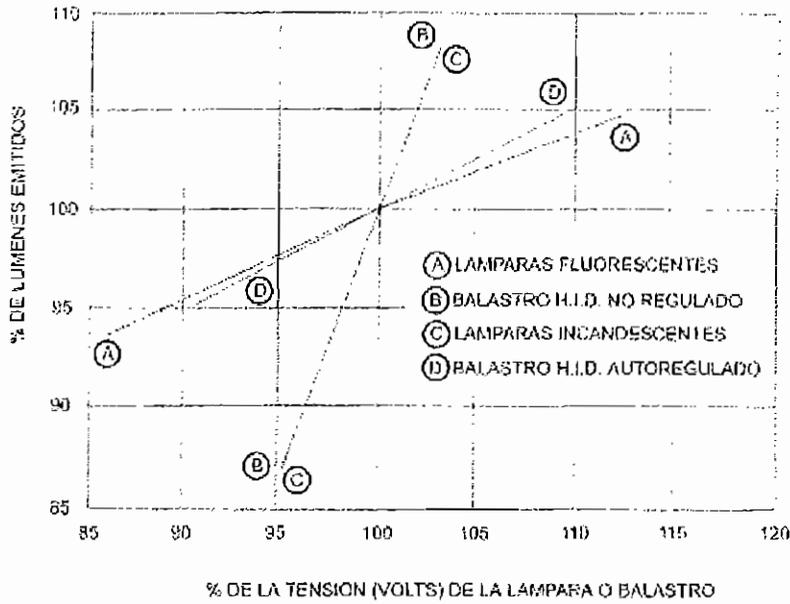


Fig. 4.14. Relación del Rendimiento Lumínico de una lámpara en función de las Variaciones de Voltaje de la red de alimentación.

4.6.1.3 Temperatura Ambiente

La Fig. 4.15 permite analizar el comportamiento del rendimiento de una lámpara fluorescente a las variaciones de temperatura.

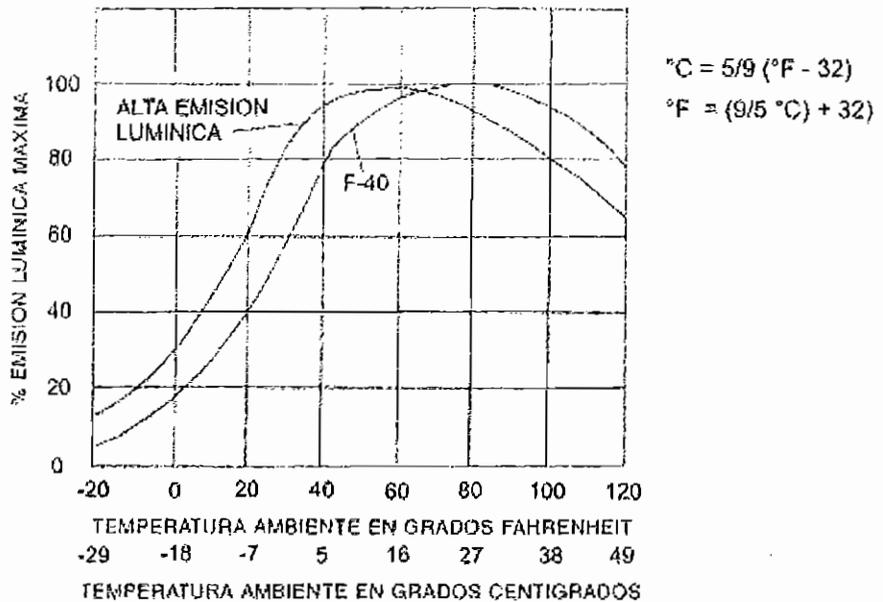


Fig. 4.15. Influencia de la Temperatura Ambiente en el Rendimiento Lumínico de una lámpara fluorescente

4.6.1.4 Acumulación de Suciedad en las Luminarias

La acumulación de la suciedad en las luminarias trae como consecuencia una pérdida en la emisión luminosa y, por lo mismo, pérdidas de iluminación en el área de trabajo. Esta pérdida se conoce como el factor LDD (Luminaire Dirt Depreciation).

La suciedad en la atmósfera se considera que proviene de dos fuentes: Aquella que pasa de atmósferas adyacentes al local donde se encuentra la luminaria y la que se genera por el trabajo realizado en la atmósfera circundante a la luminaria.

4.6.1.4.1 Clasificación

La suciedad puede clasificarse como adhesiva, atraída o inerte y puede provenir de fuentes constantes o intermitentes. La suciedad adhesiva se colgará de la superficie de la luminaria debido a lo pegajoso de su naturaleza, mientras que la suciedad atraída se mantiene por efecto de la fuerza electrostática.

Ejemplos de suciedad adhesiva son: grasa producida al cocinar, partículas generadas por la operación de máquinas transportadas por vapores aceitosos, partículas transportadas por vapor de agua como en lavanderías.

Algunos ejemplos de suciedad atraída son: cabellos, pelo, pelusa, fibras o partículas secas cargadas electrostáticamente debido a operaciones de máquinas.

La suciedad inerte variará en acumulación desde prácticamente nada en superficies verticales hasta tanto como pueda soportar una superficie horizontal antes de ser desalojada por la gravedad o circulación de aire; está representada por partículas no pegajosas, sin carga electrostática tales como harina seca, aserrín, cenizas finas, etc.

4.6.1.4.2 Factores de Depreciación

En la Fig. 4.16 se ilustra las gráficas para estimar los factores de depreciación por la suciedad en las luminarias de alumbrado público en función del tiempo.

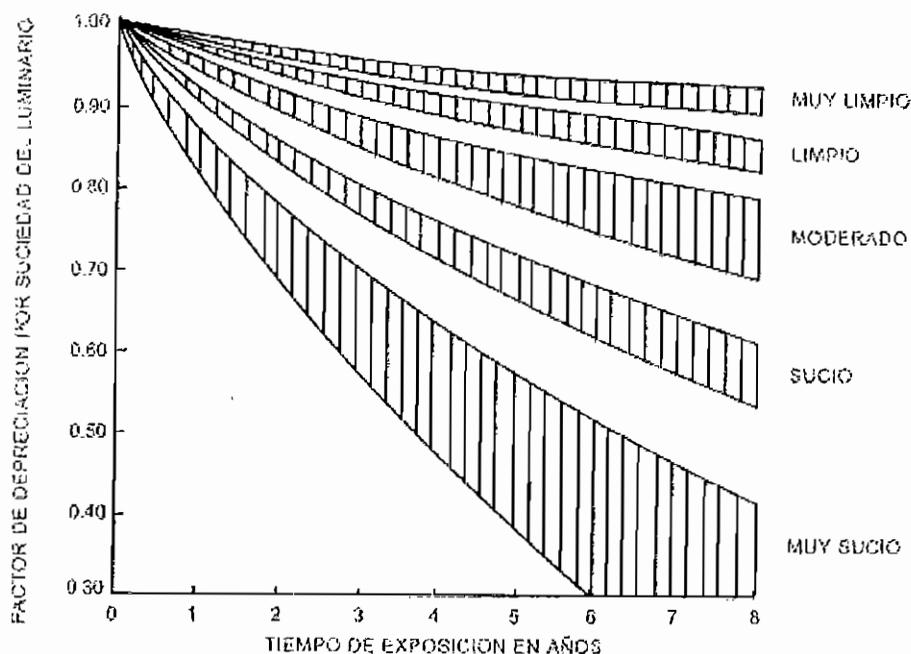


Fig. 4.16. Gráfica para estimar los factores de depreciación por la suciedad en las luminarias de Alumbrado Público

4.6.1.4.2.1 Muy Limpio

Que no existan actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía y un bajo nivel de contaminación ambiental, tráfico ligero generalmente limitado a áreas residenciales o rurales, el nivel de partículas ambientales no es mayor de 150 microgramos por m^3 .

4.6.1.4.2.2 Limpio

Que no existan actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía, tráfico moderado o pesado, el nivel de partículas ambientales no es mayor de 300 microgramos por m^3 .

4.6.1.4.2.3 Moderado

Moderada actividad generadora de polvo y humos en la cercanía, el nivel de partículas no es mayor de 600 microgramos por m³.

4.6.1.4.2.4 Sucio

Humo y polvo generados por actividades en la cercanía pueden ocasionalmente envolver la luminaria.

4.6.1.4.2.5 Muy Sucio

Como el inciso anterior pero las luminarias están envueltos en humo y polvo.

En la Fig. 4.17. se resumen los factores de depreciación más importantes con sus respectivas características.

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SUCIEDAD EN LOS LUMINARIOS					
	MUY LIMPIO	LIMPIO	MEDIO	SUCIO	MUY SUCIO
SUCIEDAD GENERADA	NINGUNA	MUY POCO	NOTORIA PERO NO PESADA	SE ACUMULA CON RAPIDEZ	ACUMULACION CONSTANTE
SUCIEDAD AMBIENTE	NINGUNA O NO SE LE PERMITE ENTRAR	ALGUNA (CASI NO ENTRA NADA)	ALGO ALCANZA A ENTRAR EN EL AREA	GRANDES CANTIDADES	EXISTE DE TODO
REMOCION O FILTRACION	EXCELENTE	MEJOR QUE EL PROMEDIO	MAS BAJO QUE EL PROMEDIO	SOLO VENTILADORES SI ES QUE HAY	NINGUNA
ADHESION	NINGUNA	LIGERA	SUFICIENTE PARA QUE SEA VISIBLE DESPUES DE ALGUNOS MESES	ALTA PROBABLEMENTE CAUSADO POR ACEITES, HUMEDAD O ESTATICA	ALTA
EJEMPLOS	OFICINAS DE ALTA CATEGORIA ALEJADAS DE LAS ZONAS DE PRODUCCION; LABORATORIOS, QUIRÓFANOS, SALAS DE COMPUTO	OFICINAS EN EDIFICIOS VIEJOS O CERCANAS A LAS ZONAS DE PRODUCCION, ENSAMBLE SENCILLO INSPECCION, SALAS GENERALES	OFICINAS DE MAQUINADO Y MOLINOS, PROCESAMIENTO DE PAPEL Y MAQUINADO LIGERO	TRATAMIENTO TECNICO, IMPRESION A ALTA VELOCIDAD PROCEDIMIENTO DE HULES, FUNDICION, TUNELES DE MINAS	SIMILAR A SUCIO PERO LOS LUMINARIOS SE ENCUENTRAN INMEDIATAMENTE AL LADO DE LA FUENTE DE CONTAMINACION

Fig. 4.17. Cuadro resumen de los factores de depreciación en las luminarias

CAPÍTULO 5: ALUMBRADO PÚBLICO

5.1 GENERALIDADES

El Alumbrado Público debe garantizar una visibilidad adecuada durante las horas vespertinas y nocturnas, de tal forma que el tráfico de autos y peatones se desenvuelva con seguridad. Los usuarios de la vía deben estar en posibilidades de percibir y localizar oportunamente todos los detalles del entorno que los rodea tales como señalizaciones, situaciones de peligro y obstáculos.

El propósito principal de una iluminación permanente en las vías públicas tanto para vehículos como para peatones es crear un ambiente durante la noche, conducente a lograr una visión rápida, precisa y cómoda a los usuarios de estas instalaciones.

Asimismo, se pretende proporcionar un aspecto atractivo a las vías urbanas durante la noche, facilitar la conservación de la ley y el orden, reduciendo los accidentes nocturnos, facilitar el flujo del tráfico y el florecimiento del espíritu de la comunidad así como su propio crecimiento y el incremento en los negocios de zonas comerciales; que en algunos casos son los que determinan las características mínimas que deben alcanzarse.

Satisfacer, además, en algunos casos, una serie de exigencias específicas que pueden presentarse en determinados espacios: potenciar la imagen empresarial, permitir la conclusión ordenada de la tarea en una emergencia, etc.

Pero si conseguir estos objetivos constituyen una exigencia básica y primordial, no es menos importante asegurar que su logro se efectúe con una racional y económica utilización de la energía, que exige su implantación y requiere su uso; de ahí que, conseguir alumbrados que la utilicen con la eficacia que permite la tecnología actual sea una exigencia básica, no sólo bajo el punto de vista empresarial, sino por el propio interés nacional.

En el país, entidades gubernamentales como la Policía Nacional, específicamente el Departamento de Ingeniería de Tránsito, encargado de realizar inspecciones de señalización, estudios de principalidad de vías, proyectos de reorganización del tránsito vehicular, entre otras funciones, no ha definido normativa alguna referente con el Alumbrado Público.

Las estadísticas proporcionadas por este Departamento mencionan los accidentes ocurridos en forma general y no al detalle como para precisar alguna relación de esos accidentes producidos por la falta, excesiva o mala iluminación de las vías (ver Anexo 5.1.)

Los accidentes de tránsito se han convertido en una epidemia que convive en la cotidianidad de peatones y conductores; sin embargo, es muy loable las Campañas de Educación Vial que la Policía de Tránsito realiza a nivel nacional, en ésta han participado establecimientos de educación media, conductores de los diferentes gremios tanto urbanos, provinciales como nacionales, brigadas barriales, y más; con la finalidad de disminuir dichos índices.

Entidades no gubernamentales como la Cruz Roja, cuya función es exclusivamente de ayuda humanitaria, dispone de estadísticas de todos los eventos en los que ha participado pero no al detalle del que se necesita para realizar este tipo de estudio.

Defensa Civil, organismo gubernamental de ayuda social, en su base de información no tiene especificado los accidentes producidos por defectos en la iluminación vial.

El Cuerpo de Bomberos, en los informes que realizan de las llamadas de auxilio en las que participan, tampoco particularizan los motivos de los posibles casos de incendios producidos por alguna falla en las instalaciones de Alumbrado Público.

5.2 CRITERIOS DE DISEÑO ³ ^{7*} ⁹

Los Criterios de Calidad más importantes para una instalación de Alumbrado Público desde el punto de vista de la seguridad del tráfico y percepción visual, son:

- Nivel de luminancia
- Uniformidad de los valores de luminancias
- Grado de limitación del deslumbramiento
- Espectro de la lámpara
- Eficiencia de la geometría de la instalación para la orientación visual.

5.2.1 NIVEL DE LUMINANCIA

La Fig. 5.1 demuestra la sensibilidad del ojo del conductor en función del poder revelador (es la probabilidad de visión para un grupo definido de objetos), comparado con el aumento de la luminancia media de una vía (medida desde 60 a 160 metros frente al observador).

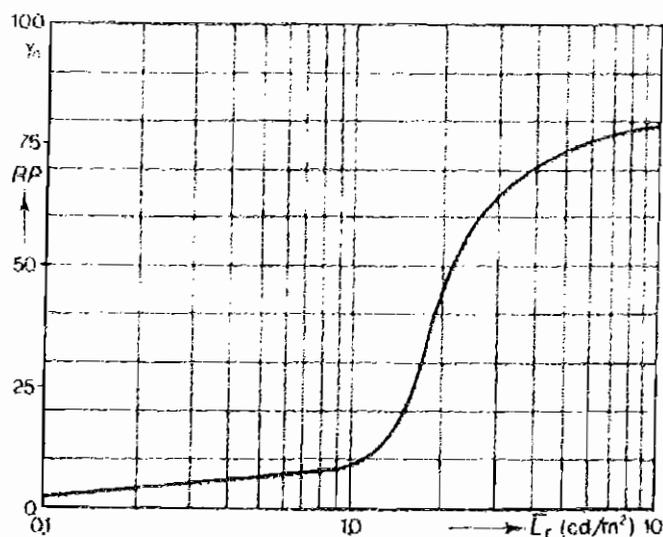


Fig. 5.1. Poder Revelador "RP" en función de la luminancia media de la superficie de una vía, L_r .

³ Norma ICOTEC 900

^{7*} www.conae.gov.mx/normas

⁹ CIE: Technical Report, Publication No. 115, 1995

La curva es válida para los lugares de la calzada en que la luminancia es 0,4 veces la luminancia media, el valor del deslumbramiento (incremento del umbral) es menor de 0,05 y la iluminancia (lux) es 10 veces el valor de \bar{l}_r (cd/m^2).

El nivel de luminancia en la superficie de una calzada influye sobre la sensibilidad a los contrastes del ojo del conductor y, por consiguiente, sobre su seguridad de percepción.

En un gran número de pruebas se solicitó a observadores que opinaran si consideraban adecuados los niveles de luminancia encontrados en distintas instalaciones a lo largo de un recorrido. La Fig. 5.2 muestra la escala de calificaciones que se empleó; y en la Fig.5.3, los resultados de las pruebas, aplicables para importantes vías de tráfico.

Indice	1	3	5	7	9
Evaluación	Malo	Inadecuado	Regular	Bueno	Excelente

Fig. 5.2. Escala de 9 grados para evaluar calidad de las instalaciones de Alumbrado Público.

Estos resultados se promediaron y se trazaron en función de la luminancia media de la vía, obteniéndose que el calificativo "bueno" correspondió a una luminancia de aproximadamente $1,2 \text{ cd/m}^2$ para carreteras secundarias, mientras que para carreteras principales exigían una luminancia media ligeramente mayor de 2 cd/m^2 para obtener el mismo calificativo

También se ha investigado como reaccionan los conductores de automóviles a la luz existente en las horas del crepúsculo. Los resultados se repartieron en tres grupos: los que conducen con luces apagadas, los que lo hacían con luces de posición solamente y los que emplearon luces bajas (o sea, con luces de cruce).

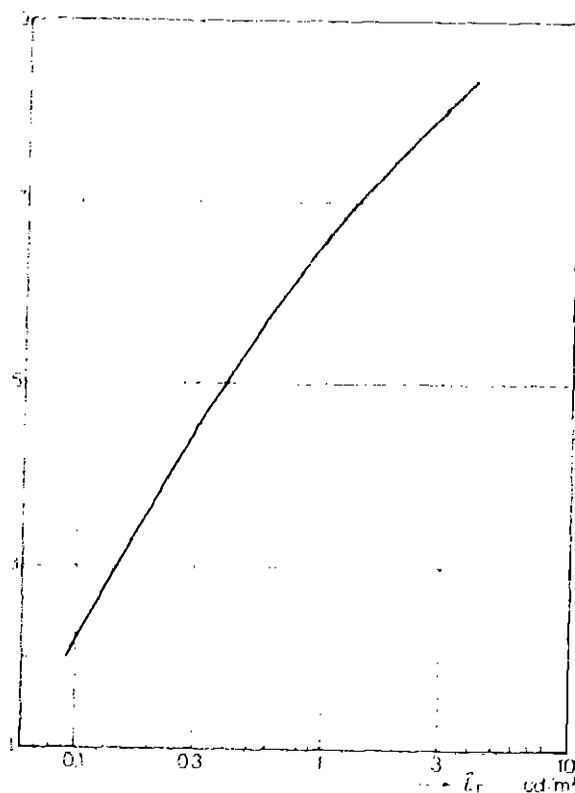


Fig. 5.3. Evaluación de calidad de la luminancia de un pavimento, en función de la luminancia media L_r , medida en ese pavimento.

Los resultados de estas observaciones se trazaron en la Fig. 5.4, que indica el número de conductores de cada uno de estos tres grupos, en función del nivel de luminancia.

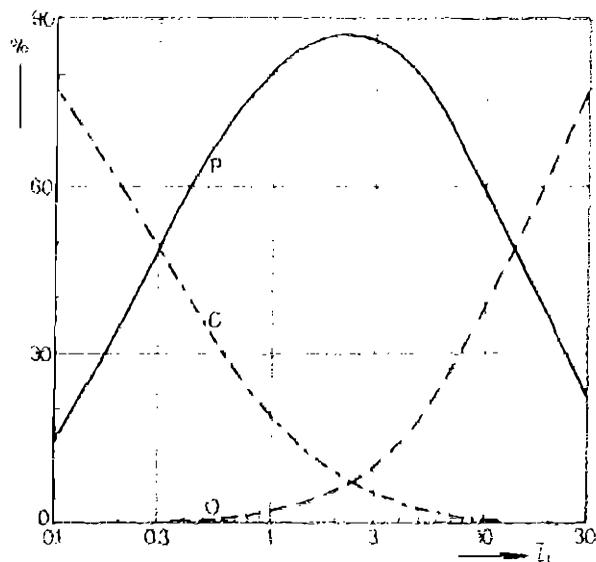


Fig. 5.4. Porcentaje de reacción de los conductores al conducir vehículos con diferentes combinaciones de luces encendidas en función de la luminancia media de la vía, L_r : O- luces apagadas; P- luces de posición encendidas; C- con luces bajas (luces de cruce)

Cuando el nivel de luminancia es 2 cd/m^2 , la mayoría de los conductores utiliza únicamente sus luces de posición; esto indica que, en su concepto, este nivel es adecuado y que utilizaron las luces de posición más para ser vistos que para ver ellos mismos. Por debajo de este nivel, sin embargo, los conductores empiezan a usar los faros para ver claramente.

5.2.2 UNIFORMIDAD DE LA LUMINANCIA EN LA SUPERFICIE DE LA CARRETERA

Las recomendaciones adecuadas sobre uniformidad de la luminancia, lo que equivale prácticamente al grado máximo aceptable de no-uniformidad, dependen del punto de vista económico. Cualquiera que sea el sistema de alumbrado, una mejor uniformidad sólo puede lograrse mediante un menor espaciamiento de las luminarias o un sistema óptico de la luminaria más cuidadosamente diseñado, todo lo cual aumenta el costo de la instalación.

El criterio de uniformidad, desde el punto de vista de la “seguridad de percepción” es la relación $L_{\text{mín}} / \bar{L}$, que se denomina como Razón Global de Uniformidad U_0 y que en ningún lugar de la vía debe ser inferior a 0,4.

Se ha establecido, sin embargo, que un alumbrado de vías, aun cuando cumpla con este requisito, puede siempre presentar un aspecto desagradable de luz-sombra.

Por consiguiente, se debe emplear un criterio adicional, el de “facilidad de percepción o comodidad visual”; este criterio se expresa mediante la relación $L_{\text{mín}}/L_{\text{máx}}$, medida a lo largo del eje de cada carril por un observador que mire en el mismo sentido que el tráfico.

Este coeficiente se conoce como Razón Longitudinal de Uniformidad U_L . La Fig. 5.5. muestra la correlación entre este segundo criterio y la evaluación subjetiva.

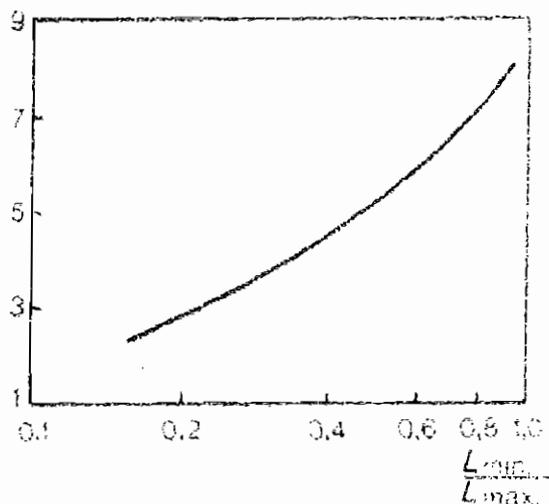


Fig. 5.5. Evaluación subjetiva de la uniformidad longitudinal en función de L_{\min}/L_{\max} , a lo largo del eje de cada carril. El observador situado en esta línea.

5.2.3 LIMITACIÓN DEL DESLUMBRAMIENTO

En el Alumbrado Público, el deslumbramiento generalmente es causado por las luminarias, por ello, conviene distinguir dos criterios relacionados con la noción de deslumbramiento: El deslumbramiento "fisiológico o perturbador" se califica en términos de perceptibilidad; el deslumbramiento "psicológico o molesto" se califica en términos de comodidad.

Las investigaciones han demostrado que muchas veces no hay casi ningún deterioro del nivel de perceptibilidad si el grado de deslumbramiento es aceptable desde el punto de vista de la comodidad visual.

5.2.3.1 Deslumbramiento Molesto

Llamado también deslumbramiento psicológico, se manifiesta por medio de la disminución de la comodidad visual, lo cual puede provocar nerviosismo y fatiga. Se han hecho extensas investigaciones para determinar índices de deslumbramiento aplicables al alumbrado de las vías públicas. Se utilizaron modelos a escala y también instalaciones actualmente en uso.

Se solicitó a un gran número de observadores evaluar el grado de deslumbramiento molesto de varias instalaciones, según una escala de 1 a 9 (ver Fig. 5.6.) El promedio de estas evaluaciones para una instalación dada indica su grado de deslumbramiento molesto expresado en valores de G (índice de deslumbramiento). Los resultados de estas investigaciones indican que el deslumbramiento molesto de una vía con alumbrado artificial depende principalmente de:

- La intensidad lumínica en un ángulo de 80° con la vertical en el plano $C = 0^\circ$,
 I_{80}
- La intensidad lumínica en un ángulo de 88° con la vertical en el plano $C = 0^\circ$,
 I_{88}
- La luz emitida en el área aparente de las luminarias, proyectada bajo un ángulo de 76° , F
- La luminancia media de la superficie de la calzada, \bar{L}_r .
- La altura entre el plano visual y el de las luminarias, h .
- El número de luminarias por kilómetro, P .
- El factor de corrección del color, c .
 $c = 0,4$ para sodio baja presión
 $c = +0,1$ para sodio alta presión
 $c = -0,1$ para mercurio alta presión
 $c = 0,0$ para otras lámparas.

Índice	Deslumbramiento	Evaluación
1	Insoporable	Malo
2	-	-
3	Inquietante	Inadecuado
4	-	-
5	Justamente admisible	Regular
6	-	-
7	Satisfactorio	Bueno
8	-	-
9	Imperceptible	Excelente

Fig. 5.6. Escala de 9 grados para evaluar el deslumbramiento molesto de instalaciones de alumbrado.

Un análisis de estos factores permite establecer una fórmula para calcular el índice de deslumbramiento G de una determinada instalación. La fórmula indicada a continuación es válida para alturas de montaje comprendidas entre 6,5 a 20 metros.

$$G = 13.84 - 3.31 \log(I_{80}) + 1.3 \left(\log \frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{\frac{1}{2}} - 0.08 \left(\log \frac{I_{80}}{I_{88}} \right) + 1.29 \log(F) + 0.97 \log(\bar{L}_r) + 4.41 \log(h^1) - 1.46 \log(p) + c \quad (5.1)$$

5.2.3.2 Deslumbramiento Perturbador

Denominado también deslumbramiento fisiológico, se manifiesta con la disminución de capacidad visual del ojo, y por consiguiente, la visibilidad. El criterio para el deslumbramiento perturbador (pérdida de la facultad de percepción) es el llamado "Incremento del Umbral" Tl , que se puede calcular mediante la sensibilidad de contraste del ojo, que depende de la luminancia media de la vía \bar{L}_r , y la luminancia veladora L_v , (luz de las fuentes deslumbradoras que se esparce en dirección de la retina hace que un velo brillante se superponga a la imagen nítida de la escena que se observa y se puede considerar que este velo tiene una luminancia) misma que puede calcularse por la siguiente fórmula empírica:

$$L_v = k \cdot \sum_{i=1}^n \frac{E_{ojo,i}}{\theta_i^2} \quad ; \quad (5.2)$$

siendo:

$E_{ojo,i}$ = Iluminancia sobre el ojo (en un plano perpendicular a la dirección visual) producida por la fuente deslumbradora i -ésima (lux).

θ_i = ángulo entre la dirección visual y el rayo de luz que incide sobre el ojo, procedente de la fuente deslumbradora i -ésima (grados).

k = factor de función de la edad del observador (para los cálculos se toma igual a 10).

En general, el incremento de umbral Tl (en porcentaje), viene definido por la siguiente relación:

$$Tl = 65 \cdot \frac{Lv}{0,8 \cdot \bar{Lr}} \quad (5.3)$$

El efecto sobre el rendimiento visual de un aumento del deslumbramiento perturbador puede verse en la Fig. 5.7, donde se presenta el poder revelador para dos valores de Tl : el 7% típico de luminarias rigurosamente controladas, y el 30% para luminarias controladas menos estrictamente.

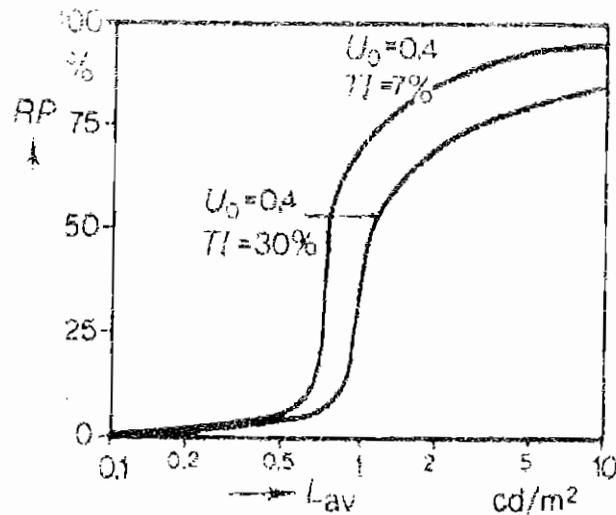


Fig. 5.7. Poder revelador RP en el sitio más oscuro de la calzada, como función de la luminancia media de la misma \bar{Lr} y para valores de incrementos de umbral Tl del 7% y del 30%.

Como el deslumbramiento depende principalmente de la iluminación producida por las luminarias en los ojos del observador, se han fijado límites a la intensidad luminosa emitida por estas luminarias en direcciones cercanas a la horizontal (plano del eje visual del observador).

Si están presentes varias luminarias en el campo visual, el aumento de deslumbramiento resultante es acumulativo. Normalmente, para cualquier luminaria o lámpara dada, el deslumbramiento se reduce cuando se realiza alguna de las siguientes acciones:

- Aumentar el área proyectada de la luminaria
- Su posición se aleja de la línea de la vista
- El fondo (compuesto de la totalidad del campo visual) contra el cual se ve la luminaria es más brillante.

El cumplimiento de todas las condiciones necesarias para obtener una buena visibilidad no es suficiente. Se debe también garantizar un cierto grado de comodidad visual que reduzca su tensión nerviosa y la fatiga que puede producirse al cabo de cierto tiempo. Esta comodidad visual se logra con un nivel luminoso elevado y un deslumbramiento reducido; pero, además, se necesita continuidad de la impresión luminosa, tanto estática como dinámica.

La calzada es una superficie uniforme y debe verse uniforme. La uniformidad de luminancia de la calzada debe ser suficiente para que, por una parte, el ojo del conductor no sufra cambios de acomodación según la zona observada, y por otra, que mientras conduce, no esté sometido a repetidas impresiones de luz y sombra que son tanto más rápidas e irritantes cuanto mayor es su velocidad.

Aunque, a primera vista, la continuidad debe ser mayor en la dirección normal de la visión del conductor (dirección de circulación), que en el sentido transversal, es necesaria cierta uniformidad transversal para facilitar la visibilidad de los obstáculos.

La comodidad visual del conductor puede reducirse por el titileo de las luminarias o de su imagen reflejada sobre la carrocería de los vehículos delanteros o de su propio vehículo.

Aunque existen algunas fórmulas para asignar un límite numérico al deslumbramiento; como solución práctica, se ha clasificado las luminarias, según la forma de su intensidad luminosa (como se indica en el Capítulo 3) y se han fijado límites de utilización tomando en cuenta la limitación del deslumbramiento.

5.2.4 ESPECTRO DE LA LÁMPARA

La composición espectral de la luz emitida por una lámpara determina en primer lugar la apariencia de color de la lámpara y la forma en que se apreciarán los colores de los objetos que ilumina; sin embargo, estas características son de importancia limitada para la mayoría de aplicaciones en alumbrado.

Las diferentes fuentes luminosas que en la actualidad se utilizan para alumbrado de vías públicas difieren entre sí considerablemente con respecto a la composición espectral de la luz que emiten. Como resultado, estas fuentes difieren en su apariencia de color y rendimiento en color. Es interesante analizar hasta donde influye la composición espectral de la luz sobre la percepción y la comodidad visual del conductor de un vehículo.

La influencia del color de la luz sobre la visibilidad se ilustra en la Fig. 5.8, que demuestra que la "distancia de visibilidad" es mayor con lámparas de sodio de baja presión que con las de mercurio de alta presión.

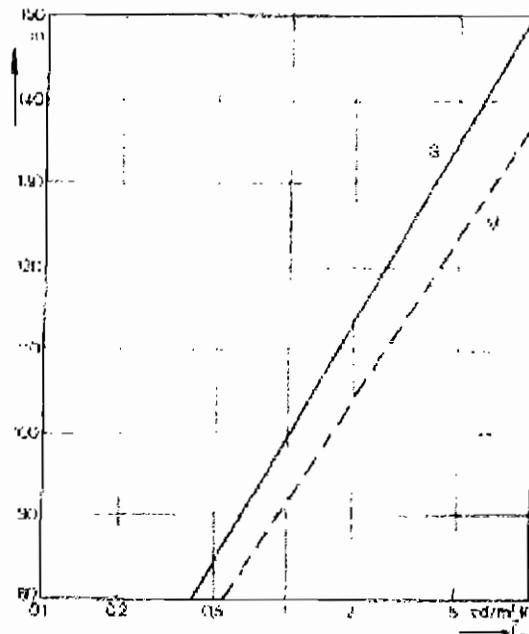


Fig. 5.8. "Distancia de Visibilidad" d (que es la distancia a la cual se observó correctamente la abertura en el 80 por 100 de los anillos de Landolt mostrados), iluminados con lámparas de sodio de baja presión S y lámparas de mercurio de alta presión M en función de la luminancia media L_r de la calzada.

La influencia del color de la luz sobre la evaluación subjetiva de la luminancia aparece en la Fig. 5.9; se puede ver que la luminancia de la vía debe ser un 34 % mayor con lámparas de mercurio de alta presión que con las de sodio de baja presión, si se desea obtener idéntica evaluación subjetiva.

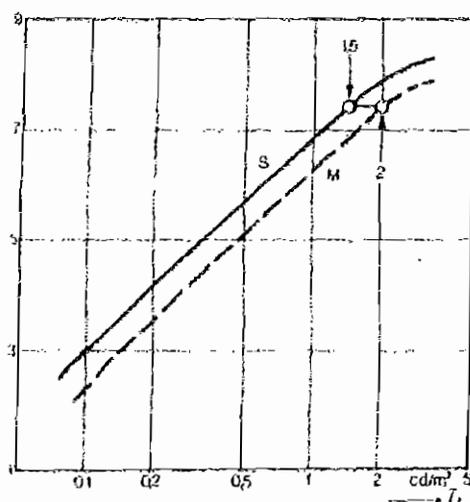


Fig. 5.9. Evaluación subjetiva de la luminancia de una vía con lámparas de sodio de baja presión S y lámparas de mercurio de alta presión M, en función de la luminancia media medida en la calzada L_v .

La influencia del color de la luz en el deslumbramiento molesto se desprende de la Fig. 5.10; resulta de ella, que con lámparas de sodio de baja presión, se permiten intensidades lumínicas más altas que con lámparas de mercurio, produciéndose el mismo grado de deslumbramiento para un observador.

De estas consideraciones y de investigaciones acerca de la influencia del color de la luz sobre la rapidez de percepción y tiempo de recuperación, si se ha producido un instante de deslumbramiento. Se puede concluir que la luz de sodio de baja presión, comparada con otros tipos, produce:

- Mayor agudeza visual; para dar el mismo grado de agudeza visual con otros tipos de luz, la luminancia de la superficie de una vía debe ser 1,5 veces mayor.

- Una impresión de mayor luminosidad para determinada luminancia del pavimento.
- Mayor rapidez de percepción.
- Menor deslumbramiento molesto.
- Un tiempo menor de recuperación si se ha producido un instante de deslumbramiento.

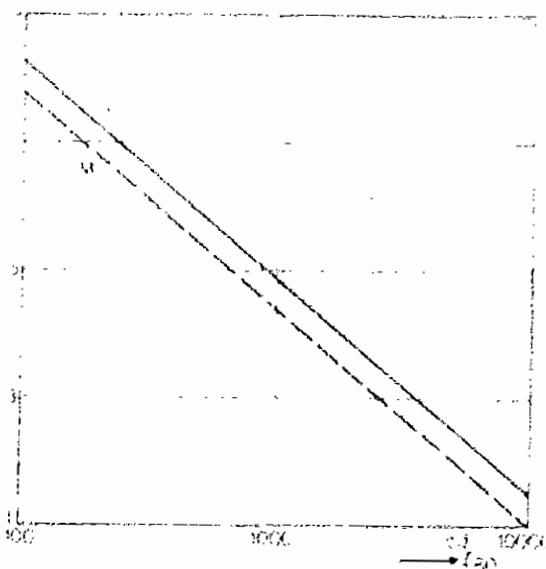


Fig. 5.10. Evaluación subjetiva del deslumbramiento molesto con lámparas de sodio de baja presión *S* y lámparas de mercurio de alta presión *M* en función de I_{80} (intensidad luminosa máxima de las lámparas en un ángulo de 80° con la vertical).

La comodidad visual en una vía iluminada depende también del rendimiento en color de las lámparas instaladas. Las lámparas de sodio de baja presión producen una luz monocromática y, por consiguiente, no pueden ser usadas donde se desea distinguir colores. Las lámparas de sodio de alta presión, de mercurio de alta presión (con aditivos halógenos o sin ellos) y las lámparas fluorescentes tienen un rendimiento en color bastante bueno.

Por lo tanto, las lámparas de sodio de baja presión tienen preferente aplicación en el alumbrado de carreteras, (autopistas, autovías, etc.) mientras que para otras vías, en ciudades, con tráfico o peatonales es normal el uso de lámparas del tipo de alta presión.

5.2.5 ORIENTACIÓN VISUAL

Se han de tomar medidas en la geometría de la instalación que permita una orientación visual óptima; todo este conjunto de medidas ha de transmitir al usuario una imagen rápida para que inmediatamente identifique el curso de la vía, y particularmente de la dirección que debe seguir, a una distancia que dependerá del límite de velocidad permitida.

Durante la noche, la orientación visual en una vía no iluminada se restringe al área que cubren los faros del vehículo. Una disposición de luminarias que siga con exactitud la dirección de la calzada, mejora la orientación visual y contribuye así a la seguridad y conveniencia de sus usuarios. Esto es especialmente importante en el caso de vías que tienen muchas curvas e intersecciones

Por consiguiente, al proyectar una instalación de Alumbrado Público, hay que pensar en una adecuada orientación del usuario y en especial, en las zonas conflictivas, donde la orientación puede ser errónea.

Los siguientes puntos son de una importancia especial:

- i. En autopistas con varias calzadas y seto central, se logra una buena orientación visual, aparte de otras ventajas, colocando los postes en el seto.
- ii. Una indicación clara del curso de la vía en una curva, se logra colocando los postes en su lado exterior. La Fig. 5.11.a. muestra una curva donde no se ha hecho esto y la Fig. 5.11.b. la misma curva con los postes colocados en el lado exterior, la vía tiene una luminancia más uniforme y su dirección está claramente indicada por la fila de luminarias.

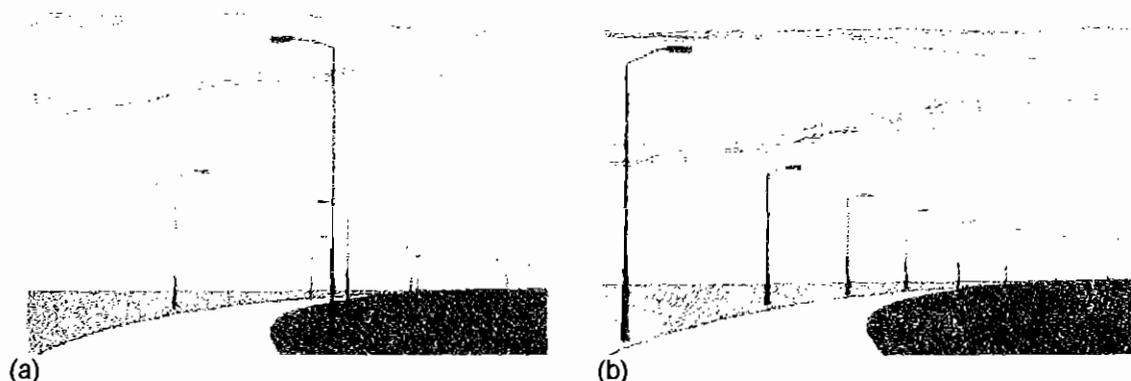


Fig. 5.11. Orientación visual. La disposición irregular de las luminarias en la (a) no imparte al usuario ninguna información sobre el curso de la vía. Colocando las luminarias en el lado exterior de la curva (b) dan una orientación clara del curso de la misma curva.

- iii. La orientación visual puede también servir para dirigir el tráfico a lo largo de ciertas vías, la utilización de lámparas con colores aparentes diferentes ha demostrado ser un medio muy eficiente para indicar la ruta aconsejable (ver Fig. 5.12).

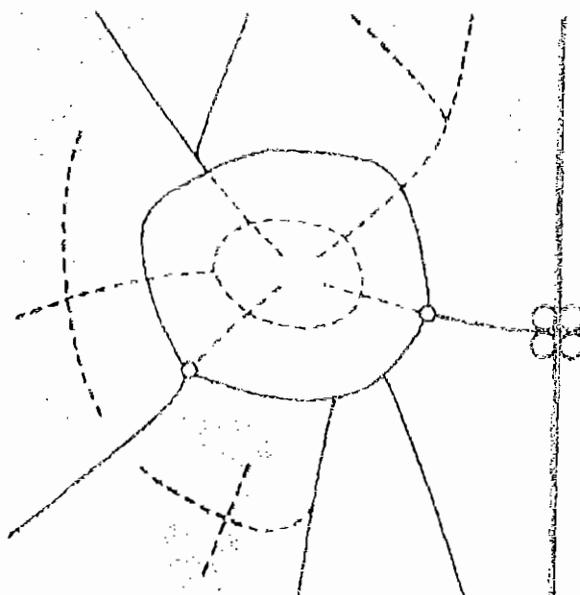


Fig. 5.12. Mapa de una ciudad donde se han marcado las vías según fuentes de luz de color aparente distinto. El tráfico que no necesita entrar al centro de la ciudad sigue la iluminación de sodio instalada en las vías de acceso y de circunvalación (líneas llenas). El tráfico que se dirige hacia el centro de la ciudad sale de la circunvalación tomando vías iluminadas por mercurio de alta presión (líneas de trazos).

- iv. Durante la noche se obtiene una muy buena orientación visual si las vías principales y las vías de salida se iluminan con fuentes luminosas de tipo diferente (por ejemplo sodio para la vía principal y mercurio para las salidas, ver Fig. 5.12).
- v. Una orientación visual muy buena se logra montando las luminarias en suspensión catenaria (ver Fig. 5.13).

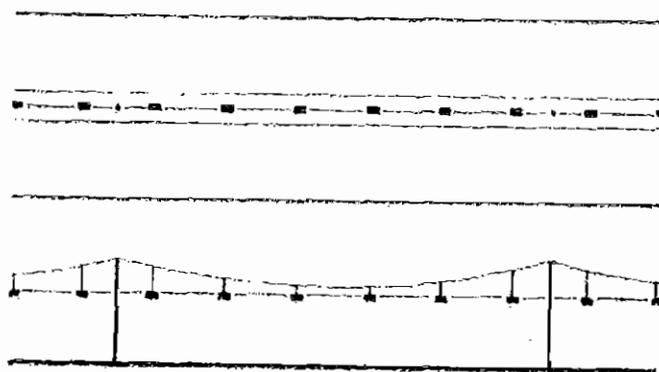


Fig. 5.13. Planta y alzado de un sistema de alumbrado por catenaria.

En el Anexo 5.2 se resumen los Criterios de Calidad utilizados para el Alumbrado Público de las vías principales.

5.3 DISEÑO DEL ALUMBRADO PÚBLICO

La información necesaria para realizar un diseño adecuado para el Alumbrado Público, a más de considerar los criterios anteriormente señalados, debe incluir también lo siguiente:

- Disposición de las luminarias.
- Las características de reflexión de la superficie de la calzada.

5.3.1 DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS

5.3.1.1 Vías con Tráfico en Ambos Sentidos

Hay cuatro formas de disposición de luminarias que han sido reconocidas como aptas para vías de esta clase.

5.3.1.1.1 *Unilateral.*

Esta disposición (ver Fig. 5.14) consiste en la colocación de todas las luminarias a un mismo lado de la calzada, 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 luminancia de la vía en el lado opuesto a la fila de luminarias será inevitablemente menor, comparada con la del lado donde han sido colocadas aquellas.

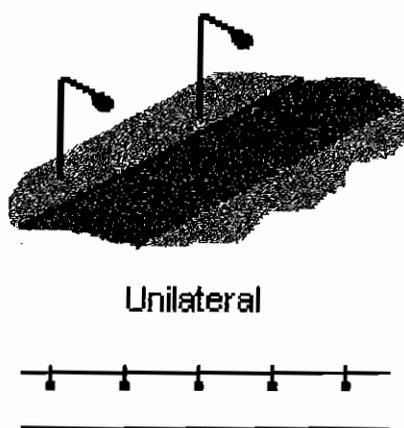
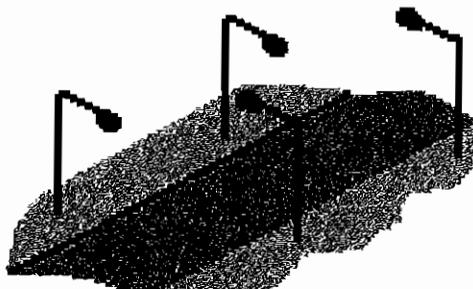


Fig. 5.14. Disposición Unilateral

5.3.1.1.2 *Tresbolillo.*

Esta disposición (ver Fig. 5.15) consiste en la colocación de las luminarias en ambos lados de la vía a tresbolillo o en zigzag y se emplea principalmente si el ancho de la vía es de 1,0 a 1,5 veces la altura de montaje.

Hay que prestar cuidadosa atención a la uniformidad de las luminancias en la vía: manchas brillantes y oscuras pueden producir un efecto molesto de zigzag.



Tresbolillo

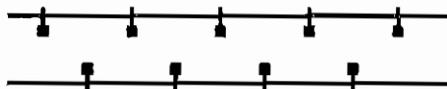
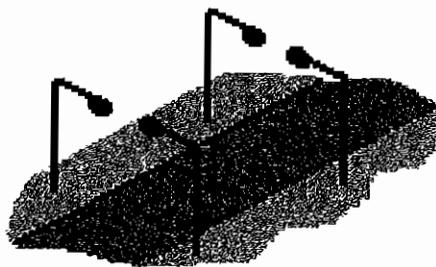


Fig. 5.15. Disposición Tresbolillo

5.3.1.1.3 *En Oposición (Pareadas)*

Esta disposición (Fig. 5.16), con luminarias colocadas una opuesta a la otra, se utiliza ante todo cuando el ancho de la vía es mayor de 1,5 veces la altura de montaje.



Pareada

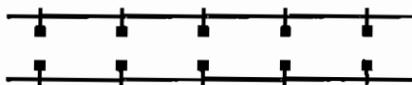
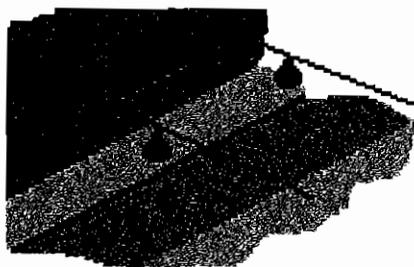


Fig. 5.16. Disposición en Oposición o Pareada

5.3.1.1.4 *Suspendidas en la Mitad de la Vía.*

Esta disposición (Fig. 5.17), con las luminarias suspendidas a lo largo del eje de la vía, se utiliza para vías estrechas con edificios en ambos lados que permiten la suspensión de las luminarias en cables anclados en ellos.



Suspendida transversal

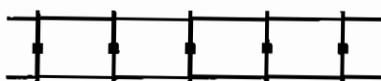


Fig. 5.17. Disposición Suspendidas en la mitad de la vía

Se emplean también combinaciones de estas cuatro disposiciones básicas. Existen también disposiciones especiales con luminarias montadas a baja altura, con el fin de proveer orientación visual.

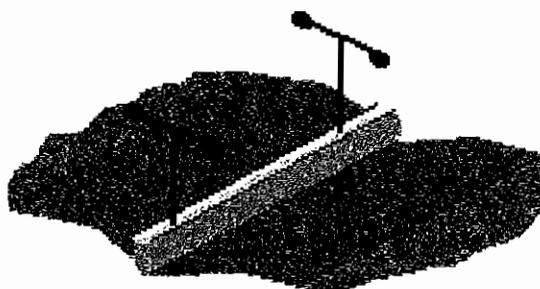
En este caso, la luminancia de la vía será muy baja, debido a las sombras producidas por otros vehículos que pasan y a la depreciación debida al polvo acumulado en las luminarias.

5.3.1.2 **Autopistas y Vías de Dos Calzadas**

Las disposiciones de las Fig. 5.14, 5.15, 5.16, y 5.17 son también aptas para autopistas y vías de dos calzadas; sin embargo, hay otras tres disposiciones posibles:

5.3.1.2.1 *En la Mediana con Brazo Doble.*

Los postes están colocados exclusivamente en la mediana central (Fig. 5.18). Esto puede considerarse como disposición unilateral para cada una de las dos calzadas.



Central con doble brazo

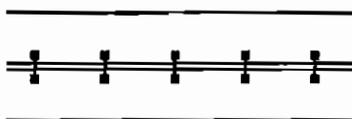


Fig. 5.18. Disposición central con brazo doble

5.3.1.2.2 *Disposición en Catenaria.*

Las luminarias (con espacios de 10 a 20 metros entre sí) están suspendidas de un cable montado a lo largo de la vía, encima de la mediana. El eje principal de las luminarias es paralelo al de la vía. Los postes que soportan el cable quedan bastante distanciados (60 a 90 metros). La disposición en catenaria ofrece:

- Excelente orientación visual.
- Excelente uniformidad longitudinal.
- Menor deslumbramiento que cualquier otro sistema (puesto que las luminarias se ven longitudinalmente).
- Mejor visibilidad, que se hace destacable especialmente si el tiempo es malo.

5.3.1.2.3 *Combinación de Brazos Dobles y Disposición en Oposición.*

A los brazos dobles, colocados en la mediana, se agrega la disposición opuesta (Fig. 5.19). Esto equivale a la disposición al tresbolillo para cada una de las calzadas.



Fig. 5.19. Disposición de brazos dobles y tresbolillo

5.3.1.3 **Bifurcaciones o Confluencias**

5.3.1.3.1 *Con Luminarias Clásicas de Alumbrado Público.*

En cruces, glorietas y vías de acceso, la disposición de las luminarias debe ser tal que la bifurcación sea claramente visible a distancia. El alumbrado debería contribuir también a la prevención de congestiones de tráfico, ayudando a los conductores en la selección de la salida conveniente.

Esta ayuda, especialmente durante la noche, se hace efectiva:

- Dando a la vía una luminancia mayor en las zonas de bifurcación.
- Utilizando fuentes de luz con distinta apariencia de color.
- Utilizando luminarias de tipo distinto y en disposiciones diferentes para vías principales y secundarias.

De igual manera, es recomendable situar las luminarias en el lado derecho de la calzada y después del cruce(ver Fig. 5.20.a). Para el caso de vías en forma de T, hay que poner una luminaria al final de la calle que termina, como se ilustra en la Fig. 5.20.b.

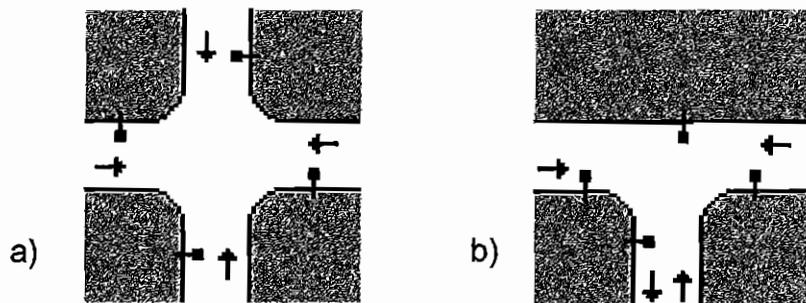


Fig. 5.20. Disposición de luminarias: a) Cruce de 4 calles; b) Cruce en T

En las salidas de autopistas conviene colocar luces de distinto color al de la vía principal para destacarlas.

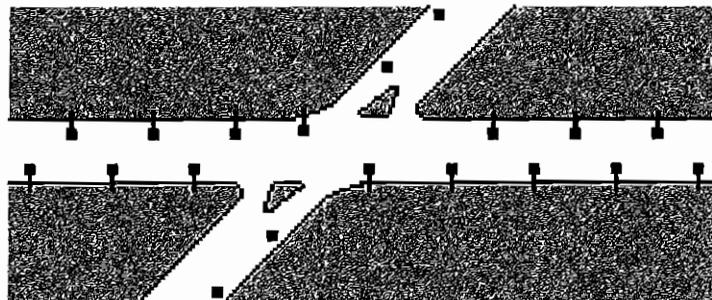


Fig. 5.21. Disposición de luminarias en cruce de vías: autopista y calle secundaria

5.3.1.3.2 Alumbrado con Postes Altos.

Se prefiere la iluminación desde postes altos (de 20 metros o más) a la clásica en bifurcaciones complejas de vías principales y en nudos de autopistas. Las filas múltiples de luminarias del alumbrado clásico pueden producir un efecto de desorientación, especialmente en interconexiones de vías de diferentes niveles.

Con un número reducido de luminarias de alta potencia-eficacia en postes altos, es posible imitar la uniformidad de la luz diurna. Al diseñar una instalación de esta índole, se debe planificar cuidadosamente la posición de los postes y la selección de las luminarias.

En las plazas y glorietas (ver Fig. 5.22.) se instalarán luminarias en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas. La altura de los postes y el nivel de iluminación será por lo menos igual al de la calle más importante que desemboque en ella.

Además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza. Si son pequeñas y el terraplén central no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un poste alto multibrazo.

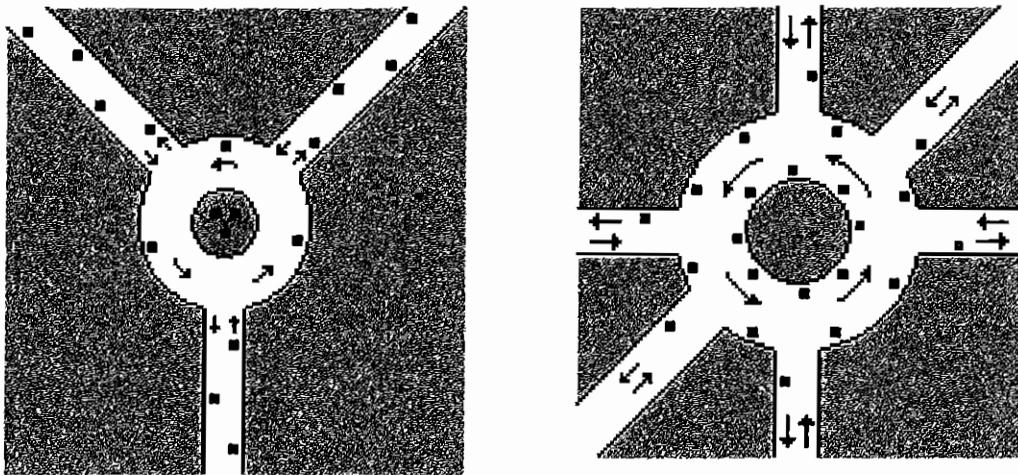


Fig. 5.22. Disposición de luminarias en plazas y glorietas

En otros casos es mejor situar las luminarias en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desembocan en esta.

5.3.1.4 Curvas

5.3.1.4.1 Reducción del Espaciamiento en las Curvas.

Las curvas de radio grande (del orden de los 300 metros) pueden tratarse como vías rectas y colocarse las luminarias según uno de los esquemas anteriormente descritos. En curvas de radio más reducido las luminarias deben colocarse de forma que haya una adecuada luminancia de la vía y una eficiente orientación visual.

Si el ancho de la vía es menor de 1,5 veces la altura de montaje, las luminarias deben colocarse a lo largo del lado exterior de la curva, en la disposición unilateral (ver Fig. 5.23).

En vías más anchas se debe aplicar la disposición opuesta. La disposición al tresbolillo no da ninguna orientación visual y debe, por consiguiente, evitarse (se indicó anteriormente en la Fig. 5.11).

En general, no es necesario usar espaciamientos menores de 15 m en curvas. En algunos casos, puede ser ventajoso reducir el saliente de las luminarias sobre la curva para proveer iluminación extra del lado de la calle.

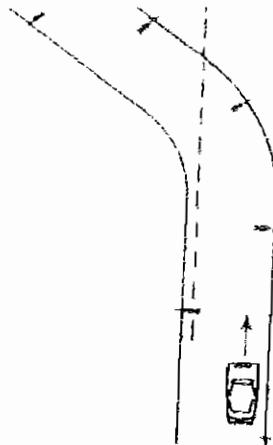


Fig. 5.23. Luminarias colocadas en el lado exterior de la curva para contribuir a la orientación visual.

En todas las curvas, la separación de las luminarias depende del radio de la curva: cuanto menor sea éste, menor debe ser la separación. Como regla general, la distancia entre luminarias en las curvas debe reducirse entre 0,5 y 0,75 en relación con el mismo trazo de una vía recta.

5.3.1.4.2 *Pendientes y Cumbres.*

En las pendientes, las luminarias deben ser montadas como si el plano horizontal normal se inclinara hasta coincidir con la superficie inclinada de la calzada, especialmente, en el caso de distribución aislada cut-off.

Las cumbres deben tratarse con mucho cuidado, aun cuando sean poco pronunciadas. En una cumbre hay a menudo un fondo indefinido contra el cual pueden verse los objetos cercanos a la cresta; pero los objetos que están detrás de ella quedan total o parcialmente ocultos.

De cierta distancia, las luminarias se ven muy bajas o contra la cresta de la cumbre, formando un diseño confuso que oculta objetos y luces de vehículos; en estos casos, deben usarse luminarias cut-off y accesorios que aumenten la visibilidad (como fondos de colores claros). Las situaciones específicas pueden ser muy variadas, por lo cual no pueden establecerse reglas generales.

Por otra parte, debe recordarse que muchos puentes deben ser tratados del mismo modo que las cumbres.

5.3.1.4.3 *Cruces de Caminos y Cruces Peatonales.*

El principio fundamental sobre el que se basa la disposición de las luminarias en los cruces de caminos puede ser ilustrado considerando el método por el cual una persona puede ver a un peatón atravesando un paso peatonal en un camino de una sola vía.

El alumbrado por una sola luminaria, colocada de modo que la zona brillante producida cubra la mayor parte del cruce peatonal, deja un fondo oscuro contra el cual el peatón difícilmente puede ser visto (ver Fig. 5.24a).

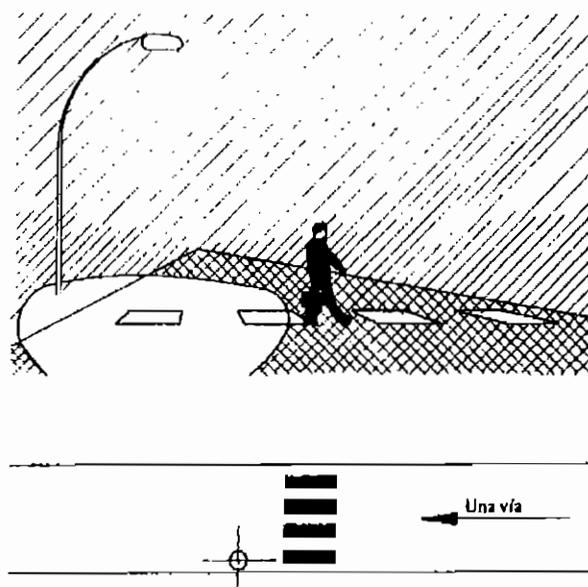


Fig. 5.24.a. Alumbrado de un cruce peatonal por una sola luminaria

En este caso, es conveniente proveer una luminaria suplementaria colocada un poco más lejos y al otro lado de la calzada, para obtener un fondo brillante junto al peatón (ver Fig. 5.24.b).

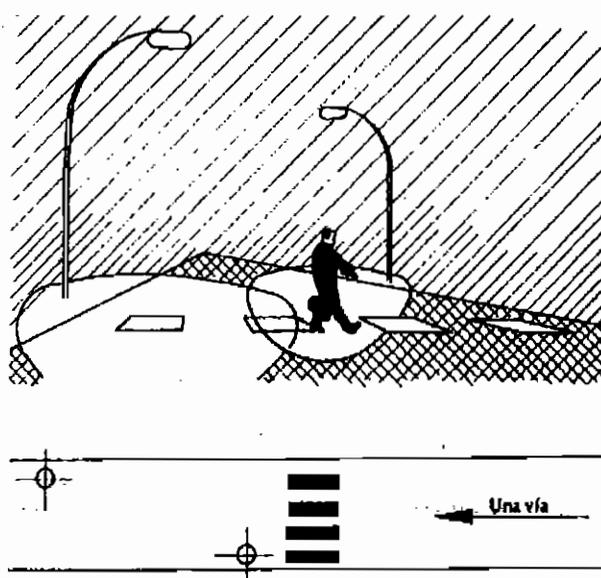


Fig. 5.24.b. Aumento en la luminancia del fondo, detrás de un cruce peatonal, conseguido usando una segunda luminaria.

El mismo razonamiento, aplicado a caminos que tienen tránsito en ambas direcciones, indica, que un cruce debería presentarse a medio camino entre luminarias consecutivas situadas en lados opuestos de la calzada.

Cuando se desea señalar una discontinuidad en una calzada, sin alterar la continuidad del alumbrado, se recomienda que el nivel de luminancia sea aumentado, esto puede conseguirse reduciendo el espaciamiento cerca del punto de discontinuidad manteniendo al mismo tiempo las luminarias lo bastante alejadas del cruce, como para no interferir con la continuidad del alumbrado.

5.3.1.4.4 *Redondeles.*

El alumbrado de redondeles presenta dos problemas especiales:

- a) Debe asegurarse que los conductores que se acercan se den cuenta de la presencia del redondel en forma suficientemente anticipada para poder realizar la acción conveniente.
- b) Debe proveerse adecuada visibilidad para los conductores, cuando han entrado en el redondel y están tratando de dar la vuelta o salir de él.

El diseño de un redondel es muy difícil de apreciar a cierta distancia, particularmente a la distancia a la cual debería ser apreciado desde un vehículo que se acerca a alta velocidad.

La isla central puede ser invisible si está situada sobre una cumbre, y también puede ser confundida con una parte del camino a recorrerse. Por lo tanto, el primer requisito es asegurarse de que el conductor vea que en este sitio hay una isla central.

5.3.1.4.5 *Postes de Alumbrado como un Peligro.*

Ocurre a menudo que un vehículo motorizado, al sufrir un accidente, se sale de la calzada y la probabilidad de que ocurra este percance aumenta con la velocidad del vehículo.

Si el vehículo choca con un poste de alumbrado, la gravedad de las heridas de los ocupantes puede también ser mayor; se conoce que la frecuencia de tales choques disminuye en relación inversa a la distancia de los postes al borde de la calzada.

A continuación se indican las distancias recomendables para ubicar postes; pero, si se colocan rieles de barrera, los valores indicados pueden reducirse.

- a) Ubicación de postes en caminos con un límite de velocidad de 60 kilómetros por hora o más. Normalmente el retiro entre las columnas y los bordes de la calzada debe ser por lo menos 1,8 m con bordillos y de 2,4 m con bermas sin bordillos. En casos excepcionales, puede usarse en una calzada con bordillos un retiro más pequeño, pero este nunca debe ser menor de 0,9 m.
- b) Ubicación de postes en caminos con un límite de velocidad de menos 60 kilómetros por hora. El retiro entre los postes y el borde de la calzada debe ser de 1,5 m y esta distancia debe aumentarse, si es posible, sin obstruir la acera.

5.3.2 **CARACTERÍSTICAS REFLECTIVAS DE LA SUPERFICIE DE LA CALZADA**

Para el cálculo de la luminancia de la superficie de una calzada es indispensable conocer sus características reflectivas.

5.3.2.1 Coeficiente de Luminancia (q)

Las características reflectivas de una vía pueden expresarse mediante el coeficiente de luminancia q , que se define como la relación entre la luminancia en un punto determinado (L) y la iluminancia horizontal en ese mismo punto (E); depende de las posiciones del observador y de la fuente luminosa con respecto al punto P que se considera; (ver Fig. 5.25.); se cuantifica con la siguiente relación:

$$q = \frac{L}{E} \quad (5.4)$$

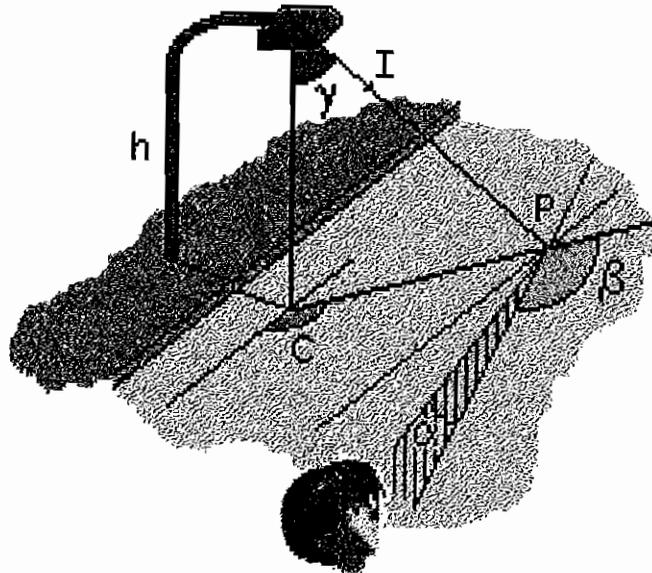


Fig. 5.25. Ángulos de los cuales depende el coeficiente de luminancia q ; α = ángulo de observación desde el plano horizontal; β = ángulo entre el plano de incidencia de la luz y el plano de observación; γ = ángulo de incidencia.

Para la zona de la vía que importa al conductor de un vehículo, o sea, entre 60 y 160 metros delante de él, el ángulo α varía solamente entre 1,5 y 0,5 grados. Por consiguiente, para α se ha establecido el valor fijo de 1 grado ($^{\circ}$) de acuerdo a la norma CIE.

El coeficiente de reflexión de una vía depende pues solamente de dos ángulos. Estos valores pueden presentarse mediante tablas en las cuales se indican normalmente los valores de $q \cdot \cos^3 \gamma = R$.

En la Fig. 5.26. la longitud de una flecha trazada en una dirección definida por los ángulos γ y β , representa el valor del coeficiente de luminancia para tal dirección de incidencia de la luz; este valor viene dado por la siguiente expresión:

$$L_p = q(\beta, \gamma) E(C, \gamma) = \frac{q(\beta, \gamma) \cdot I(C, \gamma)}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma = \frac{R(\beta, \gamma) \cdot I(C, \gamma)}{h^2} \quad (5.5)$$

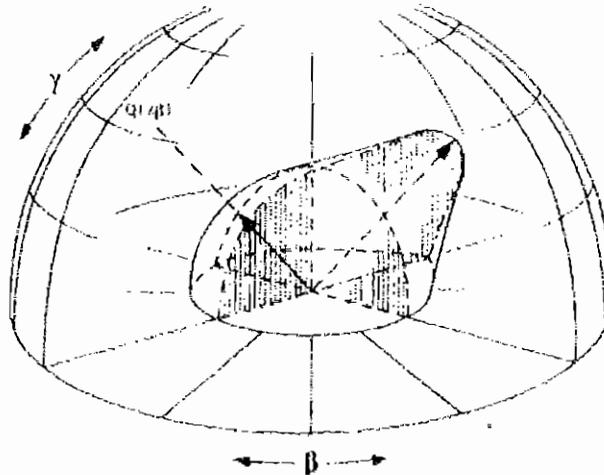


Fig. 5.26. Indicatriz del coeficiente de luminancia indicando: q = coeficiente de luminancia, β = ángulo entre el plano de observación y el de incidencia de la luz, y γ = ángulo de incidencia de luz (desde la vertical)

5.3.2.2 Indicatriz de Reflexión

La indicatriz de reflexión sólo se puede determinar con mediciones de laboratorios y lleva mucho tiempo. Para el cálculo de luminancia, sin embargo, las características de un pavimento pueden definirse con suficiente exactitud sobre la base de tres valores fáciles de medir, estos valores son:

- El coeficiente medio de luminancia, Q_0 , cuyo valor define el nivel de reflectancia total de la superficie del pavimento (el volumen de la indicatriz); y viene dado por la siguiente relación:

$$Q_0 = \frac{\int q \cdot dw}{\int dw} \quad (5.6)$$

- El factor especular 1, S_1 , que define el grado de especularidad (la forma de la indicatriz), definido así:

$$S_1 = \frac{R(0,2)}{R(0,0)} \quad (5.7)$$

- El factor especular 2, S_2 , que también define el grado de especularidad (la forma de la indicatriz), definido con la siguiente expresión:

$$S_2 = \frac{Q_0}{R(0,0)} \quad (5.8)$$

Donde:

$R(0,2)$ y $R(0,0)$ son valores de R para valores específicos de γ y β ; a saber $\gamma = 0^\circ$ y $\beta = 0^\circ$ para $R(0,0)$ y $\gamma = 63,4^\circ$ (arco tan 2) y $\beta = 0^\circ$, para $R(0,2)$.

Si cambia solamente el valor Q_0 , el volumen de la indicatriz cambia, pero su forma no y, por consiguiente, el grado de especularidad no se modifica (Fig. 5.27.a); si cambia la forma de la indicatriz se altera el grado de especularidad (Fig. 5.27.b).

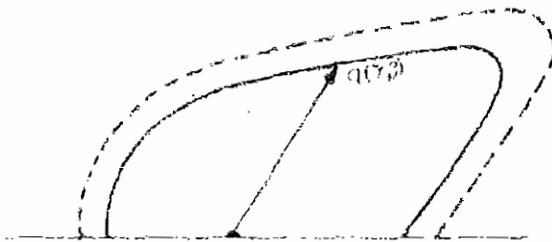


Fig. 5.27.a. Indicatriz q a través de uno de los planos β para diferentes valores de Q_0 (volumen) y un valor constante de S_1 y S_2 .



Fig. 5.27.b Indicatriz q a través de uno de los planos β para diferentes valores de S_1 y S_2 (forma) y un valor constante de Q_0 (volumen).

5.3.2.3 Clasificación de los Pavimentos

Según la proposición de la CIE, las superficies de vías en estado seco se han dividido en cuatro clases de acuerdo con el valor S_1 ; estas clases se indican en la Fig. 5.28.

Clase	Gama de valores S_1	Valor Q_o	Tipo de Reflexión
R I	$S_1 < 0,42$	0,10	Difusa
R II	$0,42 \leq S_1 < 0,85$	0,07	Aproximadamente difusa
R III	$0,85 \leq S_1 < 1,35$	0,07	Ligeramente brillante
R IV	$1,35 \leq S_1$	0,08	Brillante

Fig. 5.28. Clasificación de las superficies de las vías en estado seco según la CIE.

Si comparamos las indicatrices q (o tablas R) de distintos pavimentos que pertenecen a la misma clase y de igual valor Q_o (pero de diferentes valores S_1), se concluye que las diferencias entre unas y otras no son grandes.

Esto quiere decir que para la superficie de una calzada determinada, los cálculos de luminancia pueden hacerse para un pavimento "normalizado" de la clase a la cual pertenece, tomando en cuenta su valor S_1 .

En la Fig. 5.29. se indica la clasificación de los pavimentos normalizados:

Clase	R I	R II	R III	R IV
Valor S_1	0,25	0,58	1,11	1,55

Fig. 5.29. Clasificación de los pavimentos normalizados.

Las indicatrices q (o tablas R) para estas superficies normalizadas se indican usualmente para $Q_0 = 1$. Para hacerlas aplicables a los valores reales de Q_0 es necesario multiplicar los resultados por Q_0 .

En algunos casos en que por alguna causa, las características de reflexión S_1 (grado de brillantez de la calzada) y Q_0 (grado de reflectancia difusa de la calzada) no se puedan medir ni determinar partiendo del conocimiento a la experiencia previos, puede conseguirse una orientación aproximada mediante la tabla publicada por la CIE (ver Fig. 5.30.), en la cual se especifican las características de los tipos de superficie de calzadas y de los materiales usados en su construcción para las cuatro clases anteriormente señaladas.

CLASE	DESCRIPCIÓN
R I	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie de calzada de tipo asfáltico, con un 15% por lo menos de abrillantador artificial o al menos con un 30% de anortositas muy brillantes. • Revestimientos superficiales que contienen grava que cubre más del 80% de la superficie de la calzada, en los que la grava consta principalmente de abrillantadores artificiales o son al 100% de anortositas muy brillantes. • Superficies de calzada de hormigón
R II	<ul style="list-style-type: none"> • Revestimiento superficial que tienen una estructura áspera y contienen agregados normales. • Superficies asfálticas que contienen del 10 al 15% de abrillantados artificiales. • Hormigón asfáltico grueso y áspero, rico en grava (mayor al 60%) de tamaños de 10 mm o más. • Asfalto de cemento (concreto).
R III	<ul style="list-style-type: none"> • Hormigón asfáltico (asfalto en frío, asfalto de cemento) con grava de gran tamaño hasta 10 mm, pero de textura áspera (similar al papel de lija). • Revestimientos superficiales de textura gruesas pero pulidos.
R IV	<ul style="list-style-type: none"> • Asfalto de cemento, al cabo de varios meses de uso. • Superficies de calzada que tengan una textura suave o pulida.

Fig. 5.30. Características de las cuatro clases de superficie de calzadas según CIE

5.3.3 DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA INSTALACIÓN

5.3.3.1 Altura de Montaje de las Luminarias

La altura de montaje depende de la potencia luminosa de la fuente de luz, la distribución de la intensidad luminosa de la luminaria y el ancho de la calzada; mientras más potente sea la fuente de luz y más ancha sea la calzada, mayor debe ser la altura de montaje requerida, para evitar excesivo deslumbramiento y proveer suficiente uniformidad transversal. Por regla general, se considera apropiada una altura de montaje de 7,5 a 10,5 m; pero, para luminarias de muy alta potencia luminosa, se recomienda una altura de 12 m o mayor.

5.3.3.2 Espaciamiento de las Fuentes de Luz.

Para una luminaria y fuente de luz particular, montada a una altura predeterminada, el espaciamiento está determinado por el nivel promedio de luminancia recomendado para la calzada en consideración.

5.3.3.3 Saliente de las Luminarias

Para asegurar la máxima uniformidad de luminancia y acentuar el efecto de faro, el saliente no debe exceder un cuarto de la altura de montaje, o un cuarto del ancho de la calzada.

Un saliente excesivo reduce la visibilidad de los bordillos, de los posibles obstáculos en el lado de la calzada, de las aceras, y puede presentar problemas mecánicos y estéticos.

CAPÍTULO 6. CÁLCULOS PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO ^{3 5 7}

6.1 ANTECEDENTES

La calidad de una instalación de Alumbrado Público puede juzgarse real y únicamente sobre la base de los valores resultantes de iluminación y luminancia en la superficie de la calzada.

A continuación se analizan métodos para un cálculo rápido y preciso de valores de iluminación y de luminancia. Se ha adoptado un enfoque práctico para estos cálculos y se ha utilizado la información fotométrica preparada por los distintos tipos de luminarias de Alumbrado Público.

6.2 CÁLCULOS DE ILUMINANCIA

6.2.1 ILUMINANCIA EN UN PUNTO

6.2.1.1 Método de Cálculo “Punto por Punto”

El valor de la iluminación en un punto de la superficie de una calzada es la suma de todas las iluminancias parciales producidas por las luminarias en este punto P (omitiendo las contribuciones procedentes de otras fuentes luminosas). La iluminación total resultante en el punto P esta dada por la siguiente relación:

$$E_p = \sum_1^n \frac{I_{\gamma,c}}{h^2} \cos^3 \gamma \quad (6.1)$$

³ NORMA ICOTEC 900

⁵ WESTINGHOUSE, Manual de Alumbrado

⁷ PHILIPS, Lighting Manual

donde:

$I_{\gamma, C}$ es la intensidad luminosa de una luminaria en dirección al punto P según los ángulos γ y C (ver Fig. 6.1) y

n es el número de luminarias.

Con esta fórmula se puede calcular la iluminancia en distintos puntos de la calzada. Si éstos se trazan en un plano representativo de la vía y se conectan los de igual iluminancia, resulta el llamado *diagrama isolux*. Con este diagrama se puede leer la iluminancia en cualquier punto de la calzada.

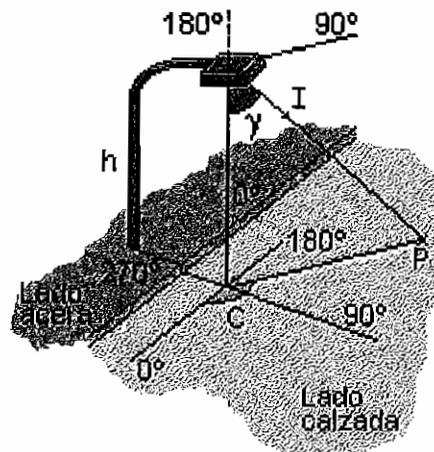


Fig. 6.1. Iluminancia en el punto P .

6.2.1.2 Diagrama Isolux trazado por computador.

La construcción de un diagrama isolux mediante el método "punto por punto" es un trabajo que exige mucho tiempo, motivo por el cual se recurre al uso de un computador. Estos diagramas, incluidos en la información fotométrica para luminarias de Alumbrado Público, presentan curvas isolux relativas para cada tipo de luminaria, y el valor de cada línea isolux es un porcentaje de la iluminancia máxima producida por la luminaria.

La Fig. 6.2 presenta un diagrama isolux típico, producido con computador; la cuadrícula está en múltiplos de la altura de montaje h de la luminaria. La iluminancia relativa en cualquier punto, cuya posición es conocida en múltiplos de h , se puede leer directamente en el diagrama.

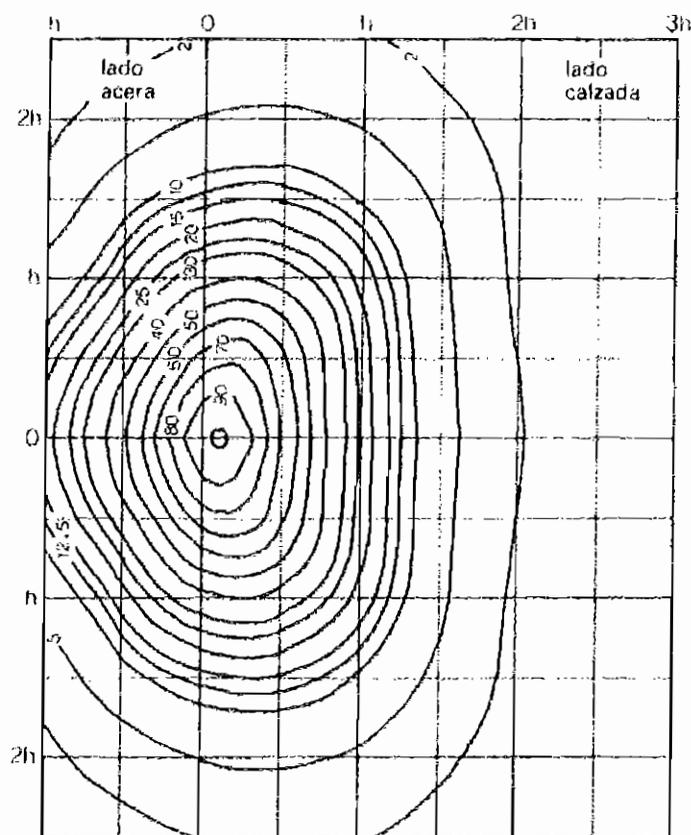


Fig. 6.2. Típico diagrama relativo Isolux de un plano al ser iluminado con $E_{\text{máx}} = 100\%$.

El valor absoluto E , de la iluminancia en un punto determinado P se calcula mediante la ecuación:

$$E_p = E_r \frac{a \cdot \phi_L \cdot n}{h^2} \quad (6.2)$$

donde:

E_r = iluminancia relativa en este punto;

a = factor que corresponde al tipo de la luminaria seleccionada, dado al pie del diagrama isolux;

Φ_L = flujo luminoso de la lámpara que lleva la luminaria;

n = número de lámparas dentro de la luminaria;

h = la altura de montaje de la luminaria.

Repitiendo este procedimiento para todas las luminarias que tienen influencia es posible llegar a la iluminancia total de un determinado punto, cualquiera que sea la disposición de las luminarias.

6.2.2 ILUMINANCIA MEDIA

6.2.2.1 Calculada como Valor Numérico

Después de haber calculado los valores de la iluminancia para una zona tipo de la calzada, la iluminancia media puede calcularse utilizando la fórmula:

$$E_{med} = \frac{\sum E_p}{n} \quad (6.3)$$

donde:

E_p = iluminancia en cada punto P de una zona de estudio tipo y

n = es el número total de puntos considerados.

Es claro que cuanto mayor sea el número de puntos calculados, mayor será la exactitud del valor medio hallado.

6.2.2.2 Cálculo empleando las Curvas del Factor de Utilización.

El método más fácil y rápido de calcular la iluminancia media de una vía recta de longitud infinita es el de las curvas de factor de utilización, contenidas en la Información Fotométrica, aplicando la siguiente fórmula:

$$E_{med} = \frac{\eta \cdot \phi_L \cdot n}{w \cdot s} \quad (6.4)$$

donde:

- ϕ_L = flujo luminoso de una lámpara;
- n = número de lámparas por luminaria;
- w = ancho de la calzada;
- s = separación de las luminarias;
- η = factor de utilización

En el Alumbrado Público el factor de utilización se define como la parte del flujo luminoso procedente de una luminaria que efectivamente alcanza la calzada, así:

$$\eta = \frac{\phi_{utilizado}}{\phi_L} \quad (6.5)$$

En la Información Fotométrica, las curvas de factor de utilización de una luminaria aparecen en dos formas:

1. En función de distancias transversales de la vía, expresadas como múltiplos de h y medidas desde la proyección de la luminaria hacia las aceras de la calzada (ver Fig. 6.3).

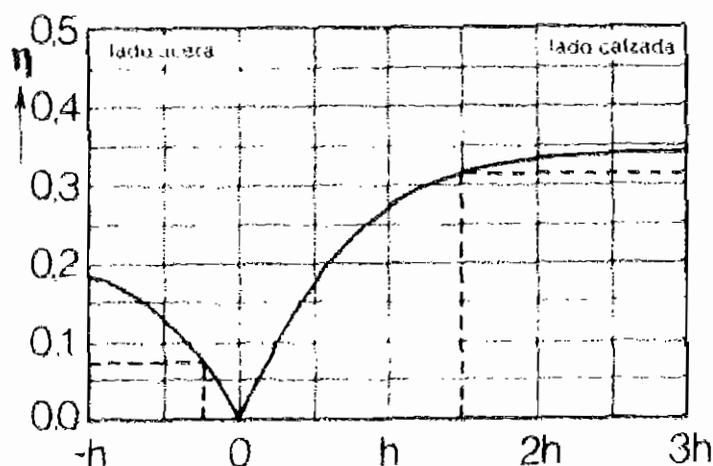


Fig. 6.3. Curvas de factor de utilización con η en función de h .
En el caso ilustrado: $\eta = 0,075 + 0,32 = 0,395$

2. En función de los ángulos γ_1 y γ_2 que subtenden las luminarias con las aceras de la calzada (ver Fig. 6.4).

En cada caso, los valores η -lado acera y η -lado calzada deben sumarse, para llegar al factor de utilización que corresponda al ancho total de la vía.

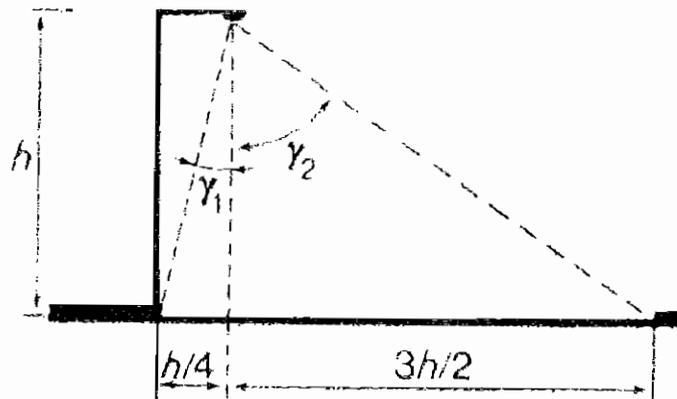


Fig. 6.4. Curvas de factor de factor de utilización con η en función de γ_1 y γ_2 .

La primera forma (en múltiplos de h), proporciona un método sencillo para establecer el valor η en una sección transversal de calzada conocida.

La segunda forma (en ángulos) permite también determinar si un cambio de la inclinación de las luminarias proporciona o no un factor de utilización mayor y, por consiguiente, una mejor iluminación de la vía. Se ilustra en la Fig. 6.5.

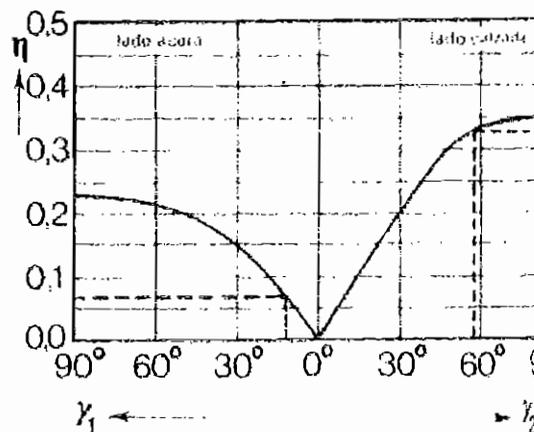


Fig. 6.5. En el caso ilustrado: $\gamma_1 = \text{arc tg}(h/4h) = 14^\circ$ y $\gamma_2 = \text{arc tg}(3h/2h) = 56,5^\circ$; así, $\eta = 0,075 + 0,32 = 0,395$

6.3 CÁLCULOS DE LUMINANCIA

6.3.1 LUMINANCIA EN UN PUNTO

6.3.1.1 Método de Cálculo “Punto por Punto”

El método de calcular la luminancia de un punto es análogo al aplicable al cálculo de la iluminancia en un punto (ver ítem 6.2.1.1).

La luminancia de un punto de la superficie de una vía es la suma de todas las luminancias parciales producidas por las luminarias en ese punto.

La luminancia total del punto P es:

$$L_p = \sum \frac{I_{\gamma,c}}{h^2} \cdot q(\beta\gamma) \cdot \cos^3 \gamma \quad (6.6)$$

donde:

$I_{\gamma,c}$ es la intensidad luminosa de una luminaria en dirección al punto P indicada por los ángulos γ y C (ver Fig. 6.1).

Con esta fórmula se puede calcular la luminancia en distintos puntos de la calzada. Si estos puntos se trazan en un plano de la calzada y se unen los de igual luminancia, resulta el llamado diagrama de isoluminancia o iso-cd/m².

6.3.1.2 Diagrama Iso-cd/m² trazado por Computador

La construcción de un diagrama iso-cd/m² mediante el método de punto por punto es un trabajo que necesita tiempo. Mucho más rápido lo podemos hacer con la ayuda de un computador.

Estos diagramas, incluidos en la información fotométrica para luminarias de Alumbrado Público, presentan curvas iso-cd/m² relativas, independientes de la altura de montaje, para cada tipo de luminaria y para las cuatro superficies "normalizadas" con $Q_0 = 1$. Esto significa que el valor de cada línea de isoluminancia está indicado como porcentaje de la luminancia máxima producida por la luminaria en la superficie de la vía.

La Fig. 6.6. presenta un diagrama iso-cd/m² típico, producido por un computador. Estos diagramas han sido calculados para un observador situado en el plano de C_0 a una distancia de $10h$ de la luminaria.

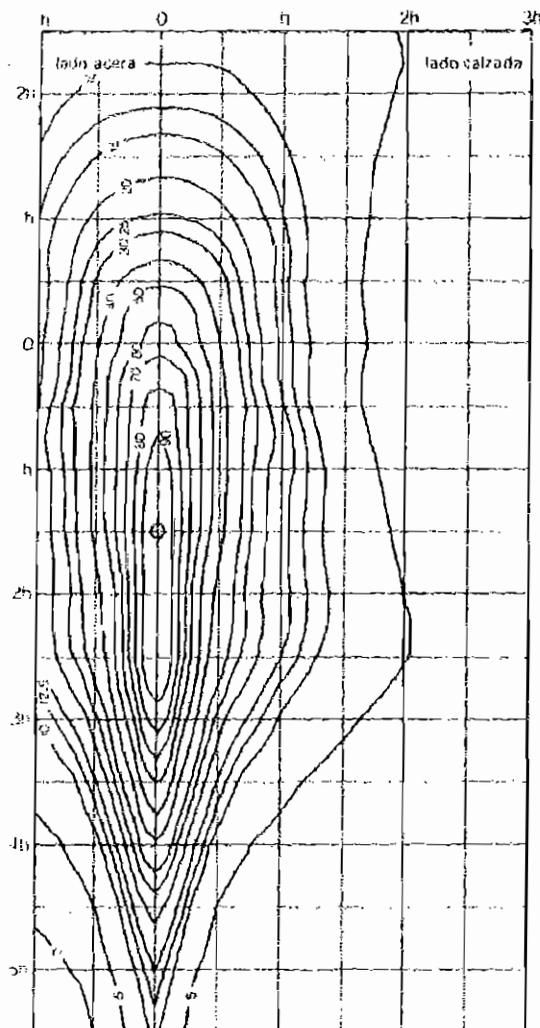


Fig. 6.6. Diagrama Relativo Iso-cd/m². $L_{\text{máx}} = 100\%$ para un pavimento de la Clase RII.

La utilización de estos diagramas depende, por consiguiente, de la posición del observador. Debemos distinguir dos casos:

1. *Observador en la prolongación de la fila de luminarias (plano C_0)*

Puesto que los diagramas han sido calculados para un observador en el plano C_0 (en la prolongación de la fila de luminarias), el procedimiento es aplicable tal cual. Primero se hace, en papel transparente, un plano de la calzada a igual escala que el diagrama, donde las distancias son múltiplos de la altura de montaje.

Se coloca este plano sobre el diagrama iso-cd/m² para la clase correspondiente de la superficie de la calzada, con el eje longitudinal de la vía en paralelo con el diagrama y con el punto (0,0) debajo de la marca de una luminaria.

La luminancia relativa en este punto se lee en el diagrama; y su valor absoluto viene dado por la siguiente relación:

$$L_p = L_r \cdot \frac{a \cdot \phi_L \cdot Q_o}{h^2} \quad (6.7)$$

donde:

L_r = luminancia relativa de este punto

a = factor que depende del tipo de luminaria seleccionada dado al pie del diagrama iso-cd/m²

ϕ_L = flujo luminoso de la lámpara que lleva la luminaria

h = altura de montaje de la luminaria

Q_o = coeficiente medio de luminancia

Repitiendo este procedimiento con otras luminarias y sumando los resultados es posible llegar a la luminancia total de este punto.

2. Observador en un punto fuera de la fila de luminarias

La luminancia de un punto de la calzada, situado entre el observador y la luminaria depende no solamente de la distribución luminosa de la luminaria, sino de la posición del punto con relación al observador y a la luminaria.

A la inversa, la luminancia de un punto de la calzada detrás de la luminaria depende casi exclusivamente de la distribución luminosa de la luminaria y, en grado mínimo, de la posición del observador.

Esto significa que el diagrama iso-cd/m², aun cuando esté calculado para un observador en el plano C_0 , puede utilizarse siempre y cuando el punto en consideración se encuentre detrás de la luminaria.

Para puntos entre luminaria y observador, sin embargo, el diagrama iso-cd/m² debe hacerse girar de tal forma que su eje longitudinal coincida con la posición del observador, tal como aparece en el plano de la calzada. La luminancia relativa se lee en el diagrama y su valor absoluto se calcula con las mismas fórmulas según lo expuesto en el caso 1.

Este método es exacto dentro de un margen de error de más o menos el 10%, siempre y cuando el diagrama iso-cd/m² no se gire por más de 5°; es decir que el observador, guardada la distancia de observación de $10 h$, no debe alejarse más de $0,875 h$ de la línea C_0 . Este método está ilustrado en la Fig. 6.7, donde dos luminarias contribuyen a la luminancia del punto P .

En el caso de una posición opuesta de las luminarias, es necesario calcular la contribución de cada una de las cuatro luminarias que rodean el área. Esto se hace en la forma antes descrita, sin olvidar que se debe hacer girar el diagrama para mantener la orientación correcta hacia la calzada y hacia la acera.

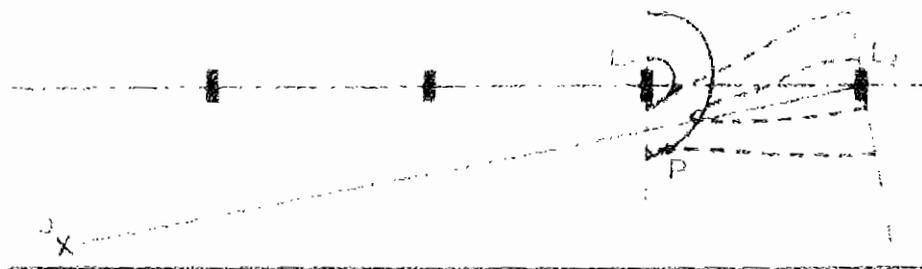


Fig. 6.7. Luminancia en un punto situado entre dos luminarias. Puesto que el punto P está situado delante de la luminaria L_2 (visto por un observador en "O"), el diagrama "Iso-cd/m²" debe girarse de tal modo que su eje longitudinal quede en línea con la posición del observador.

6.3.2 LUMINANCIA MEDIA

6.3.2.1 Calculada como Valor Numérico

Después de haber calculado los valores de luminancia para los puntos de la retícula en que se ha dividido la calzada, la luminancia media en la zona de estudio se determina por:

$$L_{med} = \frac{\sum L_P}{n} \quad (6.8)$$

donde:

L_P es la luminancia en cada punto P de la zona de estudio, y
 n es el número total de puntos considerados.

De la relación anterior se concluye que cuanto mayor sea el número de puntos calculados, mayor será la exactitud del valor medio.

6.3.2.2 Cálculo utilizando las Curvas de Rendimiento de Luminancias

El método más fácil y rápido para calcular la luminancia media de una calzada recta de longitud infinita y para una posición fija del observador es el de las curvas de rendimiento de luminancia, contenidas en la Información Fotométrica, aplicando la fórmula:

$$L_{med} = \eta_L \cdot Q_o \cdot \frac{\phi_L}{w \cdot s} \quad (6.9)$$

donde:

η_L = factor del rendimiento de luminancia

Φ_L = flujo luminoso de la lámpara

Q_o = coeficiente de luminancia media

w = ancho de la calzada

s = separación de las luminarias

Si se considera un factor de depreciación, d , esta fórmula se transforma en:

$$L_{med} = \eta_L \cdot Q_o \cdot \frac{\phi_L}{w \cdot s \cdot d} \quad (6.10)$$

En la Información Fotométrica, el factor de rendimiento de luminancia se representa en función de la distancia desde la proyección de la luminaria hacia cada una de las aceras, expresada en múltiplos de h .

Cada diagrama (ver Fig. 6.8) es válido para tres posiciones, A , B , C , del observador, quien se encuentra a una distancia de $10 h$ de la luminaria. La Información Fotométrica contiene diagramas para los cuatro tipos normalizados de pavimentos.

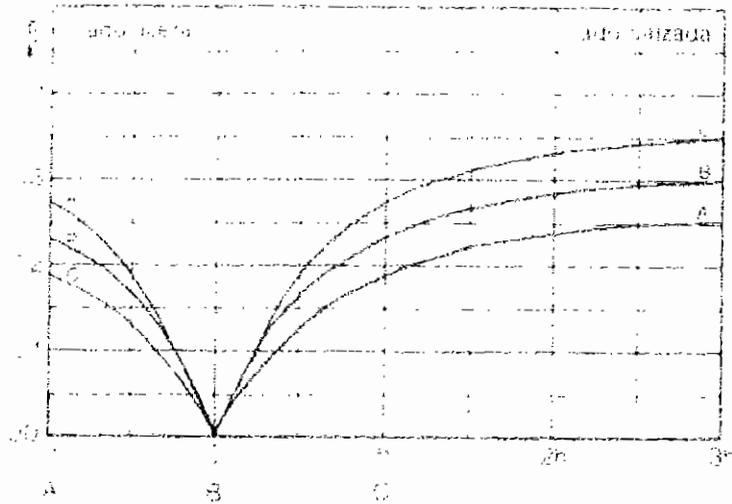


Fig. 6.8. Diagrama del rendimiento en luminancia.

Curva A: Para un observador situado en el lado de la acera a una distancia h de la fila de luminarias.

Curva B: Para un observador situado en la prolongación de la fila de luminarias.

Curva C: Para un observador situado en la calzada a una distancia h de la fila de luminarias.

En algunas publicaciones el factor de rendimiento de luminancia se presenta por curvas ζ , donde $\zeta = Q_0 \cdot \eta_L$

6.4 ALUMBRADO DE ZONAS PEATONALES

En aquellas partes de las áreas residenciales en que está permitido el tráfico motorizado el alumbrado debe ser diseñado en vías a lograr seguridad en la calzada por un lado y protección y amenidad por otro.

En las áreas peatonales cerradas a todo tráfico motorizado, la seguridad diaria deja de ser un objetivo del diseño y puede darse todo el énfasis en dotarlas de un alumbrado que proteja eficazmente y sea ameno.

El alumbrado de ambas áreas residencial y peatonal debe y puede, si se diseña adecuadamente, aumentar el atractivo de la zona tanto a los residentes como a los visitantes.

Los planeamientos generales del Alumbrado Público responden principalmente aunque no totalmente, a las exigencias del tráfico rodado, aun cuando en muchas ocasiones se aplique en zonas donde éste coexiste con el tráfico peatonal.

Este hecho se deriva de dos circunstancias:

1. El tráfico rodado presenta por su mayor velocidad y peligrosidad, unas exigencias visuales más elevadas y críticas
2. Los criterios de economía han determinado durante mucho tiempo una priorización de los aspectos de seguridad y utilización en los que el alumbrado de las calzadas de circulación resultaba favorecido.

Pero esta situación ya no responde en muchos casos a las condiciones actuales. En primer lugar por el desarrollo técnico y el diseño de los sistemas de alumbrado que ha aliviado la incompatibilidad entre las dos demandas.

En segundo lugar, la orientación del urbanismo actual tiende a una humanización del espacio vial que se ha traducido en la creciente implantación de áreas, específicamente peatonales, muy distintas de los tradicionales parques y jardines, y en la revalorización de las zonas destinadas a uso peatonal, aún dentro de las zonas de utilización mixta.

En estos casos, el proyectista de alumbrado debe partir de nuevas premisas, aunque ello no debe significar de ningún modo que olvide todo lo aprendido, especialmente en los aspectos de seguridad, economía y fiabilidad de uso de la instalación de alumbrado.

6.4.1 CRITERIOS VISUALES

Los criterios visuales pueden resumirse en cuatro aspectos principales:

6.4.1.1 Detección de Obstáculos

En su desplazamiento, el peatón debe ser capaz de apreciar pequeños obstáculos (agujeros, escalones, objetos, entre otros) capaces de interferir su comodidad o seguridad.

6.4.1.2 Identificación Facial

El peatón debe poder reconocer los rasgos de una persona que se acerque a él a una distancia determinada; esta identificación es importante en dos aspectos: la seguridad, ya que en caso de percibir una amenaza puede iniciar una reacción con tiempo suficiente, y la posibilidad de comunicación social muy difícil de mantener sin una apreciación visual de rasgos y expresiones.

La distancia óptima de identificación facial por motivos de seguridad es de 10 metros, considerándose 4 metros la distancia mínima que puede permitir una reacción elusiva del riesgo; esta distancia de 4 metros, coincide también con el inicio de la zona significativa de contacto social.

6.4.1.3 Orientación Visual

El peatón está interesado en poder reconocer, además del trazado de su camino concreto, la situación de éste dentro de la zona y su posición con referencia a posibles elementos significativos del paisaje, es decir, no desea sentirse perdido o desorientado.

6.4.1.4 Ambientación

El peatón está mucho más cercano al paisaje que el conductor, esta inmerso en él; por ello es importante que pueda captar su carácter y su ambiente con una sensación de agrado.

6.4.1.5 Seguridad

El alumbrado residencial tiene normalmente que cumplir con la función doble desde el punto de vista de la seguridad: debe disuadir a posibles intrusos o ladrones, aun fracasando en esta, debe como mínimo revelar su presencia a los residentes y transeúntes; ambos objetivos se alcanzan normalmente si se cumplen las exigencias requeridas para un buen reconocimiento facial.

6.4.2 EXIGENCIAS LUMÍNICAS

La dirección de visión del peatón es muy variable en ángulos y direcciones; además los objetos que encuentra en su campo visual poseen características reflexivas muy distintas. Es difícil en estas condiciones, tratar de traducir en términos de luminancias las exigencias visuales del peatón.

Los siguientes aspectos permiten al peatón obtener niveles aceptables de iluminación y uniformidad en la vía:

6.4.2.1 Iluminación Media Horizontal

Si únicamente hubiera que atender las exigencias de visión de obstáculos, una iluminación media horizontal de 1 lux resultaría suficiente para satisfacer las necesidades visuales; sin embargo hay otros factores que interviene, estos son:

- La apreciación psicológica del observador
- La adaptación visual respecto a zonas colindantes
- El equilibrio global de la imagen visual

Por todos estos motivos, una iluminación media horizontal de 5 lux es un valor mínimo recomendable para una zona relativamente aislada y sin una densidad de uso elevada.

Si el área peatonal está próxima a zonas de aglomeración o tránsito de vehículos, es aconsejable aumentar este nivel pudiendo llegar a una iluminación media horizontal de 10 lux. Niveles superiores, ya no se justifican por exigencias visuales, sino, por criterios de animación y ambiente.

6.4.2.2 Uniformidad de Iluminación

Es recomendable que en ningún punto de la zona accesible a los peatones la iluminación horizontal sea inferior a 1 lux. La uniformidad extrema debe ser igual o superior a 1/20.

6.4.2.3 Iluminación en Planos Verticales

Como es fácil deducir, la identificación facial dependerá preferentemente de la iluminación en planos verticales y no horizontales.

La magnitud representativa es la *iluminación semicilíndrica* que indica el valor de la iluminación en dirección al observador, considerando el objeto observado como un cilindro truncado por la mitad de su sección circular.

El uso poco habitual de esta magnitud aconseja sustituirla por la *iluminación vertical* en el plano que enfrenta al observador. El valor medio de esta iluminación vertical, medido a la altura de 1,5 metros sobre el nivel del suelo debe ser igual a 3 lux para permitir la identificación a la distancia recomendada de 10 m. En ningún caso, dentro de la zona accesible a los peatones, esta iluminación vertical debe ser inferior a 1 lux, ya que entonces la identificación facial no podría realizarse a la distancia mínima de seguridad.

6.4.2.4 Modelado

Una iluminación de igual intensidad en todas las direcciones, produce una imagen visual carente de relieves, desagradable estética y ambientalmente. Por el contrario, unas diferencias de intensidad muy notables, según la dirección de observación causan sombras pronunciadas y densas con un efecto dramático y de inseguridad; por ende es recomendable que la iluminación media vertical en los planos perpendiculares al de observación principal, que generalmente es el que enfrenta al sentido de la marcha, sea ligeramente inferior, pero sin superar una diferencia del 25%.

6.4.2.5 Color

Diferentes tipos de fuentes de luz son bien aceptados en este tipo de alumbrado; así, fluorescentes, vapor de mercurio, vapor de sodio alta presión, entre otras. Sin embargo, diversas experiencias han demostrado que las preferencias de los usuarios se sitúa en las siguientes coordenadas:

- Temperatura de color < 4000 k
- Rendimiento en color > 60

6.4.2.6 Control del Deslumbramiento

El problema del deslumbramiento es menos crítico para los peatones que para los conductores, principalmente a causa de la diferencia en velocidad. El peatón tiene mucho más tiempo para adaptar su visión a los cambios de brillo en su campo visual, por lo que es menos probable que se vea segado hasta chocar con un obstáculo del camino.

El peatón está expuesto a sufrir deslumbramiento molesto que deslumbramiento perturbador; la validez del índice de deslumbramiento (G), que es la medida para el deslumbramiento molesto no se ha investigado para luminarias con altura de montaje inferior a los 6,5 m. Incluso cuando la altura de montaje es superior rara vez se puede usar el índice de deslumbramiento en recomendaciones relativas a zonas residenciales, porque en ellas la disposición de las luminarias es siempre irregular y G sólo puede determinarse para hileras de luminarias dispuestas regularmente.

En la práctica, la sensación de deslumbramiento vendrá provocada por luminarias concretas brillantes que aparecen cerca de la línea directa de visión y no por el efecto combinado de todas las luminarias del área; es razonable por tanto limitar la luminancia de cada luminaria para ángulos críticos de emisión.

Según diversos ensayos experimentales, la limitación del deslumbramiento molesto viene representada en este tipo de instalaciones por la siguiente relación $L.A^{0,25}$, donde L es la máxima luminancia en cd/m^2 , emitida por la luminaria en ángulos comprendidos entre 85° a 90° de elevación y A es el área en m^2 .

Los valores de $L.A^{0,25}$ recomendados no deben superar los siguientes valores:

- 1250 para alturas inferiores a 4,4 m
- 1500 para alturas comprendidas entre 4,5 y 6,0 m
- 2000 para alturas superiores a los 6,0 m

6.4.2.7 Iluminación del Entorno

Es importante que la iluminación no se limite estrictamente a las zonas de paso, sino que permita una apreciación del espacio global; normalmente, la luz residual de la instalación, junto con la proveniente de ventanas de domicilios, comercios, entre otros, bastará a estos efectos; no obstante, se debe estudiar la conveniencia de efectuar en algún caso específico una iluminación de refuerzo que evite la existencia de zonas excesivamente oscuras.

Por motivos de seguridad es importante que las superficies verticales que bordean los caminos sean estas fachadas, vegetación, entre otras, estén iluminadas hasta una altura aproximada de 3 m para permitir la visión por contraste de personas u obstáculos en el camino; en el caso de fachadas con ventanas, esta iluminación vertical media no debe superar el valor de 5 lux, para evitar molestias en el interior de las viviendas.

6.4.3 MATERIAL E INSTALACIÓN

Pueden formularse algunas consideraciones de carácter general, así:

6.4.3.1 Seguridad de las Instalaciones

La accesibilidad característica de los alumbrados en zona peatonal, aconseja reforzar las precauciones de posibles riesgos, principalmente eléctricos como por ejemplo la apertura fortuita de portezuelas, las derivaciones, entre otras.

6.4.3.2 Riesgo de Vandalismo

El riesgo de vandalismo es previsible en muchos casos, por lo que conviene utilizar materiales y equipos especialmente diseñados para evitar los riesgos y efectos de las agresiones.

6.4.3.3 Escala Dimensional

Si bien el factor anterior desaconseja la utilización de soportes de altura inferior a 3 m, las características formales aconsejan la utilización de dimensiones a escala humana, es decir, fácilmente relacionable con el observador con su propia altura.

En general, la altura de los soportes no debe superar la mitad de la altura de los edificios circundantes para evitar que en la perspectiva visual destaquen por encima del horizonte.

6.4.3.4 Diseño Formal

Al diseño formal se le debe dar una atención especial debido a que la luminaria y su soporte constituyen un elemento de elevado impacto visual, tanto en el día como en la noche, condicionando así el carácter y la estética del conjunto de la zona peatonal.

Las lámparas más utilizadas para el Alumbrado Peatonal son las de sodio a alta presión especialmente para áreas residenciales, debido a que se puede disponer de lámparas de baja potencia y bajo flujo luminoso.

Las lámparas de sodio a baja presión con su altísima eficacia y gran ahorro energético son muy atractivas para aquellas situaciones en que no se requiere un buen rendimiento en color.

6.5 AHORRO ENERGÉTICO: MEJORAS EN LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

6.5.1 GENERALIDADES

Los sistemas actuales de Alumbrado Público pueden ser reacondicionados con la finalidad de obtener un mayor rendimiento y ahorro energético, para ello se sugieren alternativas como:

- Reemplazo de luminarias por nuevas de sodio
- Adquisición de luminarias de sodio repotenciadas en fábrica
- Sustitución del bombillo en la lámpara de mercurio por la de sodio compatible
- Repotenciación de las lámparas de mercurio a sodio colocando el arrancador y bombillo, para el caso de lámparas que lo permitan técnicamente.

Todas estas opciones son factibles de realizarlas y aplicarlas, obviamente considerando cada una de las realidades de los entornos o sitios a los cuales el proyectista considera justificado su cambio tanto técnica como económicamente.

En el ámbito internacional, el ahorro energético en las diferentes Empresas Eléctricas es un tema muy prioritario, razón por la que destinan muchos recursos tanto técnicos como económicos obteniéndose grandes resultados.

6.5.2 APLICACIÓN PRÁCTICA ¹⁰

A continuación se describe uno de los muchos casos que justifican los aspectos antes mencionados.

En 1995, la C.A La Electricidad de Caracas realizó estudios para mejorar el nivel de iluminación del Alumbrado Público de Caracas.

¹⁰ M. G. EREÚ, Mejoras al Sistema de Alumbrado Público, Caracas, IEEE Primera Conferencia Área Andina

La fuente de iluminación se cambió de vapor de mercurio a vapor de sodio consiguiéndose un incremento del cien por cien del nivel de iluminación en comparación con la existente.

También se experimentaron y estudiaron alternativas que permiten obtener mayor iluminación a menor inversión, la primera de ellas fue innovadora y la segunda con tecnología que ofrecían los fabricantes obteniéndose grandes beneficios en la seguridad automotriz, personal, imagen de la ciudad y ahorro energético.

En este artículo, se presenta un estudio técnico-económico de las diferentes opciones para el cambio de luminarias de vapor de mercurio existentes por sodio. El estudio consiste en evaluar las diferentes opciones que permita mejorar el nivel de iluminación vial, utilizando las estructuras existentes en el terreno; estas opciones son:

6.5.2.1 Proyectar Reemplazo con Luminarias de Sodio Nuevas

Esta alternativa consiste en retirar y bajar las luminarias de mercurio existentes (OV-25, 400 W Hg) y reemplazarlas por luminarias de sodio alta presión de la misma potencia (OV-25, 400 W Na). Obviamente esta opción es la más costosa para la empresa, ya que le significa realizar una fuerte inversión inicial.

6.5.2.2 Luminarias de Sodio Repotenciadas en Fábrica

Esta alternativa consiste en retirar y bajar las luminarias de mercurio existentes para ser llevadas a la fábrica donde serán reacondicionadas y convertidas a sodio de 400 W.

Esta conversión consiste en cambiar todos sus componentes auxiliares de mercurio y sustituirlos por el de sodio; estos elementos son balasto, condensador e ignitor. Económicamente es una inversión menos costosa que la anterior, sin embargo, esta involucra también costos de movilización y transporte de las lámparas a la fabrica donde serán repotenciadas.

6.5.2.3 Reemplazo del Bombillo de Mercurio por Lámparas de Sodio Compatibles (tecnología)

Estas lámparas de sodio son compatibles a las luminarias de mercurio y su encendido es a través de un elemento de arranque que se encuentra en su interior y además, utilizan otros aditivos de gases para su rápida ionización (no necesita ignitor).

Las corrientes de operación y arranque de estos bombillos son similares a las de mercurio, lo cual indica que pueden utilizar los componentes auxiliares de mercurio. Para lograr esta similitud fue necesario reducir su potencia. Cabe destacar que la conversión de estas luminarias con la nueva tecnología es efectiva y además permite un ahorro energético en cada una de ellas del 15% al 37%.

Las luminarias de mercurio a las cuales se repotenciará a sodio reemplazando solamente el bombillo de mercurio por el sodio compatible se muestran en la tabla de la Fig. 6.9.

LUMINARIA	TIPO BOMBILLO COMPATIBLE	FABRICANTE
HU-175	ANALUX 150 Na SILVANIA	OSRAM
HU-250	NHT-220LX IWASAKI	EYE
OV-25 y HRC-400	NHT-360LX IWASAKI SON-H 350	EYE PHILIPS

Fig. 6.9. luminarias de mercurio que pueden ser reemplazadas por sodio

6.5.2.4 Repotenciación a Sodio colocando el Arrancador y Bombillo

Consiste en colocar a la luminaria de mercurio existente un arrancador (ignitor) paralelo al sócate de la lámpara y reemplazar su bombillo de mercurio por sodio convencional, manteniendo o disminuyendo su potencia y aumentando así su nivel de iluminación.

Esta conversión se hace efectiva ya que sus equipos auxiliares (balastos-condensador) pueden soportar las elevadas corrientes que producen las lámparas de vapor de sodio. Todos estos estudios técnicos fueron realizados y comprobados en los talleres de la empresa.

Las luminarias que pueden ser convertidas con esta alternativa se muestran en la tabla de la Fig. 6. 10.a.

LUMINARIA	IGNITOR	BOMBILLO DE SODIO CONVENCIONAL
HU-175	LCR-002	150 W
HU-250 HRC-400	LCR-002	150W 250W
OV-25	LCR-002	400W

Fig. 6.10. Repotenciación de luminarias de mercurio a sodio con ignitor-bombillo

Resumiendo, el ahorro económico (porcentual) producido por las diferentes opciones mencionadas considerando como base la opción del cambio total de luminarias, se resume en el cuadro indicado en la Fig. 6.10.b.

OPCIÓN	Cambio por luminarias nuevas de Na	Repotenciación en fabrica	Reemplazo bombillo de Hg por Na	Repotenciación a Na (arrancador-bombillo)
AHORRO (%)	base	24	77	94

Fig. 6.10.b. Resumen del ahorro económico producido por las diferentes opciones en el cambio de iluminación.

6.6 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA ^{6*}

La contaminación lumínica específicamente, es el resplandor del cielo nocturno causado por la reflexión de luz artificial en la atmósfera. También, la contaminación lumínica incluye el deslumbramiento producido por instalaciones de alumbrado al aire libre y la intrusión de la luz en lugares donde la luz no es necesaria o deseada; este desperdicio de luz resulta cuando la luz está dirigida sobre el horizonte o al cielo.

La contaminación lumínica es una de las lacras heredadas del siglo XX; no sólo impide la contemplación de la belleza del cielo nocturno y el transmitirla a las generaciones futuras (bien cultural de la humanidad), así como la investigación astronómica, sino que significa malgastar energía, contaminar el medio, contribuir al calentamiento global de la Tierra (emisiones de CO₂), dañar el ecosistema nocturno, además de producir deslumbramiento (accidentes) e intrusión lumínica (pérdida de la privacidad y calidad de vida).

6.6.1 EL IMPACTO DE LA LUZ EN EL AMBIENTE

En general, se considera contaminación lumínica a toda luz que sobrepasa la zona que se quiere iluminar, y que no sólo es energía que se pierde inútilmente, sino que además produce efectos negativos, directa o indirectamente, sobre las personas y el medio ambiente.

Por falta de información y una adecuada normativa, se siguen realizando en algunos lugares y ciudades, iluminaciones de forma poco racional y con grave detrimento para el gasto público y privado, además de incrementar gravemente la contaminación lumínica.

^{6*} www.astrogea.org/celfosc/index

El impacto ambiental de la contaminación lumínica no puede eliminarse totalmente, pero sí reducirse notablemente, eliminando el gasto energético innecesario y evitando el despilfarro de dinero y energía que ello conlleva. Esta contaminación es un mal creciente que podemos y debemos evitar.

En las grandes ciudades se ha perdido el hábito de nuestros mayores y navegantes a saber guiarnos a través de las estrellas. Los jóvenes de hoy no conocen nada de una cultura que desaparecerá porque no tenemos una buena calidad de cielo. Hoy en día, es muy difícil encontrar un lugar donde poder observar el cielo.

En concreto, por ejemplo, el halo luminoso que desprende la ciudad de Sevilla llega a observarse incluso a más de 20 kilómetros de la ciudad, haciendo imposible la observación del firmamento en la dirección en la que se sitúa la ciudad (ver Fig. 6.11).

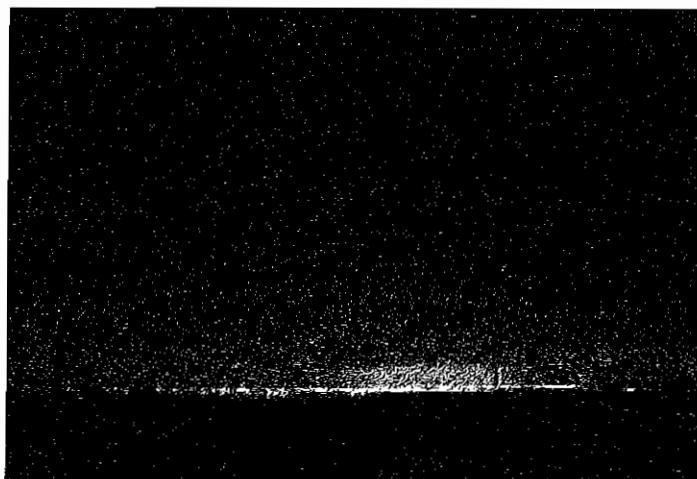


Fig. 6.11. Halo luminoso que desprende la ciudad de Sevilla, España.

6.6.1.1 Causas y Consecuencias:

Las causas de la contaminación lumínica son fundamentalmente el uso de luminarias con un diseño inadecuado, basado más en unos criterios supuestamente estéticos que en la eficiencia en su principal función, que es la de proporcionar una buena iluminación con el mínimo consumo de energía.

Otra causa frecuente que tiene influencia en la contaminación lumínica es el uso incorrecto de ciertos tipos de luminarias que, si se utilizan bien, no tendrían por qué ser contaminantes, por ejemplo: proyectores, focos mal orientados, entre otros.

Las consecuencias de esta contaminación son, entre otras, su influencia en las personas y en la vida de los animales, dado que la luz natural y la luz artificial juegan un papel importante en el equilibrio humano.

Además, hay que citar, con carácter prioritario para la sociedad, el gran derroche de energía y el gasto que supone para los servicios públicos y particulares.

La luz que se desperdicia inútilmente supera con frecuencia el 25% y, en algunos casos, el 50% del consumo total de iluminación (caso de la ciudad de Madrid-España), lo que supone un incremento de las facturas que pagan dichas entidades en concepto de iluminación y que podrían emplearse en mejorar otros servicios públicos.

Uno de los objetivos para paliar esta situación, es solicitar la implantación de leyes que establezcan los niveles de iluminación de las calles, así como los rendimientos de los tipos de luminaria a instalar y la limitación del uso de alumbrado ornamental, regulando la duración y horas de encendido.

La luz innecesaria y mal aplicada es un problema por el derroche energético y el gasto que representa en muchas zonas del mundo, no se trata de estar a oscuras, sino de iluminar de forma racional.

Muchos tipos de luz tienen longitudes de ondas que interfieren con los que provienen de las nebulosas y galaxias. También los ecologistas están preocupadas por la perturbación de animales y plantas, el derroche de energía, y la resultante contaminación ambiental y pérdida de recursos naturales causado por la contaminación luminosa.

Las personas que conocen Canarias saben que las aves nocturnas, incluyendo las Pardelas protegidas, están deslumbradas por las luces y muchas mueren estrellándose contra paredes y edificios.

Otros efectos, como el dolor visual, vandalismo, inseguridad vial, y el deslumbramiento a conductoras de vehículos, afectan a todas las personas.

6.6.1.2 Soluciones

Obviamente, es necesario que los gobiernos, compañías, y la gente remedien este problema. Antes de la Asociación Internacional del Cielo Oscuro que se fundó en 1988, casi nadie sabía de la contaminación luminosa.

Así, la mayoría de los sistemas de alumbrado que existen hoy fueron construidos por gobiernos y compañías con farolas ineficientes, como el tipo globo y el tipo con la lámpara en el medio del farol.

Es preciso que sustituyan lámparas obsoletas (especialmente las de vapor de mercurio) por lámparas de vapor de sodio de baja presión con pantallas reflectoras que reflejan la luz hacia donde se necesita.

Aunque gobiernos y compañías sigan los consejos de la Asociación Internacional del Cielo Oscuro, Greenpeace, y otros partidarios del cielo oscuro, acciones de parte del pueblo son necesarias, también.

Por ejemplo, personas pueden sustituir sus lámparas exteriores y alumbrado de seguridad por lámparas eficientes que se encienda por presencia. La contaminación luminosa terminará solamente cuando todos trabajemos para combatirla.

Todo esto viene a desmentir el tópico de "cuanta más luz mejor" que en los últimos tiempos se viene aplicando en nuestras ciudades y carreteras. La luz ni debe ser poca ni mucha, sino la justa necesaria de acuerdo con la respuesta fisiológica del ojo (ver Fig. 6.12).



Fig. 6.12. Plaza de Barlovento antes y después de la corrección en la iluminación

Aunque en ocasiones nos quieran hacer creer lo contrario, es un error plantear la iluminación de las calles en función de los vatios instalados sin ninguna otra consideración. Lo importante no es el flujo total emitido, sino del que perciben nuestros ojos. Si una parte de la luz incide en los ojos, produce deslumbramiento, y un espacio que en condiciones normales parecería muy iluminado, se verá sombrío.

Del mismo modo, una lámpara puede radiar parte de su flujo lumínico en una radiación invisible para nuestros ojos, por ejemplo en el Ultra Violeta; aunque el consumo eléctrico existe, nuestros ojos no lo perciben y es energía que se malgasta.

6.6.2 TIPOS DE LÁMPARAS ACTUALES

Haciendo una clasificación de los tipos de lámparas podemos distinguir cuatro diferentes:

1. Halogenuros Metálicos.
2. Vapor de Mercurio.
3. Vapor de Sodio a Alta Presión.
4. Vapor de Sodio a Baja Presión.

De los cuatro podemos decir que las más negativas son las de Halogenuros Metálicos y las que producen mejores rendimientos son las de Vapor de Sodio a Baja Presión.

Las lámparas de Vapor de Mercurio producen una luz fría y son las que se usan más comúnmente, su rendimiento es bajo con respecto a las de Vapor de Sodio, siendo de 50 lm/W aunque su vida útil es similar a las otras dos de 12000 horas.

Las lámparas de Halogenuros Metálicos se usan con mucha frecuencia en proyectores, su color resulta también ser frío y su rendimiento es de 75 lm/W, su durabilidad es de 6000 horas.

Las lámparas que tienen mayor aprovechamiento energético son las de Vapor de Sodio, cuyo rendimiento a baja presión de 150 lm/W es muy conveniente para grandes extensiones, sobre todo en carreteras.

Las de vapor de sodio a alta presión presentan un rendimiento satisfactorio de 90 lm/W, pudiendo usarse perfectamente en zonas viales y peatonales, así como en carreteras; aunque su rendimiento es menor que la anterior su reproducción cromática es mejor, la durabilidad de ambas es de 10000 horas y de 12000 horas respectivamente.

Estas pueden ser usadas en diferentes tipos de luminarias; las que se usan más comúnmente son los típicos faroles, las farolas tipo globo o los proyectores simétricos. Estos tipos de luminarias están compuestos de difusores, refractores y reflector. La combinación de estos elementos nos puede proporcionar una correcta iluminación pero en la realidad esto no es así.

Los reflectores se colocan en forma que los rayos luminosos se escapen hacia el cielo donde no nos sirven, se diseñan con formas geométricas que dispersan la luz en todas direcciones cuando sólo hace falta que se dirijan en una dirección.

Los difusores se encargan de difuminar la luz, este elemento debe ser usado correctamente para dirigir también en flujo luminoso hacia abajo. Todo esto va en detrimento del correcto aprovechamiento de las lámparas que estemos utilizando.

6.6.3 BUENA Y MALA ILUMINACIÓN

6.6.3.1 Ejemplos de Buena Iluminación

Una buena iluminación de una calle, se tiene con farolas horizontales y cristales de cierre planos, direccionando toda la luz hacia el suelo (ver Fig. 6.13a y 6.13b.); ninguna objeción, salvo que para que no afecte excesivamente a las especies nocturnas, los puntos de luz no deberían ser muy altos.

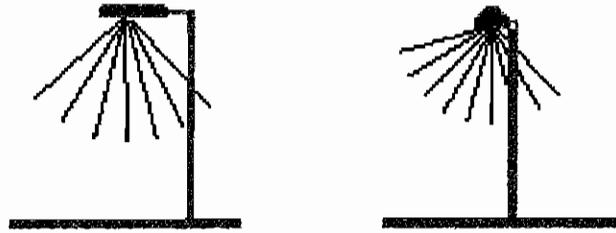


Fig. 6.13.a. Iluminación con farolas horizontales y cristales de cierres planos



Fig. 6.13.b. Iluminación con farolas horizontales y cristales de cierres planos

Entre las características más relevantes de una buena iluminación se tiene:

- Más eficiente por su menor costo.
- Envía la luz para abajo y a los lados, que es donde se necesita.
- Disminuye el encandilamiento; proporciona una iluminación más pareja.
- Disminuye la "invasión de luz" en propiedades vecinas.
- Ayuda a preservar los cielos oscuros.

6.6.3.2 Ejemplos de Mala Iluminación

La Fig. 6.14.a y 6.14.b, constituye un insulto a la inteligencia, atentado ecológico, fuente de accidentes por deslumbramiento de los conductores (atropello de peatones) y despilfarro del dinero de los ciudadanos.

No solo el 50% de la luz se escapa hacia el cielo, sino que el mástil de soporte bloquea la luz más intensa que debería dirigirse al suelo. Al no estar apantallado produce deslumbramiento y la iluminación que realmente se percibe a duras penas equivale al 15% del total radiado. El 85% restante es simplemente energía que se paga, contamina y no se aprovecha.

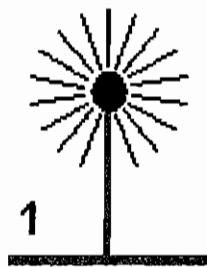
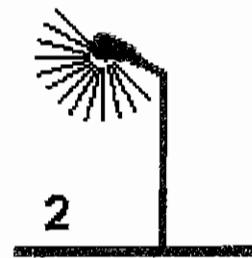


Fig. 6.14.a. 1. Lámpara muy contaminante



2. Lámpara poco contaminante

La Fig.6.14.a muestra una lámpara mucho mejor que el anterior, pero una fracción importante de la luz (30-35%) se escapa hacia el cielo.

Como en el caso anterior produce deslumbramiento y en los casos más favorables el aprovechamiento real de la luz es de un 50% del total. Con un buen apantallado el rendimiento llegaría al 65-70%.

Entre las características más relevantes de una mala iluminación se tiene:

- Derroche de energía hacia el cielo y también derroche de dinero
- Produce encandilamiento, invasión de luz e iluminación débil.
- Problemas para dormir



Fig. 6.14.b Luminaria que produce mucha contaminación luminosa

6.6.3.3 Lo Feo de la Contaminación Lumínica

Lo feo de la contaminación lumínica es que las luminarias iluminan poco, excepto los pechos de los pájaros, provoca Inseguridad ciudadana, produce "pozos" de luz y sombra, esconde a malhechores.

En cuanto a la Seguridad Vial, las lámparas dirigidas hacia calles producen accidentes automovilísticos; y desde el punto de vista estético ocasionan encandilamiento, es decir, no crean un lugar agradable a la vista (ver Fig. 6.15.)

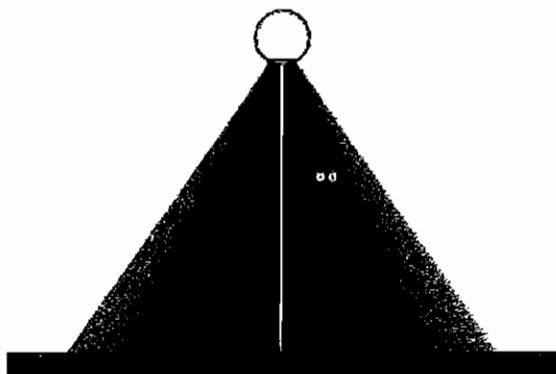
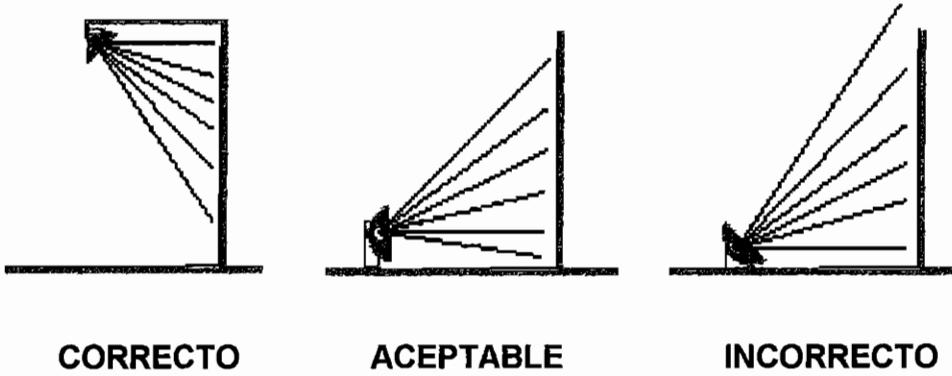
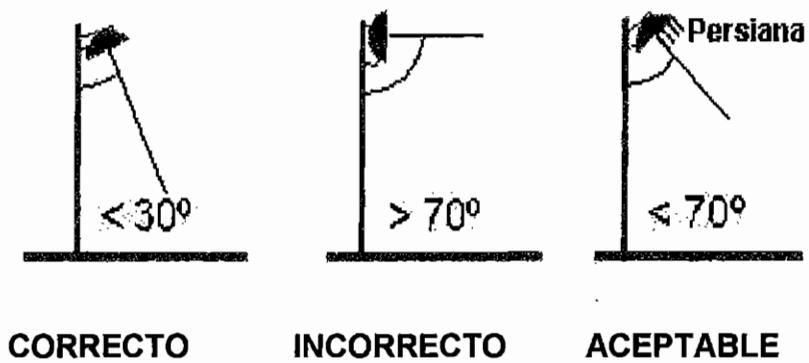


Fig. 6.15 Lo feo de la contaminación lumínica

6.6.4 ILUMINACIÓN DE CARTELES Y MUROS



6.6.5 ILUMINACIÓN DE ESPACIOS ABIERTOS



6.6.6 ILUMINACIÓN DE RECINTOS ABIERTOS



CAPÍTULO 7. DEFINICIÓN DE LA NORMATIVA

7.1 PARÁMETROS INVOLUCRADOS

Los parámetros más relevantes y que deben ser considerados en un proyecto de instalación para Alumbrado Público deben involucrar mínimo los siguientes aspectos:

7.1.1 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE VÍA

La determinación del tipo de vía es indispensable dentro del proceso de una instalación de Alumbrado Público, pues debido a esta, se definen otros parámetros como: índice de reflexión de la calzada, ancho y longitud de la vía, la frecuencia del tráfico vehicular, entre otros. De acuerdo a la Norma CIE, las vías se clasifican como se presenta en la Fig. 7.1.

CATEGORÍA DE LA VÍA		TIPO Y DENSIDAD DE TRÁFICO	TIPO DE VÍA	EJEMPLOS
TRÁFICO AUTOMOTOR	A	Tráfico automotor pesado y de alta velocidad	Vías completamente libres de cruces a nivel y acceso controlados	Autopistas y Vías Rápidas
	B	Tráfico automotor pesado de alta velocidad	Vías con carriles laterales demarcados para tráfico lento	Carretera Interurbana y Avenidas
	C	Tráfico automotor pesado y de velocidad moderada	Vías importantes para todos los propósitos: rural o urbana	Carretera de Circunvalación
TRÁFICO MIXTO	D	Tráfico mixto mediano, con mayor proporción de tráfico lento o peatones	Calles urbanas o comerciales	Calles Comerciales o Urbanas
	E	Tráfico mixto con límite de velocidad y densidad moderada	Vías que unen áreas residenciales con vías principales	Colectores, calzadas que unen vías principales con áreas residenciales

Fig. 7.1 Clasificación de las Vías de acuerdo a la CIE.

La CIE también hace una clasificación de la Iluminación considerando la Velocidad de Circulación y el Tráfico de Automotores y Peatones, esta clasificación se indica en la Fig. 7.2.

CLASE DE ILUMINACIÓN	CRITERIO	MUY IMPORTANTE	IMPORTANTE	MEDIA	REDUCIDA	MUY REDUCIDA
I	Velocidad de Circulación	X	X			
	Tráfico Automotor	X	X			
	Tráfico de Peatones					X
	Color					X
II	Velocidad de Circulación			X		
	Tráfico Automotor	X	X			
	Tráfico de Peatones	X	X	X		
	Color		X			
III	Velocidad de Circulación			X	X	
	Tráfico Automotor			X	X	
	Tráfico de Peatones			X	X	
	Color		X	X		
IV	Velocidad de Circulación		X	X		
	Tráfico Automotor				X	X
	Tráfico de Peatones				X	
	Color				X	X
V	Velocidad de Circulación					X
	Tráfico Automotor					X
	Tráfico de Peatones		X	X		
	Color		X			

CRITERIOS ADMITIDOS	VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN (km/h)	TRÁFICO DE AUTOMOTORES (vehículos/hora)
MUY IMPORTANTE	$V > 90$	$T > 1000$
IMPORTANTE	$60 < V < 90$	$500 < T < 1000$
MEDIA	$30 < V < 60$	$250 < T < 500$
REDUCIDA	$V < 30$	$100 < T < 250$
MUY REDUCIDA	Al paso	$T < 100$

Fig. 7.2. Clasificación de la Iluminación de acuerdo a la velocidad de circulación, y tráfico de automotores y personas

En el país, el Ministerio de Obras Públicas MOP y específicamente su Departamento de Planificación, clasifica las vías como se indica en la Fig. 7.3.

Clases de Caminos o Vías	
Código	Clase
1	Caminos Primarios
2	Caminos Secundarios
3	Caminos Terciarios
4	Caminos Vecinales
5	Calles Urbanas o Locales

Fig. 7.3. Clasificación de las Vías según el MOP

Los Caminos Primarios son aquellos que unen las cabeceras provinciales; los caminos que unen las cabeceras cantonales son los Caminos Secundarios; los Caminos Terciarios unen a las parroquias y caseríos, los Caminos Vecinales comunican a zonas de producción agrícola; y las Calles Urbanas y Locales corresponden a las calzadas que comunican a los barrios.

Los tipos de superficie de rodadura y la respectiva evaluación de la superficie de las vías se presentan en la Fig. 7.4. y Fig. 7.5. respectivamente.

Tipos de Superficie de Rodadura de la Vía	
Código	Características
1	Hormigón
2	Carpeta Asfáltica $\geq 8\text{cm}$
3	Carpeta Asfáltica $< 8\text{cm}$
4	Tratamiento Bituminoso doble o triple
5	Tratamiento Bituminoso simple
6	Base
7	Sub-base o Empedrado
8	Tierra mejorada
9	Tierra simple

Fig. 7.4. Tipos de superficie de rodadura según el MOP.

Evaluación Superficie:	
Código	Características
1	Muy deteriorada o Irregular
2	Muy Irregular. Baches extensos y Frecuentes
3	Baches frecuentes, Irregularidades impiden conducir apropiadamente
4	Generalmente lisa, algunas irregularidades
5	Completamente lisa sin irregularidades

Fig. 7.5. Evaluación de la superficie de las vías según el MOP.

El Ministerio de Obras Públicas presenta también una evaluación subjetiva de rugosidad de los caminos pavimentados y se indica en la Fig. 7.6.

Evaluación	Características de las Vías Pavimentadas
0 - 2	-----
2 - 4	Manejo cómodo a 120 km/h, no se sienten ondulaciones ni depresiones, no hay baches, asfalto de alta calidad
6	Manejo cómodo a 100 km/h, superficie defectuosa: 1-2 baches cada 50 m, ligeras corrugaciones o largas ondulaciones
8	Viaje cómodo a 70km/h, depresiones considerables con 3 baches cada 50 m, superficie sin defectos, ondulaciones severas o corrugaciones
10	Viaje cómodo a 50 km/h, defectos severos de la superficie, 5 baches cada 50 m.
12	Velocidad menor a 50 km/h, muchos baches y depresiones, 12 baches cada 50 m.

Fig. 7.6. Evaluación subjetiva de rugosidad de vías pavimentadas

El Distrito Metropolitano de Quito considera iguales a todas las vías; sin embargo, su Departamento de Planificación utiliza un cuadro de especificaciones mínimas de vías, publicado en el Registro Oficial No. 310, del Martes 5 de Mayo de 1998 y que se expone en la Fig. 7.7.

Tipo	Número carriles por sentido	Dimensión Acera (m)	Longitud Máxima (m)	Ancho Mínimo (m)
Expresa	3 y 4	4	-----	39,5 y 46,8
Arterial	2 y 3	4	-----	26,6 y 33,9
Colectora A	2	2,5	-----	22
Colectora B	2	2,4	-----	20
Colectora C	2	2,0	-----	18
Local A**	2	2,0	400	16
Local B	1	2,0	300	14
Local C*	1	1,8	200	13
Local D	1	1,8	200	12
Local E*	1	1,5	200	11
Local F	1	1,5	100	10
Local G*	----	1,5	100	9
Local H	----	1,2	100	8
Peatonal A	----	2 de 1,5	90	6
Peatonal B	----	-----	50	3
Escalinatas	----	-----	-----	2
Ciclovía	----	-----	-----	2

* Solo para vías existentes

** Para vías de mayor longitud, su ancho y características lo determina la Dirección de Planificación

Fig. 7.7. Especificaciones mínimas de vías en el Distrito Metropolitano de Quito

Analizando toda la información descrita anteriormente y la proporcionada por el Ministerio de Obras Públicas (ver Anexos 7.1. al 7.3), se concluye que las vías que dispone y conserva el país, se encuentran dentro de los parámetros internacionales, respetando las clasificaciones estandarizadas.

Debido a la realidad social y económica del país, que difiere en muchísimo de la situación de países desarrollados, no se disponen de vías de primer orden; razón por la que dentro de la clasificación estandarizada internacional, las vías de primera clase que el país dispone corresponden a la segunda clase de esta clasificación internacional; así lo demuestran los gráficos y cuadros presentados en los Anexos 7.1 a 7.3, mismos que permiten fortalecer la idea antes mencionada.

7.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

Determinar la disposición, intervalo de localización y la relación entre distancia-altura de las luminarias de acuerdo a la situación del sitio en el que se encuentra la vía a ser iluminada; conlleva a considerar otros aspectos como:

- Diseño de la vía, es decir, ruta, cambio de dirección, cordones divisorios, accesos, cruces, rampas, colectores, señalización y demás aspectos referenciados en el capítulo 5.
- Seguridad, importantísimo para el caso de vías de alta velocidad, así como también en vías peatonales.
- Interferencia de otros servicios públicos, este aspecto puede influir con el diseño óptimo de la iluminación.
- Disponibilidad de espacio, también influye directamente en el diseño de la iluminación de la vía, por tal razón se debe realizar un reconocimiento previo de la zona a iluminar.
- Arborización, la presencia de árboles pueda afectar aunque en menor grado el proyecto de iluminación, aunque también ayuda con la estética de la vía y la conservación del medio ambiente; obviamente se recomendaría arborizar la vía con especies de mediana altura que no interfieran con el proyecto.
- Estética, es un aspecto que se referencia directamente con la inversión económica, a mayor grado estético mayor inversión económica.

La definición de las características de la vía tiene íntima relación con el costo de la inversión del proyecto de iluminación ya que está relacionada directamente con:

- Número de postes, importante para definir el nivel lumínico de la vía.
- Dimensiones y características de los postes y soportes, generalmente se deben utilizar aquellos postes cuyas dimensiones sean normalizadas.
- Las facilidades de operación y mantenimiento de las luminarias, ya que el mantenimiento de luminarias en postes de elevada altura (superior a 12 m) requiere de equipo especial.

- Potencia de la lámpara, aquellas de mayor potencia proporcionan un mejor nivel de iluminación (ver capítulos 3 y 5).
- Gastos de poda de árboles, en aquellos casos que involucren árboles de estaturas considerables y que de una u otra forma afecten el normal funcionamiento del servicio eléctrico.
- La modificación de instalaciones de servicios públicos ya existentes.
- Costo de las redes eléctricas nuevas que hayan que implementarse para abastecer de energía a estos proyectos.

Definidos los items anteriormente indicados referentes a la determinación y características del tipo de vía, se puede realizar una aproximación al diseño lumínico; para ello la CIE presenta los niveles de iluminación recomendados que dependen de las normativas que se encuentren en vigencia en cada país.

Según esta recomendación, las vías se dividen en cinco tipos de acuerdo con las características del tráfico y de sus alrededores; estas recomendaciones se muestran en la Fig. 7.8.

Los valores indicados en la Fig.7.8. son luminancias, no iluminancias, pues recordemos que son estas las responsables de provocar la sensación de visión.

Tipo de vía	Entorno	Categoría	Luminancia media Lm (cd/m ²)	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento	
				Global U ₀	Longitudinal UL	Molesto G	Perturbado TI
A	Cualquiera	A	≥ 2	≥ 0.4	≥ 0.7	≥ 6	≤ 10 %
B	Claro	B1	≥ 2			≥ 5	
	Oscuro	B2	≥ 1			≥ 6	
C	Claro	C1	≥ 2		≥ 0.5	≥ 5	≤ 10 %
	Oscuro	C2	≥ 1			≥ 6	≤ 10 %
D	Claro	D	≥ 2		≥ 4	≤ 20 %	
E	Claro	E1	≥ 1	≥ 4			
	Oscuro	E2	≥ 0,5	≥ 5			

Fig. 7.8. Valores recomendados de los parámetros del alumbrado de calzadas según CIE.

A partir de 1995, se revisaron las recomendaciones para los diseños de iluminación por parte de los organismos internacionales involucrados en la temática, y específicamente la CIE ha establecido unas nuevas recomendaciones más acordes con las últimas investigaciones sobre el tema del alumbrado de vías.

Estas últimas recomendaciones se presentan en la Fig. 7.9.

Tipo de Vía	Iluminancia media Em (luxes)	Luminancia media Lm (cd/m ²)	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento TI (%)	Alrededores SR
			Global U ₀	Perturbador U _L		
A	30 - 50	≥ 2.00	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
B	15 - 25	≥ 1.50		≥ 0.5		
C	30 - 50	≥ 1.00		-----	≤ 15	---
D	15 - 25	≥ 0.75		-----		
E	7 - 15	≥ 0.50				

Fig. 7.9. Valores nuevos recomendados por la CIE (1995)

Además de estas recomendaciones que se aplican en los tramos normales de las vías hay que considerar que en las zonas conflictivas (cruces, intersecciones, estrechamiento de la vía o del número de carriles, zonas con circulación de peatones o vehículos lentos que dificulten la circulación, rotondas, pasos a nivel, rampas, entre otras) suele ser necesario un incremento de los requerimientos luminosos.

Si se trabaja con luminancias se debe aumentar en una unidad la categoría de la vía de valor de Mx más alta que converja en la zona; cuando sea del tipo M1 a dicha zona también se aplicará este criterio.

En distancias cortas, menos de 60 m, no se pueden aplicar los métodos de cálculos de las luminancias y se utiliza el criterio de las iluminancias; el número de la categoría de la zona de conflicto Cx no será menor que el de la vía de mayor categoría Mx que confluya en la zona, este criterio se muestra en la Fig. 7.10.

Categoría	Nivel medio iluminancia E_m (lux)	Coficiente global uniformidad U_0
C0	≥ 50	≥ 0.4
C1	≥ 30	
C2	≥ 20	
C3	≥ 15	
C4	≥ 10	
C5	$\geq 7,5$	

Fig. 7.10. Criterio de Iluminancias

La CIE establece la disposición de construcción como aproximación al diseño lumínico que será determinado finalmente por la uniformidad de luminancia, estas sugerencias se indican en la Fig. 7.11, y en el capítulo 5 se realiza un análisis más minucioso sobre el tema.

Tipo de Iluminación	Altura (m)	Interdistancia D/H	Características de la vía	Disposición de las luminarias
I	10 - 12,5 ≥ 16	2,5 - 3 2,5 - 3	Dos vías de circulación Tres vías de circulación o más	Unilateral Unilateral
II	8 - 10 - 12,5	3 - 4	Tres vías de circulación Cuatro vías de circulación	Bilateral Alternada Bilateral Opuesta
III	8 - 10 - 12,5	3 - 4	Ancho vía $\leq H$ $H \leq$ Ancho vía $\leq 1,5 H$ Ancho vía $\geq 1,5 H$	Unilateral Bilateral Alternada Bilateral Opuesta
IV	8 - 10	3 - 5	Ruta secundaria	Unilateral
V	3,1 - 6,3	4,5	Ancho vía ≤ 6 m Ancho vía > 6 m	Unilateral Bilateral Alternada y opuesta

Fig. 7.11. Tipo de iluminación considerando altura, distancia de separación entre postes y características de la vía, según CIE.

7.1.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS BÁSICOS DE LA VÍA

Se trata de definir los valores de los parámetros luminotécnicos adecuados al caso de estudio concreto (capítulo 5); usualmente estos valores se puntualizan mediante tablas que relacionan los requisitos luminotécnicos con una clasificación de zonas establecida en función del tipo de vía de que se trate.

Los parámetros a definir son entre otros: Luminancia media, Iluminación media, Uniformidad, Control de deslumbramiento; en todo caso el proyectista deberá determinar los valores más adecuados para su caso concreto; para ello puede ayudarse de las tablas presentadas en la Fig. 7.1, 7.2, 7.10 y 7.11.

De todas formas es aconsejable que el Proyectista se cerciore de que si el estudio que realiza no está afectando a una normativa en particular sean ordenanzas, planificación, entre otras, en cuanto a niveles de iluminación. Obviamente es muy importantísimo también registrar en esta fase del proceso del proyecto, aquellos aspectos señalados en el ítem 7.1.2.

7.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

La selección de los materiales tiene que ver con la elección de los tipos básicos de lámparas, postes o soportes y luminaria a utilizar en el proyecto de iluminación; esta elección no tiene por que ser única, pudiendo en esta fase plantearse distintas alternativas y compararse entre sí.

7.2.1 LÁMPARAS

Para la elección de la lámpara es importante considerar aspectos como: espectro luminosos, eficiencia luminosa y análisis económico.

7.2.1.1 Espectro Luminoso

Su influencia está comprendida por la distribución de energía lumínica en dos aspectos:

- a. La relación entre la energía radiante visible y la reproducción exacta de colores que se logra con distribución continua, es decir, equivalente en las cinco longitudes de onda, en su orden: lámparas fluorescentes tubulares, mercurio halógeno, mercurio alta presión, sodio alta presión y sodio de baja presión (más distorsionante).
- b. La visibilidad obtenida, que es medida por la cantidad de energía emitida en la zona amarilla, que es la zona de la región del espectro correspondiente a la longitud de onda en que más se adapta la visibilidad del ojo humano.

Este aspecto se refiere a la diferencia que existe entre el sodio baja presión y los otros tipos de luz. Experimentalmente se ha comprobado que con el sodio baja presión se obtiene una velocidad mayor de percepción, un tiempo menor de recuperación en caso de deslumbramiento y mayor agudeza visual; con otros tipos de luz, la luminancia de la superficie de la vía tiene que ser aproximadamente 1,5 veces mayor para permitir el mismo grado de distancia visual, con lo que la razón económica es entendida.

7.2.1.2 Eficiencia Luminosa

El rendimiento (lúmenes/Watio) de la lámpara, tiene una influencia dominante sobre el consumo de energía y por ende sobre los consecuentes costos de operación de toda instalación; este rendimiento depende fundamentalmente del tipo de balasto que la regule y opere la lámpara tal como se analizó en el capítulo 3.

7.2.1.3 Análisis Económico

Para el caso de la selección de las lámparas solo se considera su tiempo de vida útil. Otra diferencia entre los diferentes tipos de lámparas es su costo: sodio de baja presión y sodio de alta presión son más costosas que las de mercurio alta presión.

En general, para una primera fase, la selección de la lámpara se basará en las posibles exigencias en cuanto a calidad en la reproducción del color; en caso de no existir tales exigencias, o de admitir más de un tipo de lámpara, el criterio se fundamentará en la economía global, es decir, en la eficacia energética, vida útil, costo de adquisición, entre otras.

En el Anexo 3.1. se presenta una clasificación de las lámparas más utilizadas para Alumbrado Público.

De acuerdo a la información proporcionada por el Departamento de Alumbrado Público de la Empresa Eléctrica Quito S.A, a Diciembre del 2001, tiene instaladas para el Alumbrado Público, las lámparas enunciadas en la Fig. 7.12.

Tipo	Potencia (W)	Rendimiento Luminoso (lúmenes/W)	Vida Media Útil (horas)	Flujo Luminoso (lúmenes)	Ancho vía (m)	Tipo de Vía (nomenclatura)
Vapor de Mercurio	125	50 - 60	24000	8000	≤ 8	D
	175			9000	≤ 9	C
	250			13000	≥ 10	B
	400			22000	≥ 12	A
Vapor de sodio alta presión	70	100 - 120	18000	6500	≤ 8	D
	150		24000	14500	≤ 9	C
	250		24000	27000	≥ 10	B
	400		24000	48000	≥ 12	A

Fig. 7.12. Características principales de las lámparas utilizadas en Alumbrado Público por EEQSA.

7.2.2 LUMINARIAS

Las luminarias deben cumplir con requerimientos de la Norma CIE y las especificaciones particulares deseadas; las características tanto mecánicas como eléctricas son el factor primordial en la vida útil de la luminaria y la combinación del grado de control de la luz con su distribución son la única forma de ahorrar costos y minimizar el consumo de energía.

La clasificación CIE establece características lumínicas de las luminarias que son: el alcance, la dispersión y el control, mismas que fueron tratadas en el capítulo 4.

En algunas circunstancias, el tipo de luminaria vendrá determinado por la elección del soporte de la luminaria, es decir, puede ser: Oval, que es utilizada en báculos y brazos sobre la fachada; Adaptación a columna; Jardín, utilizable en candelabros.

Las características de la zona a ser iluminada determina la elección de la distribución fotométrica, el grado de control del deslumbramiento, la solidez constructiva, la facilidad de mantenimiento, la estética, entre otras.

La Empresa Eléctrica Quito en cuanto a las luminarias dispone que deben ser del tipo horizontal, abiertas o cerradas, especialmente diseñadas para alumbrado vial y aptas para utilizarse en las condiciones ambientales siguientes: Instalación a la intemperie; Altura sobre el nivel del mar de 3000 m; Exposición a la lluvia, contaminación atmosférica alta, polvo e insectos; Humedad relativa máxima del 95 %; Temperatura ambiente entre 5 °C y 35 °C; Velocidad de viento 80 km/h y Contaminación.

7.3 DETERMINACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN

La elección de la implantación adecuada en cada caso se basa en los siguientes criterios:

- Posibilidad física de la implantación
- Altura de los postes

7.3.1 POSIBILIDAD FÍSICA DE IMPLANTACIÓN

La existencia de obstáculos, instalaciones distintas al de Alumbrado Público (agua, teléfonos, alcantarillado, otros) pueden impedir la instalación de los soportes de Alumbrado Público en determinadas zonas.

En otros casos, sin existir impedimento físico, la ocupación de una zona de la acera para el Alumbrado Público puede traducirse en inconvenientes para la comodidad de uso y estética, desaconsejando su implantación.

La implantación o disposición del Alumbrado Público en una calzada puede adoptar las modalidades ya indicadas en el capítulo 5.

7.3.2 ALTURA DE LOS POSTES

La altura posible de los soportes o postes puede estar delimitada por:

- Accesibilidad para el mantenimiento
- Existencia de redes eléctricas u otros obstáculos
- Configuración urbanística
- Estética de la vía

7.4 PREDIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN

Se trata de dimensionar las características más relevantes de la implantación, es decir, dimensionar la altura de los postes, la potencia de la lámpara y la distancia de separación entre postes.

7.4.1 ALTURA DE LOS POSTES

Como se señaló anteriormente, la altura de los postes esta relacionada con el ancho de la calzada y el tipo de implantación, criterios analizados en el capítulo 5; y resumidos en la Fig. 7.11, en la que se considera a w como el ancho de la calzada y H como la altura a la que se encuentra ubicada la luminaria con respecto al suelo.

En la Fig. 7.13 se presenta una guía para la selección del tipo y potencia de lámpara en función de la anchura de la calle y el nivel de iluminación deseado; estas recomendaciones son formuladas por la CIE.

NIVEL DE ILUMINACIÓN (lux)	ANCHO (w) DE LA CALZADA (m)							
	5 - 10		10 - 15		15 - 20		> 20	
	P (W)	T. L	P (W)	T.L	P (W)	T. L	P (W)	T. L
7 - 15	80 - 125	v.m	250	v.m	400	v.m	700	v.m
	70 - 100	v.s.a.p	100 - 150	v.s.a.p	250	v.s.a.p	400	v.s.a.p
					36 / 55	v.s.b.p	65 / 90	v.s.b.p
15 - 25	125 - 250	v.m	250 - 400	v.m	400 - 700	v.m	700-1000	v.m
	100 - 150	v.s.a.p	150 - 250	v.s.a.p	250 - 400	v.s.a.p	400	v.s.a.p
					65 / 90	v.s.b.p	91 / 135	v.s.b.p
30 - 50	250 - 400	v.m	400 - 700	v.m	700 - 1000	v.m	1000	v.m
	150 - 250	v.s.a.p	250 - 400	v.s.a.p	400	v.s.a.p	400	v.s.a.p
			65 / 90	v.s.b.p	91 / 135	v.s.b.p	131 / 180	v.s.b.p

P (W) : Potencia de la lámpara en Watios

T.L : Tipo de Lámpara

v.m. : Vapor de mercurio

v.s.a.p. : Vapor de sodio alta presión

v.s.b.p. : Vapor de sodio baja presión

Fig. 7.13. Tipo y potencia de la lámpara en función del ancho de calle (w) y nivel de iluminación (luxes) deseado.

La Empresa Eléctrica Quito S.A., en lo referente a los postes, utiliza dimensiones estandarizadas, mismas que se ilustran en la Fig. 7.14.

Altura del Poste H (m)	Saliente p (m)	Empotramiento E (m)	Altura fijación Luminaria D (m)
9,0	0,5	1,4	7,15
10,0	0,5	1,5	8,05
11,5	0,5	1,65	7,4
12,5	0,5	1,75	8,3

Fig. 7.14. Dimensiones de los postes normalizados utilizados por EEQSA.

7.4.2 POTENCIA DE LA LÁMPARA

La potencia máxima de la lámpara a utilizar en el proyecto de iluminación viene condicionada por la altura de la disposición seleccionada, ya que, cuando mayor sea el flujo emitido por la lámpara, mayor será la altura necesaria para evitar el riesgo de deslumbramiento (ver capítulo 5).

Una primera orientación para seleccionar la potencia de la lámpara a utilizar en los tanteos previos se presenta en la Fig. 7.11. y 7.15.

Altura H del punto de luz (m)	Flujo de la lámpara (lúmenes)
$H < 7,5$	< 15000
$7,5 \leq H \leq 9$	15000 a 20000
$9 \leq H \leq 12$	20000 a 40000
$H > 12$	> 40000

Fig. 7.15. Flujo luminoso de la lámpara en función de la altura del punto de luz

La elección deberá recaer para el tipo determinado de lámpara seleccionada, sea ésta vapor de mercurio, sodio alta o baja presión, en la potencia cuyo flujo se aproxime, sin superarlo al máximo admitido para la altura de implantación.

7.4.3 CÁLCULO DE LA INTERDISTANCIA

Para el cálculo de la separación (s) de las luminarias se utilizará la ecuación (6.12) indicada en el capítulo 6, que relaciona el flujo luminoso de la luminaria (Φ_L), el ancho de la calzada (w), el número de lámparas por luminaria (n), el factor de utilización (η) y el nivel medio de iluminación (E_{med}) deseado.

$$E_{med} = \frac{\eta \cdot \phi_L \cdot n}{w \cdot s} \quad (6.12)$$

7.4.4 COMPROBACIÓN DE LA UNIFORMIDAD CORRECTA

La comprobación de la uniformidad tiene por objeto evaluar los parámetros de altura (H) y distancia entre luminarias (s) establecidos en el ítem anterior, para ello se establece la siguiente relación:

$$2,5 \leq \frac{s}{H} \leq 3,5 \quad (7.1)$$

Si se cumple esta relación significa que la uniformidad de iluminación está dentro de los límites correctos.

Si como resultado de esta relación resulta un valor superior a 3,5 el riesgo de que la uniformidad de iluminación sea insuficiente es elevado; para solucionar este problema se puede realizar dos cosas:

- Aumentar la altura sin variar la potencia de la lámpara
- Disminuir la potencia de la lámpara sin variar la altura

En el caso de que la relación (7.1) proporcione un valor inferior a 2,5 muy posiblemente se obtendrá una uniformidad de iluminación superior a la recomendada, para solucionar esta situación se puede realizar:

- Aumentar la potencia de la lámpara, aunque normalmente la altura disponible impedirá esta solución.
- Disminuir la altura de los puntos de luz, es decir, la altura (H) a la que se encuentran ubicadas las luminarias respecto del suelo, siempre y cuando si la potencia de la lámpara y el tipo de implantación lo permitan.

De todas formas, si el valor de la relación (6.1) no se aparta notablemente de los límites señalados, es mejor efectuar una comprobación detallada mediante el cálculo antes de proceder a efectuar rectificaciones del planeamiento, ya que las características específicas de distribución fotométrica de la luminaria utilizada pueden determinar otros resultados.

7.5 DESARROLLO DEL PROYECTO

A partir de la solución definida y predimensionada a través de los pasos descritos anteriormente, se procede al Desarrollo del Proyecto de Iluminación, siguiendo las sugerencias siguientes:

7.5.1 CÁLCULO FOTOMÉTRICO

El cálculo fotométrico permite definir con más precisión el dimensionamiento de las soluciones, asegurar que los resultados correspondan a las exigencias de visibilidad planteadas, y fijar estos resultados requeribles y comprobables en la ejecución final de la obra.

El Cálculo Fotométrico se describe en el capítulo 6, la elección del método adecuado dependerá del tipo de alumbrado y de las específicas exigencias de exactitud del proyecto a desarrollarse.

La Empresa Eléctrica Quito, en lo referente a los Cálculos Fotométricos puntualiza que:

Con el objeto de permitir efectuar una evaluación de las luminarias de tal forma que se puedan identificar aquellas que ofrezcan mejores condiciones luminotécnicas y en consecuencia una mayor eficiencia, se exigirá al proponente presentar con su propuesta los cálculos correspondientes sobre los modelos y bajo los parámetros indicados para cada uno de los tipos de luminarias ofrecidas. Estos cálculos deben ser realizados de acuerdo con la metodología descrita en la norma CIE 30 o su equivalente IES.

Estas memorias de cálculos deben contener toda la información detallada de los parámetros establecidos para el cálculo de: niveles de iluminación, luminancia, uniformidad, control del deslumbramiento e incremento de umbral; integrando los resultados de la siguiente manera:

- Una cuadrícula o campo de cálculo compuesto por 10 puntos en el sentido longitudinal de la vía y 3 puntos por cada carril en sentido transversal para el caso de interdistancias inferiores a 50 m.
- Para interdistancias mayores a 50 m, la distancia entre puntos en sentido longitudinal deberá ser mayor de 5 m y para 3 puntos por cada carril en sentido transversal.

Adicionalmente a las memorias, se debe incluir el ensayo fotométrico y la matriz de intensidades en candelas por cada 1000 lúmenes, presentados en formato CIE o IES.

Los parámetros de diseño o información técnica que se indican a continuación, se deben utilizar de manera general para cada uno de los modelos:

- a. Flujo Luminoso, que serán los indicados en la Fig. 7.12.

7.5.3 ASPECTOS NO FOTOMÉTRICOS

Otros aspectos apartados del Proyecto de índole no fotométrico pero si relacionados con ella e importantes para garantizar sus buenos resultados son:

7.5.3.1 Cálculos Eléctricos y Mecánicos

Son importantes para garantizar la seguridad de la instalación, y desde el punto de vista fotométrico, unas características de alimentación eléctrica que permiten el funcionamiento correcto de los equipos.

Hay que considerar las posibles caídas de voltaje que pudieran presentarse en la red de alimentación de la luminaria y verificar si el mismo se encuentra dentro del rango de operación normal; caso contrario se debe realizar los correctivos aplicables al caso.

En el caso de la Empresa Eléctrica Quito, dispone de los siguientes niveles de tensión de alimentación para iluminación vial:

210 voltios línea - línea a partir de un sistema trifásico

240 voltios línea - línea a partir de un sistema monofásico.

7.5.3.2 Presupuesto

El presupuesto debe incluir un estudio económico de los costos de mantenimiento y consumo de energía de la instalación; así como también el tiempo en el que se recupere la inversión realizada en el Proyecto.

7.5.3.3 Planos

Se refiere a los planos del conjunto de la obra, sean estos planos civiles así como eléctricos y de sus detalles respectivos en el caso que sean meritorios.

7.5.3.4 Pliego de Condiciones

En el pliego de condiciones se definen las características de los materiales a utilizar y las obras a ejecutar, de tal forma que correspondan a los previstos por el Proyectista, y por lo tanto, garanticen la calidad de la iluminación resultante.

7.6 NORMATIVA OBTENIDA

Para la determinación y definición de la normativa aplicable a las condiciones socio económicas del país, se estableció como fundamentos principales, lo siguiente:

- Información presentada en el cuadro de la Fig. 7.9, que son recomendaciones dadas por la CIE actualizadas en cuanto a los parámetros netamente técnicos.
- Información proporcionada por el Ministerio de Obras Públicas MOP, el Municipio de Quito, Empresa Eléctrica Quito, entre otros, y que ha sido consolidada en las figuras indicadas en los Anexos del capítulo 7.
- Para definir los diferentes parámetros como altura de postes, anchos de vías, distancias entre postes, entre otros, se ha recurrido a un programa simulador para Alumbrado Público denominado CALCULUX; es sobre la base de este software que se ha determinado los parámetros bajo las diferentes condiciones de diseño. Mediante la aplicación de dicho programa, se han procesado 91 casos, de los cuales se han seleccionado dos ejemplos que se incluyen en el Anexo 7.4.

- Se ha considerado específicamente la información técnica proporcionada por la Empresa Eléctrica Quito S.A, por ser la empresa más representativa de la región de la Sierra y del país (ver Anexos 7.1, 7.2 y 7.3).

Partiendo de estas justificaciones, se ha estimado para las simulaciones, la altura de postes normalizados que utiliza la Empresa Eléctrica Quito y que se indican en la Fig. 7.14.

La información presentada en el Anexo 7.3 permite visualizar claramente el tipo de superficie de las calzadas que predominan en el país; a saber, predomina el tipo de calzada 7 (ver Fig. 7.4.), tratándose de una vía empedrada o con un sub-base mínima de asfalto y cuya evaluación de la superficie es 3 (ver Fig. 7.5), es decir, es una vía con baches frecuentes. El siguiente tipo de superficie de la calzada representativo es el 9, que corresponde a superficies de tierra simple; y siguiendo el orden de representación, le corresponde al tipo 8, que hace referencia a superficies de tierra pero mejorada.

Las superficies de las calzadas que poseen carpeta asfáltica corresponden a los tipos 2 y 3 (ver Fig. 7.4), solamente existen en las regiones de la Sierra y Costa en forma significativa como se señala en el gráfico del Anexo 7.3.

Todas estas situaciones permiten concluir que la mejor vía del país le corresponde a la segunda categoría de la clasificación internacional como se manifestó anteriormente. Esta justificación permite realizar las simulaciones considerando un tipo de superficie RIII de la clasificación proporcionada por la CIE (ver Fig. 5.28, 5.29 y 5.30).

Las simulaciones aplicadas a los diversos casos de diseño, con la utilización de las diferentes lámparas han permitido definir la **NORMATIVA** que se presentan en las tablas indicadas en la Fig. 7.16 y 7.17, cuya utilización se recomienda para los proyectos de Alumbrado Público a cargo de las Empresas Eléctricas de Distribución del país.

FIG. 7.16 NORMATIVA PARA LÁMPARAS DE MERCURIO

Categoría Vía	Características	Ejemplo	Iluminación Media (luxes)	Luminancia Media (cd/m ²)	Potencia (w)	Flujo Luminoso (lum)	Saliente (m)	Angulo (°)	Altura de Luminaria (m)	Ancho Vía (m)	Disposición Luminarias	Distancia entre postes (m)
II	Dos vías Tres vías	Autopistas y Carreteras importantes	30-50	1,5	400	22000	0,5	0-20	12	18	Bilateral Opuesta	≤ 25
											Unilateral	≤ 12
											Bilateral	≤ 19
											Alternas	≤ 12
											Unilateral	≤ 27
											Bilateral	≤ 21
											Opuesta	≤ 13
											Central	≤ 15
											Bilateral	≤ 31
											Alternas	≤ 24
III	Dos o Tres Vías	Calles Principales	30-50	1	250	13000	0,5	0-20	12	15	Unilateral	≤ 14,5
											Bilateral	≤ 25
											Opuesta	≤ 19
											Central	≤ 12
											Bilateral	≤ 19
											Opuesta	≤ 12
											Central	≤ 18
											Bilateral	≤ 12
											Alternas	≤ 18
											Opuesta	≤ 12
IV	Dos vías	Calles Secundarias con tráfico importante	15-25	0,75	175	9000	0,5	0-20	10	15	Bilateral	≤ 12
											Opuesta	≤ 9
											Central	≤ 14
											Bilateral	≤ 13
											Opuesta	≤ 9
											Central	≤ 10
											Bilateral	≤ 18
											Opuesta	≤ 20
											Central	≤ 18
											Bilateral	≤ 18
Opuesta	≤ 20											

FIG. 7.16 NORMATIVA PARA LÁMPARAS DE MERCURIO

Categoría Vía	Características	Ejemplo	Iluminación Media (luxes)	Luminancia Media (cd/m ²)	Potencia (w)	Flujo Luminoso (lum)	Saliente (m)	Angulo (°)	Altura de Luminaria (m)	Ancho Vía (m)	Disposición Luminarias	Distancia entre postes (m)
V	Una vía	Vías secundarias poco tráfico o Peatonal	7-15	0,5	125	8000	0,5	0-20	7	8	Unilateral	≤22
											Bilateral	
											Alternas	
											Opuestas	≤44
										7	Unilateral	≤26
											Bilateral	≤22
											Alternas	≤23
											Opuestas	≤46
										6	Unilateral	≤28
											Bilateral	
											Alternas	≤24
											Opuestas	≤48
5	Unilateral											
	Bilateral	≤25										
	Alternas											
	Opuestas	≤50										
4	Unilateral	≤25										
	Bilateral											
	Alternas	≤26										
	Opuestas	≤50										

FIG. 7.17 NORMATIVA PARA LÁMPARAS DE SODIO

Categoría Vía	Características	Ejemplo	Iluminación Media (luxes)	Luminancia Media (cd/m ²)	Potencia (w)	Flujo Luminoso (lum)	Saliente (m)	Angulo (°)	Altura de Luminaria (m)	Ancho Vía (m)	Disposición Luminarias	Distancia entre postes (m)
II	Dos vías Tres vías	Autopistas y Carreteras Importantes	30-50	1,5	400	47000	0,5	0-20	12	20	Bilateral	≤ 40
											Opuesta	≤ 40
											Unilateral	≤ 20
											Bilateral	≤ 20
										Alternas	≤ 20	≤ 20
										Central	≤ 30	≤ 30
										Unilateral	≤ 22	≤ 22
										Bilateral	≤ 45	≤ 45
										Opuesta	≤ 34	≤ 34
										Central	≤ 22	≤ 22
Bilateral	≤ 268	≤ 268										
Alternas	≤ 52	≤ 52										
Unilateral	≤ 38	≤ 38										
Bilateral	≤ 26	≤ 26										
Opuesta	≤ 26	≤ 26										
Central	≤ 20	≤ 20										
Unilateral	≤ 40	≤ 40										
Bilateral	≤ 40	≤ 40										
Opuesta	≤ 30	≤ 30										
Central	≤ 20	≤ 20										
Bilateral	≤ 29	≤ 29										
Alternas	≤ 21	≤ 21										
Central	≤ 42	≤ 42										
Bilateral	≤ 42	≤ 42										
Opuesta	≤ 40	≤ 40										
Central	≤ 30	≤ 30										
Unilateral	≤ 48	≤ 48										
Bilateral	≤ 38	≤ 38										
Opuesta	≤ 10	≤ 10										
Central	≤ 14	≤ 14										
Bilateral	≤ 5	≤ 5										
Alternas	≤ 18	≤ 18										
Unilateral	≤ 18	≤ 18										
Bilateral	≤ 18	≤ 18										
Opuesta	≤ 18	≤ 18										
III	Dos o Tres Vías	Calle Principales	30-50	1	250	27000	0,5	0-20	10	15	Bilateral	≤ 20
											Opuesta	≤ 40
										Unilateral	≤ 40	
										Bilateral	≤ 30	≤ 30
Alternas	≤ 20	≤ 20										
Central	≤ 29	≤ 29										
Bilateral	≤ 21	≤ 21										
Alternas	≤ 42	≤ 42										
Central	≤ 42	≤ 42										
Bilateral	≤ 40	≤ 40										
Opuesta	≤ 30	≤ 30										
Central	≤ 20	≤ 20										
Bilateral	≤ 29	≤ 29										
Alternas	≤ 21	≤ 21										
Central	≤ 42	≤ 42										
Bilateral	≤ 42	≤ 42										
Opuesta	≤ 40	≤ 40										
Central	≤ 30	≤ 30										
Unilateral	≤ 48	≤ 48										
Bilateral	≤ 38	≤ 38										
Opuesta	≤ 10	≤ 10										
Central	≤ 14	≤ 14										
Bilateral	≤ 5	≤ 5										
Alternas	≤ 18	≤ 18										
Unilateral	≤ 18	≤ 18										
Bilateral	≤ 18	≤ 18										
Opuesta	≤ 18	≤ 18										
IV	Dos vías	Calle Secundarias con tráfico importante	15-25	0,75	150	14500	0,5	0-20	8	15	Bilateral	≤ 40
											Opuesta	≤ 40
										Unilateral	≤ 30	≤ 30
										Bilateral	≤ 48	≤ 48
Alternas	≤ 38	≤ 38										
Central	≤ 10	≤ 10										
Bilateral	≤ 14	≤ 14										
Alternas	≤ 5	≤ 5										
Unilateral	≤ 18	≤ 18										
Bilateral	≤ 18	≤ 18										
Opuesta	≤ 18	≤ 18										

FIG. 7.17 NORMATIVA PARA LÁMPARAS DE SODIO

Categoría Vía	Características	Ejemplo	Iluminación Media (luxes)	Luminancia Media (cd/m ²)	Potencia (w)	Flujo Luminoso (lum)	Saliente (m)	Angulo (°)	Altura de Luminaria (m)	Ancho Vía (m)	Disposición Luminarias	Distancia entre postes (m)
V	Una o Dos Vías secundarias poco tráfico o Peatonal		7-15	0,5	70	6500	0,5	0-20	7	8	Unilateral	≤6
											Bilateral Alterna	≤18
											Bilateral Opuesta	≤36
											Central	≤5
										7	Unilateral	≤10
											Bilateral Alterna	≤18
											Bilateral Opuesta	≤37
											Central	≤9
										6	Unilateral	
											Bilateral Alterna	≤19
											Bilateral Opuesta	≤39
											Central	
5	Unilateral											
	Bilateral Alterna	≤20										
	Bilateral Opuesta	≤40										
	Central											
4	Unilateral											
	Bilateral Alterna	≤20										
	Bilateral Opuesta	≤20										
	Central											

7.7 RESUMEN DE LA NORMATIVA

7.7.1 PROYECTOS POR EJECUTARSE BASADOS EN LA NORMATIVA OBTENIDA

Los principales puntos a considerar para realizar un proyecto de iluminación para Alumbrado Público son:

1. Definir el tipo, las características y los parámetros básicos de vía a iluminar basado en los datos de la Fig. 7.1, 7.2, 7.16 y 7.17 y de los Anexos 7.1 al 7.3.
2. Para seleccionar el tipo de lámpara se recurre a la información presentada en el cuadro del Anexo 3.1. y la Fig. 7.12
3. La luminaria se selecciona de la información que se indica en el capítulo 4, Anexos 4.2, y 4.3.
4. Determinar la luminancia media y la Iluminancia que se desea en el proyecto de iluminación, basados en los datos presentados en la Fig. 7.16 y Fig. 7.17.
5. Para determinar el tipo de disposición o implantación más adecuada, recurrir a la información proporcionada en el capítulo 5, posteriormente seleccionar la más recomendable de las indicadas en la Fig. 7.16 y 7.17.
6. Con la información obtenida en los pasos anteriores, se define la altura de los postes, la potencia de la lámpara adecuada y la distancia de separación entre postes, recurrir a los cuadros presentados en la Fig. 7.16 y 7.17.
7. Finalmente para ajustar los datos obtenidos en el diseño requiere realizar una visita al lugar donde se encuentra el proyecto con la finalidad de corroborar, corregir o eliminar información del prediseño del proyecto de iluminación.

7.7.2 PROYECTOS EJECUTADOS

En las instalaciones de Alumbrado Público que se encuentran ya construidas, lo que se puede realizar básicamente es corregir parámetros en los casos que ameriten, como:

- Altura de la luminaria
- Tipo de luminaria instalada
- Analizar la caída de voltaje de alimentación de la luminaria
- Repotenciar la lámpara

La normativa expuesta en la Fig. 7.16 y 7.17. ayudarán a determinar los parámetros de los diseños que presenten anomalías técnicas, ya que la normativa tiene parámetros con referencias al ahorro energético y optimización técnica de los recursos.

7.7.3 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Dentro de las consideraciones económicas, se presentan muchos factores que juegan un importantísimo papel, entre estos se tienen: tipos de lámpara y de luminaria, accesorios, tipo de control de la luz (por ejemplo, células fotoeléctricas, relojes, conmutación manual, atenuadores), tipo y disposición de los postes, altura de montaje de las luminarias, propiedades reflectivas de la superficie y por último, pero no de menor importancia, el programa de mantenimiento.

La importancia de los factores mencionados dependerá de las circunstancias locales en relación con el costo de la mano de obra y la disponibilidad y precio de materiales y energía eléctrica.

De lo anteriormente mencionado se puede sintetizar que no hay reglas para minimizar costos y consumo de energía que sean de aplicación universal y global, pero si es posible, sin ninguna duda, indicar determinadas tendencias generales; mismas que se describen a continuación.

7.7.3.1 Rendimiento de la Lámpara y Precio

La eficacia luminosa de una lámpara tiene una influencia preponderante sobre el consumo de energía eléctrica, y por lo tanto, sobre los costos de funcionamiento de toda instalación de Alumbrado Público.

Otra diferencia importante a considerar es el precio, ya que este varía de acuerdo al tipo de lámpara, así por ejemplo, las lámparas de sodio a baja y alta presión son más caras que las de mercurio a alta presión, y éstas a su vez más caras que las lámparas fluorescentes tubulares.

Realizando comparaciones energéticas y económicas entre instalaciones de Alumbrado Público, se tiene que la tendencia más positiva desde el punto de vista del costo anual total, es decir, considerando los costos de mantenimiento y amortización de la inversión inicial, es siempre hacia las lámparas de sodio a baja presión, seguidas directamente por las de sodio a alta presión.

De estas comparaciones se determina también que se obtienen generalmente costos más bajos y menor consumo de energía con alturas de montaje de valor aproximadamente igual a la anchura total de la calzada para disposiciones unilaterales de luminarias, y de valor igual a la mitad de la anchura total para disposiciones pareadas y en mediana central.

Esta afirmación depone la creencia generalizada de que siempre se puede obtener ahorros de costo y energéticos, empleando mayores alturas de montaje con sus consiguientes mayores separaciones entre luminarias.

7.7.3.2 Características de las Luminarias

El tipo de luminaria empleado, específicamente su distribución de luz (curvas isolux), que viene dado por el fabricante, tiene una influencia capital tanto sobre el costo como sobre el consumo de energía; de ahí que sea importantísimo considerar su rendimiento.

Sin embargo, utilizar una luminaria que tenga un alto rendimiento, pero pobre distribución de luz, exige emplear también una menor separación entre postes para poder cumplir con los requisitos de uniformidad de luminancia.

La combinación de un alto rendimiento con una buena distribución de luz constituye el único medio de mantener al mínimo los costos y el consumo energético.

7.7.3.3 Planificación y Mantenimiento

Una instalación de Alumbrado Público se mantendrá funcionando eficazmente durante el tiempo en que se cumplan estrictamente los planes de mantenimiento, lo que permite conservar dichas instalaciones.

Es normal que se produzca cierta degradación en su calidad, incluso para una instalación que esté bien conservada, y ese deterioro será máximo justamente antes que le corresponda la operación preventiva de mantenimiento.

Cuanto mayor sea el intervalo de tiempo involucrado en los períodos de mantenimiento preventivo, y lo que es peor, si este mantenimiento es deficiente, mayor ha de ser el nivel inicial de alumbrado para garantizar que la calidad y el nivel del mismo nunca bajará de los valores mínimos especificados; por lo tanto, una acertada planificación en los períodos de mantenimiento ayudará a hacer que las instalaciones de Alumbrado Público sean eficaces en ahorro de costos y en consumo de energía.

7.7.3.4 Control de Utilización

El control de utilización es otra posible manera de contribuir al ahorro de costo y energía; a saber, adaptando el nivel del mismo a lo que realmente es necesario en cada situación y momento. Estos controles debe hacerse sin que cambie el nivel de uniformidad de la distribución luminosa, para se emplean dos métodos de control:

- Luminarias con dos lámparas, en que una de las lámparas se apaga cuando se pueda aceptar una reducción temporal en el nivel del alumbrado; y
- Luminarias con una sola lámpara dotadas de equipos atenuadores de flujo luminosos.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Para un buen diseño de un sistema de Alumbrado Público se ha de considerar factores como: nivel mínimo de iluminación, nivel de uniformidad recomendado, lámparas y luminarias existentes y destinados a la zona, nivel de deslumbramiento, alturas recomendadas y los soportes de iluminación (postes y brazos) con la finalidad de asegurar la calidad de iluminación y ofrecer una mayor seguridad y estética.
- La comodidad visual en una vía iluminada depende también del rendimiento en color de las lámparas instaladas. Las lámparas de sodio de baja presión producen una luz monocromática y, por consiguiente, no pueden ser usadas donde se desea distinguir colores. Las lámparas de sodio de alta presión, de mercurio de alta presión (con aditivos halógenos o sin ellos) y las lámparas fluorescentes tienen un rendimiento en color bastante bueno. Por lo tanto, las lámparas de sodio de baja presión tienen preferente aplicación en el alumbrado de carreteras, (autopistas, autovías, etc.) mientras que para otras vías, en ciudades, con tráfico o peatonales es normal el uso de lámparas del tipo de alta presión.

- La calzada es una superficie uniforme y debe verse uniforme. La uniformidad de luminancia de la calzada debe ser suficiente para que, por una parte, el ojo del conductor no sufra cambios de acomodación según la zona observada, y, por otra, que, mientras conduce, no esté sometido a repetidas impresiones de luz y sombra que son tanto más rápidas e irritantes cuanto mayor es su velocidad.
- Cada una de las Empresas de Distribución, deberá efectuar los diseños del Alumbrado Público para cada calle y avenida específicamente, de acuerdo con las prácticas normales de la ingeniería escogerá el tipo de luminaria que en sus estudios de diseño le resulte más económica, siempre y cuando cumpla con los niveles de iluminación promedio mínimos requeridos, según se establecen en este trabajo y en las vías donde exista una iluminación comercial, no se permitirá el añadir las contribuciones de la iluminación comercial en el cálculo del alumbrado de las vías públicas.
- Es de suma importancia para los ingenieros encargados de los Departamentos Técnicos conocer lo que es la LUMINOTECNIA, que no es más que un área de la electricidad que se encarga del estudio de la iluminación en todas sus formas, con el objeto de perfeccionarla cada día y lograr obtener mejores resultados en cuanto al rendimiento, economía y calidad.

- En la actualidad, dentro de la Luminotecnia se tiene nuevos avances tecnológicos como lo son: los bombillos de sodio especial que pueden ser colocados en luminarias de mercurio, y además, la chispa de la innovación como lo es la conversión de luminarias de mercurio por sodio, agregándole el ignitor y reemplazando el bombillo de mercurio por sodio. Opción que resulta la más económica como se analizó anteriormente
- Todas las luminarias deben cumplir con requerimientos de la Norma CIE y las especificaciones particulares deseadas; las características tanto mecánicas como eléctricas son el factor primordial en la vida útil de la luminaria y la combinación del grado de control de la luz con su distribución son la única forma de ahorrar costos y minimizar el consumo de energía.
- Si se quiere mejorar las instalaciones de un sistema de Alumbrado Público existente, se deben buscar alternativas bien sea para su rediseño o reemplazo total, tomando en cuenta los costos de inversión y a su vez los de mantenimiento.
- En general, la selección de la lámpara se basará en las posibles exigencias en cuanto a calidad en la reproducción del color; en caso de no existir tales exigencias, o de admitir más de un tipo de lámpara, el criterio se fundamentará en la economía global, es decir, en la eficacia energética, vida útil, costo de adquisición, entre otras.

- La Normativa obtenida permitirá realizar diseños de Alumbrado Público más óptimos, pues es el resultado de una serie de ensayos teóricos normados internacionalmente y que se han modificado para aplicarlos al país. Si bien son resultados teóricos obtenidos de las simulaciones realizadas (se indican en los ejemplos del Anexo 7.4), es conveniente que los parámetros obtenidos se los tome como referenciales, ya que para su aceptación indiscutible, deberían ser contrastarlos con mediciones realizadas en el campo.

- Respecto de la eliminación de la contaminación lumínica, tenemos una responsabilidad a conservar el medio ambiente y la oscuridad de la noche. Personas sobre el mundo disfrutaban de un cielo sembrado de estrellas desde hacía muchos siglos hasta la contaminación luminosa empezó. Hoy en día los cielos oscuros enrarecidos están horas lejos de las ciudades. ¿Y en el futuro? Si no tenemos cuidado, es posible que las estrellas y otros objetos astronómicos desaparezcan completamente; por esto razón se tiene que preservar la oscuridad del cielo para las generaciones futuras.

8.2. RECOMENDACIONES

- Las exigencias que debe cumplir una instalación de Alumbrado Público, se encuentran recogidas en las recomendaciones de diferentes países; y estos países (Colombia, Venezuela, México, Panamá, Chile, Argentina, España, entre otros), emiten sus recomendaciones sobre la base de las formuladas por la CIE. En el país, la Empresa Eléctrica Quito S.A., su Departamento de Alumbrado Público también ha acogido a la CIE como base para todos sus análisis, cálculos y diseños de iluminación; razón por la que se recomienda aplicar todas estas normativas en los proyectos de iluminación pública; este estudio también se lo hizo sobre la normativa de la CIE.
- Se sugiere a las Empresas Eléctricas de Distribución revisar y en el caso de ser factible, aplicar las acciones indicadas en este trabajo para mejorar los sistemas de iluminación pública; la inversión que se realice en implementar algunas de las acciones, sean: cambio de bombillos de mercurio por sodio y/o repotenciación de las de mercurio a sodio por medio de la adaptación de un arrancador, son técnica y económicamente justificables y rentables. De igual forma, actualmente existen en el mercado unidades solares para Alumbrado Público, que a pesar de su alta inversión inicial, se justifican económicamente por su tiempo de vida útil, su poco mantenimiento y por no utilizar redes de alimentación.

- Las recomendaciones adecuadas sobre uniformidad de la luminancia, dependen del punto de vista económico; cualquiera que sea el sistema de alumbrado, una mejor uniformidad sólo puede lograrse mediante un menor espaciamiento de las luminarias o un sistema óptico de la luminaria más cuidadosamente diseñado, todo lo cual aumenta el costo de la instalación.
- Todas las Empresa Eléctricas de Distribución involucradas en el Alumbrado Público deben elaborar, diseñar, planificar y aplicar programas de mantenimiento del Alumbrado Público, ya que la carencia de este programa trae como consecuencia el deterioro más rápido de lámparas y accesorios, disminuyendo así su vida útil y consecuentemente provocando un desabastecimiento de iluminación en las áreas involucradas, afectando a la calidad del servicio que proporcionan las Empresas Eléctricas..
- Se recomienda adoptar los Criterios de Diseño y Niveles Lumínicos de los resultados presentados en la Fig. 7.16 y 7.17, correspondientes al Capítulo 7; como una referencia para las regulaciones y ordenanzas municipales que los organismos competentes deben emitir, para obtener un adecuado y eficiente servicio de Alumbrado Público en el país.
- Dado que se presentan contradicciones entre la Ley de Régimen Municipal con la Ley y Reglamentos del Sector Eléctrico, se sugieren considerar los siguientes aspectos: a) Reformar la Ley de Régimen Municipal, con la finalidad de otorgar al CONELEC su papel de ente regulador y de control del Sector Eléctrico del país contemplado en la Ley del Sector Eléctrico, en

virtud de que en el Título Preliminar del Código Civil establece que: *cuando existe conflicto entre una Ley anterior y posterior y una Ley general y una especial, prevalecen la posterior y la especial* (Ley del Sector Eléctrico se promulgó el 10 de Octubre de 1996 y la Ley de Régimen Municipal el 15 de Octubre de 1971); le corresponde al CONELEC dictar las normas bajo las cuales debe proporcionarse el servicio de electricidad, incluyendo el de Alumbrado Público. b) Definir exactamente que el objetivo del CONELEC como ente regulador y de control del Sector Eléctrico, es realizar específicamente un estudio técnico del tema en cuestión, y con los resultados técnicos de dicho estudio, referir a lo Municipios para que los apliquen en todo el país; más no es de su interés determinar la entidad a la que le corresponde la prestación de este servicio; ya que se entiende que la prestación de dicho servicio esta en manos de las diferentes Municipalidades del país.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] RAMIREZ VAZQUEZ, José. Luminotecnia: Enciclopedia CEAC de Electricidad, Ediciones CEAC S.A. Barcelona.
- [2] COLOMA YANEZ, Luis. El Ahorro de la Energía en el Campo de la Iluminación. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Diciembre 1999.
- [3] NORMA ICOTEC 900. Instituto Colombiano De Normas Técnicas, Bogotá, 1975.
- [4] CARDENAS DÍAZ, Nelly. Estudio, Planificación y Diseño de Sistemas de Iluminación en locales abiertos aplicado a un estadio abierto; Escuela Politécnica Nacional; Quito, Marzo 1999.
- [5] WESTINGHOUSE. Manual de Alumbrado, 1989.
- [6] MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DEL PERÚ. Proyecto para el Ahorro de Energía; Tópico II: Eficiencia en los Sistemas de Iluminación, 1999.
- [7] PHILIPS. Lighting Manual, Paraninfo, Madrid, 1988.
- [8] OSRAM. Manual de Luminotecnia, Alemania.
- [9] INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION CIE. Technical Report: Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic, Publication No. 115, 1995.

- [10] M. G. EREÚ. Mejoras del Sistema de Alumbrado Público de la Ciudad de Caracas utilizando Innovaciones y Tecnología, IEEE Primera Conferencia del Área Andina, 1999.
- [11] NATIONAL CODE ELECTRICAL. National Fire Protection Association Internacional, 1962.
- [12] GUTIERREZ, S. Manual de Iluminación, México, 1994.
- [13] OSRAM DULUX, Compact Fluorescent Lamp, Technical Guide, Alemania, 1998.
- [14] POLICÍA NACIONAL, Departamento de Ingeniería de Tránsito, Quito, 2001
- [15] CARRANZA CASTELLANOS, Emilio. Luminotecnia y sus aplicaciones. Editorial Diana, México, 1981.
- [16] SOCELEC S.A. Schröder Group GIE. Alumbrado Funcional, 1998.
- [17] EEQSA, Normas para Sistemas de Distribución, Parte B, Edición 1994, Quito.

PÁGINAS WEB:

- [1*] www.holoplane.com.mx/infotecnica/luzeilumyfactores
- [2*] www.lighting.philips.com

- [3*] www.frc.utn.edu.ar/investigacion/gese/servic/ap.htm
- [4*] www.constru.web.co/catalogos/schreder
- [5*] www.venemca.com
- [6*] www.astrogea.org/celfosc/index
- [7*] www.conae.gov.mx/normas
- [8*] [www.editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/3 alumbrado](http://www.editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/3_alumbrado)
- [9*] www.cie_usnc.org
- [10*] www.conelec.gov.ec
- [11*] www.osram.com.mx
- [11*] www.creg.gov.co
- [12*] www.iee.edu.uy/investigacion/grupos/fotomet
- [13*] www.rcp.net.pe/PAE/
- [14*] www.itdg.org.pe/cendoc
- [15*] www.redesa.es/qds.htm
- [16*] www.insolar.org

ANEXOS

CAPITULO 3

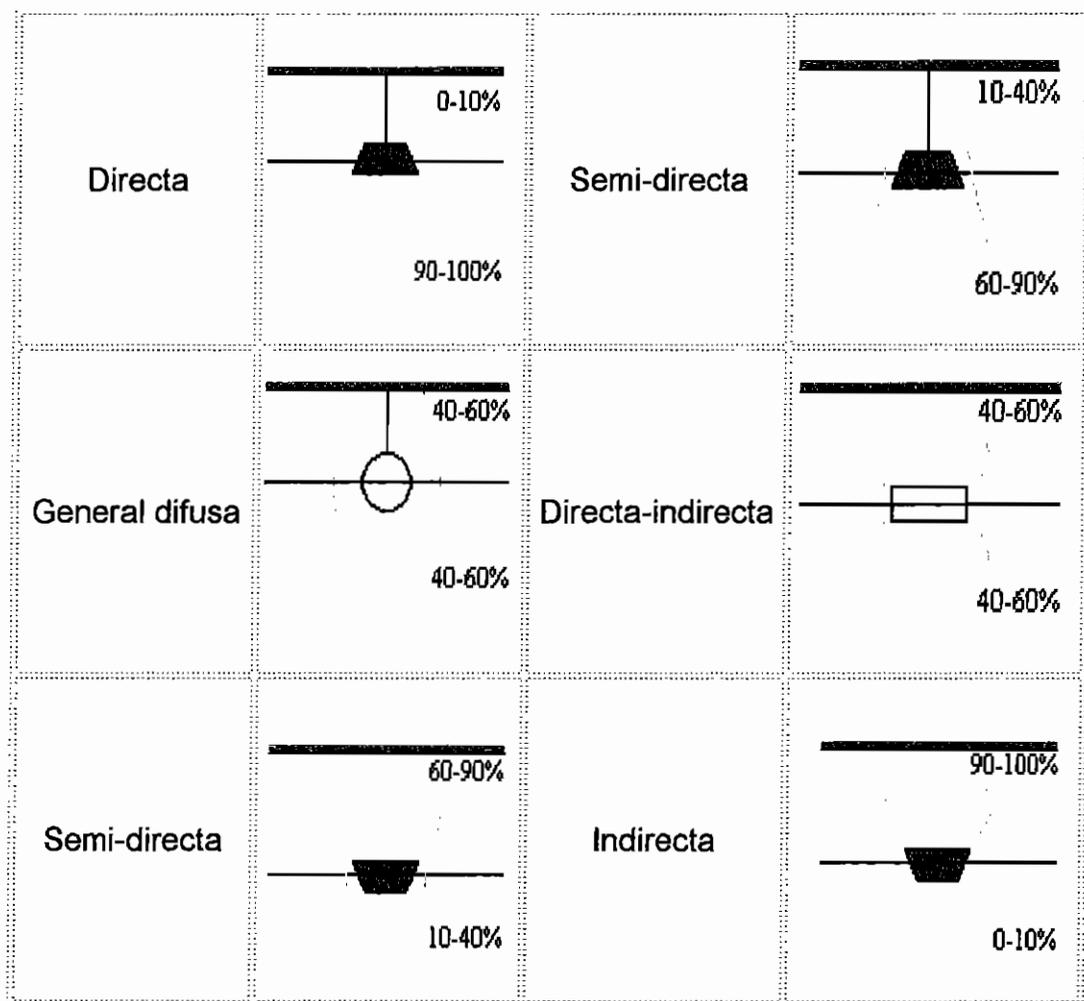
3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS LÁMPARAS ELÉCTRICAS UTILIZADAS PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Tipo	Potencias (w)	Flujo Luminoso (lúmenes) Eficacia Luminosa (lúmenes/w)	Observación	Vida Media de un Lote
Lámparas incandescentes	25, 50, 100, 150, 200, 500 y 1000	220, 600, 1250, 2000, 2900, 8300 y 18000	Se pueden conectar directamente a la red, sin necesidad de ningún accesorio eléctrico.	Aprox. 1000 horas.
Lámparas Fluorescentes	20, 32, 40, 80	1000, 2000, 5600	Forma tubular y circular. Existen del color Blanco cálido, blanco frío, luz día. El número y tipo de encendidos influye decisivamente en la vida de los fluorescentes.	Entre 4000 y 20000 horas.
Lámparas de Vapor de Mercurio	50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000 y 2000	Eficacia luminosa: Entre 40 y 60 lm/W, según el orden creciente de las potencias.	Para que emita todo el flujo hace falta que transcurran unos 6 s a partir de la conexión	Entre las 9000 y 14000 horas.
Lámparas de Halogenuros metálicos	175, 250, 360, 400	Eficacia Luminosa: Entre 68 y más de 100 lm/W	Son lámparas de mercurio a las que se añaden ciertos halogenuros metálicos	Entre 15000 y 20000 horas.
Lámparas de Sodio de Baja Presión	18, 35, 55, 90, 135, y 180	Eficacia luminosa: 125 y 185 lm/W, según el orden creciente de las potencias; incluyendo equipos auxiliares: se considera entre 100 y 150 lm/W.	Permiten la regulación de la emisión luminosa conservando un alto rendimiento.	Aprox. 9000 horas.
Lámparas de Sodio de Alta Presión	70, 150, 250, 400, 1000	Eficacia Luminosa: Entre 90 y 130 lm/W	Son las que proporcionan mejores expectativas para el alumbrado industrial. Solamente cuando el color sea una exigencia básica, deberá recurrirse a las lámparas de halogenuros metálicos.	Duración de 10000 h para bajas potencias y más de 20000 h, para potencias elevadas.
Lámparas Compactas	7, 11, 20, 23 y 40	800, 1000, 1250 lúmenes/w	Son lámparas sustitutivas de las incandescentes. Constan de un tubo fluorescente que se enrolla para reducir el tamaño incorporado y un casquillo normal (E 27).	Aprox. 8000 horas.
Mini Fluorescentes Compactos	15, 20, 23 y 40	900, 1200, 1500 lúmenes/w	Esta es una nueva serie de lámparas fluorescentes compactas, dotadas con un arrancador y reactancia incorporados. Tienen un casquillo E 27, las lámparas incandescentes usuales se pueden cambiar sin la menor dificultad.	Aprox. 8000 horas dependiendo de la marca.

ANEXOS

CAPITULO 4

4.1 ILUSTRACIÓN GRÁFICA DE LA CLASIFICACIÓN DE LA CIE PARA LAS LUMINARIAS DE ACUERDO A SU DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO LUMINOSO ^{6*}



^{6*} www.celfosc.org

4.2 CLASIFICACIÓN IEC DE LUMINARIAS DE ACUERDO A SU GRADO DE PROTECCIÓN CONTRA LA HUMEDAD ^{2*}

Clase de Luminaria	Símbolo	Descripción
0		Sin protección contra el agua.
2	 antigoteo	Protección contra gotas de líquido. Las gotas no perjudicarán cuando la luminaria se balancee hasta un ángulo de 15° con la vertical.
3	 antilluvia	Protección antilluvia. No afectará la lluvia caída con un ángulo de hasta 60° con la vertical.
4	 antisalpicadura	Protección contra salpicaduras. El líquido salpicado desde cualquier dirección no afectará.
5	 antichorro	Protección contra chorro de agua. El agua proyectada por una manguera desde cualquier dirección, en condiciones establecidas no será nociva.
7	 antiinmersión	Protección contra inmersión en agua. EL agua no entrará en la luminaria en condiciones establecidas de presión y tiempo

^{2*} www.lighting.philips.com

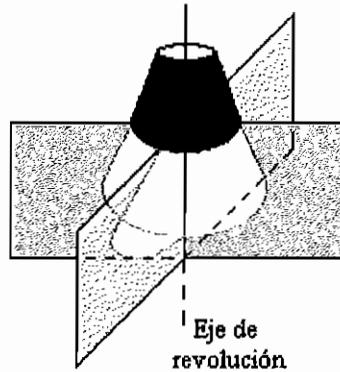
4.3 CLASIFICACIÓN IEC DE LUMINARIAS SEGÚN EL GRADO DE PROTECCIÓN CONTRA POLVO ^{2*}

Clase de Luminaria	Símbolo	Descripción
0		Sin protección contra la entrada de cuerpos sólidos extraños en el interior.
1		Protección contra la entrada de cuerpos sólidos extraños grandes en el interior.
2		Protección contra la entrada de cuerpos sólidos extraños medianos en el interior.
3		Protección contra la entrada de cuerpos sólidos extraños pequeños en el interior.
5	 anti-polvo	Protegida contra depósito de polvo nocivo. La entrada de polvo no se evita totalmente, pero penetra en cantidad tan pequeña que no interfiere el funcionamiento satisfactorio.
6	 hermética	Protección contra entrada de polvo. La entrada de polvo está totalmente excluida.

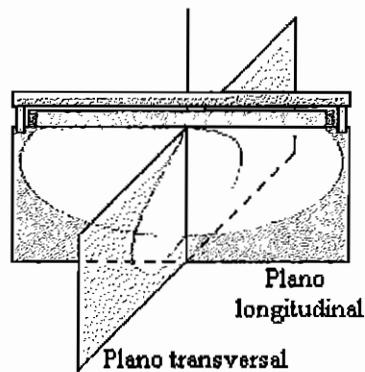
^{2*} www.lighting.philips.com

4.4 ILUSTRACIÓN GRÁFICA DE LA CLASIFICACIÓN PARA LAS LUMINARIAS DE ACUERDO AL NÚMERO DE PLANOS DE SIMETRÍA ^{6*}

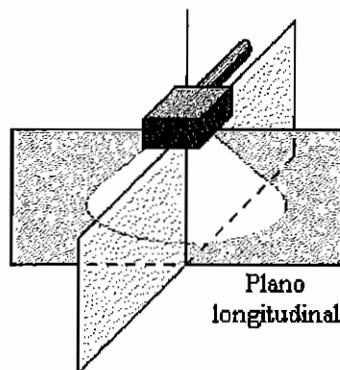
LUMINARIA CON INFINITOS PLANOS DE SIMETRÍA



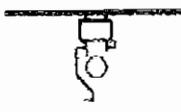
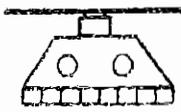
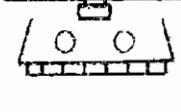
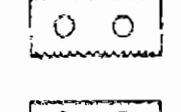
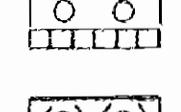
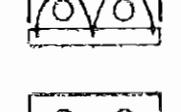
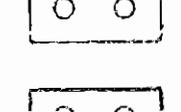
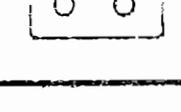
LUMINARIA CON DOS PLANOS DE SIMETRÍA



LUMINARIA CON UN PLANO DE SIMETRÍA

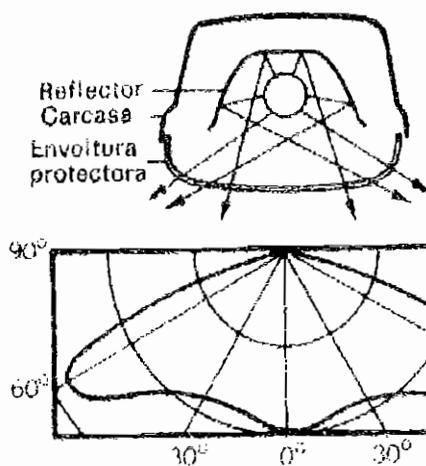


4.5 ALGUNOS TIPOS BÁSICOS DE LUMINARIAS CON LÁMPARAS FLUORESCENTES ^{2*}

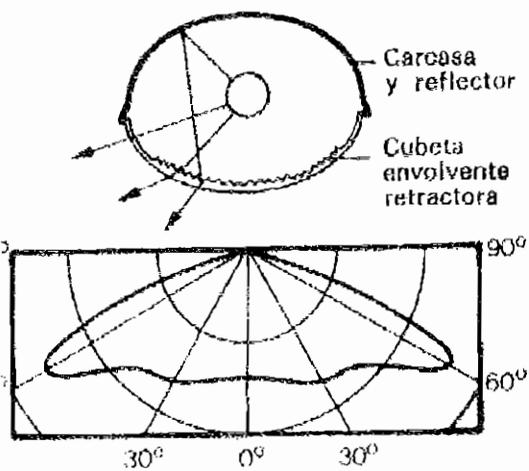
Sección transversal de la luminaria	Breve descripción	Elemento(s) para control	Montaje	Distribución típica de la intensidad luminosa
	Regletas de montaje y accesorios	Ninguno	En superficie o suspendida	
		Reflector a un solo lado		
		Diffusor envolvente		
		Reflector completo		
		Reflector completo y rejilla de malla		
		Paneles laterales y rejilla de malla		
		Paneles laterales y rejilla de lamas		
	Luminarias en caja cerrada por arriba y accesorios	Reflectores de espejo con apantallamiento	En superficie o empotrada	
		Cubierta difusora prismática		
		Rejilla de malla cuadrada		
		Reflectores laterales de espejo y rejilla de apantallamiento		
		Panel difusor		
		Panel difusor envolvente		

4.6 CONTROL DE LA SALIDA DE LUZ EN LUMINARIAS Y SUS DIAGRAMAS RESULTANTES DE LA INTENSIDAD LUMINOSA ^{2*}

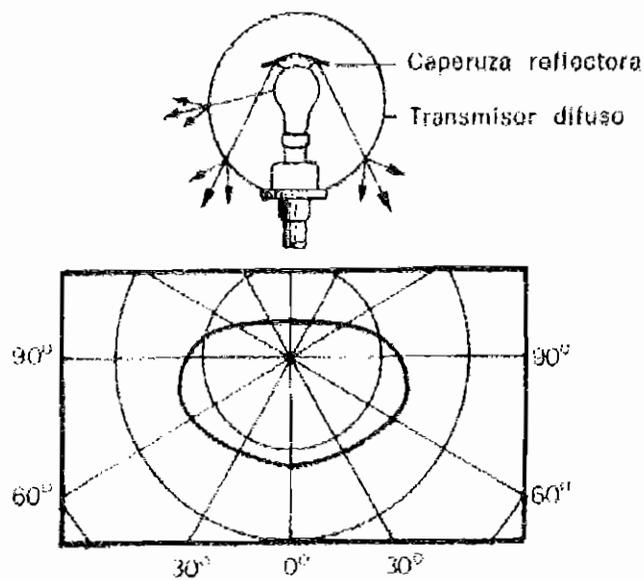
a. Reflexión



b. Refracción principalmente



c. Reflexión y transmisión difusa



^{2*} www.lighting.philips.com

ANEXOS

CAPITULO 5

5.1 RESUMEN DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO, VICTIMAS Y DETENIDOS ¹⁴

Distritos	Accidentes					Detenidos				Victimas			Vehículos Detenidos
	At	C	E	V	O	A.T	E.E.	S.C.	O	M	H	T	
Primero	612	1218	511	156	474	1081	1068	644	778	298	1498	109	2904
Segundo	174	366	175	76	31	250	314	123	52	162	647	3	1197
Tercero	256	464	154	119	150	847	753	496	313	117	616	29	2030
Cuarto	213	492	148	112	144	223	222	207	115	228	790	39	1456
TOTAL	1255	2540	988	463	799	2401	2357	1470	1258	805	3551	180	7587

Simbología:

At: Atropello	AT: Accidentes Tránsito	M: Muertos
C: Choques	EE: Estado de embriaguez	H: Heridos
E: Estrellamiento	SC: Sin Credencial	T: Traumáticos
V: Volcamientos		
O: Otros		

¹⁴ Policía Nacional, Departamento de Ingeniería de Tránsito, Quito, 2001.

5.2

RESUMEN DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO ^{2*}

Los criterios de diseño referidos al alumbrado de arterias principales están resumidos en el siguiente cuadro considerando el punto de vista del rendimiento visual y de la comodidad visual, determinando ambos parámetros **mayor seguridad visual**.

Componentes de la Seguridad Visual		Para evaluar la seguridad de percepción (rendimiento visual)	Para evaluar la facilidad de percepción (comodidad visual)
Criterios del Alumbrado	Nivel	Luminancia media de la calzada \bar{L}_r	Luminancia media de la calzada \bar{L}_r
	Uniformidad	Relación de luminancias en cualquier lugar de la calzada, uniformidad global ($L_{\min}/\bar{L}_r = U_0$)	Relación de luminancias a lo largo del eje principal de una vía, uniformidad longitudinal (L_{\min}/L_{\max}) _{longitudinal} = U_l
	Deslumbramiento	Incremento del umbral TI o de la relación L_v/\bar{L}_r	Índice de deslumbramiento G

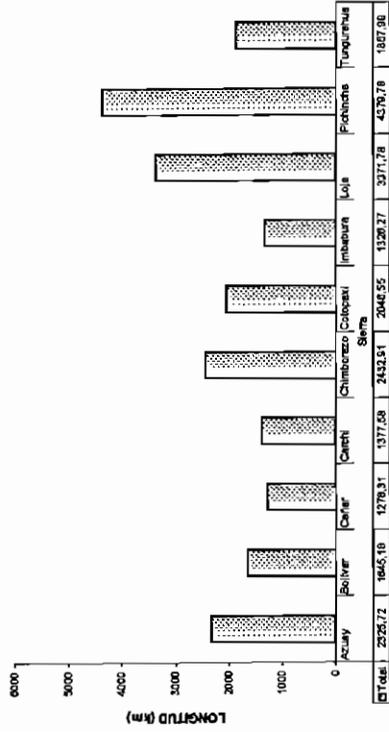
^{2*} www.lighting.philips.com

ANEXOS

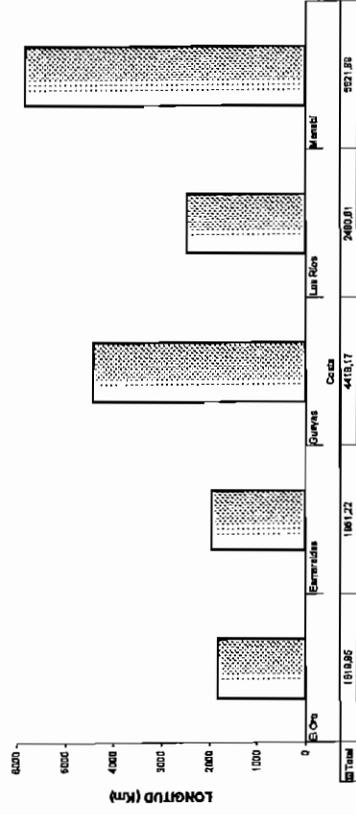
CAPITULO 7

ANEXO 7.1 LONGITUDES TOTALES DE LAS VÍAS POR REGIONES A NIVEL PAÍS (MOP-2001)

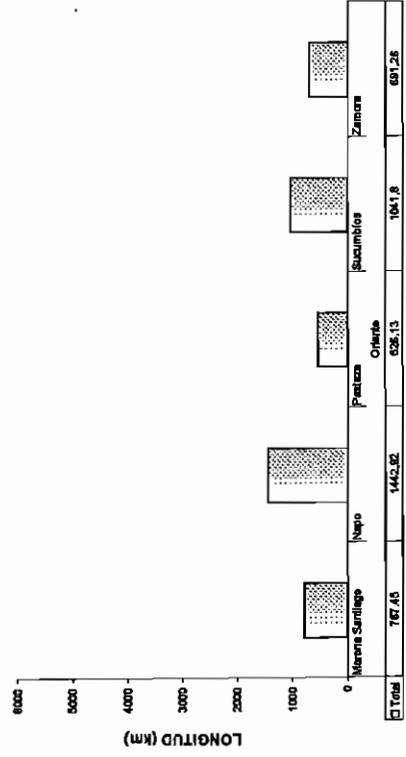
LONGITUD TOTAL DE LAS VÍAS DE LAS PROVINCIAS DE LA REGIÓN SIERRA (MOP-2001)



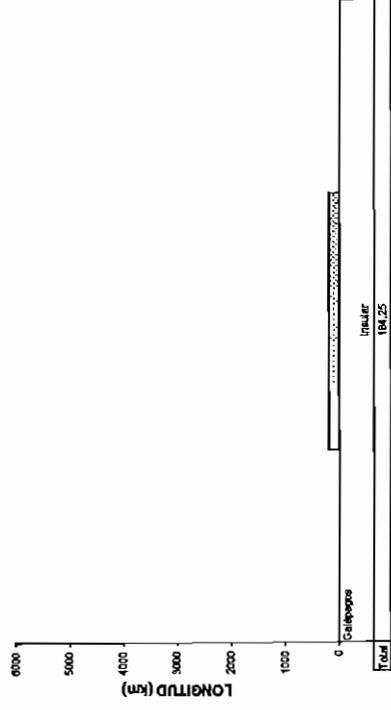
LONGITUD TOTAL DE LAS VÍAS DE LAS PROVINCIAS DE LA REGIÓN COSTA (MOP-2001)



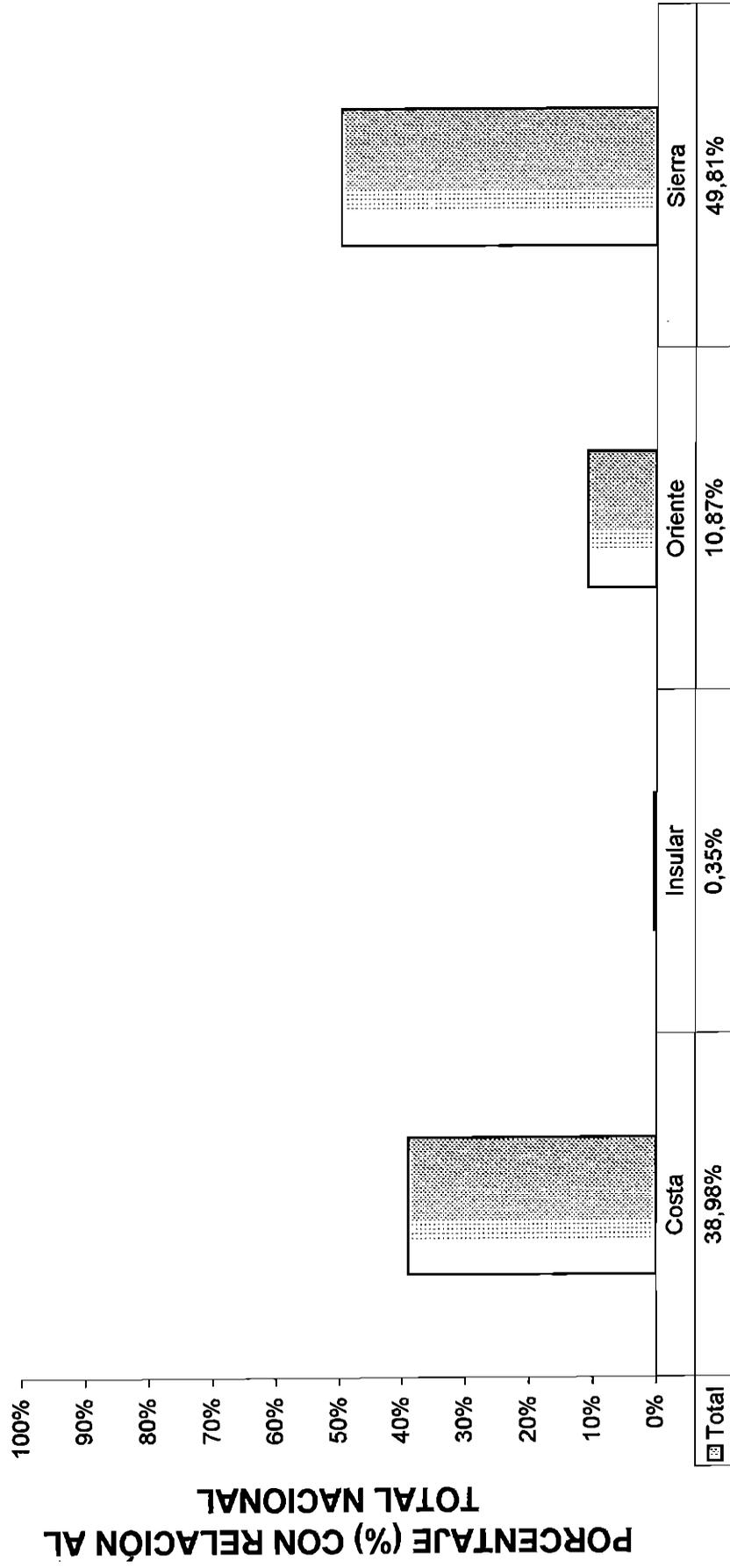
LONGITUD TOTAL DE LAS VÍAS DE LAS PROVINCIAS DE LA REGIÓN ORIENTAL (MOP-2001)



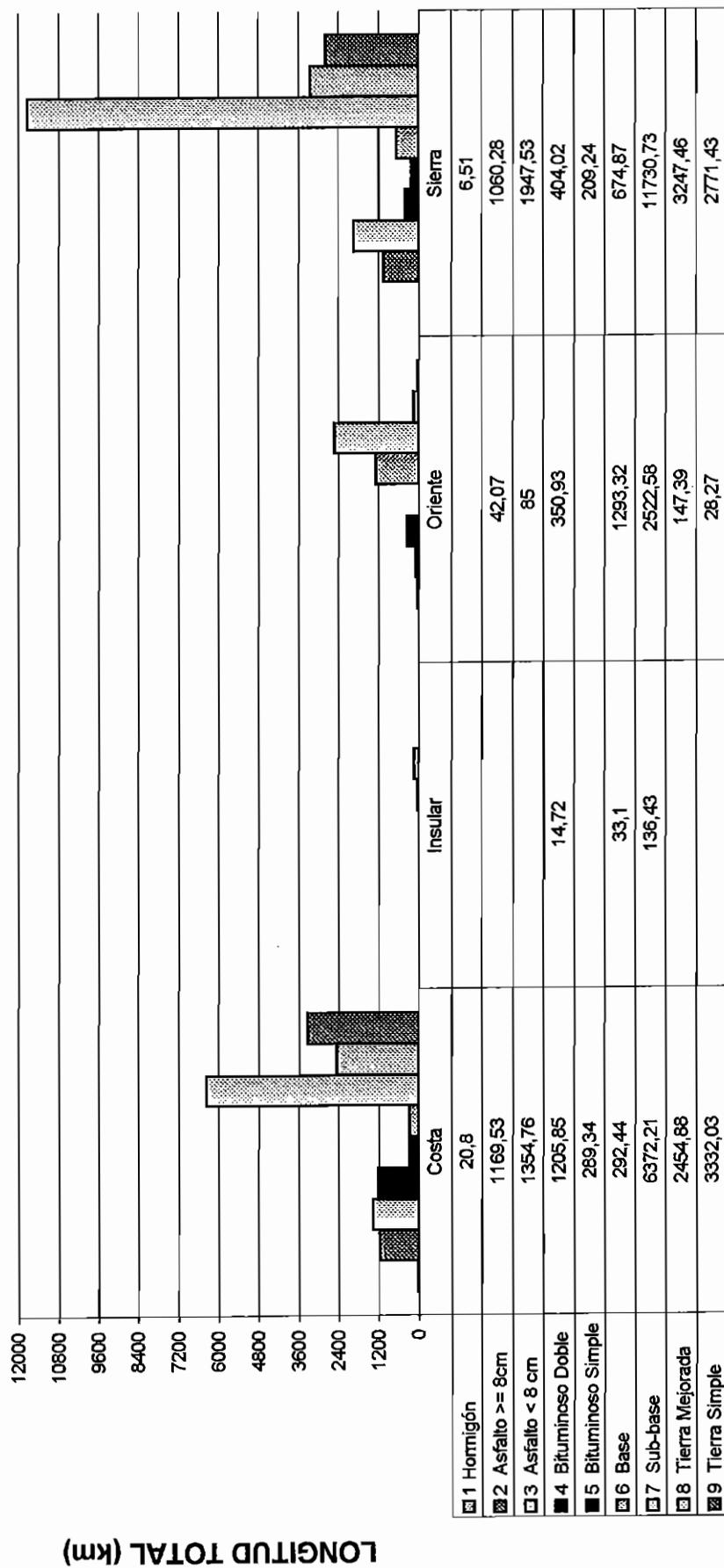
LONGITUD TOTAL DE LAS VÍAS DE LA REGIÓN INGLATERRA (MOP-2001)



ANEXO 7. 2
CUADRO COMPARATIVO DE LA LONGITUD TOTAL DE LAS VÍAS (%) POR
REGIONES (MOP-2001)



ANEXO 7.3
LONGITUD TOTAL DE LAS CALZADAS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SUPERFICIE
Y POR REGIONES (MOP - 2001)



LONGITUD TOTAL (km)

TIPOS DE SUPERFICIE DE LA CALZADA POR REGIONES

ANEXO 7.4

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

PROGRAMA CALCULUX

EJEMPLO 1: LÁMPARAS DE SODIO

Type of Arrangement : Single-sided Left
Type of Road Surface : Asphalt CIE R3
Luminance Coeff. (q0) : 0.07
Luminaire Type : CPS 200 HP
Lamp Type : 1x SON 70W
Flux : 6.50 [kLumen]
Measuring Code : LVW 4263
Maintenance Factor : 0.92

Overhang [m]	Spacing [m]	Height [m]	Tilt [deg.]	Width [m]	Number of lanes
0.50	20.00	7.00	5.00	4.00	2

Horizontal Illuminance in Lux (maintained)

	* lane			* lane			* lane			
X[m]	0.2	0.6	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8
Y[m]										
20.0	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8
18.0	9	9	9	9	8	8	8	8	8	7
16.0	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
14.0	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6
12.0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10.0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8.0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6.0	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6
4.0	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
2.0	9	9	9	9	8	8	8	8	8	7
0.0	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8

Average : 7 [Lux]
Min/Max : 0.52
Min/Average : 0.68

Luminance Distribution in cd/sqm towards observer (maintained)

Observer Position : X= 3.0 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

	* lane				* lane				*	
X[m]	0.2	0.6	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8
Y[m]										
20.0	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3
18.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
16.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
14.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
12.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
10.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
8.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
6.0	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
4.0	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
2.0	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
0.0	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4

Average : 0.6 [cd/sqm]

U0 : 0.59

G : 4.5

Observer Position :

UL : 0.81 X= 1.0 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

UL : 0.87 X= 3.0 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

TI [%] : 13.5 X= 3.0 [m] Y= -35.1 [m] Z= 1.5 [m]

Type of Arrangement : Staggered

Type of Road Surface : Asphalt CIE R3

Luminance Coeff. (q0) : 0.07

Luminaire Type : CPS 200 HP

Lamp Type : 1x SON 70W

Flux : 6.50 [kLumen]

Measuring Code : LVW 4263

Maintenance Factor : 0.92

Overhang [m]	Spacing [m]	Height [m]	Tilt [deg.]	Width [m]	Number of lanes
0.50	18.00	7.00	5.00	7.00	2

Horizontal Illuminance in Lux (maintained)

	* lane				* lane				*	
X[m]	0.3	1.0	1.8	2.5	3.2	3.9	4.6	5.3	5.9	6.6
Y[m]										
36.0	9	9	9	8	8	8	8	7	7	6
32.4	8	8	8	8	8	7	7	7	6	6
28.8	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5
25.2	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6
21.6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8
18.0	6	7	7	8	8	8	8	9	9	9
14.4	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8
10.8	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6
7.2	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5
3.6	8	8	8	8	8	7	7	7	6	6
0.0	9	9	9	8	8	8	8	7	7	6

Average : 7 [Lux]
 Min/Max : 0.58
 Min/Average : 0.75

Luminance Distribution in cd/sqm towards observer (maintained)
 Observer Position : X= 5.3 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

	*	lane		*	lane		*			
X[m]	0.3	1.0	1.8	2.5	3.2	3.9	4.6	5.3	5.9	6.6
Y[m]										
36.0	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
32.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5
28.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5
25.2	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
21.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5
18.0	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5
14.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
10.8	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
7.2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
3.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6
0.0	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6

Average : 0.6 [cd/sqm]
 U0 : 0.66
 G : 4.4

Observer Position :

UL : 0.80 X= 1.8 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]
 UL : 0.75 X= 5.3 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]
 TI [%] : 20.6 X= 5.3 [m] Y= -51.1 [m] Z= 1.5 [m]

EJEMPLO 2: LÁMPARAS DE MERCURIO

Type of Arrangement : Single-sided Left
 Type of Road Surface : Asphalt CIE R3
 Luminance Coeff. (q0) : 0.07
 Luminaire Type : CPS 200 HP
 Lamp Type : 1x HPLN 125W
 Flux : 8.00 [kLumen]
 Measuring Code : LVW 4253
 Maintenance Factor : 0.92

Overhang [m]	Spacing [m]	Height [m]	Tilt [deg.]	Width [m]	Number of lanes
0.50	22.00	7.00	5.00	8.00	2

Horizontal Illuminance in Lux (maintained)

* lane * lane *

X[m]	0.4	1.2	2.0	2.8	3.6	4.4	5.2	6	6.8	7.6
Y[m]										
22.0	10	10	10	10	10	9	8	7	6	6
19.8	11	10	10	10	9	8	8	7	6	5
17.6	9	9	9	8	8	7	7	6	5	5
15.4	7	7	7	7	6	6	5	5	5	4
13.2	6	6	5	5	5	5	5	4	4	4
11.0	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
8.8	6	6	5	5	5	5	5	4	4	4
6.6	7	7	7	7	6	6	5	5	5	4
4.4	9	9	9	8	8	7	7	6	5	5
2.2	11	10	10	10	9	8	8	7	6	5
0.0	10	10	10	10	10	9	8	7	6	6

Average : 7 [Lux]
Min/Max : 0.33
Min/Average : 0.54

Luminance Distribution in cd/sqm towards observer (maintained)

Observer Position : X= 6.0 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

	*	lane	*	lane	*					
X[m]	0.4	1.2	2.0	2.8	3.6	4.4	5.2	6.0	6.8	7.6
Y[m]										
22.0	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
19.8	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
17.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
15.4	0.7	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2
13.2	0.7	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2
11.0	0.7	0.8	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
8.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
6.6	0.6	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
4.4	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
2.2	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
0.0	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2

Average : 0.5 [cd/sqm]
U0 : 0.42
G : 4.3

Observer Position :

UL : 0.84 X= 2.0 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]
UL : 0.90 X= 6.0 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]
TI [%] : 11.7 X= 6.0 [m] Y= -37.1 [m] Z= 1.5 [m]

Type of Arrangement : Staggered
Type of Road Surface : Asphalt CIE R3
Luminance Coeff. (q0) : 0.07
Luminaire Type : CPS 200 HP
Lamp Type : 1x HPLN 125W
Flux : 8.00 [kLumen]
Measuring Code : LVW 4253
Maintenance Factor : 0.92

Overhang [m]	Spacing [m]	Height [m]	Tilt [deg.]	Width [m]	Number of lanes
0.50	22.00	7.00	5.00	8.00	2

Horizontal Illuminance in Lux (maintained)

	* lane			* lane			* lane			
X[m]	0.4	1.2	2.0	2.8	3.6	4.4	5.2	6	6.8	7.6
Y[m]										
44.0	10	10	10	10	10	9	8	7	7	6
39.6	9	9	9	8	8	7	7	6	6	5
35.2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
30.8	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
26.4	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9
22.0	6	7	7	8	9	10	10	10	10	10
17.6	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9
13.2	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
8.8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
4.4	9	9	9	8	8	7	7	6	6	5
0.0	10	10	10	10	10	9	8	7	7	6

Average : 7 [Lux]
 Min/Max : 0.40
 Min/Average : 0.64

Luminance Distribution in cd/sqm towards observer (maintained)

Observer Position : X= 6.0 [m] Y= -60.0 [m] Z= 1.5 [m]

	* lane			* lane			* lane			
X[m]	0.4	1.2	2.0	2.8	3.6	4.4	5.2	6.0	6.8	7.6
Y[m]										
44.0	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
39.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5
35.2	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
30.8	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
26.4	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
22.0	0.4	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
17.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
13.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.7
8.8	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
4.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6
0.0	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6

Average : 0.5 [cd/sqm]
 U0 : 0.60
 G : 4.4