



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

“PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO Y DISEÑO DE
ILUMINACIÓN DE EXTERIORES”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.

PRESENTA:

ARTURO HERNÁNDEZ LERMA.

ASESOR: ING. CASILDO RODRÍGUEZ ARCINIEGA.

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

"PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO Y DISEÑO DE ILUMINACIÓN DE EXTERIORES"

Que presenta el pasante: **ARTURO HERNÁNDEZ LERMA**
Con número de cuenta: **41001269-7** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Electricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de abril de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Casildo Rodríguez Arciniega	
VOCAL	M.en A. Martha Lilia Urrutia Vargas	
SECRETARIO	Ing. Arturo Ávila Vázquez	
1er SUPLENTE	Ing. Gilberto Chavarria Ortiz	
2do SUPLENTE	Dr. David Tinoco Varela	

NOTA: Los **sinodales** suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)

HHA/Vc

A mis padres

Quienes me educaron y me brindaron la oportunidad de prepararme en la mejor universidad de México con la dedicación y el esfuerzo que me permitió culminar este camino y me da las herramientas para emprender nuevos caminos.

A mis Hermanas y mi novia.

Quienes son el soporte y motivación que necesito para desarrollarme como persona y profesionista, por quienes nunca me rendiré y continuare esforzándome para mostrarles que no hay objetivos imposibles tan solo metas que requieren mayor dedicación.

A mis compañeros y amigos.

Aquellos que no solo forman parte importante de mi vida pues sin sus consejos, ayuda y amistad no sería la persona quien soy hoy en día.

A nuestra universidad.

Que nos brinda los conocimientos y las herramientas para emprender nuevos objetivos, pues no hay mayor recompensa en esta vida que el conocimiento.

Índice.

Índice.....	4
Objetivos.....	13
Metodología.....	14
Introducción.....	15
Capítulo 1 “Generalidades”	16
1.1 Métodos de Cálculo.....	16
1.1.1 Método punto por punto.	16
1) Iluminación normal.	16
2) Iluminación horizontal.....	17
a) Método punto por punto en superficies horizontales.....	17
3) Iluminación vertical.	18
a) Método punto por punto en superficies verticales.	18
1.1.2 Método del lumen.....	20
1) Método de lumen para cada situación.....	20
a) Interiores.....	20
b) Exteriores.....	20
c) Proyectores.....	20
2) Factor de pérdidas de luz o factor de mantenimiento (L.L.F.) o (F.M).....	21
a) Factores no recuperables.....	21
b) Factores recuperables.....	21
1.2 Terminología.....	23
1) Ángulo sólido.....	23
2) Flujo luminoso.....	24
3) Intensidad luminosa.....	24

4) Iluminación.....	25
5) Luminancia.	26
6) Brillantez.	27
7) Reflectancia.....	28
8) Transmitancia.....	29
9) Eficiencia.	30
10) Temperatura de color.....	31
11) Curva Isolux.	32
12) Coeficiente de utilización.	33
13) Leyes de iluminación.	33
a) El inverso de los cuadrados.	33
b) Ley del Coseno.	34
14) Concepto de Lumen.	34
a) LUMEN: (Lm):	34
b) CANDELA (cd):	35
c) LUX (Lx).....	35
15) Absorción.	35
16) Polarización.	36
17) instrumento de medición luxómetro.....	37
1.3 Niveles de Iluminación.	38
Capítulo 2 “Iluminación de vías públicas”	40
2.1 Criterios de diseño.	40
2.1.1 Criterio para instalar o no alumbrado a una vialidad.	41
1) Criterios de diseño de sistemas de iluminación vial.	42
a) Intensidad de tráfico.	42

b) Multiplicidad de nudos.....	42
c) Carácter del medio atravesado.....	43
d) Zonas de elevada accidentalidad.....	43
2.1.2 Elección de los sistemas de iluminación.....	44
1) Determinación de nivel de iluminación necesario.....	44
2) Enclavamiento de la vía.....	44
3) Forma de disposición de los báculos.....	44
4) Altura del báculo.....	45
5) Determinación de la interdistancia.....	45
2.1.3 Altura del báculo de alumbrado.....	46
2.1.4 Criterios de calidad.....	47
2.1.5 Coeficientes de uniformidad.....	47
2.1.6 Deslumbramiento.....	47
2.1.7 Coeficiente de iluminación en los alrededores.....	48
2.1.8 Determinación de la interdistancia entre puntos de luz.....	49
2.2 Niveles de iluminación.....	49
2.2.1 Reflectancia del pavimento.....	49
2.2.2 Niveles de luminancia.....	51
2.3 Sistemas de iluminación.....	55
2.3.1 Clasificación de las Luminarias.....	55
1) Clasificación (CIE 1965).....	55
Tipo I.....	57
Tipo II.....	57
Tipo III.....	58
Tipo IV.....	58

Tipo V.	59
2) Clasificación CIE actual.	61
a) Alcance.	62
b) Dispersión.....	63
c) Control.	64
2.3.2 Disposición de luminarias en tramos rectos.	66
1.- Unilateral.....	67
2.- Bilateral tresbolillo.	67
3.- Bilateral pareada.	68
4.- Central o axial.....	69
5.- Catenaria o Suspendida.....	70
6.- Disposiciones combinadas.....	71
2.3.3 Disposición de luminarias en cruces, glorietas, curvas y pasos peatonales.	73
1) Disposición de luminarias en cruces.	73
2) Disposición de luminarias en glorietas.	74
3) Disposición de luminarias en curvas.....	75
4) Disposición de luminarias para pasos peatonales.	77
2.3.4 Disposición de las luminarias tomando en cuenta la vegetación.....	78
2.3.5 Condiciones que deben reunir las lámparas.....	79
2.3.6 Factores a tomar en cuenta en una lámpara.	81
1 Distribución espectral de la radiación total.	81
2 Luminancia.	81
3 Distribución de la intensidad luminosa.....	82
4 Efecto biológico de la radiación emitida.....	82
5 Color apropiado para cada aplicación.	83

6 Calidad de la reproducción cromática.	83
7 Constancia del flujo luminoso.....	84
8 Rendimiento luminoso.	84
9 Vida media y vida útil.	84
10 Repercusiones en la red de alimentación.	85
11 Estabilización de lámparas con resistencia negativa.	85
12 Variación de la tensión de alimentación.....	85
13 Tiempo hasta que el flujo luminoso adquiere el régimen normal.	86
14 Posibilidad de reencendido inmediato.	86
15 Efecto estroboscópico.	86
16 Posición de funcionamiento.	87
a) Principales posiciones de funcionamiento:	88
17 Ángulos de inclinación admisibles:	88
18 Lámparas.	89
a) Lámparas incandescentes.....	89
a-1 Lámpara incandescente convencional.....	89
a.2 lámpara halógena de wolframio.	90
b) Lámparas fluorescentes.....	92
c) Lámparas de vapor de mercurio.	95
d) Lámparas de vapor de sodio.....	97
d.1 Lámparas de vapor de sodio a baja presión.....	97
d.2 Lámparas de vapor de sodio a alta presión.	99
e) Lámparas de aditivos metálicos.....	101
2.4 Iluminación de calles y avenidas.....	103
2.4.1 Método del lumen.	104

2.4.2 Método punto por punto.	107
2.5. Iluminación de Estacionamientos.....	107
Capítulo 3 “Iluminación de túneles”	111
3.1. Criterios de Diseño.	113
3.1.1 Iluminación diurna.....	113
1) Zona de acceso.	115
2) Zona de umbral.	116
3) Zona de transición.....	116
4) Zona central.	117
5) Zona de salida.....	117
3.1.2 Iluminación nocturna	118
3.1.3 Contraste.	118
1) Tipos de disposición de las luminarias.....	120
a) Alumbrado simétrico.	120
b) Alumbrado simétrico a contraflujo.....	120
3.1.4 Distancia de seguridad.	121
3.1.5 Equipos de alumbrado.....	123
3.1.6 Mantenimiento	124
3.2. Iluminación de Túneles Largos.	124
3.2.1 Luminancia en la zona de acceso.....	125
3.2.2 Método de aproximación.	126
3.2.3 Método exacto.	128
3.2.4 Iluminación en la zona de entrada.	131
3.2.5 Niveles de iluminación en la zona de umbral.	131
3.2.6 Longitud de la zona de umbral.	132

3.2.7 Luminancia de las paredes.	132
3.2.8 Luminancia y longitud de la zona de transición.	132
3.2.9 Iluminación de la zona interior.	134
3.2.10 Iluminación de la zona de salida.	135
3.2.11 Uniformidad de la luminancia de la calzada.	137
3.2.12 Limitación del deslumbramiento.	137
3.2.13 Control del efecto Flicker.	138
1) Ejemplo: efecto flicker.	139
3.2.14 Alumbrado nocturno.	140
3.2.15 Clase de alumbrado del túnel.	141
3.2.16 Intensidad de tráfico.	141
3.2.17 Composición del tráfico.	141
3.2.18 Guiado visual.	142
3.2.19 Comodidad en la conducción.	142
3.3. Iluminación de Túneles Cortos y Pasos a Desnivel.	143
3.3.1 Diagramas guía para túneles cortos (recomendaciones).	144
1) Túneles cortos tipo A. tabla 34.	145
2) Túneles cortos tipo B tabla 35.	145
3) Túneles cortos tipo C tabla 36.	146
4) Túneles cortos tipo D tabla 37.	146
a) Ejemplo:	148
3.3.2 Tipos de alumbrado en túneles cortos.	149
1) Sin exigencia de alumbrado diurno.	150
2) Alumbrado diurno limitado.	150
3) Alumbrado diurno completo.	150

4) Alumbrado de noche.....	150
3.2.3 Diseño de alumbrado de túneles.....	151
3.4. Iluminación de Emergencia.....	153
Capítulo 4 “Contaminación lumínica”	156
4.0.1.- Causas de la contaminación lumínica.....	156
4.0.2 Factores de la contaminación lumínica.....	157
4.0.3 Efectos de la contaminación lumínica.....	158
4.1. Seguridad.....	160
4.1.1. Deslumbramiento perturbador.....	160
4.1.2 El deslumbramiento molesto	161
4.2. Visión de Contraste	162
4.3. Distancias y Puntos de Referencia.....	164
4.4. Características Fotométricas del tipo de Pavimento.....	165
4.5. Variaciones Temporales de Iluminación.....	165
Capítulo 5 “Diseño de sistemas de iluminación exterior”	168
5.1. Sistemas de Iluminación.....	168
5.1.1. Características de una instalación de Iluminación.....	168
5.1.2. Cantidad.....	168
5.1.3. Calidad.....	168
5.1.4. Costos.....	169
5.1.5. Normatividad Aplicable.....	171
5.1.6. Factores influyentes.....	171
5.2. Procedimientos básicos de diseño:	171
5.2.1. Métodos de Cálculo.....	171
5.2.2. Uso de Software.....	172

5.3 Ejemplos.....	172
5.3.1 Vialidades.....	172
5.3.2 Estacionamiento.....	184
Bibliografía o referencias.....	195
Índice de tablas.....	198
Índice de figuras.....	201
Índice de diagramas.....	206
Apéndices y anexos.....	207
Anexo 1 Luminaria HOV.....	207
Anexo 2 Datos de iluminación HOV 16-Z.....	208
Anexo 3 Luminaria Mayfair pequeña.....	209
Anexo 4 Luminaria Mayfair.....	210
Anexo 5 Mayfair No. 1629.....	211
Anexo 6 Halcón Mediano.....	212
Anexo 7 Luminaria Halcón Pequeño.....	213
Anexo 8 Datos de lámparas.....	214
Anexo 9 Datos de lámparas.....	215
Anexo 10 Datos de lámparas.....	216
Anexo 11 Datos de lámparas.....	217
Anexo 12 Datos de lámparas.....	218
Anexo 13 Gráficas para estimar los factores de depreciación por suciedad en los luminarios de alumbrado público para unidades cerradas y con empaque.....	219
Anexo 14 Clasificación de las clases de vías vehiculares de acuerdo a la serie M.....	220

Objetivos.

- Este trabajo primordialmente conseguirá proporcionarle al alumno una guía sobre el desarrollo teórico de la materia, para que la comunidad docente pueda analizar y revisar el desarrollo fundamental de la materia de iluminación de exteriores, de forma dinámica, a distancia y autodidacta.
- Obtener una perspectiva más amplia para así permitirle decidir si la materia cumple con sus expectativas, y decidir cuál área de especialización cumple con sus expectativas para su desarrollo profesional.
- Permitirle al alumno adquirir los conocimientos básicos para desarrollarse en el ámbito profesional en el campo de la iluminación exterior.

Metodología.

Desde el planteamiento del propósito de este trabajo, se comenzó buscando referencias bibliográficas basándome en el temario de la asignatura iluminación exterior, cotejando diversos libros, catálogos, páginas web, tesis, así como artículos relacionados con los temas anteriormente descritos.

Continuando con el trabajo se sustrajo una introducción de cada tema apoyándose con imágenes y tablas. Además al final de cada capítulo se anexara una serie de ejercicios de ejemplo utilizando el método de LUMEN, llevando el desarrollo paso a paso para facilitar la comprensión del lector, los ejemplos se basaran en los catálogos de las luminarias y se llevaran a cabo proyectos de iluminación utilizando diferentes equipos de iluminación para resaltar las ventajas y desventajas de las luminarias y arreglos descritos en el trabajo, así como también se reafirmaran los cálculos obtenidos apoyándonos con el software de iluminación “Visual” para un aprendizaje más dinámico y reafirmando los conocimientos adquiridos.

Al final del trabajo se proporcionarán conclusiones del trabajo realizado basándose en los textos de la bibliografía. Complementando el trabajo se anexarán catálogos de luminarias, equipos de iluminación, graficas de las curvas isolux, un manual para la utilización del software “Visual”.

Introducción.

La iluminación data desde la prehistoria cuando nuestros antepasados comenzaron a hacer uso del fuego para iluminar sus cuevas y cavernas, este suceso indico el principio de la iluminación artificial, desde entonces el ser humano ha desarrollado, construido e innovado diversos equipos e instrumentos para la iluminación de su entorno tales como son: velas, candiles, lámparas, focos y demás equipos que con el paso del tiempo no solo han proporcionado comodidad a nuestras vidas.

La iluminación es una herramienta fundamental para nuestro estilo de vida, el desarrollo de nuestra sociedad y civilización como tal va estrechamente ligada con el desarrollo de los instrumentos y equipos de iluminación.

La iluminación no es solo un lujo del ser humano, la iluminación es uno de los campos más amplios dentro de la civilización de la humanidad, múltiples aspectos como son la comodidad, la seguridad, el desarrollo industrial, el expansionismo de nuestra civilización, la cultura de cada región, además continuar propiciando la evolución de nuestra civilización.

Capítulo 1 “Generalidades”

1.1 Métodos de Cálculo.

Los métodos de cálculo resultan indispensable para el correcto diseño de un instalación de iluminación, debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la iluminación, anteriormente el proceso de cálculo resultaba complejo, pero actualmente con el desarrollo de la informática también se incrementaron la capacidad de procesamiento de datos, con lo cual hoy en día nos permite contar con múltiples programas que nos facilitan la tarea de diseñar un sistema de iluminación.

1.1.1 Método punto por punto.

Es el método por medio del cual obtenemos el nivel de iluminación en diversos puntos del área, con la contribución de todos los luminarios.

1) Iluminación normal.

Lograr el nivel de iluminancia requerido, no siempre asegura una buena calidad de iluminación.

La calidad, al igual que la cantidad de iluminancia, es importante para producir un ambiente de iluminación confortable, productivo y estéticamente agradable.

La calidad de los sistemas de iluminación contemplan, mas no se limitan solamente a aspectos tales como: color apropiado, buena uniformidad, luminancias de superficie de cuarto apropiadas, control de brillo adecuado y reflejo mínimo. Figura 1

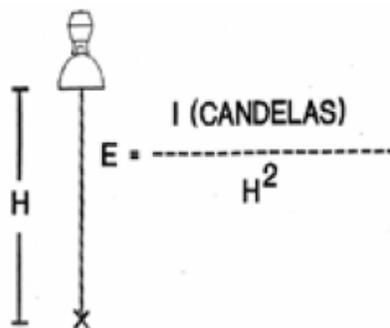


Figura 1. Iluminación normal.

2) Iluminación horizontal.

En el caso anterior, la superficie a iluminar esta se encuentra situada perpendicularmente a la dirección de los rayos luminosos, pero cuando forma con esta un determinado ángulo θ , la ley de la inversa del cuadrado de la distancia en el caso de superficies horizontales hay que multiplicarla por el coseno del ángulo, como se muestra a continuación:

a) Método punto por punto en superficies horizontales.

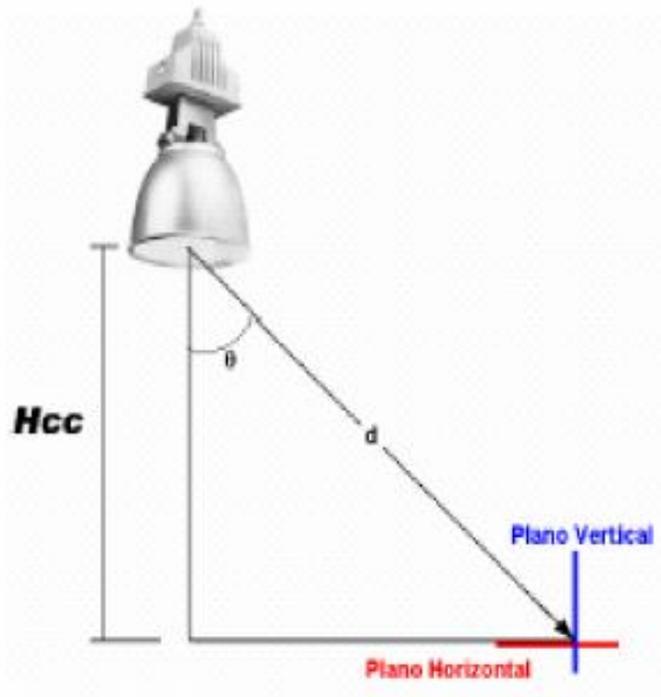


Figura 2. Método punto por punto en superficies horizontales.

$$E_H = \frac{I \cos\theta}{d^2} \dots (1)$$

Para obtener el coseno del ángulo:

$$\cos\theta = \frac{H_{cc}}{d} \dots (2)$$

Despejando la distancia de la ecuación (2).

$$d = \frac{H_{cc}}{\cos\theta} \dots (3)$$

Elevando la ecuación (3) al cuadrado.

$$d^2 = \frac{H^2 cc}{\cos^2 \theta} \dots (4)$$

Sustituyendo la ecuación (4) en la ecuación (1)

$$E_H = \frac{I \cos \theta}{\frac{H^2 cc}{\cos^2 \theta}} = \frac{I \cos \theta \cos^2 \theta}{H^2 cc}$$

$$E_H = \frac{I \cos^3 \theta}{H^2 cc}$$

Donde:

E_H = Nivel de iluminación en luxes sobre el plano horizontal.

I = Potencia en candelas.

Hcc = Altura del luminario al plano de trabajo en metros.

3) Iluminación vertical.

Cuando se forma un determinado ángulo θ , con la superficie vertical, la ley de la inversa del cuadrado de la distancia se multiplica por el seno del ángulo, de la siguiente manera:

a) Método punto por punto en superficies verticales.

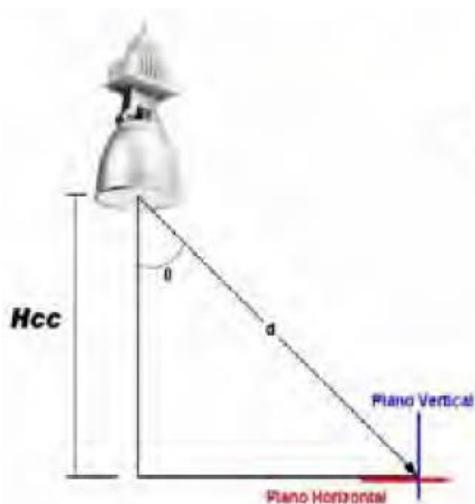


Figura 3. Método punto por punto en superficies verticales.

$$E_V = \frac{I \operatorname{Sen}\theta}{d^2} \dots (1)$$

Para obtener el coseno del ángulo:

$$\operatorname{cos}\theta = \frac{H_{cc}}{d} \dots (2)$$

Despejando la distancia de la ecuación (2).

$$d = \frac{H_{cc}}{\operatorname{cos}\theta} \dots (3)$$

Elevando la ecuación (3) al cuadrado.

$$d^2 = \frac{H^2_{cc}}{\operatorname{cos}^2\theta} \dots (4)$$

Sustituyendo la ecuación (4) en la ecuación (1)

$$E_V = \frac{I \operatorname{Sen}\theta}{\frac{H^2_{cc}}{\operatorname{cos}^2\theta}} = \frac{I \operatorname{Sen}\theta \operatorname{cos}^2\theta}{H^2_{cc}}$$

$$E_V = \frac{I \operatorname{Sen}\theta \operatorname{cos}^2\theta}{H^2_{cc}}$$

Donde:

E_V = Nivel de iluminación en luxes sobre el plano vertical.

I = Potencia en candelas.

H_{cc} = Altura del luminario al plano de trabajo en metros.

1.1.2 Método del lumen.

Este método consiste en determinar el número de luminarios necesarios para proporcionar el flujo luminoso que incidirá en el plano de trabajo lúmenes /m² esto sería igual al nivel de iluminación requerido en el área ya que un lm/m² = 1lux. Es el método más utilizado dentro del cálculo de iluminación y el más concreto y eficaz.

1) Método de lumen para cada situación.

Para determinar nivel de iluminación o cantidad de luminarios para un nivel deseado dependiendo de la situación debemos adoptar el uso de las siguientes formulas:

a) Interiores.

$$E = \frac{\left(\frac{\text{lm}}{\text{lum}}\right) (\text{No. Lum})(\text{C. U.})(\text{F. M.})}{\text{Area}}$$

b) Exteriores.

$$E = \frac{\left(\frac{\text{lm}}{\text{lum}}\right) (\text{No. Lum})(\text{C. U.})(\text{F. M.})}{(\text{Esp. entre lum})(\text{Ancho de la calle})}$$

c) Proyectores.

$$E = \frac{(\text{lum del haz})(\text{No. Lum})(\text{C. U.})(\text{F. M.})}{\text{Area}}$$

Donde:

Lm/lum = Lúmenes iniciales de la (s) lámpara (s) por luminario.

C.U. = Coeficiente de utilización.

F. M.= Factor de mantenimiento o factor de pérdidas de luz.

2) *Factor de pérdidas de luz o factor de mantenimiento (L.L.F.) o (F.M).*

A continuación, se muestran algunos factores de pérdida de luz.

a) Factores no recuperables.

- 1.- Variación de tensión.
- 2.- Temperatura ambiente.
- 3.- Depreciación por deterioro de las superficies del luminario
- 4.- Factor de balastro.

b) Factores recuperables.

- 5.- Suciedad acumulada en las superficies del local.
- 6.- Lámparas fundidas.
- 7.- Depreciación de los lúmenes de las lámparas (L.L.D.) Lamp Lumen Depreciation.
- 8.- Suciedad acumulada en los luminarios (L.D.D.) Luminaire Dirt Depreciation.

Nota: Para nuestro cálculo utilizaremos los puntos 7 y 8 de los mencionados en factores recuperables.

DATOS DE LÁMPARAS FLUORESCENTES T-8

WATTS	TIPO	TEMPERATURA DE COLOR	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/W ATT	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD (CM)	ENCENDIDO	BALASTRO
17	Lineal	3000	1400	20000	82	0.92	G13	T-8	60.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
17	Lineal	3500	1400	20000	82	0.92	G13	T-8	60.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
17	Lineal	4100	1400	20000	82	0.92	G13	T-8	60.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
25	Lineal	3000	2250	20000	90	0.92	G13	T-8	90.8	Rápido	Electromagnético Electrónico
25	Lineal	3500	2250	20000	90	0.92	G13	T-8	90.8	Rápido	Electromagnético Electrónico
25	Lineal	4100	2250	20000	90	0.92	G13	T-8	90.8	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	Lineal	3000	2950	20000	92	0.92	G13	T-8	121.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	Lineal	3500	2950	20000	92	0.92	G13	T-8	121.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	Lineal	4100	2950	20000	92	0.92	G13	T-8	121.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	Lineal	5000	2950	20000	92	0.92	G13	T-8	121.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	Lineal/Ecológica	3000	3000	24000	94	0.95	G13	T-8	121.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	Lineal/Ecológica	3500	3000	24000	94	0.95	G13	T-8	121.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	Lineal/Ecológica	4100	3000	24000	94	0.95	G13	T-8	121.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	Lineal/Ecológica	5000	3000	24000	94	0.95	G13	T-8	121.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
59	Lineal	3000	5900	15000	100	0.92	Fa-8	T-8	243.8	Instantáneo	Electrónico
59	Lineal	3500	5900	15000	100	0.92	Fa-8	T-8	243.8	Instantáneo	Electrónico
59	Lineal	4100	5900	15000	100	0.92	Fa-8	T-8	243.8	Instantáneo	Electrónico
59	Lineal	5000	5900	15000	100	0.92	Fa-8	T-8	243.8	Instantáneo	Electrónico
16	"U" 1 5/8"	3000	1125	20000	70	0.92	G-13	T-8	26.6	Rápido	Electromagnético Electrónico
16	"U" 1 5/8"	3500	1125	20000	70	0.92	G-13	T-8	26.6	Rápido	Electromagnético Electrónico
16	"U" 1 5/8"	4100	1125	20000	70	0.92	G-13	T-8	26.6	Rápido	Electromagnético Electrónico
24	"U" 1 5/8"	3000	1925	20000	80	0.92	G-13	T-8	41.9	Rápido	Electromagnético Electrónico
24	"U" 1 5/8"	3500	1925	20000	80	0.92	G-13	T-8	41.9	Rápido	Electromagnético Electrónico
24	"U" 1 5/8"	4100	1925	20000	80	0.92	G-13	T-8	41.9	Rápido	Electromagnético Electrónico
31	"U" 1 5/8"	3000	2725	20000	80	0.92	G-13	T-8	57.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
31	"U" 1 5/8"	3500	2725	20000	80	0.92	G-13	T-8	57.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
31	"U" 1 5/8"	4100	2725	20000	80	0.92	G-13	T-8	57.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	"U" 6"	3000	2650	20000	89	0.92	G-13	T-8	57.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	"U" 6"	3500	2650	20000	89	0.92	G-13	T-8	57.2	Rápido	Electromagnético Electrónico
32	"U" 6"	4100	2650	20000	89	0.92	G-13	T-8	57.2	Rápido	Electromagnético Electrónico

Tabla 1. Datos de lámparas fluorescentes T-8.

1.2 Terminología.

En la iluminación se maneja cierta terminología que nos proporciona información sobre los diferentes equipos y tipos de luminaria necesarios para desarrollar algún proyecto de iluminación. Las unidades básicas de la iluminación son el Lumen, el Lux y la candela. El conocer estas unidades es indispensable para el desarrollo de un sistema de iluminación adecuado.

A continuación, se presentarán algunos de los términos y unidades más utilizados en la iluminación.

1) Ángulo sólido.

Un ángulo sólido es el espacio que se encuentra dentro de una superficie cónica o piramidal, que se obtiene al cortar con un cono o una pirámide, una superficie esférica con un radio cualquiera “r” y centro en el vértice “O” del cono o la pirámide. Los ángulos sólidos (ω) se miden en steradianes (sr). Fig. 4.

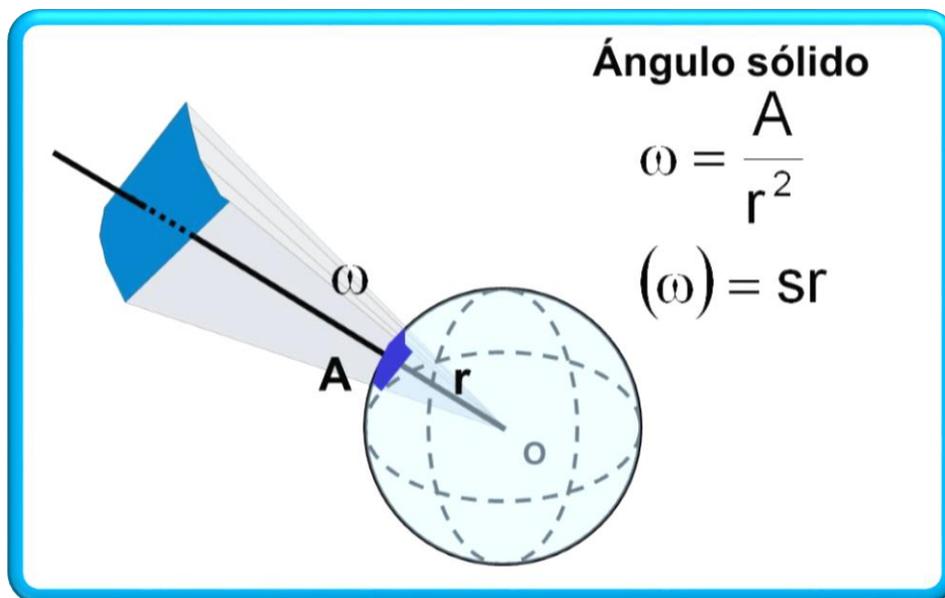


Figura 4. Ángulo sólido.

2) *Flujo luminoso.*

Es la cantidad de energía radiante que afecta a la sensibilidad del ojo humano emitida por unidad de tiempo. Fig. 5

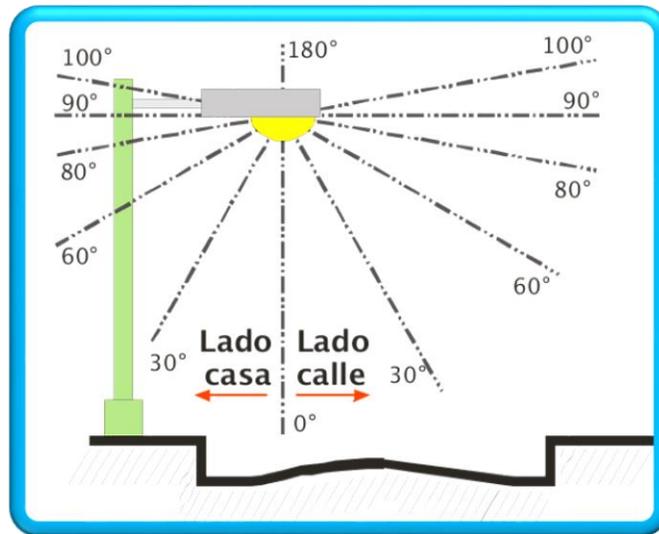


Figura 5. *Flujo luminoso.*

3) *Intensidad luminosa.*

Se conoce como intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Su símbolo es I y su unidad la candela (cd). Fig. 6.

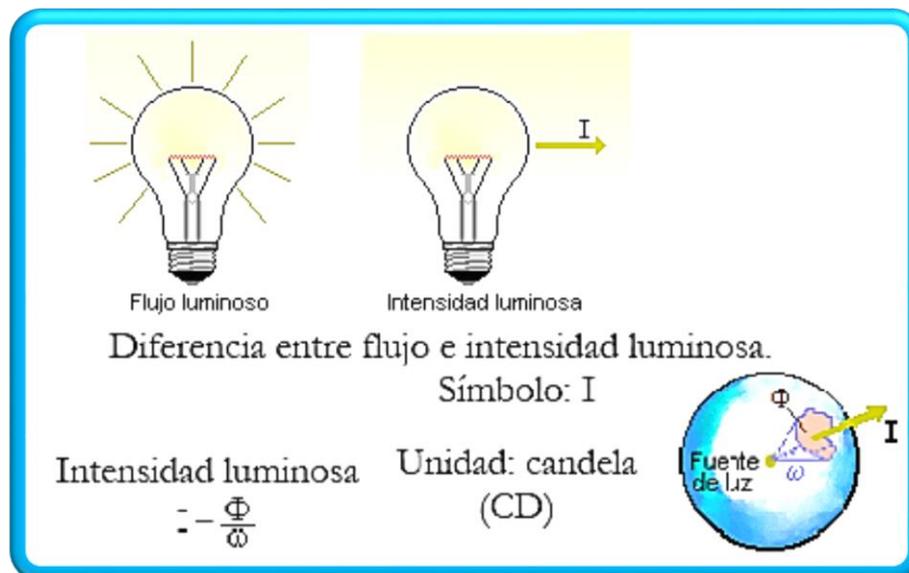


Figura 6. *Figura 1.2.3 Intensidad luminosa.*

4) Iluminación.

Se entiende por iluminación la cantidad de flujo luminoso por unidad de superficie. En la siguiente tabla podemos observar las magnitudes utilizadas en la iluminación, su unidad y la simbología de la misma. Estos conceptos deben quedar claros ya que son parte fundamental de la Iluminación.

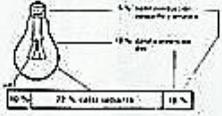
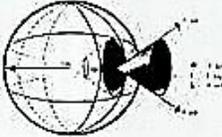
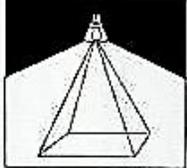
MAGNITUD	SÍMBOLO	UNIDAD	DEFINICIÓN DE LA UNIDAD	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	RELACIONES
FLUJO	Φ	LUMEN (lm)	Flujo luminoso de la radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hertz y un flujo de energía radiante de 1/683 vatios.		$\Phi = I \times \omega$
INTENSIDAD LUMINOSA	I	CANDELA (cd)	Intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradian.		$I = \frac{\Phi}{\omega}$
NIVEL DE ILUMINACIÓN (ILUMINANCIA)	E	LUX (lx)	Flujo luminoso de un lumen que recibe una superficie de 1 m ² .		$E = \frac{\Phi}{S}$
LUMINANCIA	L	CANDELA por m ² (cd/m ²) CANDELA por cm ² (cd/cm ²)	Intensidad luminosa de una candela por unidad de superficie.		$L = \frac{I}{S}$

Tabla 2. Conceptos fundamentales de iluminación.

5) Luminancia.

Es la magnitud luminotécnica que determina la impresión de mayor o menor claridad producida por una superficie. La luminancia es un concepto propio del brillo de un objeto, de producción de luz propia, bien reflejada (fuente que emite luz, fuente de luz sólo reflejada o fuente de luz de ambas emisiones). Es la intensidad luminosa por unidad de área. Fig. 7.

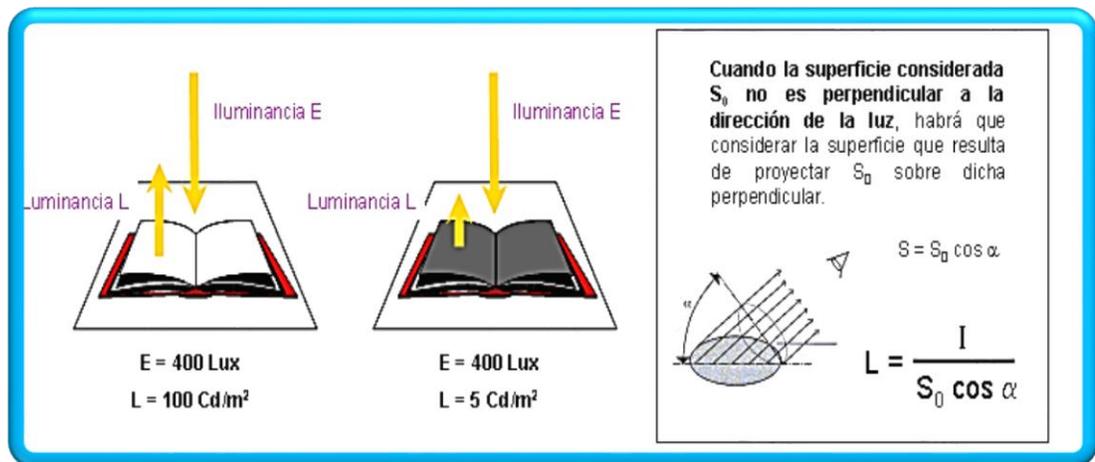


Figura 7. Luminancia.

6) *Brillantez.*

La brillantez de un objeto depende de la intensidad de luz incidiendo sobre él y la proporción de luz reflejada hacia el ojo. Entre más brillantes en un objeto este nos ayuda a visualizarlo mejor, pero nunca se debe rebasar el límite permitido ya que podría provocar deslumbramientos que son muy peligrosos tanto para el ojo humano o provocar algunos accidentes. Fig. 8.

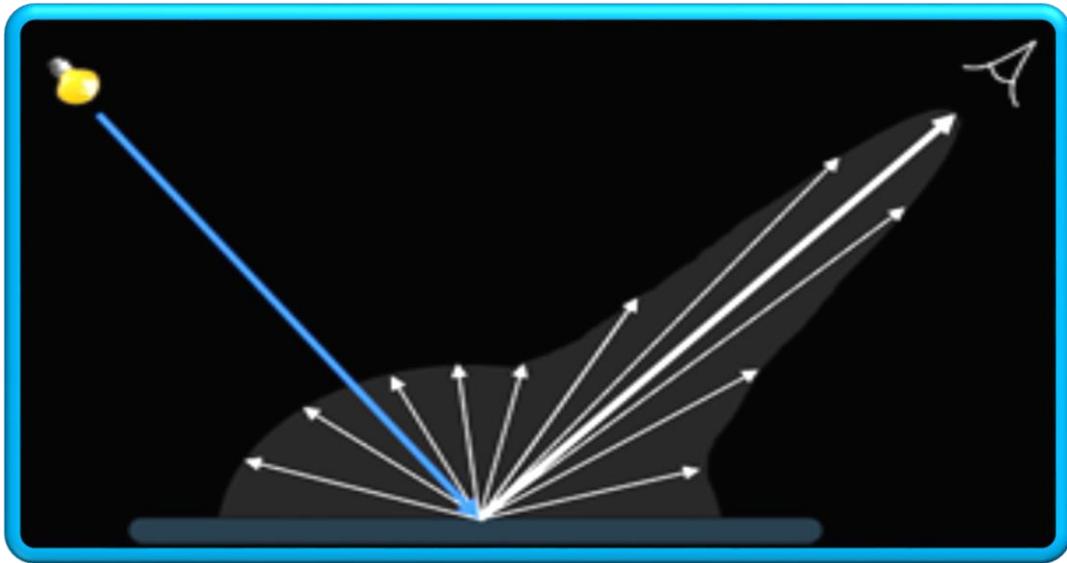


Figura 8. Ejemplo de brillantez.

7) *Reflectancia.*

La mayor parte de la luz que percibimos es la que reflejan los objetos que tenemos a nuestro alrededor, por eso es conveniente conocer sus propiedades reflectantes; éstas vienen determinadas por su factor de reflexión (r).

Este factor establece la relación entre el flujo luminoso que incide en una superficie y el que es reflejado por ésta. Fig. 9.

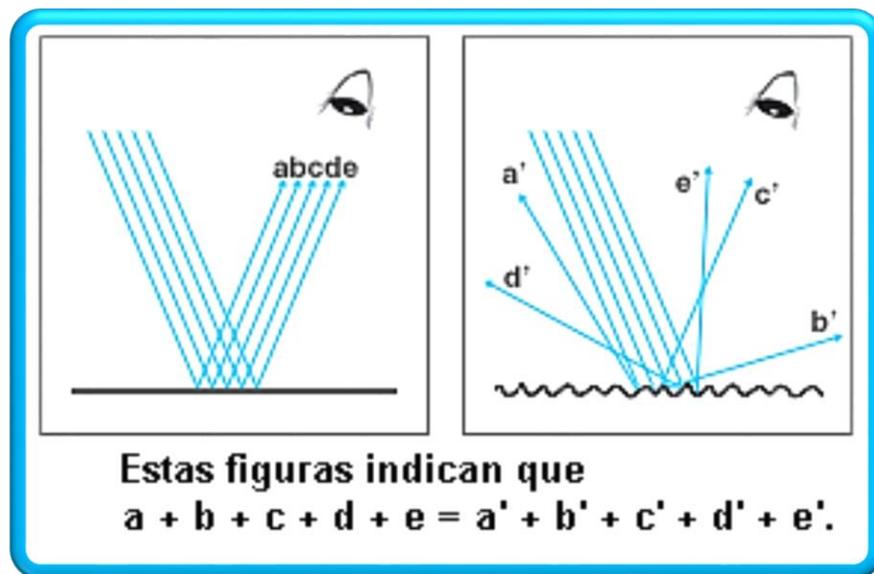


Figura 9. Ejemplo de reflectancia.

8) *Transmitancia.*

La propiedad de transmisión de luz de un material viene determinada por su factor de transmisión, es decir, por la relación existente entre el flujo que incide sobre un determinado material y el flujo que transmite.

Ejemplo de donde se puede apreciar la transmitancia.

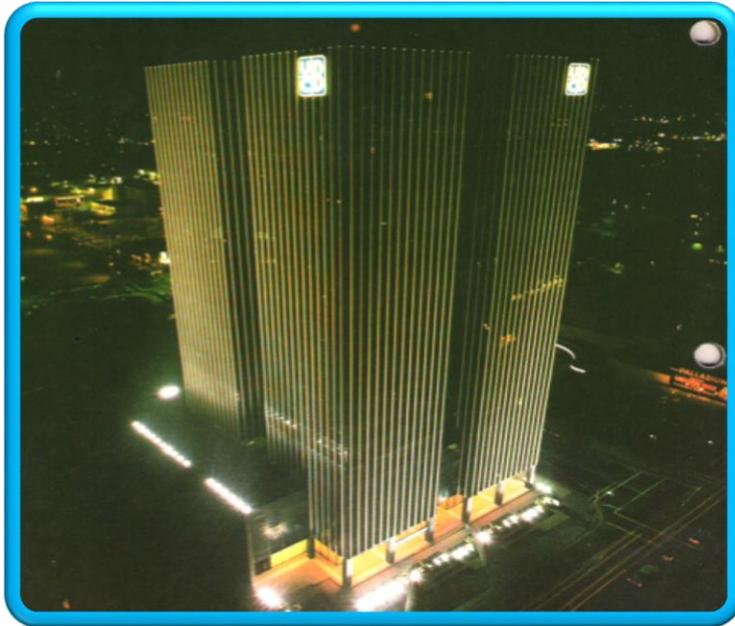


Figura 10. Ejemplo de transmitancia.

9) *Eficiencia.*

Eficiencia del luminario es igual a la relación del flujo luminoso que entrega el luminario entre el flujo luminoso que genera la lámpara que se encuentra dentro de él.

En la Fig. 11 podemos apreciar la eficiencia que presenta una iluminación con lámpara de vapor de sodio de alta presión (izquierda) comparada contra iluminación proporcionada por lámparas LED (derecha).

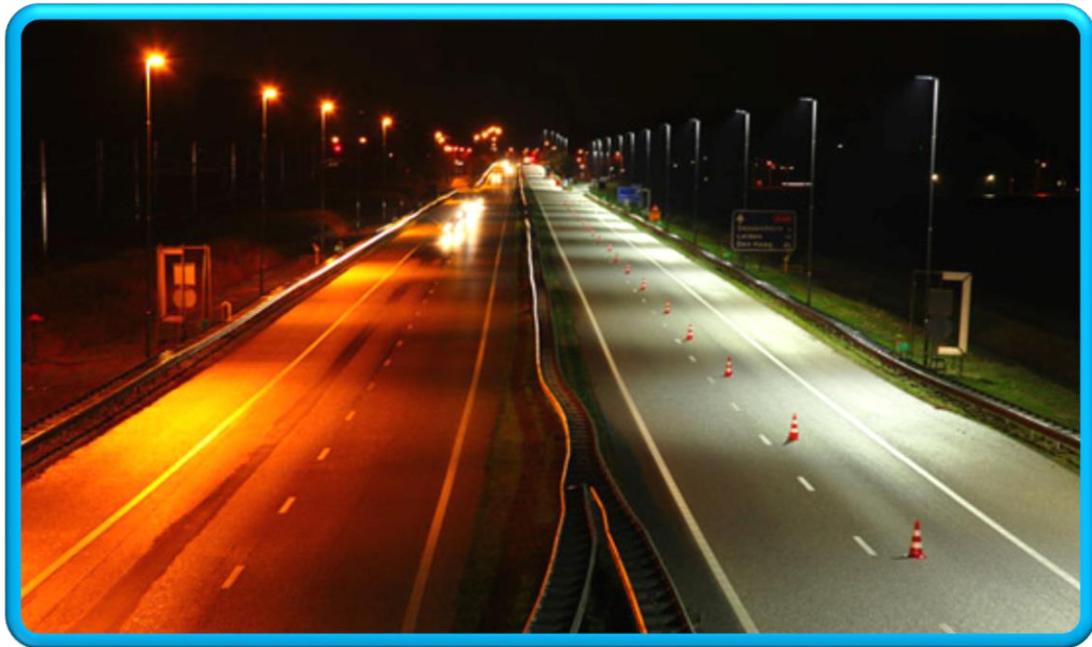


Figura 11. Ejemplos de iluminación VSAP y LED.

10) *Temperatura de color.*

Se define a la temperatura de color de una fuente de luz como la temperatura a la cual el cuerpo negro emitiría luz de composición espectral similar; se expresa como temperatura absoluta, es decir en grados kelvin. Podemos ver este efecto en la iluminación decorativa de edificios y monumentos, además de que puede apreciarse un aspecto práctico en los supermercados donde tienen almacenados productos de comida caliente como pollos, tacos o guisados las luminarias tienen que proporcionar una temperatura que mantenga calientes los productos para evitar que se echen a perder.

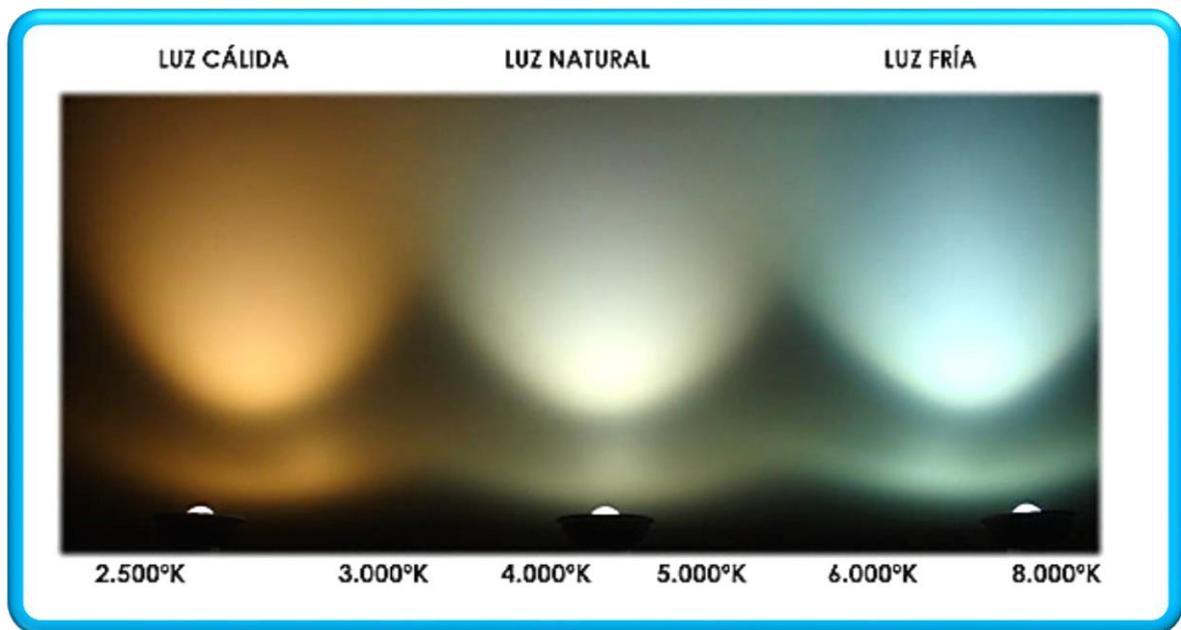


Figura 12. Temperatura de color.

11) Curva Isolux.

Es el comportamiento de la potencia o intensidad luminosa alrededor de una fuente luminosa o luminario se represente en coordenadas polares y los valores en candelas. Fig. 13.

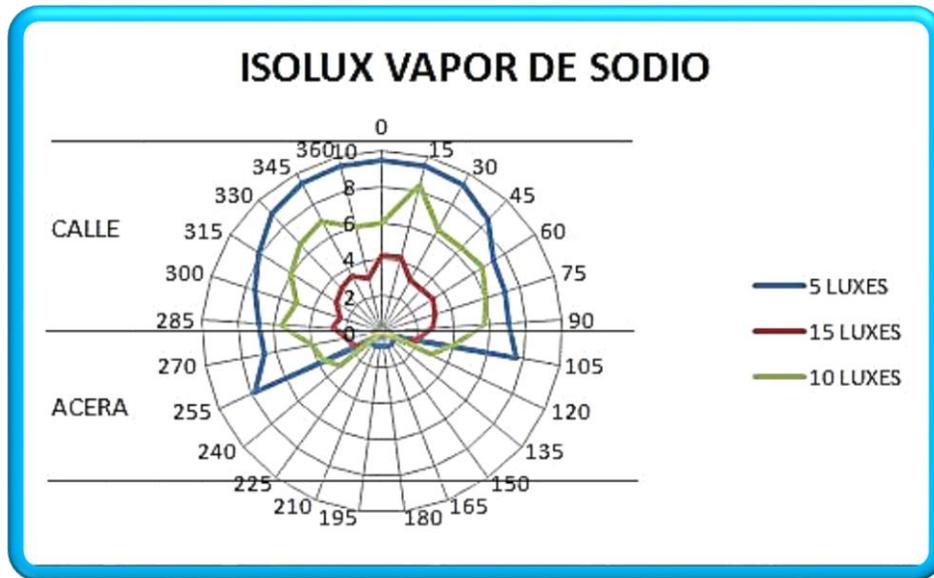


Figura 13. Curva de distribución luminosa de una lámpara de vapor de sodio.

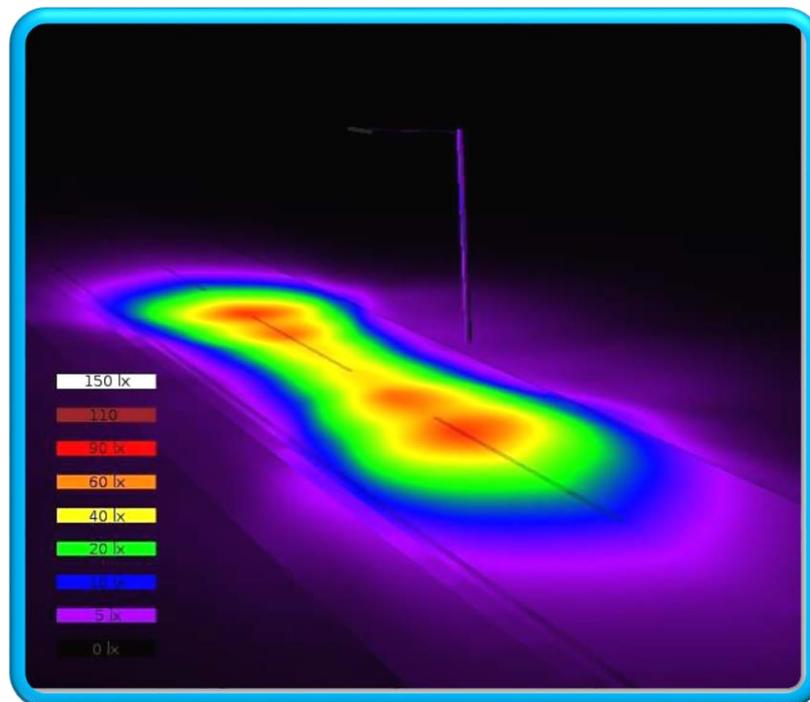


Figura 14. Curva Isolux.

12) Coeficiente de utilización.

Es la relación del flujo luminoso que incide en el plano de trabajo entre el flujo que generan las lámparas solas dentro del luminario.

Para el caso de iluminación de túneles, este factor también se ve afectado por los colores y acabado de la superficie del cuarto.

$$\text{Coeficiente de utilización C. U.} = \frac{\text{Flujo incidente en el plano de trabajo}}{\text{Flujo luminoso de las lámparas solas}}$$

13) Leyes de iluminación.

Se presenta a continuación las leyes más utilizadas para el entendimiento y la realización de cálculos de iluminación.

a) El inverso de los cuadrados.

La iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre la fuente de luz y la superficie iluminada.

Esta ley es válida únicamente tratándose de fuentes puntuales, superficies perpendiculares a la dirección del flujo y cuando la distancia es grande en relación al tamaño de la fuente.

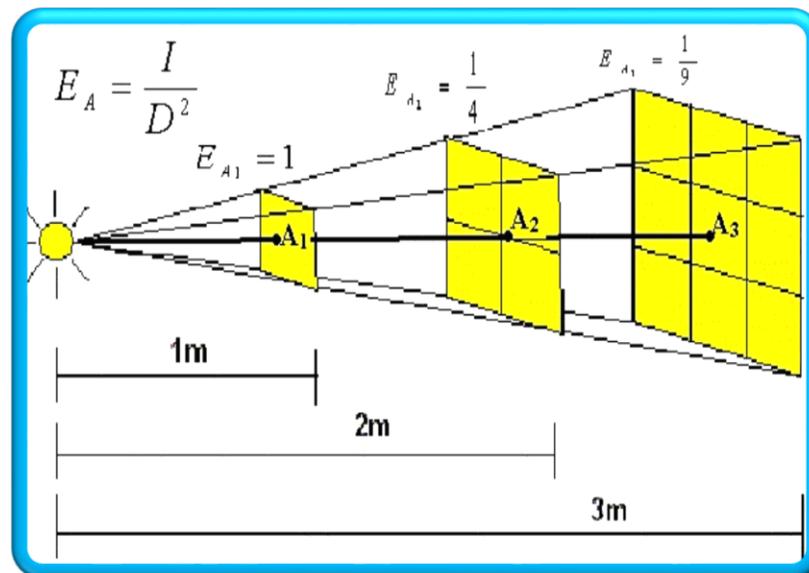


Figura 15. Ley del inverso de los cuadrados.

b) Ley del Coseno.

“La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia”. (Este ángulo es formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto de incidencia P).

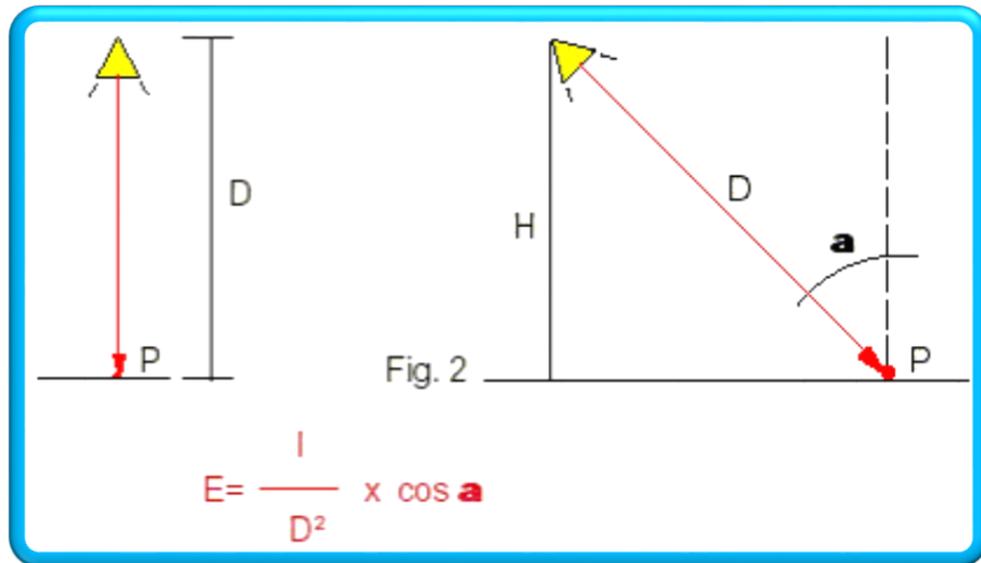


Figura 16. Ley del coseno.

14) Concepto de Lumen.

a) LUMEN: (Lm): Cantidad de flujo luminoso contenido en un ángulo sólido sterradian respectivo de una fuente que emite 1 candela uniformemente.

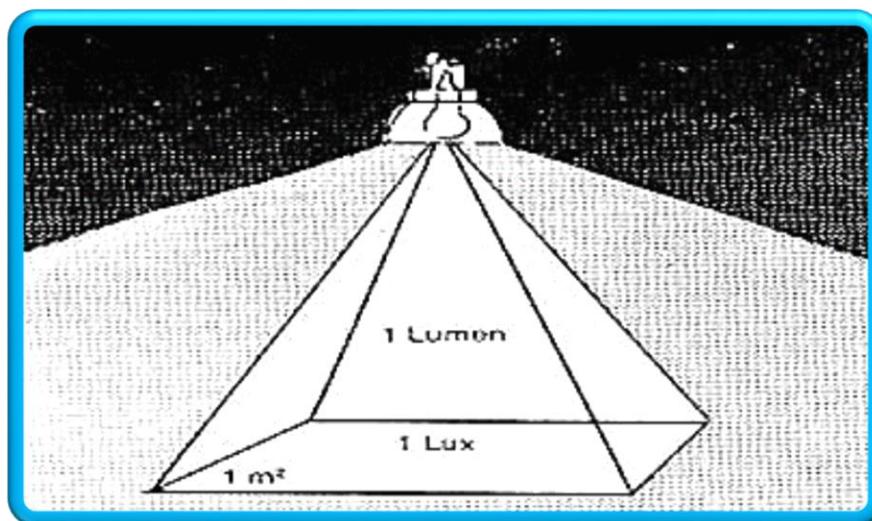


Figura 17. Concepto de lumen.

b) *CANDELA* (*cd*): Se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente luminosa que emite una radiación monocromática (540x10¹²hz-555 nanómetros) y de la cual, la intensidad radiante en esa dirección es de 1/683 watts /sterradian.

c) *LUX* (*Lx*): Es el nivel de iluminación en un punto *a* sobre en un plano a un metro de distancia respecto a una fuente que emite una candela incidiendo, esta perpendicular al punto en el plano

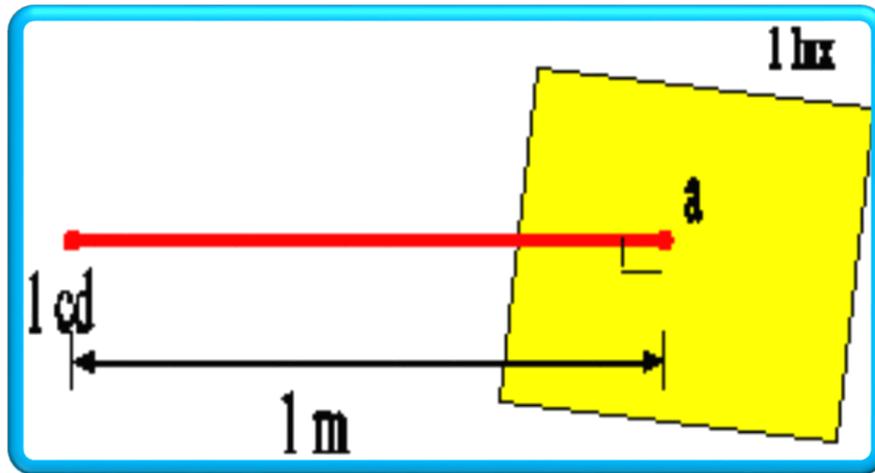


Figura 18. Concepto de lux

15) Absorción.

Existen superficies y objetos que absorben la mayor parte de las radiaciones luminosas que les llegan. Estos objetos se ven de color negro. Otros tipos de superficies y objetos, absorben sólo una determinada gama de longitudes de onda, reflejando el resto.

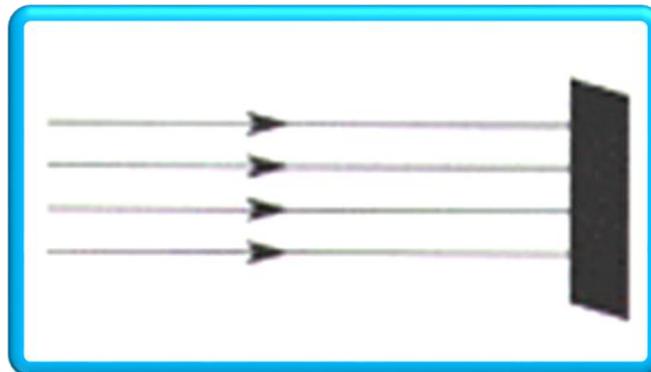


Figura 19. Absorción.

16) Polarización.

En las ondas transversales es posible que todas las partículas alcanzadas por la onda vibren en la misma dirección, entonces se dice que la onda esta polarizada y se llama plano de polarización al plano formado por la dirección de la vibración y la dirección de propagación. En el caso de que las partículas alcanzadas por la onda tengan varias direcciones de vibración, es posible que al pasar por un filtro determinado solo se propaguen las vibraciones de determinada dirección, es decir la onda se polariza.

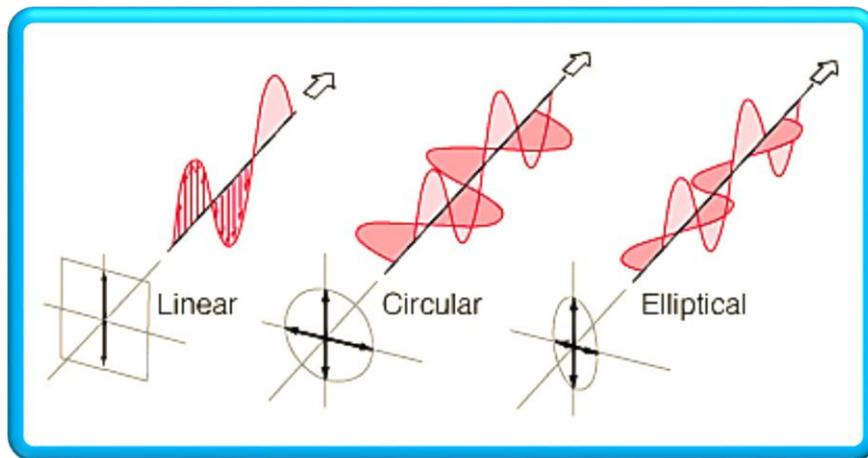


Figura 20. Polarización.



Figura 21. Polarizador.

17) instrumento de medición luxómetro.

El luxómetro sirve para la medición precisa de los acontecimientos luminosos en el sector de la industria, el comercio, la agricultura y la investigación. Además se puede utilizar el luxómetro para comprobar la iluminación del ordenador, del puesto de trabajo, en la decoración de escaparates y para el mundo del diseño.



Figura 22. Luxómetro.

1.3 Niveles de Iluminación.

Los niveles de iluminación son estándares recomendados para el desarrollo de las diversas tareas visuales, así como las características de confort, seguridad y contraste entre otros aspectos. Estos niveles de iluminación pueden variar dependiendo las normas y anexos de cada país, además de diversas especificaciones que vienen dependiendo del tipo de uso, ambiente y características especiales de la zona en las que se desee implementar.

Para el caso de nuestro país (México), Los niveles de iluminación adecuados para las tareas visuales y áreas de trabajo nos son indicados en la norma NOM – 001 – SEDE - 2012.

Los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo de acuerdo a la norma NOM- 025 – STPS – 2008, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la tabla 3.

*Nota: se mostrarán más niveles de iluminación en el capítulo dos, como parte de los estándares viales, así como en el capítulo 3 para la iluminación de túneles.

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple trabajo medio en banco y maquina inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> • de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; • exactas y muy prolongadas, y • Muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	2000

Tabla 3. *Niveles de iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo.*

Capítulo 2 “Iluminación de vías públicas”

El objetivo fundamental de la función de carreteras es permitir una visión segura y confortable durante la noche y en situaciones de visibilidad limitada. Estas cualidades de la visión pueden resguardar, facilitar, mejorar el tráfico vehicular. El uso adecuado de la iluminación viaria como instrumento operativo proporciona beneficios socioeconómicos como son:

- La reducción de accidentes nocturnos incluyendo los daños humanos y las pérdidas económicas.
- El apoyo a la protección policial y la seguridad ciudadana.
- La facilidad del tráfico.
- La mejora continua del transporte y el desplazamiento durante las horas nocturnas.

La finalidad del alumbrado público es proporcionar al conductor la visibilidad necesaria para distinguir los obstáculos y el trazado de la vialidad con el tiempo preciso para efectuar las maniobras que garanticen su seguridad. Además de dotar a la vialidad de confort visual mientras conduce.

2.1 Criterios de diseño.

Los criterios de diseño de alumbrado de vialidades obedecen diferentes factores, pero el primer factor a tomar en cuenta para la instalación de alumbrado vial es si la vía necesita un sistema de alumbrado.

2.1.1 Criterio para instalar o no alumbrado a una vialidad.

Primero debe realizarse un examen sobre los posibles tramos viales para determinar si resulta necesario dotarlos o no de una instalación de alumbrado, lo que conlleva con el establecimiento de ciertos factores y criterios que determinen la implantación de dichas instalaciones.



Factores que influyen a la hora de instalar un sistema de alumbrado.

Diagrama 1. Factores que influyen a la hora de instalar un sistema de alumbrado.

En la siguiente tabla 4 guía se indicarán los valores de las intensidades medias diarias (IMD) de tráfico que podrían adoptarse para tomar en consideración la posibilidad de dotar de un sistema de alumbrado a la carretera.

Continuando con el fin de evitar el efecto de “agujero negro”, será conveniente considerar iluminar los tramos donde exista un porcentaje considerable de accidentes nocturnos respecto a los diurnos, así como también los tramos donde se requiera implantar un sistema de alumbrado para incrementar condiciones de seguridad.

Tipo de vía.	IMD mínima para iluminar (Vehículos / Día)
Carreteras convencionales	12 000
Autopistas	22 000
Intersecciones	4 000
Enlaces	7 000

Tabla 4. *Valores límites de IMD recomendados para iluminación.*

1) Criterios de diseño de sistemas de iluminación vial.

Para el diseño de cualquier sistema de iluminación se debe realizar acorde a normas preestablecidas o en dado caso de acuerdo con criterios de diseño y niveles de iluminación preestablecidos.

La iluminación de las vías puede cuantificarse en base a los siguientes criterios.

a) *Intensidad de tráfico.*

Las altas intensidades de tráfico requieren la iluminación de la vía.

b) *Multiplicidad de nudos.*

La presencia de varios nudos – intersecciones o enlaces próximos en un tramo de vía urbana hace conveniente la iluminación del mismo. Como criterio, se recomienda la instalación de luminarias para distancias internodales inferiores a 2km.

c) Carácter del medio atravesado.

Es recomendable la iluminación de la vía en las inmediaciones de determinadas zonas, como las áreas residenciales o comerciales, o bien en zonas próximas a otras ya iluminadas, así como en puntos donde se produzcan variaciones bruscas de velocidad en los vehículos.

d) Zonas de elevada accidentalidad.

En zonas donde la cantidad de accidentes nocturnos doble a la de diurnos se hace conveniente la instalación de sistemas de iluminación. Además, deberán iluminarse zonas especialmente críticas, como túneles, puentes e intersecciones.

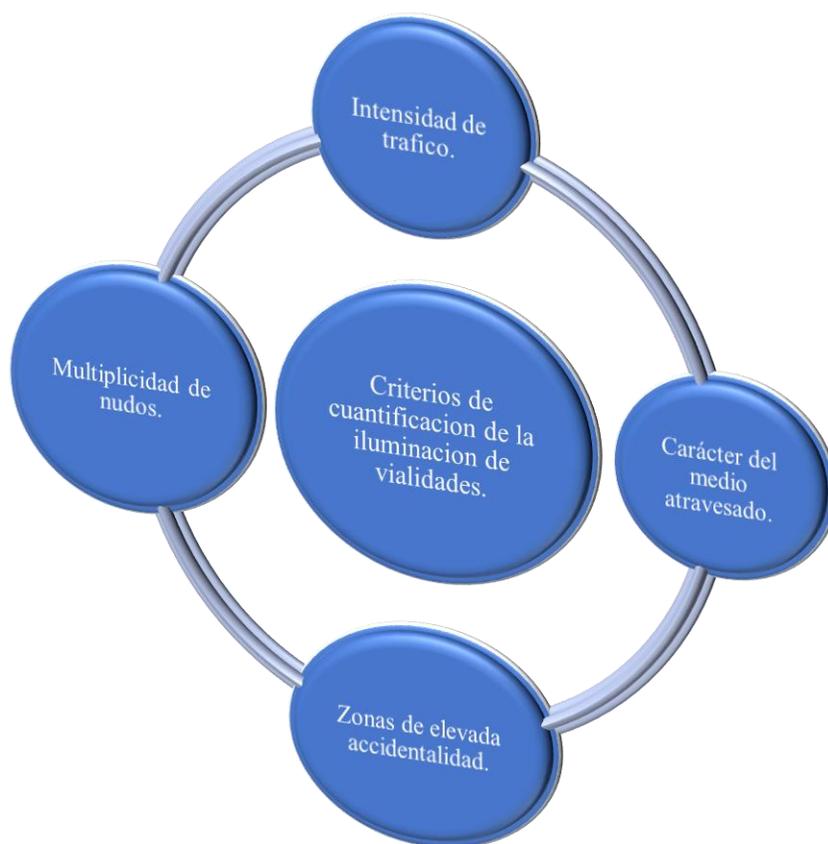


Diagrama 2. Criterios de cuantificación de la iluminación de vialidades.

2.1.2 Elección de los sistemas de iluminación.

Las carreteras urbanas deben de tener mejor iluminación que el resto de las vías debido a la mayor velocidad de circulación vehicular, por lo que requiere óptimas condiciones de visibilidad para peatones y conductores.

Así como también evitar ciertos aspectos como el contraste luminoso, que se presenta con frecuencia en el caso de los túneles o al termino brusco de los sistemas de iluminación en la carreteras y calles, por esto es necesario un sistema de iluminación que reduzca gradualmente el nivel de iluminación que permita una transición más lenta para el ojo humano, sin producir deslumbramiento.

La elección de los sistemas de iluminación responde a diversos factores tanto económicos, sociales y técnicos que condicionan la elección del sistema de alumbrado a emplear:

1) Determinación de nivel de iluminación necesario.

Dependiendo del tipo de vía, será necesario el empleo de lámparas de mayor potencia, o reducir la separación y/o altura de los báculos de alumbrado.

2) Enclavamiento de la vía.

Situación de la vía en el contexto urbano global, así como la evaluación de sus características y del uso del suelo existente a su alrededor: plaza, parque, zona residencial, uso industrial, etc...

3) Forma de disposición de los báculos.

Atendiendo a criterios de tipo económico, puede efectuarse diversas disposiciones en planta de los báculos de alumbrado, cada una de ellas aparejada a un mayor o menor grado de calidad.

4) *Altura del báculo.*

Dependiendo de la disposición y la potencia de la lámpara, deberá escogerse la altura del báculo, sin perder de vista el factor de uniformidad.

5) *Determinación de la interdistancia.*

Una vez determinados los anteriores parámetros, únicamente queda determinar la interdistancia entre luminarias para conseguir el nivel de iluminación exigido.



Diagrama 3. Criterios de elección de los sistemas de iluminación.

2.1.3 Altura del báculo de alumbrado.

Para determinar la altura del báculo de alumbrado es necesario tener en cuenta factores como el nivel de iluminación deseado o la uniformidad necesaria. Para su cálculo se emplea el factor de altura R, que relaciona la altura del punto de luz con la anchura de la vía a iluminar:

$$R = \frac{\text{Altura del punto de luz (h)}}{\text{Anchura de la vía (A)}}$$

El valor recomendado de este factor varía según la disposición adoptada.

Disposición	R
Unilateral	0.85 a 1.00
Tresbolillo	0.50 a 0.66
Pareada	0.33 a 0.50

Tabla 5. *Factor de altura de báculo.*

Otra característica que determina la altura del báculo es la potencia de la lámpara utilizada, o bien su flujo luminoso característico. A continuación, se muestra una tabla sancionada por la experiencia que ofrece una buena aproximación.

Flujo (Lm).	Altura (m).
3 000 a 9 000	6.50 a 7.50
9 000 a 19 000	7.50 a 9.00
Más de 19 000	Más de 9.00

Tabla 6. *Potencia de la lámpara considerando altura de la lámpara.*

A pesar de estos métodos orientativos de cálculo, la elección de la altura del báculo debe hacerse en base a los niveles de iluminancia y uniformidad requeridos. Es conveniente recordar que una mayor altura favorece un reparto más uniforme del flujo lumínico, aunque disminuye el nivel de iluminación alcanzado en la superficie de la vía. Lógicamente, alturas menores provocarían efectos totalmente opuestos.

2.1.4 Criterios de calidad.

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que nos sirven como criterios de calidad. Son la luminancia media (L_m o L_{AV}), los coeficientes de uniformidad (U_0 , U_L), el deslumbramiento (TI y G) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR).

2.1.5 Coeficientes de uniformidad.

Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en la vía se analizan el rendimiento visual en términos del coeficiente global de uniformidad U_0 y la comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad U_L (medido a lo largo de la línea central).

$$U_0 = L_{\min} / L_m \quad U_L = L_{\min} / L_{\max}$$

2.1.6 Deslumbramiento.

El deslumbramiento producido por las farolas o los reflejos en la calzada, es un problema considerable por sus posibles repercusiones. En sí mismo, no es más que una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria. Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los conductores y/o peatones.

Se llama deslumbramiento molesto a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa.

El deslumbramiento perturbador se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca visión borrosa sin nitidez y con bajo contraste, este fenómeno no necesariamente produce una sensación incomoda como el deslumbramiento molesto. Por esto para evaluarlo se utiliza el incremento de umbral (TI) expresado en porcentaje.

$$TI = 65 \frac{L_V}{(L_m)^{0.5}}$$

Donde:

L_m = luminancia media de la calzada.

L_V = luminancia de velo.

2.1.7 Coeficiente de iluminación en los alrededores.

El coeficiente de iluminación en los alrededores “SR” por sus siglas en inglés (Surround Ratio) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta forma se asegura que los objetos, automovilistas y peatones sean visibles para los conductores.

El “SR” se obtiene calculando la luminancia media de una franja de 5m. De ancho a cada lado de la calzada.

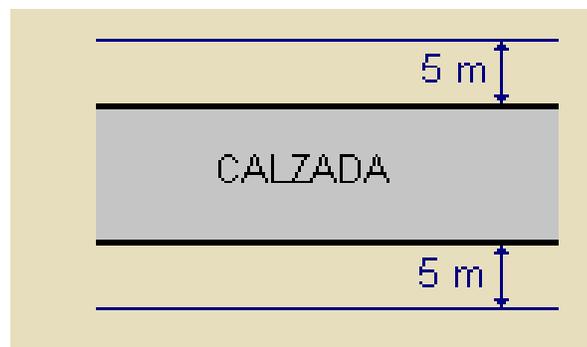


Figura 23. Coeficiente de iluminación de los alrededores.

2.1.8 Determinación de la interdistancia entre puntos de luz.

La interdistancia entre puntos de luz es el factor que normalmente queda como incógnita, una vez definida la potencia de la lámpara, la altura del báculo que la soporta y como no, la anchura de la vía a la que dará servicio.

Una vez más, son los factores de iluminancia y uniformidad los que condicionan la elección de la separación entre puntos de luz.

Existen diversos métodos de cálculo, con aproximaciones más o menos precisas, aunque complementarios entre sí. De entre todos ellos destacan por su simplicidad y eficacia los siguientes el método de los coeficientes de utilización y el método de los nueve puntos.

2.2 Niveles de iluminación.

Debido a que estos niveles mínimos de luminancia o de iluminancia tomados de la experiencia a nivel mundial, iguales a los establecidos por el IES y CIE para los mismo usos específicos, se encuentran regulados por la norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-2005 en su artículo 930, a continuación me permito copiar lo señalado en ella y de este modo, viendo los parámetros considerados en este artículo y sus calores podremos deducir, como su cumplimiento obliga a obtener un alumbrado efectivo, eficiente y de calidad.

2.2.1 Reflectancia del pavimento.

Se deben considerar las características de reflectancia del pavimento para el cálculo de luminancia de una vialidad, las cuales son sustraídas de la CIE y que han sido adoptadas por la NTC 900, de la cual serán mostradas en la tabla siguiente.

Clase	Coeficiente de luminancia media. [Q ₀]	Descripción.	Tipo de reflectancia
R1	0.10	Superficie de asfalto con un mínimo del 15% de materiales abrillantadores o materiales artificiales claros o al menos un 30% de anorsitas muy brillantes. Superficies que contienen gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada y las gravas de gran cantidad de material claro, o de abrillantadores o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes. Superficies de calzada de hormigón de cemento.	Casi difuso
R2	0.07	Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales. Superficies asfálticas (pavimento bituminoso que contienen del 10% al 15% de abrillantadores artificiales) hormigón bituminoso grueso y rugoso rico en grava (más del 60%) de tamaños iguales o mayores a 10mm Asfalto mastico después de ser tratado. Se conoce también como asfalto mastico en estado nuevo.	Difuso especular
R3	0.07	Hormigón bituminoso (asfalto frio, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm con textura rugosa. Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.	Ligeramente especular
R4	0.08	Asfalto mastico después de varios meses de uso superficies de textura bastante suave o pulimentadas.	Muy especular

Tabla 7. *Características de reflectancia del pavimento.*

2.2.2 Niveles de luminancia.

Se permite que las necesidades visuales a lo largo de las vialidades tipo autopistas, carreteras, vías principales, primarias y secundarias, puedan darse en términos de la iluminancia o de la luminancia. La relación entre los valores de luminancia e iluminancia se derivan de condiciones generales para pavimentos secos y vialidades rectas. Esta relación no se aplica a los promedios. Para autopistas con doble carril por sentido de circulación, donde el sistema de iluminación puede diferir entre uno y otro, los cálculos deben realizarse para cada sentido en forma independiente. Para autopistas, los valores mínimos se aplican tanto a la vialidad como a las rampas de acceso.

Las necesidades visuales del entorno a lo largo de una vialidad en función de la luminancia deben ser los descritos en la tabla 8 que se muestra a continuación.

Clase de iluminación.	Zona de aplicación.				
	Todas las vías	Todas las vías	Todas las vías	Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas.
	Lprom. (cd/m ²)	U ₀ Mínimo.	T.I. (%) Max. inicial	U _L Mínimo.	SR Mínimo.
M1	2.0	0.4	10	0.5 a 0.7 ¹	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.5 a 0.7 ¹	0.5
M3	1.0	0.4	10	0.5	0.5
M4	0.75	0.4	15	N.R.	N.R.
M5	0.5	0.4	15	N.R.	N.R.
Nota :	1.- 0.7 para vías de alta velocidad con calzadas separadas, exentas de cruce a nivel y con Access completamente controlados. Autopistas expresas N.R.- No requiere. La clasificación de iluminación de la serie M será detallada en los anexos.				

Tabla 8. *Requisitos mínimos por tipo de iluminación.*

De acuerdo con el criterio de luminancia, se establece de acuerdo a los términos de la luminancia del pavimento, la uniformidad de luminancia y luminancia del velo de deslumbramiento perturbador producido por el sistema de iluminación. En la tabla siguiente se muestran los requerimientos recomendados del diseño de luminancia, la uniformidad y la relación entre luminancia promedio y la luminancia de velo.

Tipo de vialidad y área de conflicto peatonal.		Luminancia promedio	Relación de uniformidad	Relación de uniformidad	Relación de velo de iluminancia
Vialidad	Área de conflicto peatonal	Prom (Cd/m ²)	Lmax/ Lmin.	Lmax/ Lmin.	Lv máx. /prom. (máx. Permitido)
Autopista	Alta	1.0	3	5	0.3
	Mediana	0.8	3	5	0.3
	Baja	0.6	3.5	6	0.3
Principal	Alta	1.2	3	5	0.3
	Mediana	0.9	3	5	0.3
	Baja	0.6	3.5	6	0.3
Colector	Alta	0.8	3	5	0.4
	Mediana	0.6	3.5	6	0.4
	Baja	0.4	4	8	0.4
Local	Alta	0.6	6.0	10.0	0.4
	Mediana	0.5	6.0	10.0	0.4

Tabla 9. *Valores recomendados mantenidos de luminancia.*

Recomendaciones de iluminación en luxes promedio mantenido en el plano horizontal para carreteras. (De acuerdo con la I.E.S.).

Clasificación vehicular de carreteras	Áreas urbanas		
	Comercial	Intermedia	Residencial
Autopista	6	6	6
Vía rápida	15	13	11
Camino principal	22	15	11
Camino secundario	13	10	6
Camino local	10	6	4
Camino lateral	6	4	4

Tabla 10. *Clasificación vehicular de carreteras.*

Iluminación y factores de uniformidad, sobre vialidades en ausencia de datos numéricos sobre el tráfico (Recomendaciones europeas).

Tipo de vía	Valores mínimos		Valores normales	
	Iluminación [lx].	Factor de uniformidad.	Iluminación media [lx].	Factores de uniformidad.
Carreteras de las redes básicas o afluentes.	15	0.25	22	0.30
Vías principales o de penetración, continuación de carreteras de las redes básicas o afluentes.	15	0.25	22	0.30
Vías principales o de penetración, continuación de carreteras de la red comercial.	10	0.25	15	0.25
Vías industriales.	4	0.15	7	0.20
Vías comerciales de lujo con tráfico vehicular.	15	0.25	22	0.30
Vías comerciales con tráfico vehicular en general.	4	0.15	10	0.25
Vías residenciales con poco tráfico vehicular.	4	0.15	7	0.20
Vías residenciales con tráfico vehicular.	7	0.15	10	0.25

Tabla 11. *Factores de uniformidad.*

2.3 Sistemas de iluminación.

Los sistemas de iluminación son necesarios y adecuados para un correcto diseño y funcionamiento de la instalación de alumbrado y para que este sistema sea funcional es necesario seguir los siguientes fundamentos.

2.3.1 Clasificación de las Luminarias.

Las luminarias son los aparatos destinados a resguardar y soportar la lámpara, además de sus elementos auxiliares, estas se encargan de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta. Para ello, adoptan diversas formas, aunque en el alumbrado público encontramos principalmente las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada. Se pueden encontrar montadas sobre postes, columnas, empotradas, suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces.

1) Clasificación (CIE 1965)

La C.I.E. ha introducido un nuevo sistema para la clasificación de las luminarias para vialidades sustituyendo el sistema introducido en 1965, en el cual clasificaba las luminarias en tres tipos: Cut-off, semi-cut-off y non-cut-off. Aunque este sistema de 1965 aun es utilizado en ciertas recomendaciones para la iluminación de vialidades. A continuación, se mostrará el sistema de clasificación de 1965 y el sistema actual.



Diagrama 4. Clasificación CIE (1965)

	Máximo Valor permitido de la intensidad emitida para un ángulo de elevación		Dirección de la intensidad máxima.
	80 °	90 °	
Cut-off	$\leq 30 \text{ cd} / 1000 \text{ lm}$	$\leq 10 \text{ cd} / 1000 \text{ lm}$	$\leq 65^\circ$
Semi cut-off	$> 30 \text{ cd} / 1000 \text{ lm}$	$\leq 50 \text{ cd} / 1000 \text{ lm}$	$\leq 75^\circ$
Non cut-off	$> 100 \text{ cd} / 1000 \text{ lm.}$	$> 50 \text{ cd} / 1000 \text{ lm}$	$\leq 90^\circ$

Tabla 12. Clasificación para luminarias de alumbrado público (CIE 1965)

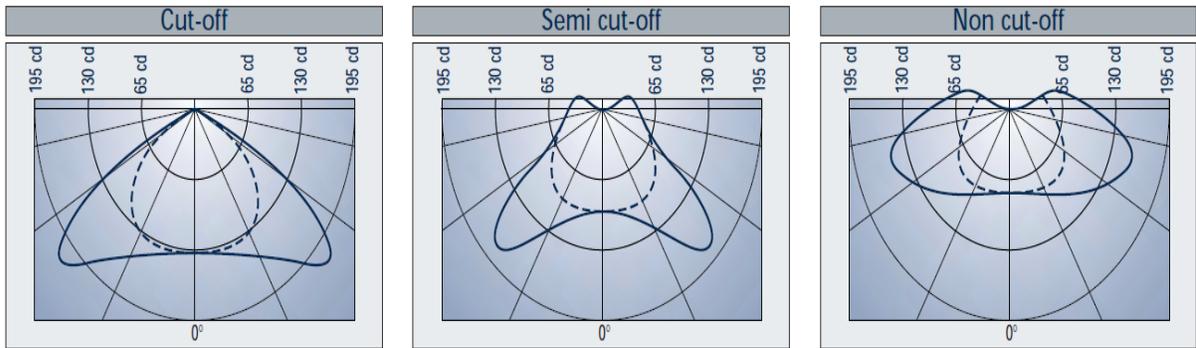


Figura 24. Curvas fotométricas con su clasificación.

Otro tipo de clasificación es mediante los siguientes tipos:

Tipo I.

Cuando la proyección de la mitad de la potencia máxima se encuentra o cae hasta 1.0 veces la altura de montaje del luminario en el sentido transversal de la calle, tanto de lado calle como de lado casa.

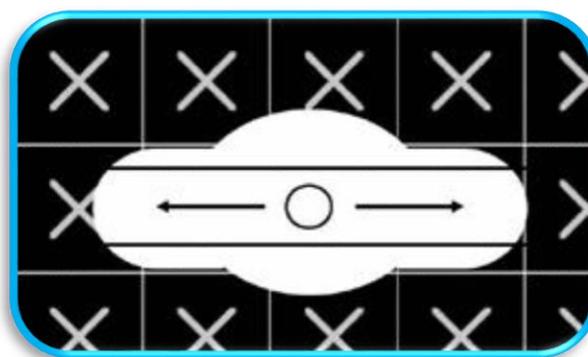


Figura 25. Tipo I.

Tipo II.

Cuando la proyección de la mitad de la potencia máxima se encuentra o cae hasta 1.75 veces la altura montaje del luminario en el sentido transversal de la calle.

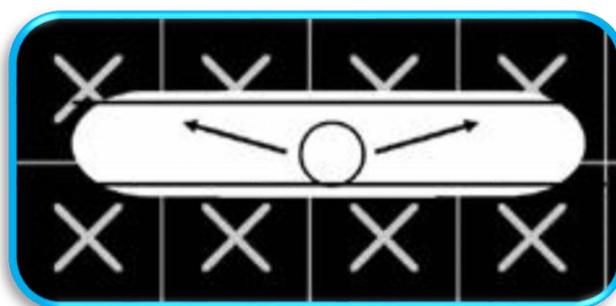


Figura 26. Tipo II.

Tipo III.

Cuando la proyección antes mencionada entre 1.75 y 2.75 veces la altura de montaje.

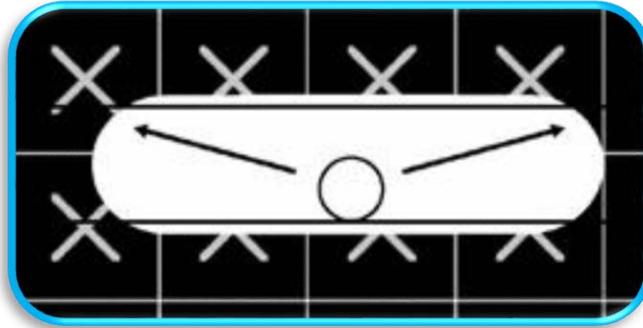


Figura 27. Tipo II.

Tipo IV.

Cuando se localiza de 2.75 veces la altura de montaje o más.

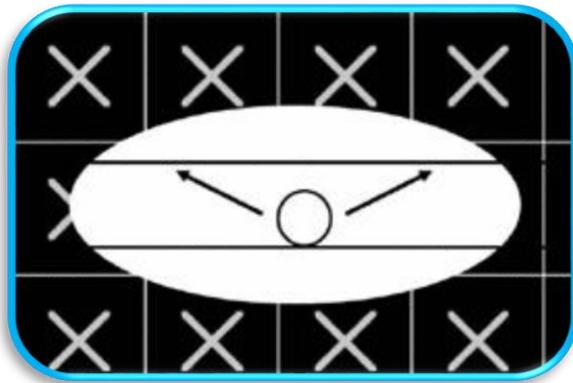


Figura 28. Tipo IV.

Tipo V.

Cuando su curva de distribución lateral es simétrica (circular).

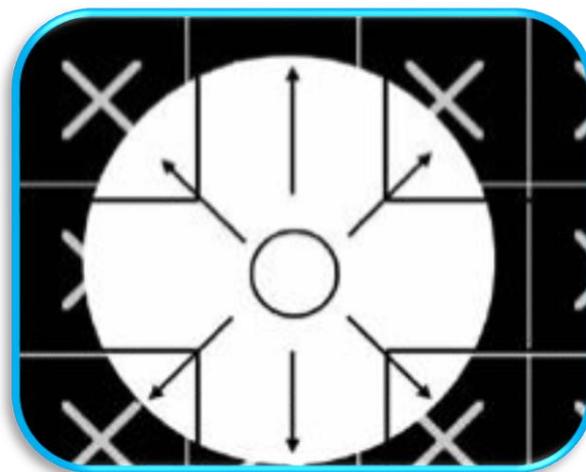


Figura 29. Tipo V.

Guía para la selección de tipos de curvas de distribución lateral de flujo luminoso.

Cada una de las diferentes disposiciones es usada para la correcta instalación de un sistema de iluminación pero cada una de estas tiene una localización en la cual destaca o es más conveniente su utilización como se muestra a continuación.

Alternativas de instalación			
Una hilera o tresbolillo	Ancho de la vía	Tipos	Localización
	Mayor a 1.5 MH	II – III - IV	En laterales.
	Mayor a 2 MH	I	En el centro del camellón
Doble hilera opuesta o tresbolillo.	Menor a 1.5 MH	III – IV	En laterales.
	Mayor a 1.5 MH cada carril	II – III	En el centro del camellón
Intersección o cruzamiento.	Mayor a 1.5 MH	II (4 vías)	En laterales.
	Mayor de 2 MH	I (4 vías)	En el camellón con camellón adicional.

Tabla 13. *Guía para la selección de tipos de curvas de distribución lateral de flujo luminoso.*

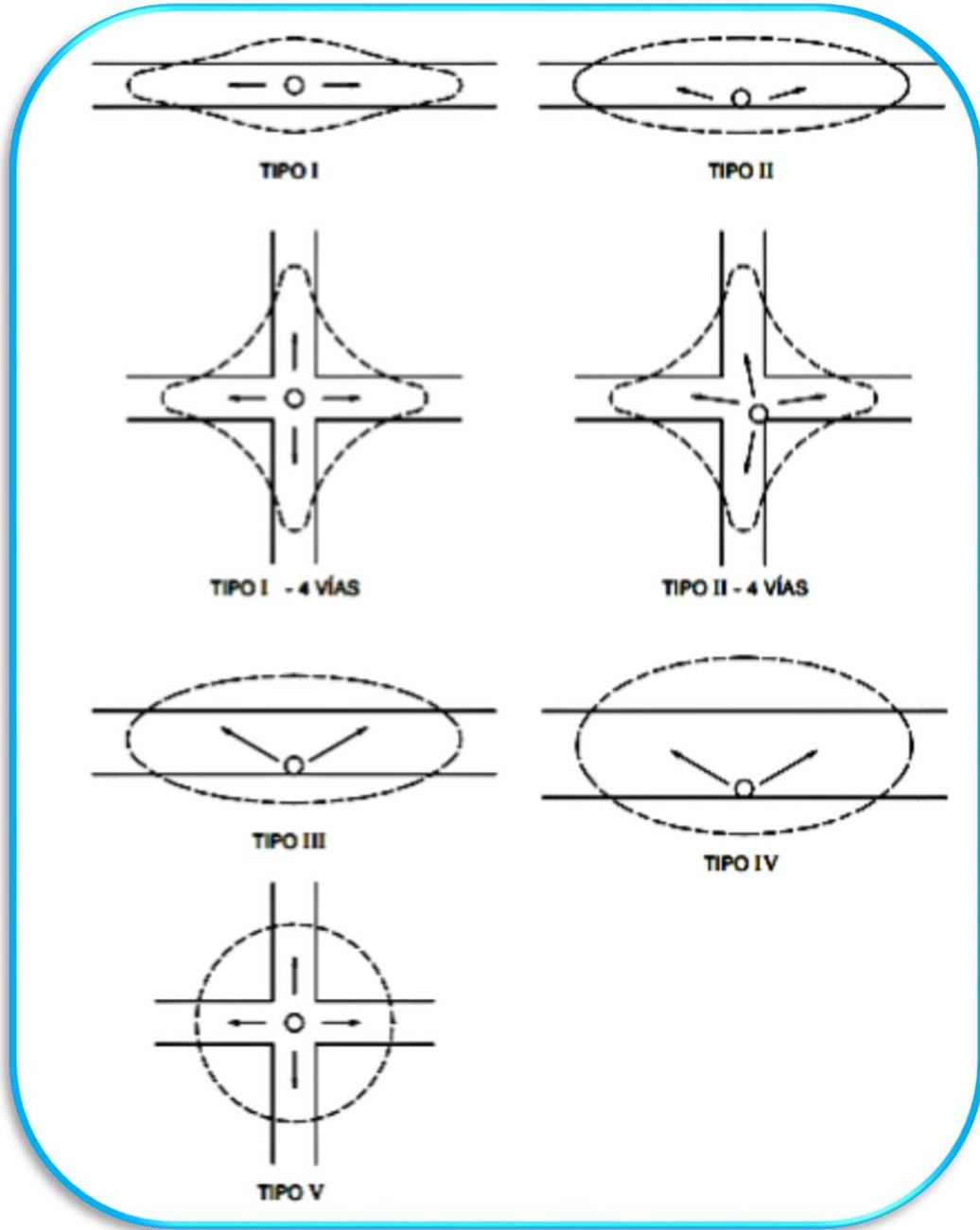


Figura 30. Aplicación de los 5 tipos de luminarias.

2) Clasificación CIE actual.

Actualmente la nueva clasificación de la CIE también nos permite clasificar las luminarias según tres parámetros; alcance, dispersión y control.

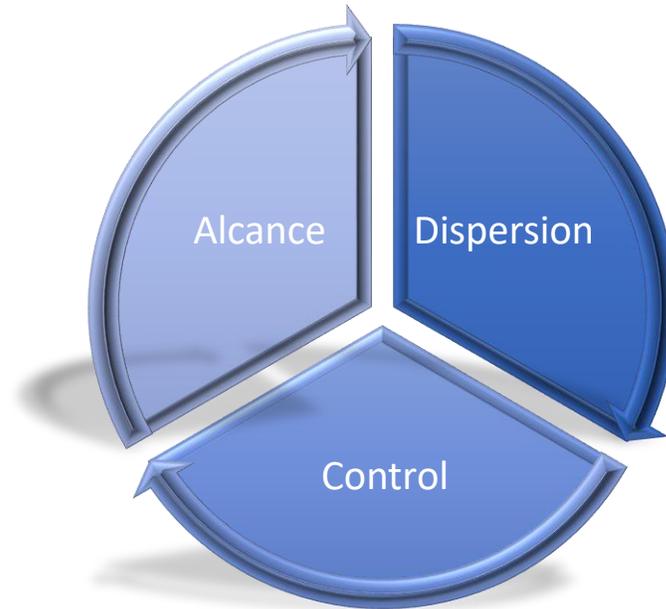


Diagrama 5. Clasificación CIE (actual).

Estos parámetros dependen de sus características fotométricas.

Los dos primeros nos informan acerca de la distancia en que es capaz de iluminar una luminaria en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente. Mientras, el control nos proporciona información acerca del deslumbramiento que produce la luminaria a los usuarios.

a) Alcance.

El alcance es la distancia, determinada por el ángulo γ_{MAX} , en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de I_{MAX} que corresponden al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa.

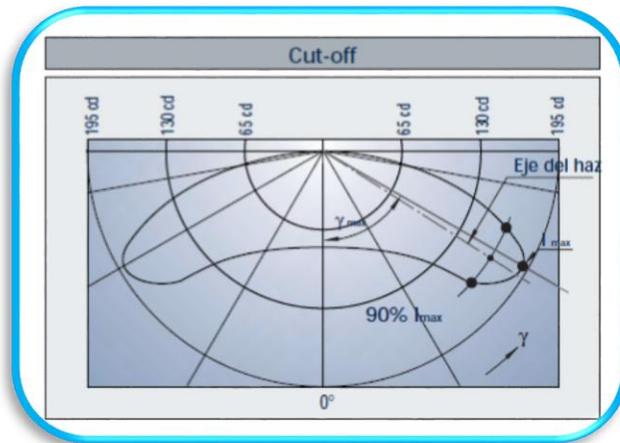


Figura 31. Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima que indica el ángulo utilizado para la determinación de alcance.

En el diagrama 6, se definen tres grados de alcance de la siguiente manera.

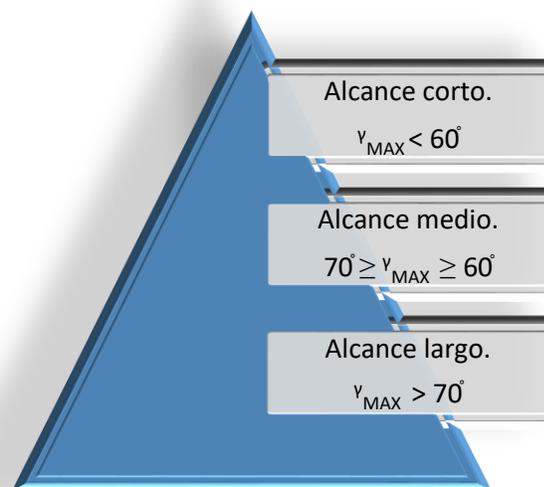


Diagrama 6. Alcance.

b) *Dispersión.*

La dispersión es la distancia determinada por el ángulo γ_{90} , en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de I_{MAX} proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria. Como se muestra en la figura 32.

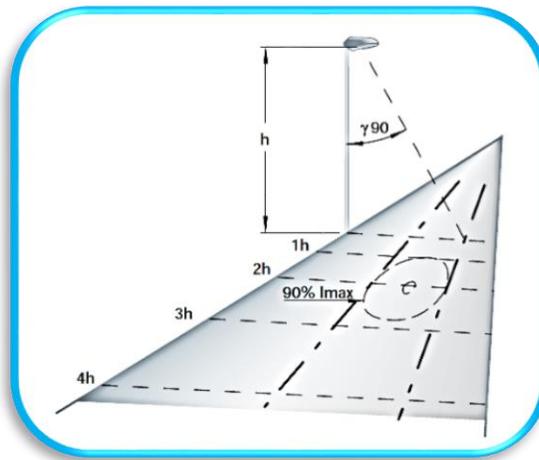


Figura 32. *Dispersión o apertura de las luminarias.*

Los tres grados de apertura se definen de la siguiente manera.

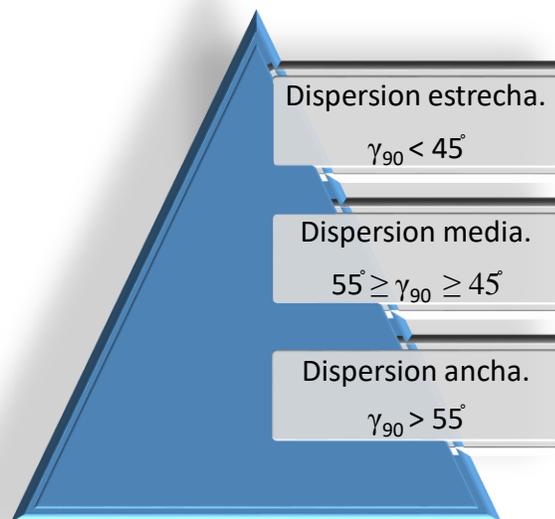


Diagrama 7. *Dispersión.*

Tanto el alcance como la dispersión pueden calcularse gráficamente a partir del diagrama isocandela relativo en proyección azimutal. Como se muestra en la figura 33.

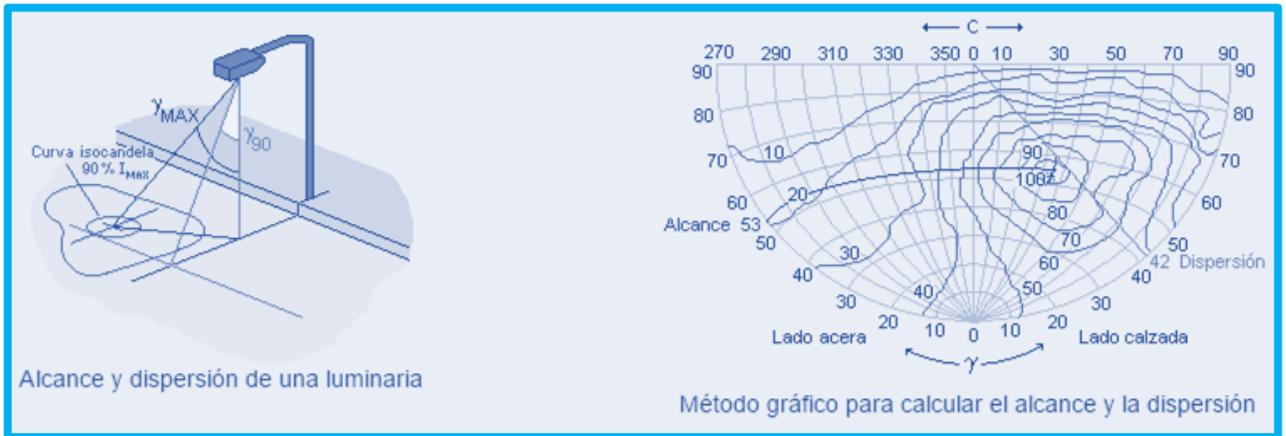


Figura 33. Alcance y dispersión.

c) Control.

Está definido por el índice específico de la luminaria (SLI). Este es parte de la formula G de control del deslumbramiento molesto que está determinado solo por las propiedades de la luminaria.

$$SLI = 13.84 - 3.31 \cdot \log(I_{80}) + 1.3 \log\left(\frac{I_{80}}{I_{80}}\right)^{0.5} - 0.08 \cdot \log\left(\frac{I_{80}}{I_{80}}\right) + 1.29 \cdot \log(F) + C$$

Donde:

I_{80} = Intensidad luminosa a un ángulo de 80°, en un plano paralelo al eje de la calzada [cd].

$\frac{I_{80}}{I_{80}}$ = Relación entre intensidades luminosas para 80° y 88°.

F = Área emisora de las luminarias (m²) proyectadas en la dirección de elevación a 76°.

C = Factor de color, variable de acuerdo al tipo de lámpara (+0.4 para lámparas de sodio a baja presión y 0 para las demás lámparas).

Con ayuda de la formula se puede indicar el tipo de control al que pertenece de acuerdo a la tabla 14.

Control limitado	SLI < 2
Control medio	$2 \leq \text{SLI} \leq 4$
Control intenso	SLI > 4

Tabla 14. *Control.*

A continuación, en la siguiente tabla se muestran resumidas las características de la clasificación de las luminarias de acuerdo con la CIE.

Alcance	Apertura	Control
Corto $\gamma_{\max} < 60$	Estrecha $\gamma_{90} < 45$	Limitado SLI < 2
Medio $70 \geq \gamma_{\max} \geq 60$	Media $55 \geq \gamma_{90} \geq 45$	Moderado $4 \geq \text{SLI} \geq 2$
Largo $\gamma_{\max} > 70$	Ancha $\gamma_{90} > 55$	Estricto SLI > 4

Tabla 15. *Sistema de clasificación de la C.I.E. de propiedades fotométricas de luminarias.*

2.3.2 Disposición de luminarias en tramos rectos.

Para implantación de puntos de luz en tramos rectos de vialidades contamos con 5 tipos básicos de distribución de puntos de luz. Aunque para mejorar la calidad de la iluminación podemos hacer combinación de estos tipos dependiendo del trazado, así como también obedeciendo a situaciones especiales que se presenten.

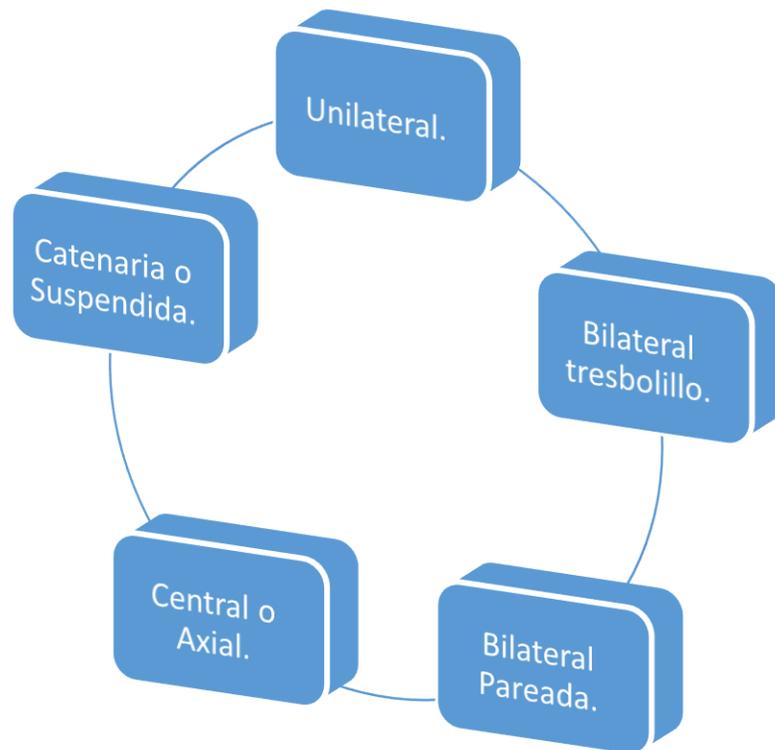


Diagrama 8. Tipos de disposición de luminarias.

1.- Unilateral.

Esta disposición consiste en situar los puntos de luz en un mismo lado de la vía. Se utiliza generalmente cuando el ancho de la calzada sea igual o inferior a la altura de montaje de las luminarias como se muestra en la figura 34.

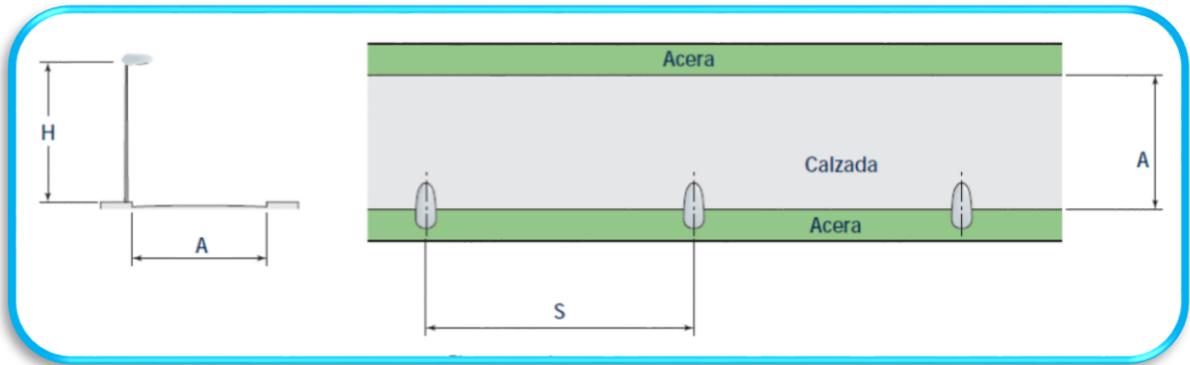


Figura 34. Disposición unilateral.

2.- Bilateral tresbolillo.

En la siguiente disposición los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía a tresbolillo o zigzag. Se utiliza principalmente cuando el ancho de la calzada A sea de 1 a 1.5 veces la altura de montaje H de las luminarias como se muestra en la figura 35. (Considerándose el más adecuado de 1 a 1.3 veces la altura de montaje).

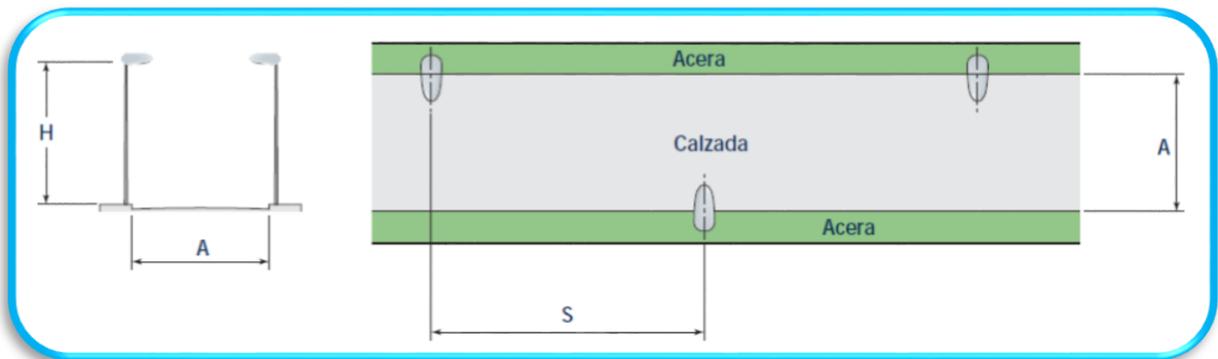


Figura 35. Disposición Bilateral tresbolillo.

3.- Bilateral pareada.

Consiste en situar los puntos de luz en ambos lados de la vía, uno opuesto al otro. Se utiliza normalmente cuando el ancho de la calzada es mayor de 1.5 veces la altura de montaje de las luminarias como se muestra en la figura 36. (Considerándose más adecuado cuando el ancho de la calzada supere 1.3 veces la altura de montaje).

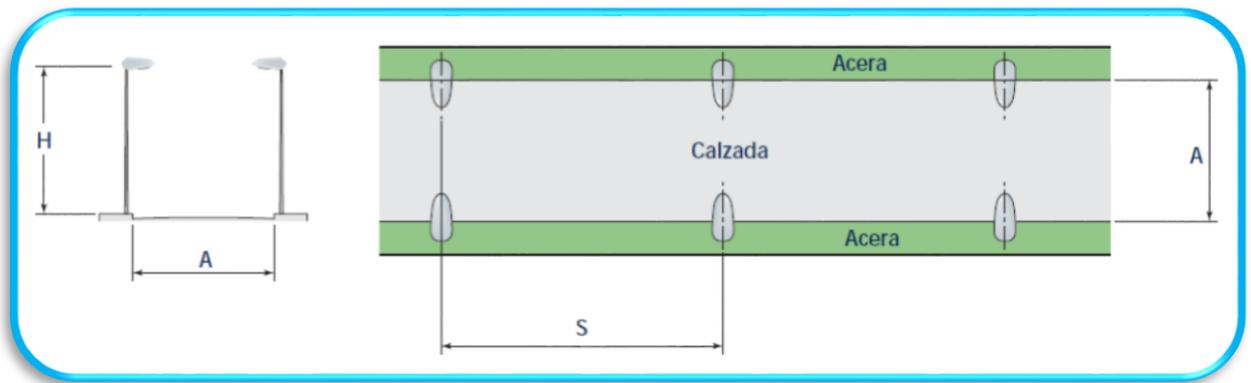


Figura 36. Disposición Bilateral pareada.

4.- Central o axial.

En las vías donde se cuente con mediana o camellón central entre los dos sentidos de circulación o separación entre carriles, los puntos de luz se dispondrán en columnas o báculos con doble brazo. Situados en la mediana o camellón central, cuando el ancho de la mediana se encuentre comprendida entre 1 m. Y 3 m. como se muestra en la figura 37.

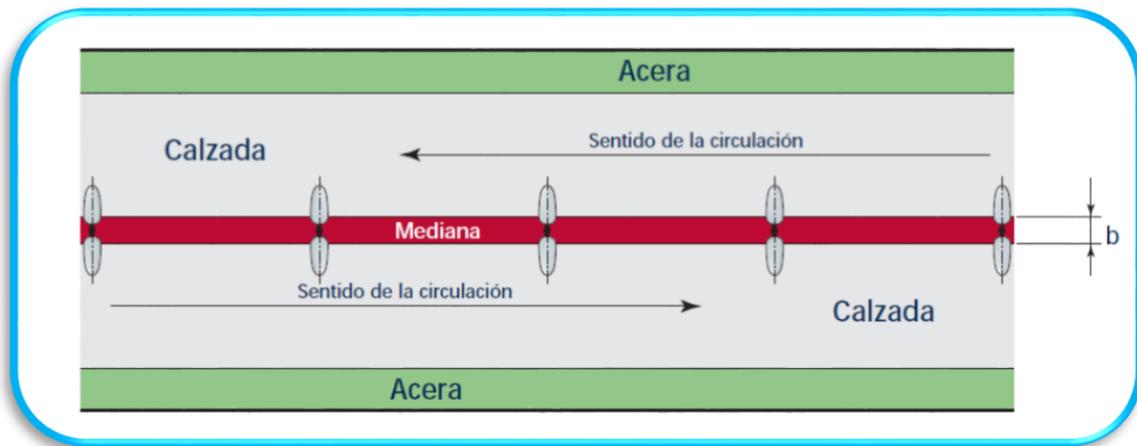


Figura 37. Disposición Central o axial para valores de $1 < b < 3$ metros.

Aunque también podemos encontrar medianas superiores a 3 metros. Para estos casos no se recomienda utilizar báculos dobles. En cualquier caso, este deberá estudiarse como si se tratase de dos calzadas independientes pues la implantación de la disposición central puede incitar a los automovilistas a permanecer en el carril más próximo a la mediana.

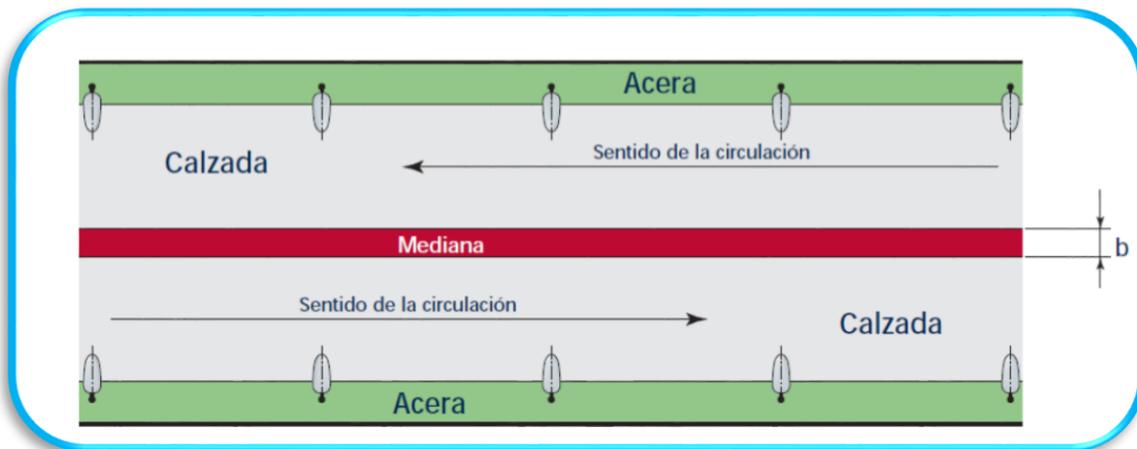


Figura 38. Disposición para valores "b" cualesquiera.

5.- Catenaria o Suspendida.

En esta disposición los puntos de luz se fijan axialmente a los cables longitudinales o transversales de la catenaria, suspendida entre dos solidos soportes implantados en la mediana central o entre estructuras opuestas. Para la catenaria longitudinal se recomienda usar para casos de interdistancia del orden de 50 m a 100 m. como se muestra en la figura 39 Y para el caso de la catenaria transversal esta se recomienda para calles muy estrechas, aunque principalmente su uso es para fines decorativos como se muestra en la figura 40.

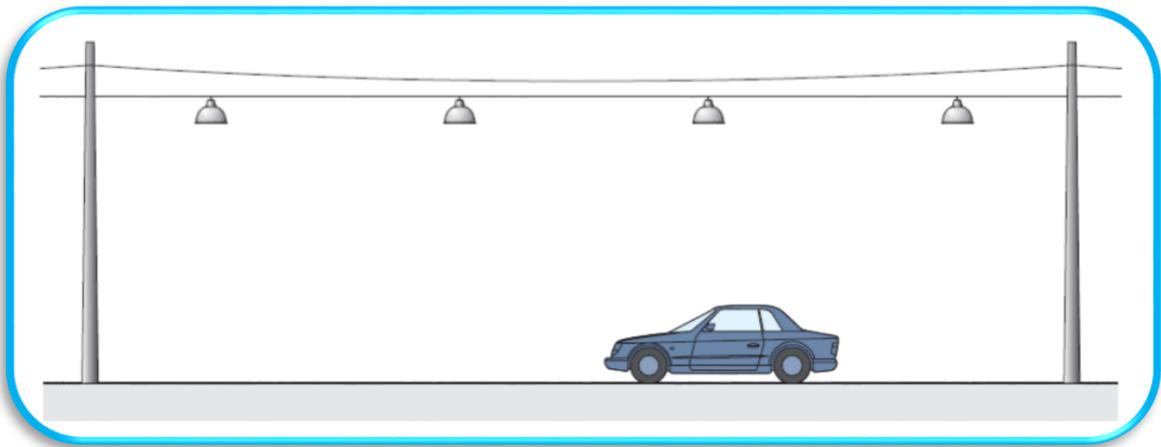


Figura 39. Disposición Suspendida o catenaria, longitudinal.



Figura 40. Disposición Suspendida o catenaria, transversal.

6.- Disposiciones combinadas.

Las disposiciones presentadas anteriormente son los tipos básicos de disposición de luminarias, pero es cierto que no siempre la utilización de un solo tipo de estas logre satisfacer nuestros criterios de calidad de iluminación y por tanto en la mayoría de situaciones y proyectos resulta convenientes hacer combinación de 2 o más tipos de disposiciones básicas de implantación de puntos de luz. A continuación, se muestran dos ejemplos en los cuales las vías poseen más de dos calzadas, además de contar con media o camellón central. Como se muestran en las figuras 41 y figura 42.

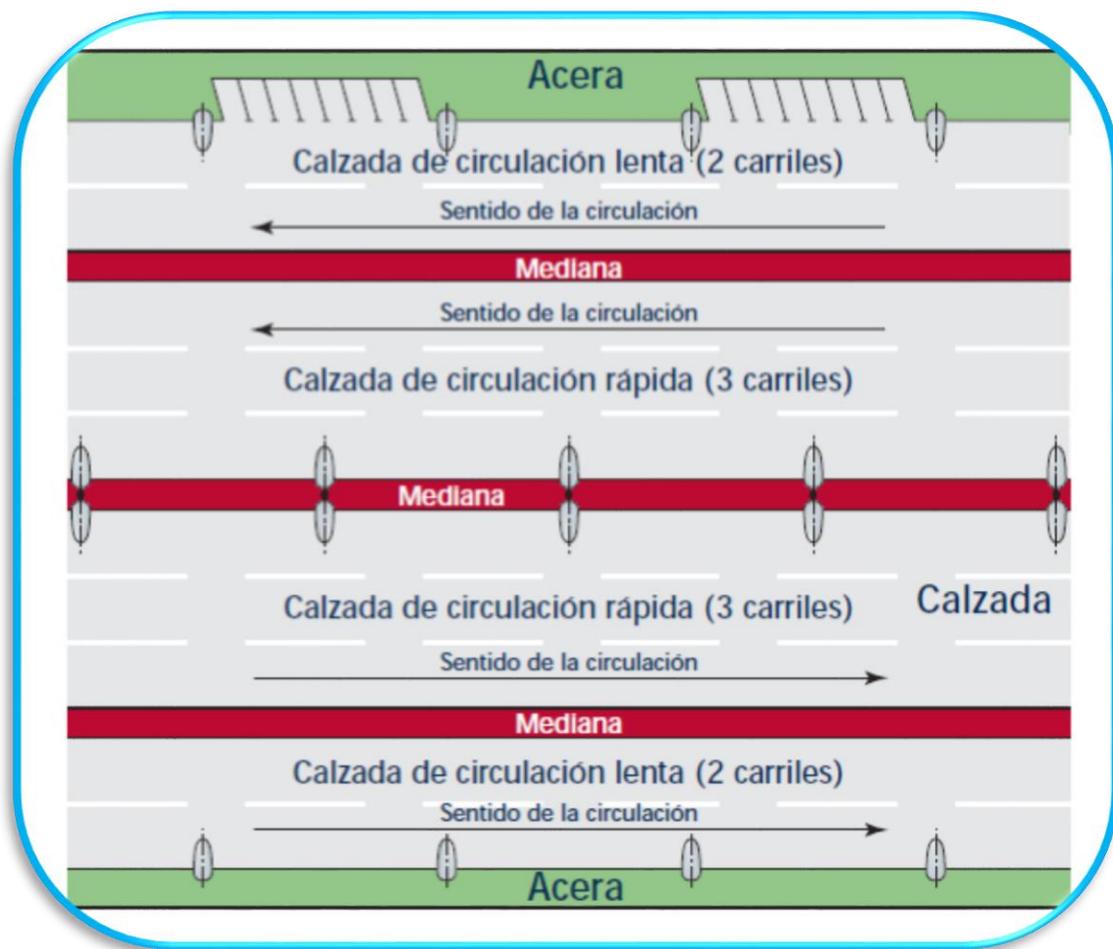


Figura 41. Disposición de luminarias combinadas.

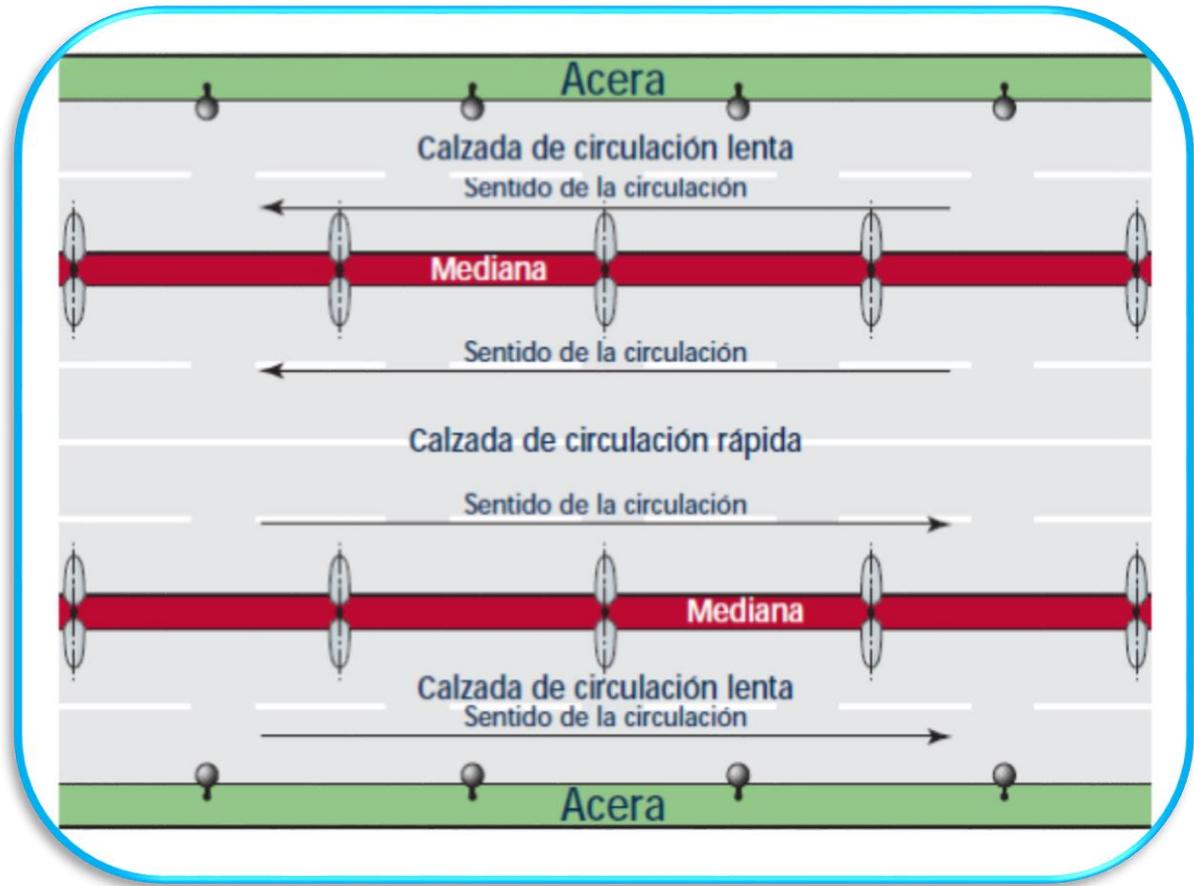


Figura 42. Disposición de luminarias combinadas.

2.3.3 Disposición de luminarias en cruces, glorietas, curvas y pasos peatonales.

1) Disposición de luminarias en cruces.

En los casos de cruces e intersecciones los niveles de iluminación deberán ser los mismos utilizados para tramos singulares, pero al menos deberá incrementarse entre 10 y 20% el nivel luminoso correspondiente a la clase de vía de mayor nivel luminoso entre las que confluyen en el cruce. En las siguientes figuras 43 y 44 se mostrarán diagramas de carácter orientativo para la disposición de luminarias en cruces.

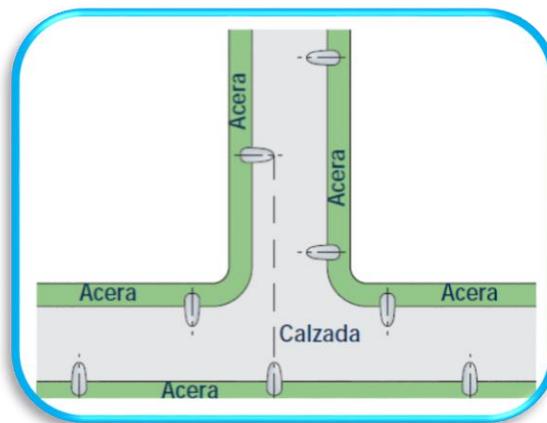


Figura 43. Disposición de luminarias en cruces en T.

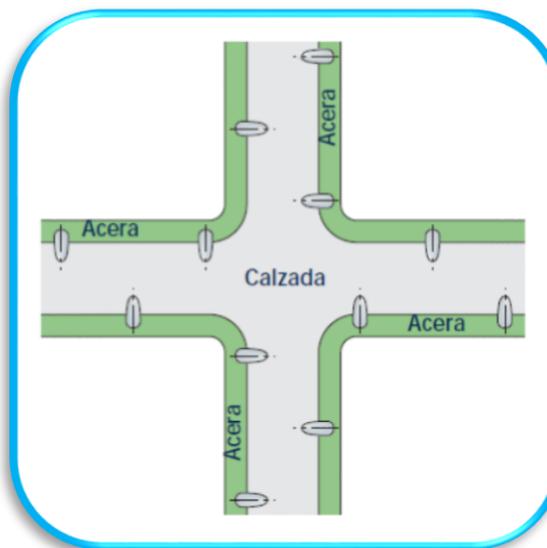


Figura 44. Disposición de luminarias en cruces de 4 calles.

2) Disposición de luminarias en glorietas.

Para la disposición de luminarias en las glorietas primero debemos de tomar en cuenta el diámetro de ésta, si esta es menor de 18 m. se recomienda colocar un centro de luz en columna o bien un báculo de brazo múltiple como se muestra en la figura 45 y en el caso de que el diámetro de la glorieta sea superior a 18 m se recomienda instalas puntos de luz en las prolongaciones de los ejes de circulación de acuerdo con la figura 46.

Otro factor a tomar en cuenta será la altura de montaje de las luminarias, esta deberá ser igual a la de las vías que confluyen en la glorieta. Para el caso de que en la zona central de la glorieta no se logre obtener una iluminación mayor o igual a 1.5 veces la iluminación media de la calzada principal, se tendrá que disponer de iluminación suplementaria.

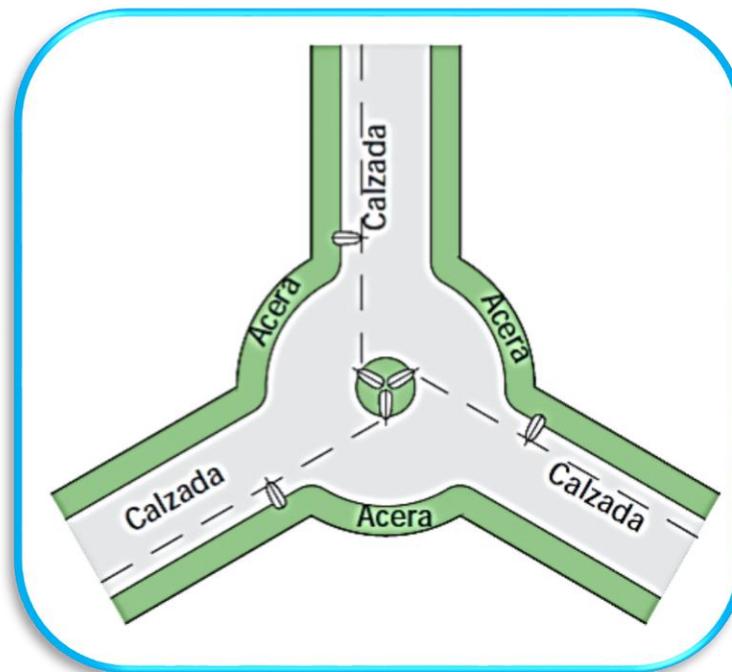


Figura 45. Disposición de luminarias en glorietas con punto de luz central o brazo múltiple (para diámetro de glorieta $D < 18m$).

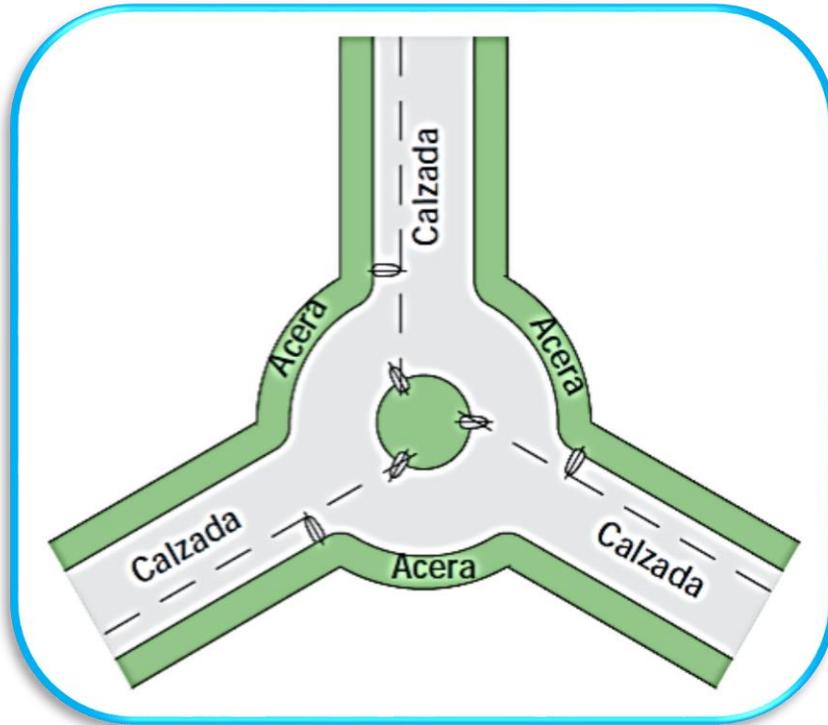


Figura 46. Disposición de luminarias en glorietas con puntos de luz en prolongaciones (para diámetro de glorieta $D > 18m.$).

3) Disposición de luminarias en curvas.

La disposición de las luminarias deberá seguir las reglas siguientes: proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre las luminarias cuanto menor sea el radio de la curva. Si la curvatura es grande ($R > 300 m$) se considerará como un tramo recto. Si es pequeña la anchura de vía es menor de 1.5 veces la altura de las luminarias se adoptará una disposición unilateral por el lado exterior de la curva. En el caso contrario se recurrirá a una disposición bilateral pareada, nunca tresbolillo pues no informa sobre el trazado de la carretera.

La separación entre puntos de luz deberá ser tanto menor cuanto mayor sea el radio de la curva variando entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ de la separación media calculada en el tramo recto de la vía.

$R > 300\text{m}$	similar a un tramo recto	
$R < 300\text{ m}$	$A/H < 1.5$	Unilateral exterior
	$A/H > 1.5$	Bilateral pareada.

Tabla 16. Tipo de disposición de acuerdo al radio de curva.

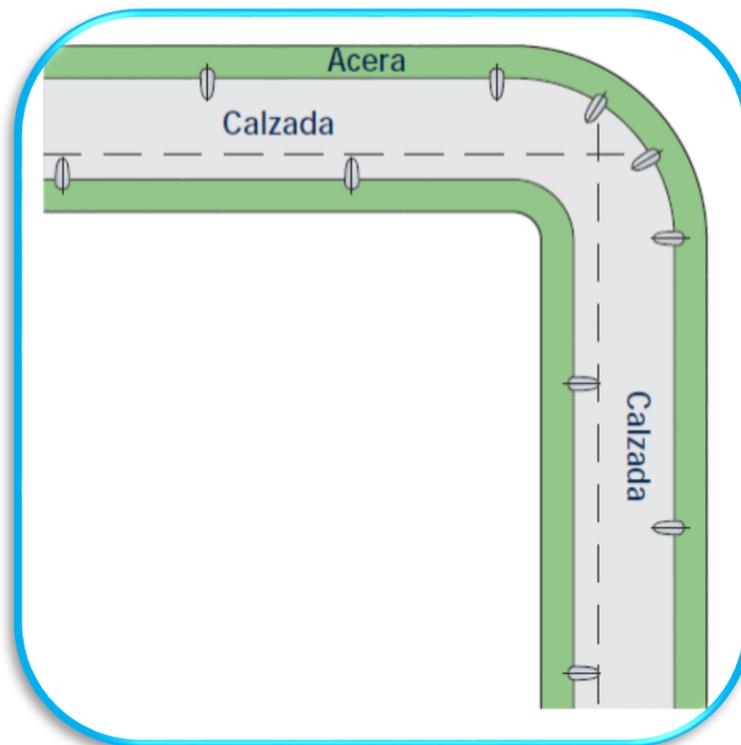


Figura 47. Disposición de luminarias en curvas.

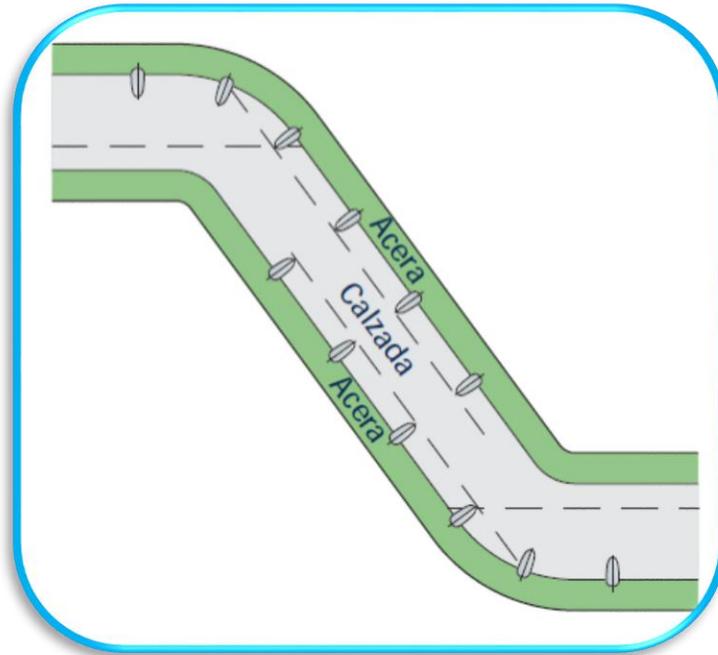


Figura 48. Disposición de luminarias en curvas consecutivas.

4) Disposición de luminarias para pasos peatonales.

En los pasos peatonales las luminarias se colocarán antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea bien visible tanto por los peatones como por los conductores como se muestra en la figura 49. Y los niveles de iluminación deberán ser iguales a los utilizados en la vía.

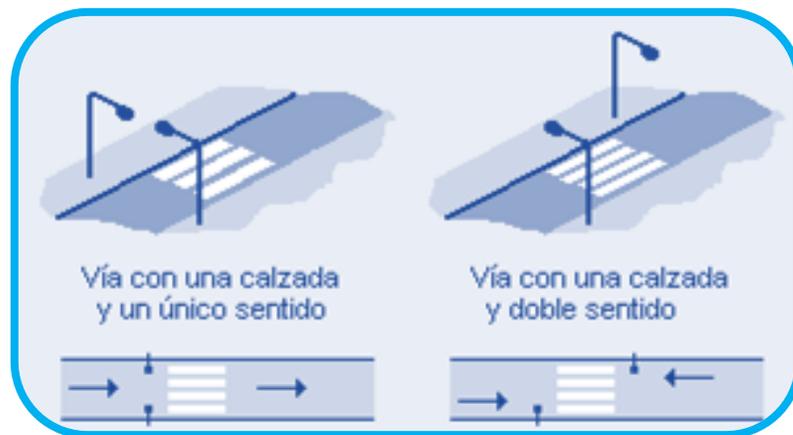


Figura 49. Disposición de las luminarias en pasos peatonales.

2.3.4 Disposición de las luminarias tomando en cuenta la vegetación.

La vegetación comúnmente se desprecia en cuanto a los cálculos y consideraciones de diseño debido a que al principio de la mayoría de los proyectos de implantación de alumbrado los arboles no existen o bien se añaden más tarde obedeciendo a cuestiones ornamentales. Sin embargo, para los casos en los cuales se requiera mejorar un sistema de iluminación es necesario tomar en cuenta estos pues actualmente existen algunas normas de carácter ecológico que nos impiden eliminarlos de la vía o limitar su cuidado estético (poda ornamental de los arboles). Por ello es de vital importancia tener un entendimiento y cooperación entre el diseño de la vegetación y el sistema de alumbrado para que ninguno interfiera con la función que desempeña el otro.

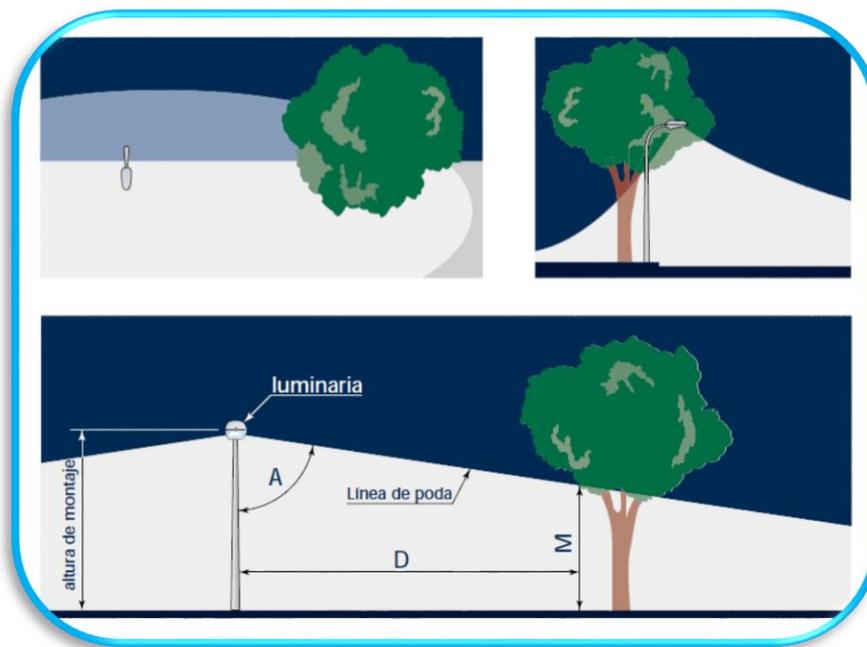


Figura 50. Disposición de luminarias considerando la vegetación.

Ángulo de línea de poda "A"	altura de poda del árbol
70	$M = 0.36 D$
75	$M = 0.26 D$
80	$M = 0.17 D$

Tabla 17. Ángulo de línea de poda tomando en cuenta altura de poda de árbol.

Cabe mencionar que incluso cuando el alumbrado y el arbolado presentan interferencias no siempre es necesario realizar la poda en todo el árbol, como podemos observar en la figura 50 solo es necesario podar las ramas que se encuentren por debajo del haz luminoso. Aunque en ocasiones se puede utilizar la frondosidad de los arboles como un medio útil para recortar y distinguir siluetas de forma intencionada, así como también apoyar en la reducción del deslumbramiento directo de las luminarias sobre posibles observadores o automovilistas. Esta ventaja se utiliza principalmente en carreteras con tráfico local y áreas residenciales, en donde se requieren interdistancia relativamente altas, y donde la potencia de las lámparas y ángulos cercanos a la horizontal influyen en factores de contaminación lumínica.

2.3.5 Condiciones que deben reunir las lámparas.

Las lámparas presentan una gran cantidad de especificaciones y datos técnicos, adecuados para cada uso y ambiente, pero en cuanto al diseño de estas todas deben cumplir o al menos tener en cuenta las siguientes condiciones en su diseño.

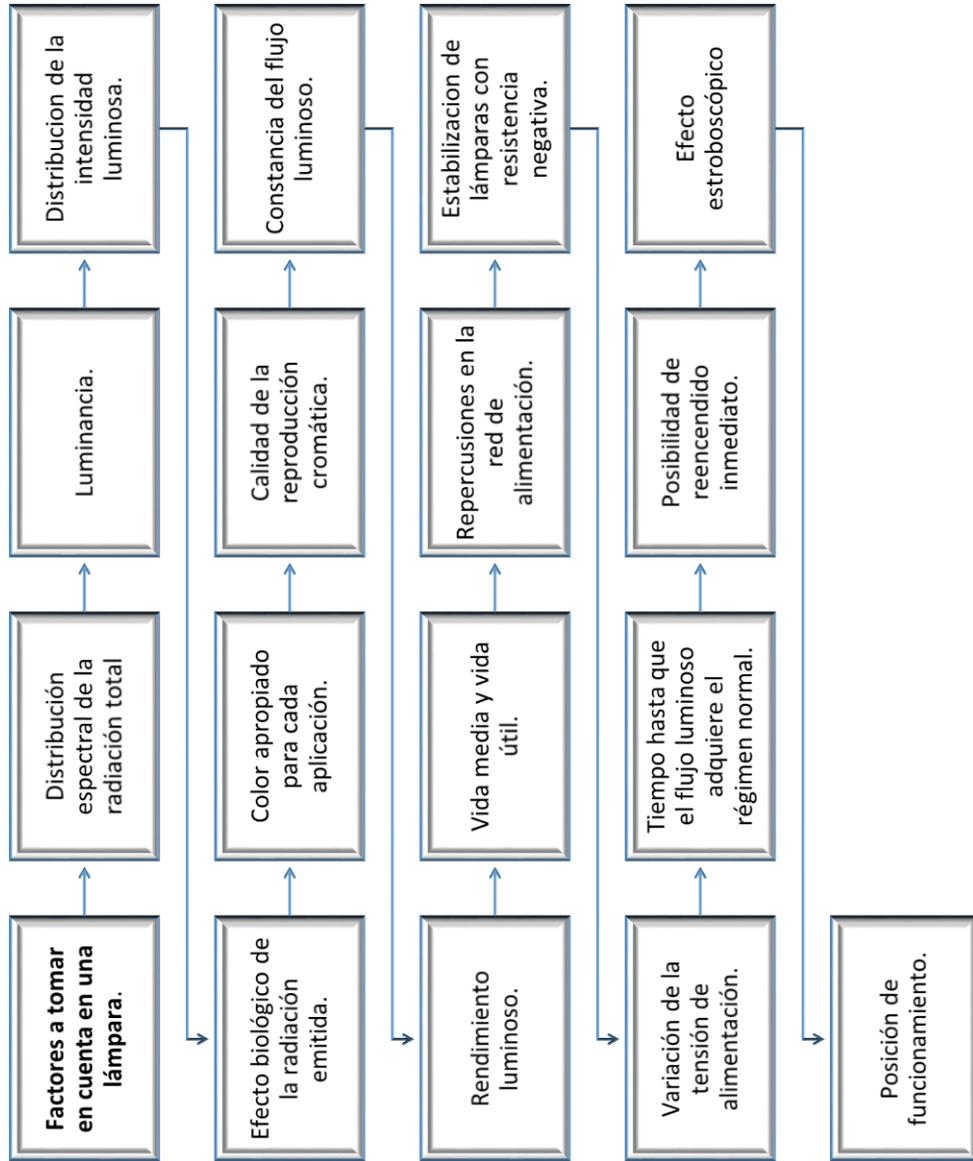


Diagrama 9. Condiciones que deben reunir las lámparas.

2.3.6 Factores a tomar en cuenta en una lámpara.

Las lámparas y luminarias presentan distintos y variados factores en su fabricación construcción y aplicación, debido a estos es necesario considerar y revisar los factores que nos resulten útiles o que estemos buscando obtener, a continuación se muestran algunos de estos.

1 Distribución espectral de la radiación total.

Para que las lámparas como transformadoras de energía puedan trabajar con un alto rendimiento, debería transformarse la mayor parte de la energía en radiación visible. Por otra parte, su luz debería ser blanca similar a la del día y con buena reproducción cromática, lo cual exige un espectro continuo que contenga todos los colores principales desde el violeta hasta el rojo, pero como la sensibilidad del ojo es máxima para la radiación amarillo-verdosa, lo más favorable en cuanto a rendimiento luminoso se refiere es obtener el porcentaje mayor de radiación en la zona 555 nm.

2 Luminancia.

Las lámparas luz que se emplean al descubierto no deben tener una luminancia elevada, Para mantener el deslumbramiento dentro de unos límites soportables. El valor de la luminancia admisible depende del tipo de aplicación.

Por el contrario, las lámparas que se utilizan en luminarias pueden tener grandes luminancias, ya que en ellas se amortigua el efecto de deslumbramiento.

En general, la luminancia que se puede obtener de una lámpara depende del sistema adoptado para la producción de luz, es decir, de la naturaleza física de la fuente y de si ésta es puntual, lineal o plana. La luminancia de las lámparas nunca puede aumentarse mediante cualquier sistema óptico, pero sin debilitarse.

3 Distribución de la intensidad luminosa.

La radiación de una lámpara no es igual en todas las direcciones del espacio, siendo afectada por la posición del casquillo, los soportes del cuerpo luminoso, entre otros factores, lo cual determina que cada tipo de lámpara posea una distribución típica de su intensidad luminosa.

Las curvas de distribución luminosa son esenciales para proyectar instalaciones de alumbrado, así como para el diseño de luminarias, porque su sistema óptico ha de ajustarse de tal forma a la curva de distribución luminosa de la lámpara, que la luz sea dirigida al lugar o punto de máxima necesidad.

4 Efecto biológico de la radiación emitida.

Es necesario que las lámparas no emitan ninguna radiación que pueda resultar peligrosa para el hombre. Con los radiadores térmicos como son las lámparas incandescentes, esta condición se cumple ya desde un principio (la mayoría de la radiación producida es infrarroja).

Algunas descargas de gases, principalmente las de vapor de mercurio, contienen por naturaleza un porcentaje de radiación ultravioleta que se puede clasificar en:

- UV-A: Bronceadora o de onda larga (entre 315 y 380 nm).
- UV-B: Antirraquítica o de onda media (entre 280 y 315 nm).
- UV-C: Bactericida o de onda corta (entre 200 y 280 nm).
- UV-C: Ozonífera o de onda corta (entre 100 y 200 nm).

El efecto permanente de las radiaciones UV-B o UV-C produce quemaduras en la piel desnuda y conjuntivitis en los ojos que no están protegidos. En las lámparas para alumbrado general esto puede evitarse con el empleo de clases de vidrio apropiados que absorban la radiación crítica.

5 Color apropiado para cada aplicación.

El color de luz de una lámpara se determina por la composición espectral de su radiación. En la Tabla 18 se establecen grupos de luz para las lámparas empleadas en el alumbrado general:

Color de luz	Temperatura de color.
Incandescente – fluorescente	2600 – 2700 K
Blanco cálido	2900 – 3000 K
Blanco o blanco neutral	3500 – 4100 K
Blanco frío	4000 – 4500 K
Blanco luz de día	6000 – 6500 K

Tabla 18. *Color de luz y temperatura de color.*

Mientras que las lámparas incandescentes por su alto contenido en rojo (a excepción de las lámparas de color), sólo pueden radiar un color blanco cálido, los colores de luz de las lámparas de descarga están determinados por los gases o vapores elegidos, por ejemplo, el color amarillo de la descarga del vapor de sodio, o el azul pálido de la de vapor de mercurio. Se pueden obtener otras variantes cromáticas, combinando diferentes vapores metálicos o modificando la presión del vapor.

Con las lámparas fluorescentes se ofrece la posibilidad de conseguir cualquier matiz que se desee, mediante la selección o mezcla de una gran cantidad de sustancias luminiscentes conocidas, para adaptarlas a cada tipo de aplicación.

6 Calidad de la reproducción cromática.

La reproducción cromática se refiere al aspecto del color que presentan las superficies iluminadas. Su calidad reproductora no sólo depende del tono de la luz incidente, sino fundamentalmente de su composición espectral. Por lo tanto, la temperatura de color se refiere únicamente al color de la luz, pero no a su composición espectral. Así, dos fuentes de luz pueden

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

La mayoría de las veces lo que se exige de una lámpara es una buena reproducción cromática, lo cual requiere una distribución espectral diferente a la que se necesitaría para conseguir un elevado rendimiento luminoso.

7 Constancia del flujo luminoso.

En la práctica es imposible conseguir el mantener el valor del flujo luminoso a un 100% en toda la vida de la fuente luminosa, ya que se tiene en contra aspectos físicos y tecnológicos.

Los flujos luminosos que se suelen indicar en los catálogos se refieren, en el caso de las lámparas de incandescencia, a lámparas que no han funcionado todavía, y en el caso de las de descarga, a lámparas con 100 horas de funcionamiento, a las cuales se considera se ha estabilizado el mismo.

8 Rendimiento luminoso.

El máximo rendimiento luminoso que se podía conseguir en el caso más favorable era de 683 lm/W. Aunque no se puede llegar a ese valor, hoy en día se han conseguido lámparas con un rendimiento bastante alto que permiten obtener iluminaciones elevadas de forma relativamente económica.

En muchos casos hay que decidir cuál es la propiedad de la lámpara que resulta más valiosa, si un elevado rendimiento luminoso o una reproducción cromática extraordinariamente buena.

9 Vida media y vida útil.

La vida media es un concepto estadístico que representa la media aritmética de la duración en horas de cada una de las lámparas de un grupo suficientemente representativo del mismo modelo y tipo.

La vida útil es una magnitud referida a la práctica, dada igualmente en horas, al cabo de las cuales el flujo luminoso de una determinada instalación de alumbrado ha descendido a un valor tal, para el que la lámpara no es rentable, aunque esté en condiciones de seguir funcionando.

10 Repercusiones en la red de alimentación.

Cualquier lámpara moderna requiere que su funcionamiento no tenga una repercusión importante en la red de alimentación.

Las lámparas de descarga eléctrica funcionan generalmente en conexión con una inductancia, representando para el circuito una resistencia aparente. Esto da lugar a que se obtenga un bajo factor de potencia, lo que supone una carga adicional para la red y por ello debe ser compensado.

11 Estabilización de lámparas con resistencia negativa.

Resistencia negativa es la propiedad que tienen algunas resistencias eléctricas, por ejemplo, la de un arco de descarga, de disminuir su valor a medida que aumenta la intensidad de corriente que circula por ella. Ello obliga en las lámparas de descarga a estabilizar la corriente con el fin de que no adquiera unos valores demasiado elevados que la puedan destruir. Esto se realiza fácilmente intercalando en el circuito de la lámpara resistencias inductivas, capacitivas y óhmicas.

12 Variación de la tensión de alimentación.

Las variaciones de la tensión de alimentación influyen en los datos luminotécnicos de cualquier lámpara. En las lámparas incandescentes afectan muy notablemente a la duración y temperatura de color, y en las de descarga, a las relaciones de presión del arco y con ello a las condiciones de descarga.

13 Tiempo hasta que el flujo luminoso adquiere el régimen normal.

Las lámparas incandescentes se encienden inmediatamente emitiendo su flujo total. Las lámparas fluorescentes pueden hacerlo también si se emplean cebadores de arranque rápido, de no ser así, el encendido se efectúa con retraso después de uno o varios intentos.

Las otras lámparas de descarga precisan un tiempo de encendido de varios minutos, hasta que el vapor metálico adquiere la presión necesaria y el flujo luminoso alcanza su máximo valor.

14 Posibilidad de reencendido inmediato.

Es la posibilidad de que la lámpara, después de apagada, tenga la posibilidad de un reencendido inmediato en caliente con plena emisión de flujo luminoso. Esta condición sólo la cumplen las lámparas incandescentes, las de vapor metálico presentan determinadas diferencias respecto a su posibilidad de reencendido inmediato, como se indica a continuación:

- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión: Necesitan un tiempo de enfriamiento de algunos minutos para poder reencender en caliente, y otro tiempo para alcanzar el flujo luminoso total.
- Lámparas de halogenuros metálicos: Se comportan igual que las de vapor de mercurio, existiendo algunos tipos que pueden reencender en caliente mediante aparatos especiales.
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión: Los tipos que poseen aparato de encendido separado reencienden en caliente dentro de un minuto y alcanzan el flujo total prácticamente sin demora. Los otros tipos sin aparato de encendido separado se comportan de forma similar a las lámparas de vapor de mercurio.
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión: Se comportan como las lámparas de vapor de mercurio.

15 Efecto estroboscópico.

En todas las fuentes de luz artificiales que funcionan con corriente alterna cesa su emisión cada vez que la corriente pasa por en punto cero. Esto tiene lugar dos veces por periodo, por lo que

para una frecuencia de 50 Hz. (periodos por segundo) se producirán 100 instantes de oscuridad por segundo.

El filamento de las lámparas incandescentes posee mucha inercia térmica, por lo que se produce un ligero descenso de la emisión luminosa por tal circunstancia, que pasa desapercibido por el ojo excepto cuando lámparas de poca potencia funcionan con redes de 25 Hz.

En las lámparas de descarga que funcionan con redes de 50 Hz., el ojo no es capaz de apreciar las variaciones tan rápidas de luz que se producen, pero puede darse el caso de que las lámparas iluminen zonas en las que se realicen movimientos rápidos, observándose entonces como si estos movimientos se realizaran de forma intermitente e incluso como si estuvieran parados.

Este fenómeno se conoce como efecto estroboscópico y se puede reducir hasta hacerlo insensible por medio de montajes especiales de alimentación de las lámparas, o donde se disponga de línea trifásica, distribuyendo su conexión entre las tres fases.

16 Posición de funcionamiento.

Una lámpara eléctrica generalmente está construida para una determinada posición de funcionamiento en la que presenta unas óptimas propiedades de trabajo. Fuera de esta posición, las propiedades cambian desfavorablemente, bien sea por sobrecalentamiento de la espiral, del casquillo o de la ampolla de vidrio, por desviación del arco de las lámparas de descarga o por variaciones del calor circundante. Por eso hay que tener en cuenta las tolerancias dadas en los correspondientes catálogos de las lámparas, a fin de evitar su agotamiento prematuro por inadecuada posición de funcionamiento.

Las abreviaturas empleadas indican la posición principal de funcionamiento y el ángulo de inclinación admisible en grados.

a) Principales posiciones de funcionamiento:

S (s) = Vertical (de pie, casquillo abajo).

H (h) = Vertical (colgando, casquillo arriba).

P (p) = Horizontal (casquillo a un lado).

HS (hs) = Vertical (casquillo arriba o abajo).

Universal = Permite cualquier posición de colocación.

17 Ángulos de inclinación admisibles:

A la posición principal de funcionamiento sigue una cifra que señala la inclinación admisible en grados con respecto a aquella.

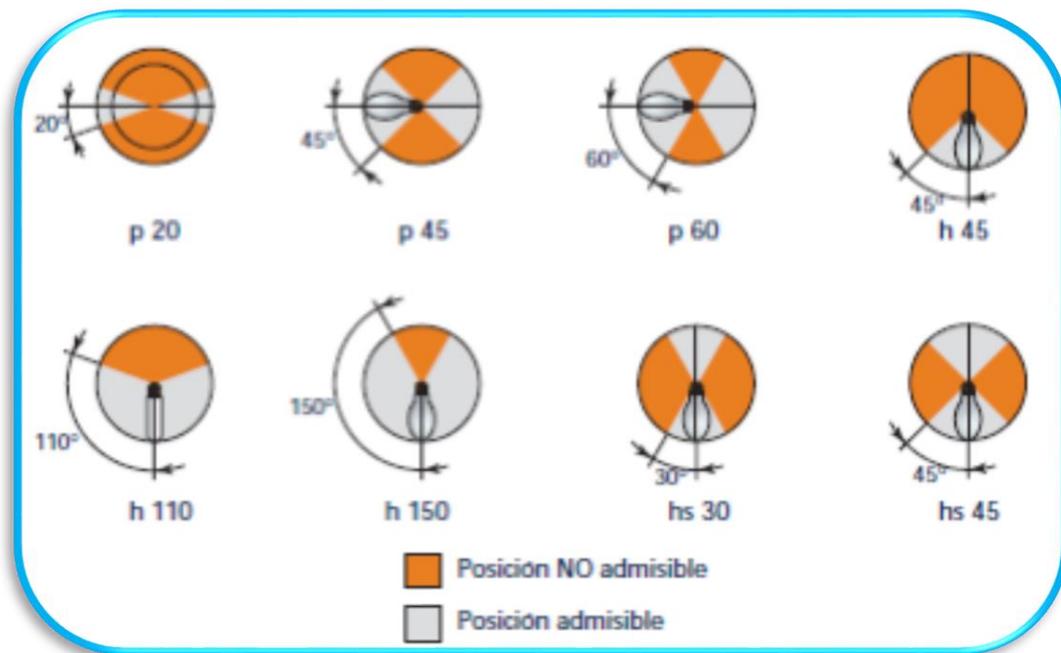


Figura 51. Ángulos de inclinación permisibles.

18 Lámparas.

a) Lámparas incandescentes.

La lámpara incandescente es la fuente de luz eléctrica más antigua y aunque actualmente su utilización se encuentra próxima a desaparecer por completo.

Así como también es una de las que nos presenta mayores alternativas para su utilización, principalmente cuando se requieren bajos flujos luminosos.

a-1 Lámpara incandescente convencional.

La lámpara incandescente es un dispositivo empleado para transformar la energía eléctrica en energía luminosa. Estos se logran calentando un filamento a una temperatura muy alta aproximada de 2482 grados Celsius que emite de esta forma una radiación dentro del campo visible del espectro de luz, mediante el paso de una corriente eléctrica a través del filamento de la lámpara.

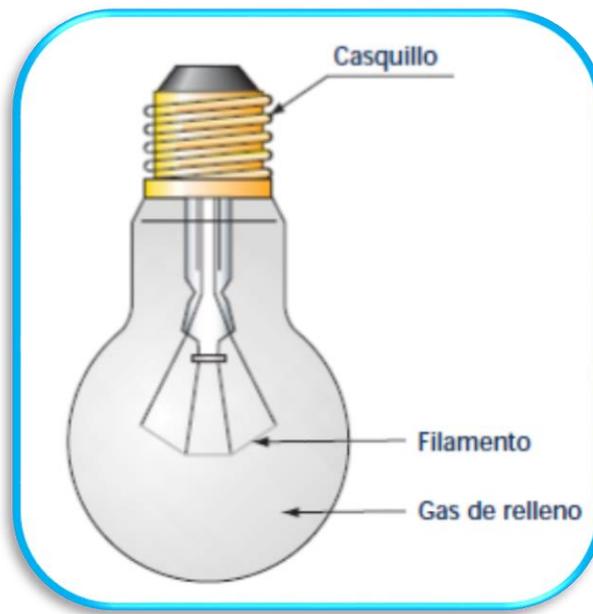


Figura 52. Lámpara incandescente convencional.

Las partes principales de una lámpara incandescente son: el filamento, la ampolla, el gas de relleno y el casquillo.

Filamento: El utilizado en las lámparas modernas está hecho de wolframio (alto punto de fusión y bajo grado de evaporación). Se obtuvo una mayor eficiencia luminosa enrollando el filamento en forma de espiral.

Ampolla: Es una cubierta de vidrio sellado que encierra al filamento y evita que tome contacto con el aire exterior.

Gas de relleno: La evaporación del filamento se reduce relleno la ampolla con un gas inerte. Los gases de uso más común son argón y nitrógeno.

a.2 lámpara halógena de wolframio.

La alta temperatura del filamento de una lámpara incandescente normal causa que las partículas de wolframio se evaporen y se condensan en la pared de la ampolla, causando en consecuencia el oscurecimiento de la ampolla. Las lámparas halógenas poseen un componente halógeno (yodo, cloro, bromo) agregado al gas de relleno y trabajan con el ciclo regenerativo de halógeno para prevenir el oscurecimiento.

El wolframio evaporado, se mantiene en forma de gas, siendo la temperatura de la ampolla suficientemente elevada como para prevenir la condensación. Cuando dicho gas se acerca al filamento incandescente, se descompone debido a la elevada temperatura en wolframio, que se vuelve a depositar en el filamento y halógeno, que continúa con su tarea dentro del ciclo regenerativo.

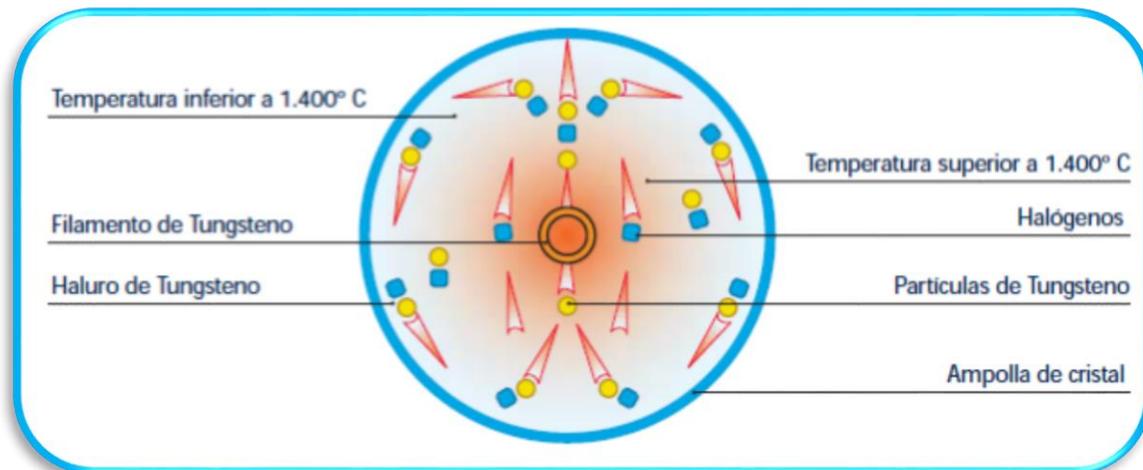


Figura 53. Lámpara de wolframio.

La diferencia principal con una lámpara incandescente, aparte del aditivo de halógeno mencionado anteriormente, está en la ampolla.

Las ventajas que presenta la lámpara halógena de wolframio respecto a la lámpara incandescente común son mayor durabilidad. Mayor eficiencia luminosa, mayor temperatura de color y poca o ninguna depreciación luminosa en el tiempo.

Vida de la lámpara incandescente.

El flujo luminoso como la vida de la lámpara está determinada por la temperatura de su filamento. A mayor temperatura en una lámpara, mayor será su eficacia (lúmenes por watt) y más corta su vida.

Ventajas de las lámparas incandescentes.

- Fuente de luz concentrada.
- Trabaja de forma eficiente a cualquier temperatura de operación.
- Encendido instantáneo.
- Facilidad de adaptación.
- Buena definición de colores.
- Fácil reemplazo.

- Se puede variar su intensidad luminosa fácilmente.
- Puede utilizar corriente alterna o continua.
- No requiere equipo adicional para su instalación.
- Bajo costo de instalación y costo inicial de la lámpara.

b) *Lámparas fluorescentes.*

En la lámpara fluorescente es una lámpara de descarga de vapor de mercurio a baja presión, en la cual la luz se produce predominante mediante polvos fluorescentes activados por la energía ultravioleta de la descarga.

La lámpara generalmente viene en modelos con una ampolla de forma tubular larga con un electrodo sellado en cada terminal, contiene vapor de mercurio a baja presión con una pequeña cantidad de gas inerte para el arranque y la regulación del arco. La superficie interna de la ampolla está cubierta por una sustancia luminiscente (polvo fluorescente o fosforo) cuya composición determina la cantidad de luz emitida y la temperatura de color de la lámpara.

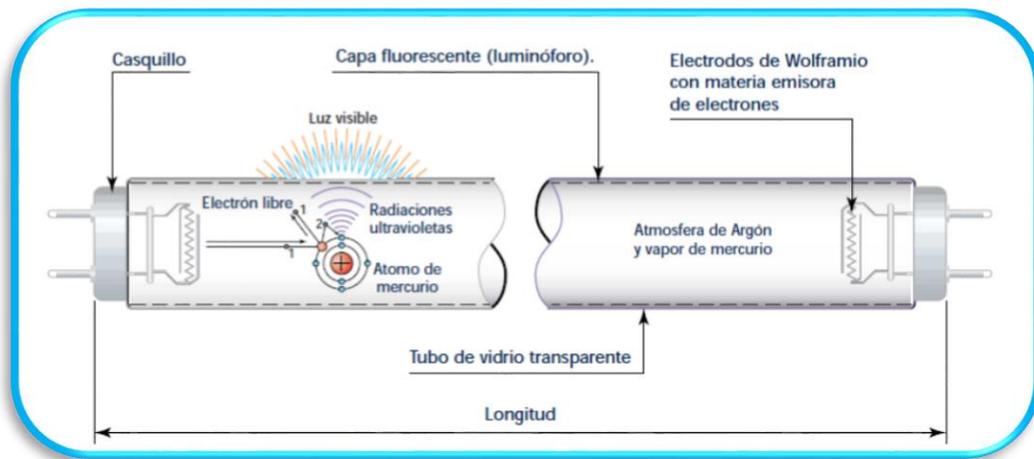


Figura 54. *Lámpara fluorescente.*

Las partes principales de la lámpara fluorescente son: la ampolla, la capa fluorescente, los electrodos, el gas de relleno y los casquillos.

Ampolla: la ampolla de una lámpara fluorescente normal está hecha de vidrio cal-soda suavizado con óxido de hierro para controlar la transmisión ultravioleta de onda corta.

Revestimientos fluorescentes: el factor más importante para determinar las características de la luz de una lámpara fluorescente es el tipo y composición del polvo fluorescente (o fosforo) utilizado. Pues este fija la temperatura de color, el índice de reproducción del color (IRC) y en gran parte, la eficiencia lumínica de la lámpara

Electrodos: los electrodos de la lámpara, que poseen una capa de material emisor adecuados, conducen la energía eléctrica de la lámpara y proporciona los electrones necesarios para mantener la carga.

La mayor parte de los tubos fluorescentes poseen electrodos que se precalientan mediante una corriente eléctrica justo antes del encendido.

Gas de relleno: el gas de relleno de una lámpara fluorescente consiste en una mezcla de vapor de mercurio saturado y un gas inerte amortiguador (argón y criptón).

El mayor rendimiento se logra con una presión de vapor de mercurio de alrededor de 0.8 Pa. Combinado con una presión del amortiguador de alrededor de 2500 Pa. (0.025 atmósferas). Bajo estas condiciones, alrededor de un 90% de la energía irradiada es emitida en la onda ultra-violeta de 253.7 nm.

En las lámparas fluorescentes, la temperatura de color está comprendida entre 2.700 K y 6.500 K. Con una curva de distribución espectral discontinua que reproduce colores según la composición de la sustancia fluorescente que recubre la pared interior del tubo.

Cada radiación luminosa total resultante es la suma de la radiación del espectro discontinuo más la de una distribución espectral continua, cada vez más eficaz con el empleo de fósforos especiales.

De esta forma se fabrican tubos fluorescentes con varias tonalidades de luz e índices de reproducción cromáticos clasificados, según las normas C.I.E. en tres grandes grupos:

- Luz blanca día: $TC > 5.000 \text{ K}$.
- Blanco neutro: $5.000 \text{ K} \geq TC \geq 3.000 \text{ K}$.
- Blanco cálido: $TC < 3.000 \text{ K}$.

Estas lámparas precisan un equipo auxiliar formado por un balasto e ignitor, además de un condensador de compensación para mejorar el factor de potencia.

Ventajas de la lámpara fluorescente.

- Tres veces más luz por watt de energía consumida, conserva su brillo durante más tiempo.
- Su vital útil puede ser hasta 7 veces mayor que una lámpara incandescente de igual potencia.
- Mayor cantidad de luz visible y menor calor radiante que la lámpara incandescente.
- Luz visualmente cómoda.
- Menor resplandor.
- No requiere apantallamiento.
- Mayor variedad de matices cromáticos para fines decorativos.
- Mayor rendimiento, duración y perdurable potencia lumínica comparando con una lámpara incandescente.

c) Lámparas de vapor de mercurio.

En estas lámparas la descarga se produce en un tubo de descarga que contiene una ligera cantidad de mercurio y un relleno de gas inerte, comúnmente argón, para ayudar al encendido. Una parte de la radiación de la descarga ocurre en la región visible del espectro de luz, pero otra parte se emite como radiación ultravioleta.

Cubriendo la superficie interna de la ampolla exterior, en la cual se encuentra el tubo de descarga, con un polvo fluorescente que convierte esta radiación ultravioleta en radiación visible, la lámpara ofrecerá mayor iluminación que una versión similar sin dicha capa.

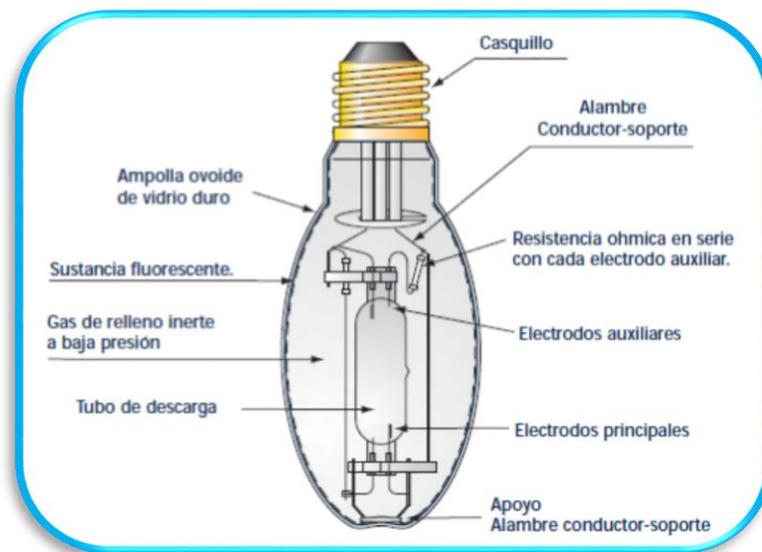


Figura 55. Lámpara de vapor de mercurio.

Las partes principales de la lámpara de vapor de mercurio son: tubo de descarga y soporte, electrodos, ampolla exterior, revestimiento de la ampolla y gas de relleno.

Tubo de descarga y soporte: El tubo de descarga está hecho de cuarzo. Presenta una baja absorción a la radiación ultravioleta y a la visible, y posee la capacidad de soportar las altas temperaturas de trabajo involucradas.

Electrodos: Cada electrodo principal se compone de una varilla de wolframio, cuyo extremo se encuentra revestido por una serpentina de wolframio impregnado con un material que favorece la emisión de electrones. El electrodo auxiliar es simplemente un trozo de alambre de molibdeno

o wolframio colocado cerca de uno de los electrodos principales y conectado al otro mediante una resistencia de 25 k Ω .

Ampolla exterior: Para lámparas de hasta 125 W de potencia, la ampolla exterior puede ser de vidrio de cal-soda. Sin embargo, las lámparas de potencias mayores se fabrican, generalmente, con vidrio duro de borosilicato, ya que puede soportar temperaturas de trabajo mayores y golpes térmicos.

La ampolla exterior, que normalmente contiene un gas inerte (argón o una mezcla de argón y nitrógeno), protege al tubo de descarga de cambios en la temperatura ambiente y protege de corrosión a los componentes de la lámpara.

Revestimiento de la ampolla: En la mayoría de las lámparas de mercurio de alta presión, la superficie interna de la ampolla exterior está cubierta por fósforo blanco para mejorar la reproducción de color de la lámpara y para aumentar su flujo luminoso.

El fósforo convierte una gran parte de la energía ultravioleta radiada por la descarga en radiación visible, predominantemente en el extremo rojo del espectro.

Gas de relleno: El tubo de descarga está relleno de un gas inerte (argón) y de una dosis precisa de mercurio destilado. El primero es necesario para ayudar a originar la descarga y para asegurar una vida razonable para los electrodos de emisión recubiertos.

Estas lámparas precisan un equipo auxiliar que normalmente es un balasto con resistencia inductiva o transformador de campo de dispersión, además de un condensador de compensación.

d) Lámparas de vapor de sodio.

En este apartado conoceremos acerca de las lámparas que utilizan vapor de sodio a baja y alta presión para su operación.

Este tipo de lámparas es el más eficaz de las familias de las lámparas de descarga de alta intensidad (H.I.D.)

La luz se produce debido al paso de corriente eléctrica a través del vapor de sodio, con una presión determinada a alta temperatura.

d.1 Lámparas de vapor de sodio a baja presión.

El tubo de descarga de una lámpara de sodio de baja presión es en general, en forma de U y está contenido en una cubierta exterior de vidrio tubular vacío, con capa de óxido de indio en la superficie interna. El vacío, junto con la capa, la cual actúa como un reflector selectivo de infrarrojo, ayuda a mantener la pared del tubo de descarga a una temperatura de trabajo adecuada. Estas medidas son necesarias para que el sodio, que cuando se condensa se deposita en hendiduras del vidrio, se evapore con una pérdida mínima de calor; debido a eso, se logra la mayor eficiencia luminosa posible.

El gas neón presente dentro de la lámpara, sirve para iniciar la descarga y para desarrollar el calor suficiente como para vaporizar el sodio. Esto responde por la luminiscencia rojo-anaranjada durante los primeros pocos minutos de trabajo. El sodio metálico se evapora en forma gradual, debido a eso, se produce la característica luz amarilla monocromática, con líneas de 589 nm. Y 589.6 nm. En el espectro. El color rojo, que en principio se produce por la descarga de neón, se suprime durante el funcionamiento porque los potenciales de excitación y de ionización de sodio son mucho menores que los del neón.

Esta lámpara se utiliza en aplicación donde la reproducción de color es de menor relevancia y donde principalmente se busca el reconocimiento de contraste, por ello su utilización principal se encuentra en iluminación pública como autopistas, puertos etc. Gracias a su larga vida que es uno de sus principales características.

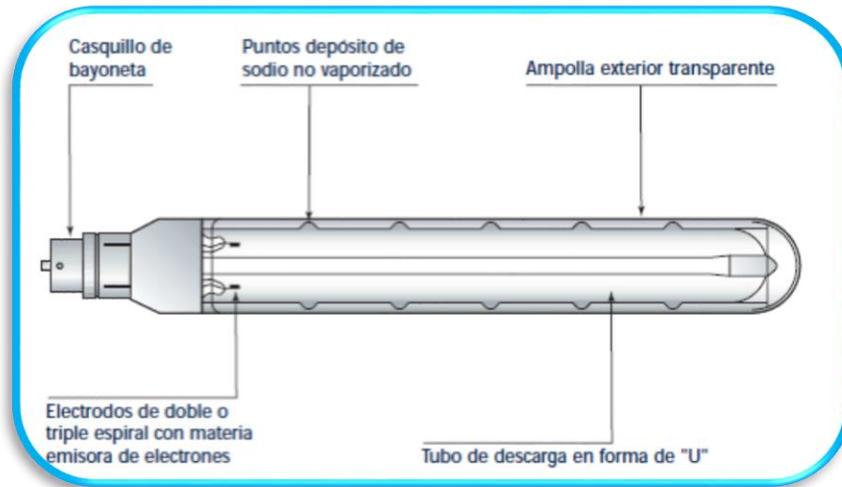


Figura 56. Lámpara de vapor de sodio a baja presión.

Las partes principales de la lámpara de vapor de sodio son: el tubo de descarga y soportes, relleno del tubo de descarga, electrodos y la ampolla externa.

Tubo de descarga y soportes: El tubo de descarga de una lámpara de sodio de alta presión es en forma de U, para proveer un mejor aislamiento térmico. Está hecho de vidrio cal-soda, y posee una superficie interna revestida de vidrio de borato para formar una capa protectora contra el vapor de sodio.

Relleno del tubo de descarga: El relleno del tubo de descarga consiste en sodio metálico de alta pureza y en una mezcla de neón y argón, la cual actúa como un gas de arranque y de amortiguación.

Electrodos: Las lámparas de sodio de baja presión poseen electrodos de arranque frío. Estos consisten en un alambre de wolframio triple, de manera que puede mantener una gran cantidad de material emisor.

Ampolla externa: Está vacía y se reviste en su superficie interna con una fina película de material reflector infrarrojo. El reflector infrarrojo sirve para reflejar la mayor parte de la radiación de calor que vuelve al tubo de descarga, manteniéndolo de ese modo, a la temperatura deseada, mientras que transmite la radiación visible.

Estas lámparas precisan de un equipo auxiliar formado por alimentador con autotransformador o balasto e ignitor con tensión de impulso según tipo. Precisan condensador de compensación.

d.2 Lámparas de vapor de sodio a alta presión.

La lámpara de sodio alta presión es físicamente diferente a la lámpara de sodio baja presión, principalmente a que la presión de vapor es más alta. Este factor de presión provoca otras diferencias entre las dos lámparas, incluyendo las propiedades de la luz emitida.

El tubo de descarga en una lámpara de sodio de alta presión contiene un exceso de sodio para dar condiciones de vapor saturado cuando la lámpara está en operando. Además, posee un exceso de mercurio para proporcionar un gas amortiguador, y se incluye xenón, para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor del arco de descarga a la pared del tubo. El tubo de descarga se aloja en una envoltura de vidrio protector vacía.

Las lámparas de sodio de alta presión irradian energía a través de una buena parte del espectro visible. Por lo tanto, en comparación con la lámpara de sodio baja presión, las de alta presión ofrecen una reproducción de color bastante aceptable.

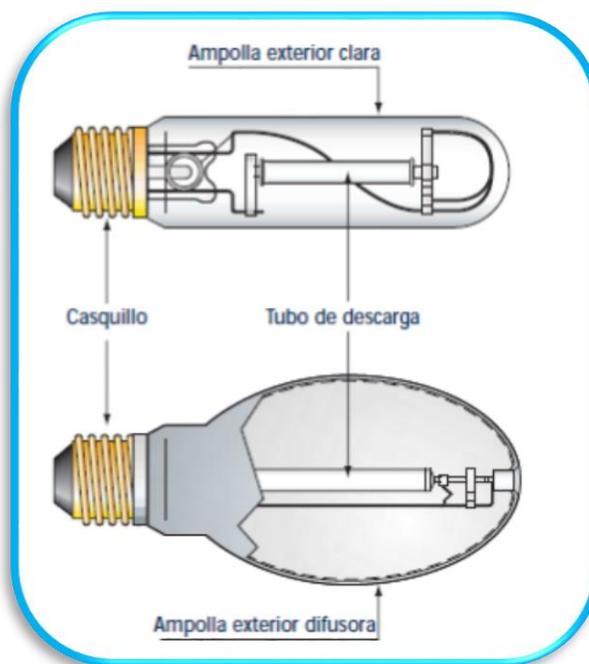


Figura 57. Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Las partes principales de la lámpara de vapor de sodio a alta presión son: el tubo de descarga, los electrodos, el relleno, la ampolla externa, los arrancadores y los arrancadores auxiliares.

Tubo de descarga: El tubo de descarga está hecho de cerámica de óxido de aluminio, resistente al calor y a las reacciones químicas con el vapor de sodio.

Electrodos: Los electrodos, cubiertos por una capa de material emisor, consisten en una varilla de wolframio con una serpentina de wolframio enroscada alrededor de la misma.

Relleno: En el interior del tubo de descarga se encuentran sodio, mercurio y un gas noble (xenón o argón) de los cuales es el sodio el principal productor de luz.

Ampolla externa: Esta ampolla está generalmente vacía. La forma puede ser ovoide como tubular. La primera posee un revestimiento interno. Pero gracias a que la lámpara de sodio alta presión no produce, prácticamente, ninguna radiación ultra violeta, el revestimiento es simplemente una capa difusa de polvo blanco, para disminuir el elevado brillo del tubo de descarga. La ampolla tubular es siempre de vidrio claro.

Arrancadores y arrancadores auxiliares: Muchas de las lámparas de sodio de alta presión poseen un arrancador auxiliar incorporado, el cual ayuda a reducir la medida del voltaje pico de encendido que se necesita para encender la lámpara. A veces ambos, el arrancador incorporado y el arrancador auxiliar, se encuentran en la misma lámpara.

Estas lámparas precisan de un equipo auxiliar formado por un balasto e ignitor con tensión de impulso según tipo. También necesitan un condensador de compensación.

e) Lámparas de aditivos metálicos.

Las lámparas de aditivos metálicos o halogenuros metálicos corresponden también a la familia de lámparas de alta intensidad de descarga (H.I.D.), y es una de las fuentes de luz blanca más eficientes disponibles en el mercado, gracias a que incorpora bastantes de las características más deseables en lámparas como un excelente rendimiento de color IRC superior al 65%, una larga vida útil de la lámpara, variadas temperaturas de color.

Estas lámparas son lámparas de vapor de mercurio a alta presión a las cuales se le han añadido halogenuros como el Dysprosio (Dy), Holmio (Ho) y el Tulio TM. Estos haluros son en parte vaporizados cuando la lámpara alcanza su temperatura de operación. El vapor de los haluros se disocia después, dentro de la zona central caliente en el arco, en halógeno y en metal consiguiendo un incremento de la eficiencia luminosa que se aproxima al color de la luz diurna. Para esto se utilizan diversas combinaciones de halogenuros (sodio, yodo, ozono) a los cuales se les añade generalmente escandio, talio, indio, litio, entre otros.

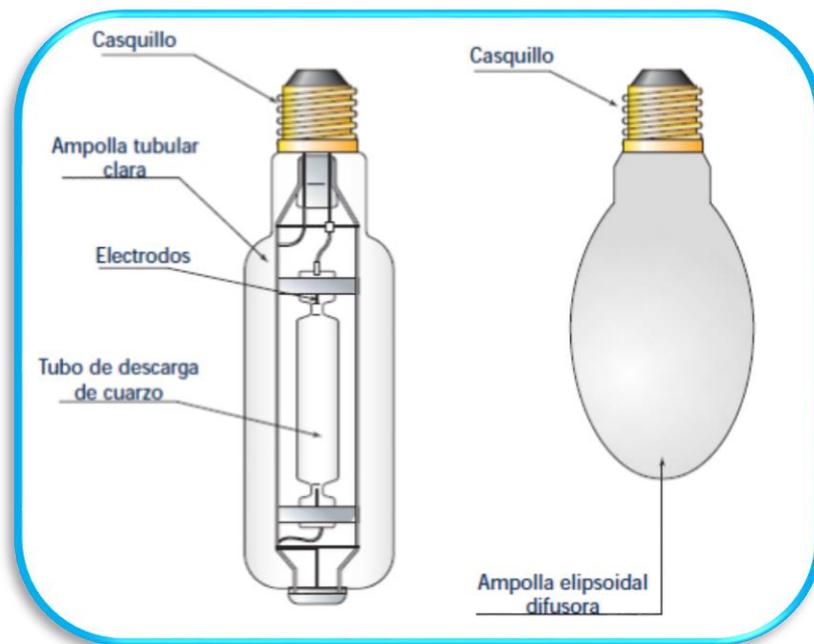


Figura 58. Lámpara de aditivos o halogenuros metálicos.

Las partes principales de la lámpara de halogenuros metálicos son: el tubo de descarga, los electrodos, la ampolla externa, el gas de relleno en el tubo de descarga y el gas de relleno en la ampolla externa.

Tubo de descarga: Es de cuarzo puro. Aunque en ocasiones suele aplicársele una capa blanca de óxido de circonio en la parte externa de las cavidades del electrodo, para aumentar en ese punto la temperatura de la pared.

Electrodos: Son similares a los que lleva la lámpara de vapor de mercurio a alta presión.

Ampolla externa: El vidrio externo de la ampolla de las lámparas de halogenuros está hecho de vidrio duro o de cuarzo, aunque también podemos encontrarlas sin ampolla externa.

La superficie interna de las ampollas con forma oval posee una capa de fósforo para convertir la radiación ultravioleta de la descarga en radiación visible. Sin embargo, los haluros empleados en la lámpara de halogenuro metálico producen sólo una pequeña cantidad de ultra violeta, y principalmente, está irradiada en la zona de longitud de onda ultra violeta del espectro, donde la conversión en radiación visible es pobre.

Gas de relleno en el tubo de descarga: El tubo de descarga está relleno de una mezcla de gases inertes (neón y argón o criptón-argón), una dosis de mercurio y los haluros apropiados, de acuerdo con el tipo de lámpara.

Gas de relleno en la ampolla externa: La ampolla externa de una lámpara de halogenuro metálico cuyo tubo de descarga está relleno de una mezcla de neón-argón, también debe estar rellena de neón para que la presión de neón que se encuentra dentro y fuera del tubo sea la misma. En caso de que el tubo de descarga esté relleno de una mezcla criptón-argón, se puede utilizar nitrógeno en la ampolla externa, o bien, esta última puede ser eliminada.

Las condiciones de funcionamiento de las lámparas de halogenuros metálicos son muy parecidas a las de vapor de mercurio convencionales, estando dispuestas para ser conectadas en serie con un balasto limitador de la corriente, necesitando un condensador de compensación.

2.4 Iluminación de calles y avenidas.

El objetivo principal de la iluminación de vías es proporcionar al conductor una mayor visibilidad, es decir que pueda reconocer formas a mayor distancia. Por ello, las lámparas empleadas deben tener elevados rendimientos luminosos, es decir, un bajo consumo para un mismo nivel de iluminación, así como una vida útil relativamente larga.

No importa tanto que tengan un buen rendimiento cromático, ya que su finalidad no es facilitar la distinción de colores, sino la de formas. El rendimiento cromático de una lámpara da idea de la riqueza de matices que posee la luz que produce.

En base a estos factores, las lámparas más empleadas son las de vapor de sodio a alta presión (VSAP) y en menor medida, las de mercurio (VM), al dar menores rendimientos luminosos.

En zonas menos transitadas pueden emplearse las lámparas de vapor de sodio a baja presión (VSBP). Aunque poseen el mayor rendimiento luminoso de todas, emiten luz monocromática de color amarillo verdoso, que desvirtúa por completo la percepción del color. Todas ellas tienen una vida útil superior a las 10, 000 horas de funcionamiento.

2.4.1 Método del lumen.

Pasos básicos.

1.- Determinación de la altura de montaje.

De acuerdo con las tablas para el tipo de disposición o bien cantidad de flujo luminoso emitido por la lámpara.

2.- Cálculo de coeficiente de utilización.

De acuerdo con el luminario a utilizar. Este proceso puede ser repetitivo si se desean explorar opciones diferentes.

3.- Cálculo del factor por diferencia de altura.

Este factor puede analizarse de acuerdo con la curva isolux del luminario utilizado.

$$F.C.D.A. = \left(\frac{H \text{ prueba}}{H \text{ real}} \right)^2$$

4.- Factor L.L.D. (lamp lumen depreciation).

$$L.L.D. = \frac{\text{flujo al 70\% de vida}}{\text{flujo inicial}}$$

5.- Factor L.D.D. (Luminaire dirt depreciation).

Se toma de la tabla siguiente.

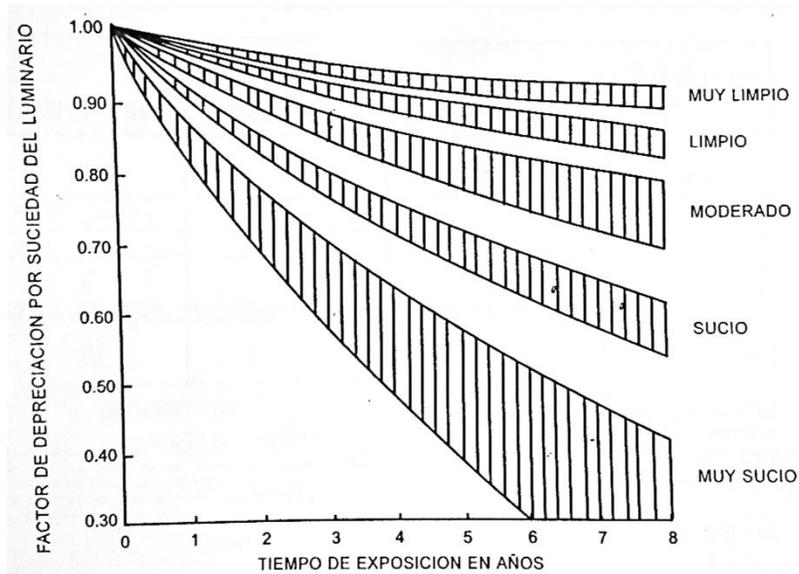


Figura 59. Factor de depreciación por suciedad del luminario.

Grafica para estimar los factores de depreciación por suciedad en los luminarios de alumbrado público para unidades cerradas y con empaque.

6.- Factor de mantenimiento F.M.

$$F.M. = (L.L.D.) (L.D.D.)$$

7.- Determinación de la interdistancia de los puntos de luz o espaciamiento entre luminarios.

$$S = \frac{\left(\frac{lm}{lum}\right)(C.U.)(F.M.)}{(E \text{ o nivel de iluminación})(\text{Ancho de la calle})} \text{ Para un arreglo unilateral.}$$

$$S = \frac{(2)\left(\frac{lm}{lum}\right)(C.U.)(F.M.)}{(E \text{ o nivel de iluminación})(\text{Ancho de la calle})} \text{ Para un arreglo bilateral.}$$

8.- Determinación del nivel de iluminación promedio mantenido. ($E_{prom. mant.}$).

$$E_{prom.mant.} = \frac{\left(\frac{lm}{lum}\right)(C.U.)(F.M.)}{(\text{Esp. entre lum})(\text{Ancho de la calle})}$$

$$E_{iniciales} = \frac{\left(\frac{\text{lm}}{\text{lum}}\right) (\text{C. U.})}{(\text{Esp. entre lum})(\text{Ancho de la calle})}$$

Para arreglo unilateral, y en caso de ser bilateral se multiplican por dos los lúmenes por luminario como se muestra.

Arreglo bilateral pareada.

$$E = \frac{(2) \left(\frac{\text{lm}}{\text{lum}}\right) (\text{C. U.}) (\text{F. M.})}{(S)(\text{Ancho de la calle})}$$

Donde:

E= Nivel de iluminación en luxes o footcandles.

C.U.= Coeficiente de utilización.

F.M.= Factor de mantenimiento.

S = Espaciamiento entre luminarios.

$\frac{\text{lm}}{\text{lum}}$ = Lúmenes por luminario.

9.- Uniformidad.

$$U = \frac{E_{prom.}}{E_{min.}}$$

Algunas características de uniformidad para vialidades de forma general son:

Autopistas $U \leq 3$

Entronques $U \leq 4$

Vialidades secundarias $U \leq 6$

2.4.2 Método punto por punto.

Mediante el método de punto por punto la fotometría del luminario nos ayuda a obtener el nivel de iluminación en cualquier punto utilizando las relaciones:

$$Relacion = \frac{Distancia\ transversal_{lado\ casa}}{altura\ de\ montaje}$$

$$Relacion = \frac{Distancia\ transversal_{lado\ calle}}{altura\ de\ montaje}$$

Al utilizar estas relaciones en la curva de distribución luminosa se obtiene el nivel de iluminación en un punto específico, y para cualquier punto del área analizada cotejando los valores en la curva isolux de cada luminario.

2.5. Iluminación de Estacionamientos.

Las características de los estacionamientos son de gran importancia para el desarrollo urbano y la actividad en centro comerciales, supermercados, instalaciones deportivas, centros de exhibición y convenciones, etc.

Los objetivos que debe satisfacer la iluminación de estos espacios no solo tienen que ver con la seguridad de los usuarios sino también con el confort y la satisfacción que estos experimenten al hacer uso de ellos. La iluminación es un factor muy importante en la protección contra asaltos, robos y vandalismo, así como en la contribución a la creación de un ambiente propio para la realización de actividades comerciales y/o recreativas.

Los requerimientos de iluminación de estos espacios dependen de sus dimensiones y la intensidad de su uso. En principio, pueden distinguirse tres niveles de actividad; bajo, medio y alto. Estos niveles tienen en cuenta la actividad tanto del tránsito vehicular como de los peatones.

La tabla 19 siguiente establece las características que debe tener la iluminación de estas zonas para cumplir con su cometido.

Fuente IES, 1993					
		Áreas peatonales y de estacionamiento.		Áreas de uso vehicular solamente	
Nivel de actividad		E (lx) (1)	U (2)	E lx) (1)	U (2)
Alto		10	4:1	22	3:1
Medio		6	4:1	11	3:1
Bajo		2	4:1	5	4:1

Notas:

(1) Valor de iluminancia mínimo sobre el pavimento.

(2) Valor de uniformidad de iluminancia (medio / mínimo).

Tabla 19. *Niveles recomendados de iluminancia horizontal mantenida en zonas de estacionamiento.*

Las áreas peatonales y de estacionamiento son aquellas en las que los conflictos entre vehículos y peatones tienen una probabilidad de ocurrencia considerable. En cambio, en las áreas de uso vehicular solamente la probabilidad de ocurrencia de estos conflictos es muy baja. Debe notarse que en las primeras el nivel recomendado es el mínimo admisible, mientras que en las últimas se recomienda un nivel medio.

En las zonas de estacionamiento se debe prestar la debida atención a la problemática del color, asegurando las condiciones mínimas para que cada usuario sea capaz de identificar sus automóviles sin mayores problemas; tanto el nivel como las características de reproducción de color de las fuentes empleadas deben servir a este propósito.

La filosofía básica que guía la propuesta de una instalación de iluminación adecuada a los espacios exteriores y que cumpla con los requisitos antes señalados consiste en el aprovechamiento de las ventajosas características que ofrece la lámpara fluorescente compacta, sumada a su disponibilidad en potencias bajas (conservando una eficacia luminosa

considerablemente elevada). Con estas bases, se plantea una instalación que sea capaz de suministrar valores luminotécnicos adecuados y pueda además integrarse al entorno en el cual ha de funcionar evitando conflictos funcionales, de escala y/o de colisión con otros elementos componentes de ese espacio, en especial la vegetación.

La satisfacción de estos criterios generales, más el cumplimiento, de los requerimientos luminotécnicos específicos, conducen a las disposiciones adoptadas para la instalación propuesta para iluminar los espacios exteriores privados de uso común (tales como jardines y espacios parquizados de complejos habitacionales, playas de estacionamiento, maniobra y circulación de localizaciones comerciales, etc.):

- Utilización de fuentes luminosas de menor potencia.
- Incremento de los puntos de luz correspondientes a zona iluminada.
- Menor altura de montaje de los puntos de luz.

La utilización de fuentes luminosas de menor potencia permite la reducción de la altura de montaje. Esto a su vez redundará en grandes ventajas respecto de la operación y el mantenimiento de las instalaciones resultantes y reduce los costos en forma considerable.

Los costos de la instalación del sistema de iluminación descienden en gran medida debido a que los elementos constituyentes de la instalación (especialmente de soporte) se hacen más livianos. Los costos de operación también se reducen por la menor potencia involucrada por punto de luz.

Si los elementos empleados en la realización de las instalaciones son más livianos y accesibles, es posible realizar los controles, reparaciones, acondicionamientos y reemplazos empleando equipo técnico más simple y económico, ahorrando no solo en máquinas y herramientas, sino también en personal calificado para su operación. La concurrencia de estos factores da como resultado que el mantenimiento de estas instalaciones tenga menor incidencia en el costo total involucrado por la iluminación de estas zonas.

El aumento de la cantidad de puntos de luz, consecuencia de la menor potencia unitaria, es el que posibilita distribuir mejor la energía luminosa disponible, permitiendo alcanzar y superar los valores mínimos admisibles para las magnitudes principales determinantes de calidad de alumbrado: nivel, uniformidad, etc.



Figura 60. Parque de estacionamiento.



Figura 61. Espacios parquizados de maniobra y circulación.

Capítulo 3 “Iluminación de túneles”

Los túneles son vías subterráneas construidas de forma artificial, aunque bien podemos encontrarlos creados por acción natural.

Los túneles son vías de comunicación que posibilitan el traslado de mercancías, personas, intercomunicación, aunque sus características son variadas. Podemos encontrar diferentes fines para cada túnel como son:

- Túneles peatonales.
- Túneles para uso ciclista.
- Túneles para vehículos motorizados (camiones, automóviles, etc.).
- Túneles para uso de trenes.
- Etc.

La conducción de vehículos a través de los túneles durante las horas diurnas plantea una problemática totalmente diferente a la conducción al aire libre por la noche, que concreta fundamentalmente en las diferencias existentes entre los elevados niveles de luminancia exteriores y los bajos niveles de luminancia en el interior de los túneles.

El problema visual fundamental en un túnel es el de la adaptación del ojo humano desde las elevadas luminancias exteriores durante el día, a las bajas luminancias (prácticamente nulas) que existen en el interior de un túnel, teniendo en cuenta además que, en una determinada distribución de luminancias, no puede verse un obstáculo si su luminancia es muy inferior a la de dicha distribución. Todo lo cual da lugar al denominado “efecto agujero negro” que impide durante el día, que los conductores vean el interior del túnel cuando se encuentran a una cierta distancia de la boca del mismo.

Todo ello considerando que, en la mayoría de los túneles, la luz natural diurna solamente penetra en función de la orientación de los mismos.

Desde el punto de vista luminotécnico en los túneles se diferencian las siguientes zonas.



Diagrama 10. Zonas de luminancia de un túnel.

En los túneles bidireccionales el alumbrado en la zona de salida será idéntico al de la zona de entrada.

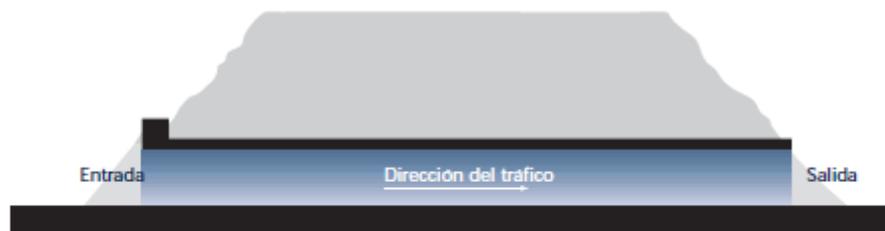


Figura 62. Túnel convencional.

3.1. Criterios de Diseño.

Al principio de cada diseño de iluminación de túneles debe considerarse primero ¿Qué tipo de túnel es? Para el diseño del sistema de iluminación podemos clasificarlo en dos grandes grupos:

- Túneles largos.
- Túneles cortos.

Para la iluminación de túneles y básicamente cualquier tramo de vía cubierta, se busca proporcionar condiciones de seguridad, visibilidad, economía y fluidez adecuadas para el tráfico vehicular y peatonal. En túneles cortos, menores de 100 m. no resulta necesario iluminar salvo de noche o en situaciones de visibilidad reducida. En el caso de los túneles largos, se requiere un estudio individualizado para cada caso. Para ello es necesario analizar los problemas que representan los túneles para los vehículos en condiciones de día o de noche, el mantenimiento necesario y las características de los equipos de alumbrado a instalar.

3.1.1 Iluminación diurna.

Al momento de aproximarnos a un túnel de día, la primera dificultad que encontramos es el efecto denominado agujero negro. En él, la entrada se nos presenta como una mancha oscura en cuyo interior no podemos distinguir nada. Este problema, que se presenta cuando estamos a una distancia considerable del túnel, se debe a que la luminancia ambiental en el exterior es mucho mayor que la de la entrada. Es el fenómeno de la inducción Figura 63.



Figura 63. Efecto agujero negro.

A medida que nos acercamos a la entrada, esta va ocupando una mayor porción del campo visual y nuestros ojos se van adaptando progresivamente al nivel de iluminación de su interior. Pero si la transición es muy rápida comparada con la diferencia entre las luminancias exterior e interior, sufriremos una ceguera momentánea con visión borrosa hasta llegar a un nuevo estado de adaptación visual.

Es lo mismo que ocurre cuando, en un día soleado, entramos en un portal oscuro y durante unos instantes no vemos con claridad. Es el fenómeno de la adaptación.

Se trata, por lo tanto, de un problema de diferencia de niveles de luminancia entre el exterior (3000-8000 cd/m²) y el interior del túnel (5-10 cd/m²). Podríamos pensar que manteniendo un valor de luminancia próximo al exterior en toda su longitud habríamos resuelto el problema, pero esta solución es antieconómica. Lo que se hace en túneles largos, con densidad de tráfico elevada o cualquier otra circunstancia que dificulte la visión, es reducir progresivamente el nivel de luminancia desde la entrada hasta la zona central. En la salida no hay que preocuparse de esto pues al pasar de niveles bajos a altos esta es muy rápida. Así pues, podemos dividir los túneles en varias zonas según los requerimientos luminosos:

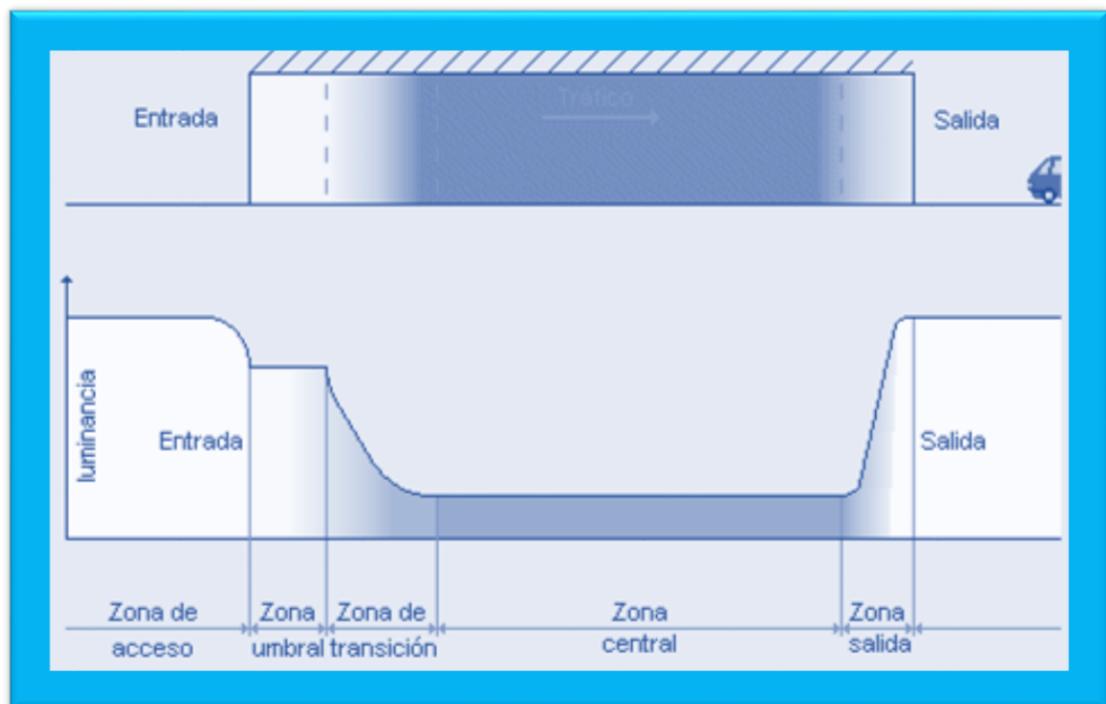


Figura 64. Niveles de luminancia requerida en un túnel de tráfico unidireccional.

1) *Zona de acceso.*

Antes de establecer la iluminación necesaria en la entrada del túnel, debemos determinar el nivel medio de luminancia en la zona de acceso o luminancia externa de adaptación. Esta magnitud se calcula a partir de las luminancias de los elementos del campo visual del observador como puedan ser el cielo, los edificios, las montañas, los árboles, la carretera, etc. y su valor oscila entre 3000 y 10000 cd/m².



Figura 65. Zona de acceso.

En zonas llanas y descubiertas donde el cielo ocupa la mayor parte del campo visual podemos tomar un valor máximo de 8000 cd/m². Mientras en las zonas montañosas o edificadas donde cobran mayor importancia las luminancias de los edificios, las montañas, la carretera o los árboles se adopta un valor de 10000 cd/m².

Región	Luminancia máxima (cd/m ²)
Llana y descubierta	8000
Montañosa o edificada	10000

Tabla 20. Zonas de acceso.

Sin embargo, estos valores orientativos no excluyen de un cálculo más riguroso de la luminancia de la zona de acceso siguiendo las recomendaciones y normas vigentes.

2) Zona de umbral.

Para proporcionar al conductor una información visual adecuada en la entrada del túnel, la iluminación debe ser por lo menos un 10% de la luminancia de la zona de acceso en un tramo de longitud aproximadamente igual a la distancia de frenado del vehículo (entre 40 y 80 m para velocidades comprendidas entre 50 y 100 km/h). Como aun así la luminancia necesaria es muy alta y supone un consumo importante de energía, se pueden intentar rebajar aplicando medidas especiales.

La primera de ellas es rebajar el límite de velocidad en el túnel y hacer que los vehículos usen sus propias luces. De esta manera se facilita el proceso de adaptación y se reduce la distancia de frenado y por tanto la longitud de la zona de umbral. Asimismo, conviene emplear materiales no reflectantes oscuros en calzada y fachadas en la zona de acceso para rebajar la luminosidad y otros claros con propiedades reflectantes de la zona de umbral para maximizarla. También es conveniente evitar que la luz directa del Sol actúe como fondo de la entrada del túnel. A tal efecto conviene cuidar la orientación geográfica, maximizar el tamaño de la entrada, plantar árboles y arbustos que den sombra sobre la calzada, usar paralúmenes, etc. En estos últimos casos hay que tener cuidado en regiones frías porque en invierno pueden favorecer la aparición de hielo en la calzada además de otros problemas. Por último, es posible crear una zona iluminada con farolas antes de la entrada para favorecer la orientación visual y atraer la mirada del conductor hacia el túnel.

3) Zona de transición.

Como al llegar al final de la zona de umbral el nivel de luminancia es todavía demasiado alto, se impone la necesidad de reducirlo hasta los niveles de la zona central. Para evitar los problemas de adaptación, esta disminución se efectúa de forma gradual según un gradiente de reducción o en su defecto una curva escalonada con relaciones de 3 a 1 entre luminancias. Estas curvas, obtenidas empíricamente, dependen de la velocidad de los vehículos y la diferencia entre las luminancias de las zonas umbral e interior.



Figura 66. Curva de reducción de la luminancia.

4) Zona central.

En la sección central de los túneles el nivel de luminancia se mantiene constante en valores bajos que rondan entre 5 y 20 cd/m^2 según la velocidad máxima permitida y la densidad de tráfico existente. Es conveniente, además, que las paredes tengan una luminancia por lo menos igual a la de la calzada para mejorar la iluminación en el interior del túnel.

5) Zona de salida.

En la salida las condiciones de iluminación son menos críticas pues la visión se adapta muy deprisa al pasar de ambientes oscuros a claros. Los vehículos u otros obstáculos se distinguen con facilidad porque sus siluetas se recortan claramente sobre el fondo luminoso que forma la salida. Esto se acentúa, además, si las paredes tienen una reflectancia alta. En estas condiciones, la iluminación sirve más como referencia y basta en la mayoría de los casos con unas 20 cd/m^2 para obtener buenos resultados.

3.1.2 Iluminación nocturna

En ausencia de luz diurna, iluminar un túnel resulta mucho más sencillo. Basta con reducir el nivel de luminancia en el interior del túnel hasta el valor de la iluminación de la carretera donde se encuentra o si esta no está iluminada que la relación entre las luminancias interior y exterior no pase de 3 a 1 para evitar problemas de adaptación. En este último caso se recomienda un valor aproximado entre 2 y 5 cd/m². Hay que tener en cuenta que, aunque no se presente el efecto del agujero negro en la entrada sí se puede dar en la salida. Por ello es recomendable iluminar la carretera a partir de la salida durante un mínimo de 200 m para ayudar a la adaptación visual.

3.1.3 Contraste.

El conductor tiene que ver los obstáculos donde quiera que se encuentren en las diferentes zonas del túnel. Para ello hay que crear un contraste entre el obstáculo y el fondo sobre el cual destaca (carretera o pared). Si el obstáculo destaca porque es más claro que el fondo, es un contraste positivo y si destaca sobre el fondo por ser más oscuro entonces es un contraste negativo.

Múltiples sistemas de alumbrado sirven para acentuar los contrastes, tanto positivos como negativos:

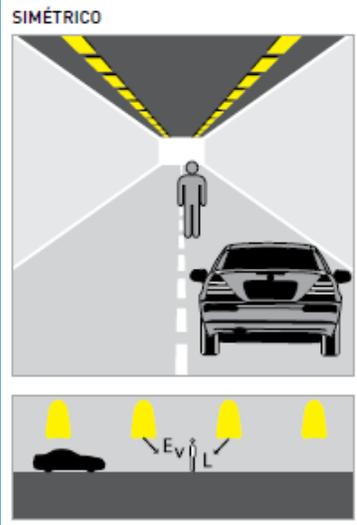
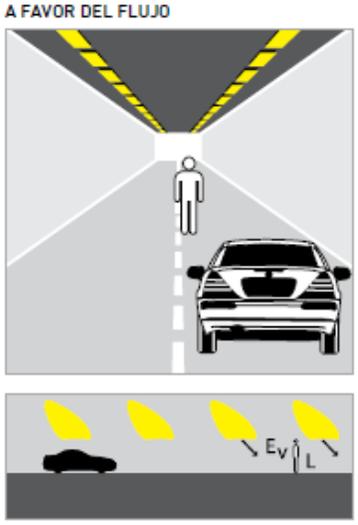
<i>Alumbrado simétrico</i>	<i>Alumbrado simétrico a contraflujo</i>	<i>Alumbrado asimétrico a favor del flujo</i>
<p>La luz se dirige simétricamente con relación al plano paralelo al sentido de la circulación.</p>	<p>La luz se distribuye asimétricamente con relación al plano paralelo al sentido de la circulación y la intensidad luminosa máxima se dirige en sentido contrario al tráfico. Este sistema realza los contrastes negativos y refuerza el nivel de luminancia de la calzada que se puede ver desde la posición del conductor.</p>	<p>La luz se distribuye asimétricamente con relación al plano paralelo al sentido de la circulación y la intensidad luminosa máxima se dirige en sentido del tráfico. Este sistema realza los contrastes positivos y refuerza el nivel de luminancia del obstáculo que se puede ver desde la posición del conductor.</p>
 <p>Diagrama de alumbrado simétrico. Muestra un conductor viendo un obstáculo con un nivel de iluminación vertical (E_v) bajo y una luminancia de calzada (L) alta.</p>	 <p>Diagrama de alumbrado simétrico a contraflujo. Muestra un conductor viendo un obstáculo con un nivel de iluminación vertical (E_v) bajo y una luminancia de calzada (L) alta, con la relación $\frac{L}{E_v} \geq 0,6$.</p>	 <p>Diagrama de alumbrado asimétrico a favor del flujo. Muestra un conductor viendo un obstáculo con un nivel de iluminación vertical (E_v) alto y una luminancia de calzada (L) baja.</p>
<p>L = luminancia de la calzada. E_v = alumbrado vertical del obstáculo en un plano perpendicular a la calzada y en el sentido de la circulación.</p>		

Tabla 21. *Tipos de alumbrado en relación con el contraste.*

Nota: El E_v muestra la importancia del contraste entre el obstáculo y el fondo de la carretera sobre el cual destaca. Cuando más bajo sea el nivel de E_v , mayor será el contraste negativo. Así Cuanto más alto sea el nivel de E_v , mayor será el contraste positivo.

1) Tipos de disposición de las luminarias.

A continuación, se muestran algunas disposiciones de luminarias.

a) Alumbrado simétrico.

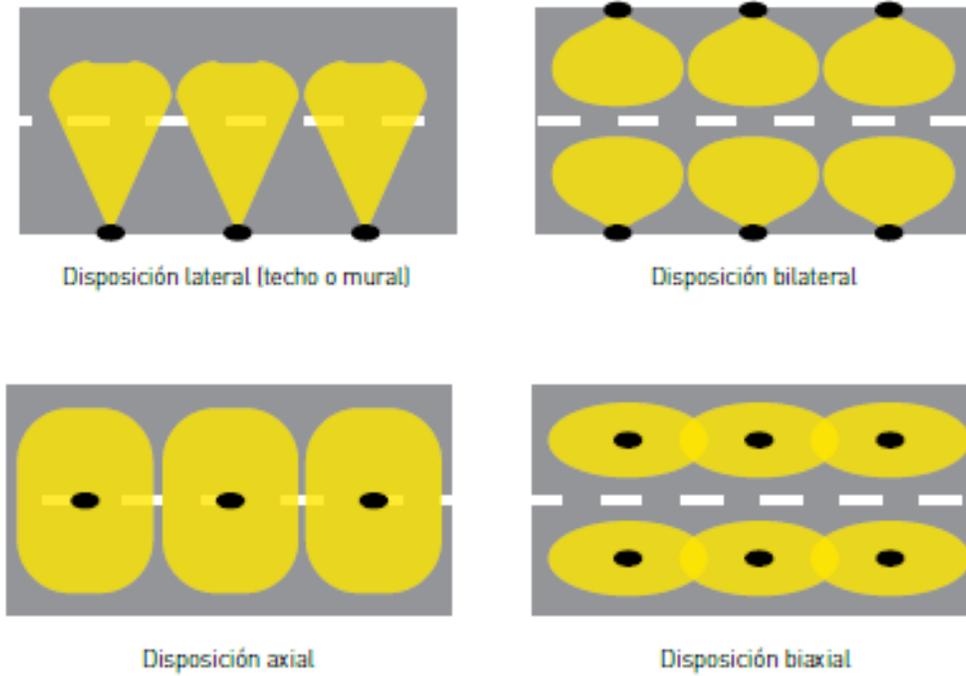


Figura 67. Tipos de disposición de luminarias, alumbrado simétrico.

b) Alumbrado simétrico a contraflujo.

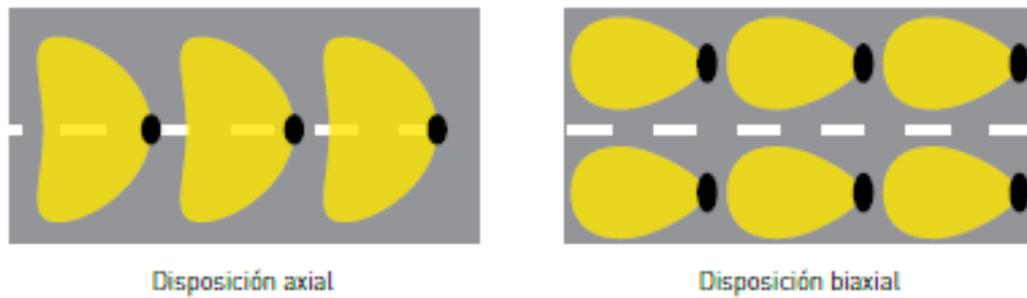


Figura 68. Tipos de disposición de luminarias, alumbrado asimétrico a contraflujo.

3.1.4 Distancia de seguridad.

Se denomina distancia de seguridad (DS) como la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo que circula a determinada velocidad, pueda detenerse antes de alcanzar a un obstáculo situado en la calzada. Dicha distancia consta de dos sumandos; el recorrido del vehículo desde el instante en que el conductor divisa el obstáculo hasta que aplica los frenos, y la distancia de frenado propiamente dicha.

La distancia de seguridad puede ser calculada de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$DS = RT \times \frac{V_0}{3.6} + \frac{1}{(3.6^2)g} \times \int \frac{V}{f_1(V) + h} dv$$

Donde:

DS = Distancia de seguridad [m].

V_0 = Velocidad de diseño [km/h].

RT = Tiempo de percepción- reacción [s].

$f_1(V)$ = Coeficiente de fricción (longitudinal) dependiente de v.

g = Aceleración de la gravedad [9.81m/s²].

h = Inclinación o gradiente de la carretera [%].

Aplicando la fórmula obtenemos los siguientes ejemplos de distancia de parada “DS” en carreteras planas para retardos de 3.5 a 5 m/s².

Velocidad de diseño [km/h]	Retardo	120	100	80	70	60	50
DS (carretera húmeda [m])	3.5	230	160	105	90	70	50
DS (carretera seca) [m]	5	150	110	75	65	55	40

Tabla 22. *Distancia de seguridad.*

Cuando se aproxima un vehículo a un túnel los efectos de inducción, adaptación y la influencia de las luminancias de velo están íntimamente relacionadas con la distancia a la que el conductor del vehículo se encuentra de la boca de dicho túnel, en la denominada zona de acceso con una longitud aproximadamente igual a la distancia de seguridad (DS) Fig. 69.

Cuanto mayor es la velocidad de un vehículo, mayor resulta la distancia de seguridad (DS) y por ello deben tenerse en cuenta algunas consideraciones:

- La percepción de un obstáculo es proporcional a la inversa del cuadrado de la distancia de seguridad. (DS^{-2}). Suponiendo que el contraste es constante.
- La luminancia de velo atmosférico $L_{atm} = 10^{-k DS}$.
- La velocidad de adaptación visual está relacionada con la velocidad de aproximación del vehículo.

Para un conductor en la zona de acceso, cuanto mayor es la velocidad de su vehículo más larga es la distancia desde la boca del túnel hacia el interior en la que el conductor tiene que ver dentro del túnel, lo que supone mayor longitud de la zona umbral a iluminar.

Asimismo, a mayores distancias un obstáculo situado en el interior del túnel subtende un ángulo más pequeño en el ojo del conductor y, por tanto, es menos visible. Además, capa de aire entre el conductor situado en la zona de acceso y la entrada del túnel es mayor, lo que significa mayor luminancia atmosférica L_{atm} reducción del contraste intrínseco C_{int} y consecuentemente, disminución de la visibilidad de los obstáculos. Todo ello exige mayores niveles de iluminación en la zona de umbral del túnel.

En resumen, a mayores velocidades corresponden distancias de seguridad más largas, lo que entraña mayor longitud de la zona de umbral del túnel a dotar de alumbrado, así como más elevados niveles de iluminación en dicha zona y, por tanto, por ambas causas superiores costes económicos.

3.1.5 Equipos de alumbrado

Las lámparas utilizadas en los túneles se caracterizan por una elevada eficiencia luminosa y larga vida útil. Por ello se utilizan lámparas fluorescentes o de vapor de sodio a baja presión dispuestas en filas continuas en paredes o techos. En la entrada, donde los requerimientos luminosos son mayores se instalan lámparas de halogenuros metálicos o de vapor de sodio a alta presión.

En el caso de las luminarias, estas deben ser robustas, herméticas, resistentes a las agresiones de los gases de escape y los productos de limpieza. Además de ser de fácil instalación, acceso y mantenimiento. Debido a los gases de escape y partículas en suspensión es conveniente una limpieza periódica. Momento que se puede aprovechar para sustituir las lámparas fundidas, aunque conviene también establecer un plan de sustitución periódica de todas las lámparas a la vez según el ciclo de vida de las mismas para garantizar un nivel de iluminación óptimo.

La distribución de las luminarias es muy importante; ha de garantizar una distribución uniforme de la luz sobre la calzada, el control del deslumbramiento, el nivel de luminancia, etc. Pero, además, los túneles presentan dos dificultades añadidas: el efecto cebra y el efecto del parpadeo o flicker. El efecto cebra se produce por la aparición sucesiva de zonas claras y oscuras ante el conductor que puede llegar a sentir una sensación de molestia e incluso mareo debido a una baja uniformidad de las luminancias en el túnel. El efecto de parpadeo o flicker se produce por cambios periódicos de los niveles de luminancia (unos reflejos, unas lámparas) en el campo visual según unas frecuencias críticas (entre 2.5 y 15 ciclos/segundo) que provocan incomodidad y mareos y se evita colocando los aparatos en filas continuas o con una separación adecuada.

Como las condiciones de iluminación en el exterior varían con la climatología y con las horas del día es conveniente instalar un sistema de regulación automática de la iluminación interior. Esta se hace gradualmente, con variaciones entre los estados inicial y final inferiores a 3 a 1. Para simplificar, se distingue entre tres niveles de iluminación: diurno, nocturno y crepuscular para los días nublados.

Es necesario disponer, además, de un sistema de alumbrado de emergencia que garantice unos niveles mínimos de iluminación en caso de apagón. En este sentido hay que garantizar por lo menos el funcionamiento de una de cada tres luminarias.

3.1.6 Mantenimiento

Para mantener en buenas condiciones el sistema de iluminación del túnel y conservar unos niveles óptimos es necesario realizar una serie de operaciones periódicamente como la sustitución de las lámparas o la limpieza de las luminarias, paredes y calzada. Además de contar con un sistema de ventilación eficaz que evacue los humos, gases de escape y partículas en suspensión que dispersan la luz. Asimismo, para maximizar la iluminación en el interior del túnel conviene que el techo, las paredes y la calzada sean de materiales con alta Reflectancia, pero sin brillos, fáciles de limpiar y resistentes a las agresiones.

3.2. Iluminación de Túneles Largos.

Las principales características fotométricas necesarias para establecer la calidad del alumbrado de un túnel son las siguientes:

- Nivel de luminancia de la calzada.
- Nivel de luminancia de las paredes, en partículas hasta una altura de 2m.
- Uniformidad de distribución de luminancia en calzada y paredes.
- Limitación de deslumbramiento.
- Control del efecto Flicker o parpadeo.

En la figura 69 se presenta una sección longitudinal de un túnel largo unidireccional interurbano, detallando las longitudes y niveles de luminancia de las diferentes zonas del mismo. La nomenclatura y correspondiente definición de dichos niveles luminotécnicos se concreta a continuación:

L_{20} = Luminancia en la zona de acceso.

L_{th} = Luminancia en la zona de umbral.

L_{tr} = Luminancia en la zona de transición.

L_{in} = Luminancia en la zona interior o zona central.

L_{ex} = Luminancia en la zona de salida.

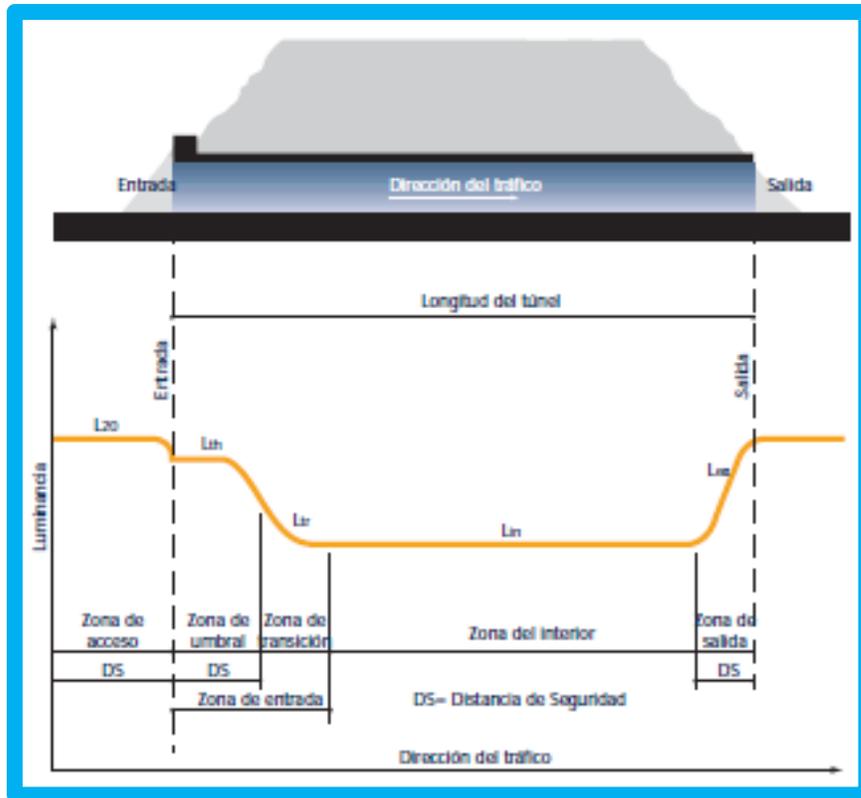


Figura 69. Diagrama de zonas del túnel.

3.2.1 Luminancia en la zona de acceso.

La zona de acceso es la parte de la carretera a cielo abierto, situada inmediatamente anterior a la entrada del túnel, que cubre la distancia de seguridad (DS).

El valor de la luminancia necesario al comienzo de la zona de umbral tiene que basarse en el valor de la luminancia en la zona de acceso L_{20} a una separación del túnel igual a la distancia de seguridad (DS). Bajo idénticas condiciones de luz diurnas, los túneles con distintas zonas de aproximación y alrededores (distinta orografía, entorno, etc.) tendrán valores considerablemente diferentes de luminancia en la zona de acceso L_{20} .

Para diseñar y proyectar la instalación de alumbrado de un túnel se necesita conocer el valor máximo de L_{20} que tiene lugar con una frecuencia suficiente durante todo el año, a una separación delante de túnel igual a la distancia de seguridad (DS). Como en la mayoría de los casos este valor L_{20} depende de las condiciones estacionales y del tiempo meteorológico, se

utilizan dos métodos empíricos simplificados para la evaluación de L_{20} . A continuación expondremos estos dos métodos para calcular la luminancia en la zona de acceso.

3.2.2 Método de aproximación.

Este método como su nombre lo indica es solo una indicación aproximada, y únicamente debe utilizarse cuando no exista información suficiente detallada acerca de los alrededores inmediatos de la boca de entrada del túnel. Este método consiste en la elección de la luminancia de la zona de acceso mediante la tabla 23 expresada en Kcd/m^2 ($10^3 cd/m^2$).

Tabla 23 Luminancia media de la zona de acceso L_{20} (Kcd/m^2)																
Tipos de vías	Porcentaje de cielo (%) en los campos de visión cónicos a 20°															
	35%				25%				10%				0%			
	Normal		Nieve		Normal		Nieve		Normal		Nieve		Normal		Nieve	
	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
Situación de brillo en el campo de visión	(1)		(1)		(1)		(1)		(2)		(3)		(2)		(3)	
Distancia de seguridad 60 m	(4)		(4)		4	5	4	5	2.5	3.5	3	3.5	1.5	3	1.5	4
Distancia de seguridad 100 a 160 m	4	6	4	6	4	6	4	6	3	4.5	3	5	2.5	5	2.5	5

Siendo:

1.- Efecto dependiente fundamentalmente de la orientación del túnel:

B: Bajo; En el hemisferio norte: entrada sur.

A: Alto; En el hemisferio norte: entrada norte.

Para entradas este y oeste deben elegirse valores intermedios entre bajo y alto.

2.- Efecto dependiente fundamentalmente del brillo de los alrededores:

B: Bajo; Reflectancias de los alrededores bajas.

A: Alto; Reflectancias de los alrededores altas.

3.- Efecto dependiente fundamentalmente de la orientación del túnel:

B: Bajo; En el hemisferio norte; entrada norte.

A: Alto; En el hemisferio norte: entrada sur.

Para entradas este y oeste deben elegirse valores intermedios entre bajo y alto.

4.- Para una distancia de parada de 60m no se encuentran en la práctica porcentajes de cielo del 35%.

Nota: Por entrada norte, nos referimos a la entrada cuando los conductores viajan hacia el sur. Y por entrada sur expresamos la entrada para conductores circulando hacia el norte.

Tabla 23. *Luminancia media de la zona de acceso.*

3.2.3 Método exacto.

La luminancia de la zona de acceso L_{20} es la luminancia media contenida en un campo cónico de visión que subtiende un ángulo del 20%, con el vértice en la posición del ojo del conductor, situado a una distancia anterior al túnel igual a la distancia de seguridad, y orientado el cono hacia el portal del túnel sobre un punto situado a una altura de $\frac{1}{4}$ de la boca del túnel.

La determinación de la luminancia de la zona de acceso L_{20} tiene una gran trascendencia, ya que es la que predetermina el nivel a obtener mediante el alumbrado en la zona de umbral. Dicha luminancia de la zona de acceso L_{20} se obtiene a partir de un croquis de los alrededores de la zona del túnel y se utiliza la siguiente formula:

$$L_{20} = (a * L_c) + (b * L_R) + (c * L_E) + (d * L_{th})$$

Donde:

a = % de cielo.

L_c = Luminancia de cielo.

b = % de carretera.

L_R = Luminancia de carretera.

c = % de entorno.

L_E = Luminancia del entorno.

d = % de boca del túnel.

L_{th} = Luminancia de zona de umbral.

$$\text{Con: } a + b + c + d = 1.$$

En la formula la incógnita a determinar es el valor de la luminancia de la zona de umbral (L_{th}). Cuando nos encontramos con distancia de paradas superiores a 100m, el tanto por ciento de boca de entrada de túnel es bajo (< al 10%) y como L_{th} tiene también un valor bajo respecto a los otros valores de luminancia se puede despreciar la contribución de L_{th} .

Para una distancia de parada de 60m, la norma establece:

$$L_{20} = \frac{((a * L_c) + (b * L_R) + (c * L_E))}{(1/K)}$$

Como K nunca excede de 0.1 tenemos:

$$L_{20} = (a * L_c) + (b * L_R) + (c * L_E)$$

Siendo $a + b + c < 1$.

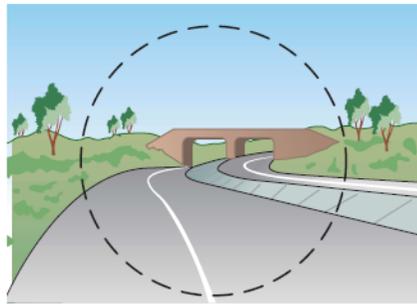
Si no se dispone de los datos para conocer exactamente el valor de “a, b, c y d” utilizamos los definidos en los siguientes esquemas.

Si no disponemos de valores de entornos o alrededores utilizamos los siguientes que se presentan en la Tabla 24.

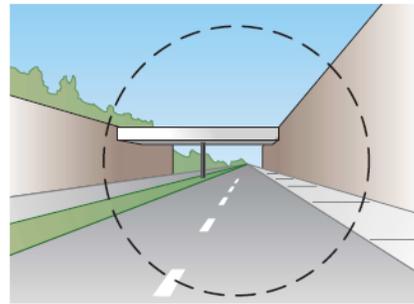
Sentido de conducción	Cielo	Carretera (L _R)	Entorno		Kcd/m ²	
	(L _c) Kcd/m ²	Kcd/m ²	(L _E)			
			Rocas	Edificios	Nieve	Hierba
N	8	3	3	8	15 (M, H)	2
E – O	12	4	2	6	10 (M) 15 (H)	2
S	16	5	1	4	5 (M) 15 (H)	2

Tabla 24. *Entorno o alrededores del túnel.*

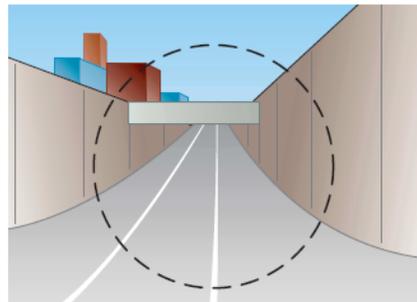
De esta tabla 24 obtenemos el valor de L_C , L_R , L_E y para realizar la definición de % de cielo que contribuye al valor de L_{20} en la instalación objeto estudio, utilizamos la figura 70 como guía.



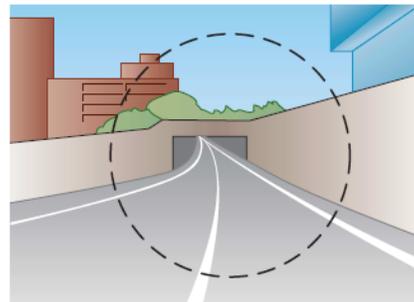
Distancia de seguridad 160 m. Cielo 35%



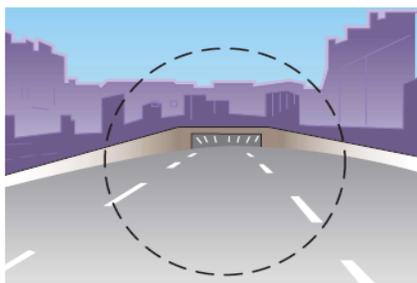
Distancia de seguridad 100 m. Cielo 27%



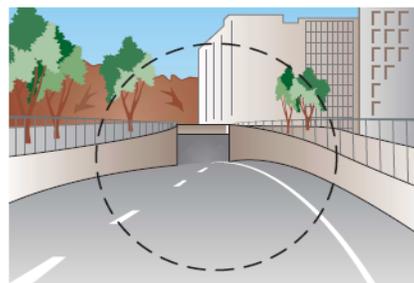
Distancia de seguridad 60 m. Cielo 14%



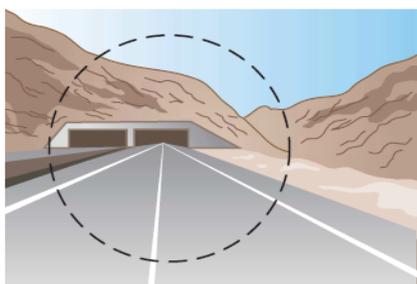
Distancia de seguridad 100 m. Cielo 18%



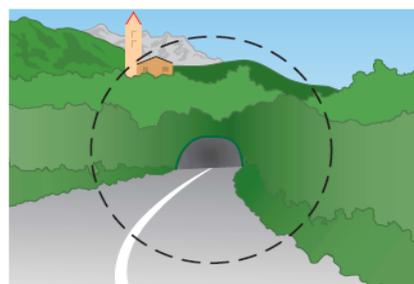
Distancia de seguridad 160 m. Cielo 14%



Distancia de seguridad 100 m. Cielo 3%



Distancia de seguridad 100 m. Cielo 18%



Distancia de seguridad 100 m. Cielo 4%

Figura 70. Distancia de seguridad considerando el porcentaje de cielo en la zona de acceso.

3.2.4 Iluminación en la zona de entrada.

Tal y como se muestra en la figura 69, la entrada del túnel consta de dos tramos consecutivos: la zona de umbral, que es la más próxima a la boca del túnel y a la zona de transición.

3.2.5 Niveles de iluminación en la zona de umbral.

La zona de umbral es la primera parte del túnel ubicada directamente después del portal, comenzando, por tanto, en la boca del túnel.

El nivel de luminancia L_{th} (luminancia media en servicio de la superficie de la calzada con mantenimiento de la instalación), que debe ser proporcionado por el alumbrado durante el día al comienzo de la zona de umbral, es un porcentaje de la luminancia de la zona de acceso L_{20} , de forma que verifica:

$$L_{th} = K * L_{20}$$

El factor k se establece en la tabla 25 teniendo en cuenta el sistema de alumbrado adoptado (contraflujo o simétrico), la distancia de seguridad (DS) y la clase de alumbrado definido en la tabla 33 en función de los factores de ponderación (intensidad y composición del tráfico, guiado visual y confort en la conducción de vehículos).

Sistema de alumbrado	Contraflujo			Simétrico			
	Clase de alumbrado	Distancia de seguridad (DS)			Distancia de seguridad (DS)		
	[De acuerdo a la tabla 3.2.11.]	60 m	100 m	160 m	60 m	100 m	160 m
1		10	15	30	15	20	35
2		15	20	40	20	25	40
3		20	30	45	25	35	45
4		25	35	50	30	40	50
5		30	40	55	35	50	65
6		35	45	60	40	55	80
7		40	50	70	50	60	100

Tabla 25. Valores de $k \cdot 10^3$ para la zona de umbral.

Nota: para distancia de seguridad o de parada (DS) comprendidas entre las señaladas (60 – 100 y 160m), los valores del factor “k” se obtienen por interpolación lineal entre las cifras establecidas en la tabla 25, los valores del factor “k” para el sistema de alumbrado a contraflujo se han determinado para garantizar, en la mayor parte de las circunstancias, un grado de seguridad y comodidad la menos comparable al logrado con el sistema de alumbrado simétrico. Las distancias de seguridad o de parada de 60, 100 y 160m equivalen respectivamente a velocidades de diseño del túnel de 60, 80 y 100 km/h.

3.2.6 Longitud de la zona de umbral.

La longitud de la zona de umbral debe ser como mínimo igual a la distancia de seguridad (DS). En la primera mitad de dicha distancia (DS), la luminancia en la calzada será igual a L_{th} , es decir, el valor al comienzo de la zona de umbral.

A partir de la mitad de la distancia de seguridad (DS), la luminancia de la calzada puede disminuir gradual y linealmente hasta un valor, al final de la zona de umbral, igual a $(0.4 * L_{th})$. Fig. 71. La reducción gradual en la segunda mitad de la zona de umbral puede realizarse de forma escalonada de manera que la relación entre escalones no exceda la relación 3:1 y la luminancia no caiga por debajo de los valores correspondientes a la disminución gradual lineal.

3.2.7 Luminancia de las paredes.

La longitud media de las paredes en la zona de umbral, hasta una altura de 2m, debe ser similar a la luminancia media de la superficie de la calzada.

3.2.8 Luminancia y longitud de la zona de transición.

La zona de transición es la parte del túnel que sigue a la zona de umbral, tal y como se indica en la Fig. 69. Por tanto, comienza al final de la zona de umbral y termina al inicio de la zona del interior.

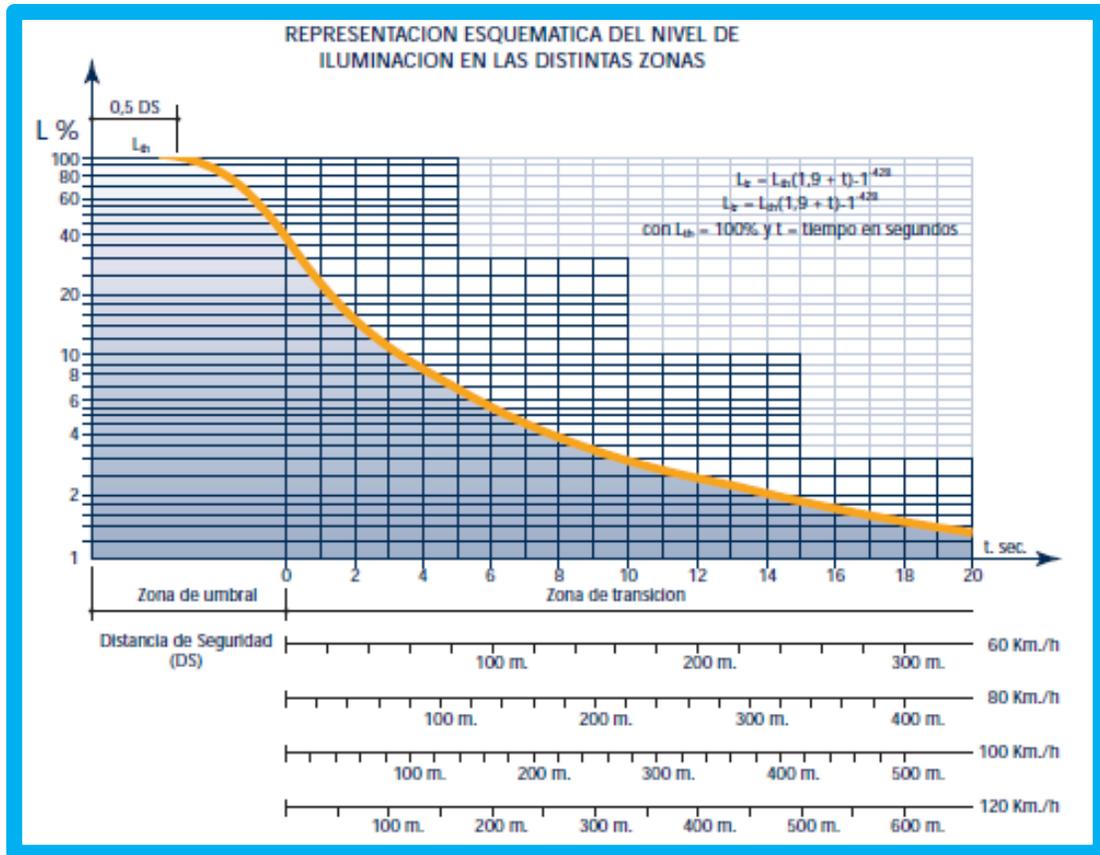


Figura 71. Luminancia mínima en la zona de entrada.

EL valor de 100% corresponde a la primera mitad de la zona de umbral.

De acuerdo con la figura 71, la longitud de la zona de transición es la distancia que debe recorrer un vehículo para pasar, adaptándose visualmente, desde el nivel de luminancia del final de la zona de umbral, hasta el valor de la luminancia en el comienzo de la zona del interior. En consecuencia, para cada velocidad del vehículo la reducción permisible de la luminancia en la zona de transición L_{th} es función de la distancia recorrida en la mencionada zona.

La luminancia media en servicio de la calzada con mantenimiento de la instalación de la zona de transición L_{th} disminuye gradualmente, desde la luminancia de la zona de umbral hasta la luminancia de la zona del interior. En cualquier posición en la zona de transición, la luminancia de la superficie de la calzada debe ser igual o exceder a la luminancia establecida en la figura 71.

La curva de la figura 71 es el resultado de numerosas pruebas experimentales en función de la adaptación del ojo desde altos niveles de luminancia a valores muy bajos que han dado lugar a una aproximación matemática que responde a la siguiente expresión:

$$L_{tr} = L_{th} \cdot (1.9 + t)^{-1.428}$$

Siendo t = tiempo [s].

En la práctica, el descenso de la luminancia en la zona de transición puede llevarse a cabo mediante una serie de escalones que deben ser menores que la relación 3:1 y la luminancia no puede alcanzar valores inferiores a los de la curva de la figura 71, alcanzándose el final de la zona de transición cuando su luminancia es igual a tres veces el nivel de la zona del interior del túnel.

Se deberá cumplir además que la luminancia media de las paredes del túnel hasta una altura de 2m, en cualquier posición específica de la zona de transición, no debe ser menor que la luminancia media de la calzada en dicho lugar.

3.2.9 Iluminación de la zona interior.

La zona del interior es la parte del túnel que sigue directamente a la zona de transición. Su longitud viene dada por la distancia existente entre el final de la zona de transición y el comienzo de la zona de salida. Los niveles de la luminancia L_{in} . De la zona interior del túnel, que son constantes a lo largo de dicha zona, puesto que ha finalizado la adaptación del ojo desde los altos valores luminosos del exterior, se establecen en la tabla 26 en función de la distancia de seguridad (DS) y de la clase de alumbrado definido en la tabla 33.

Hasta una altura de 2m. Las paredes del túnel deben tener una luminancia media similar a la luminancia media en servicio de la calzada con mantenimiento de la instalación L_{in} .

El nivel de luminancia en la zona del interior del túnel debe permitir alcanzar los siguientes objetivos:

- Visibilidad de cualquier obstáculo eventual sobre la calzada a una distancia como mínimo igual a la distancia de seguridad, teniendo en cuenta la opacidad de la atmosfera del túnel debido a los gases de escape de los vehículos.
- Guiado sin ambigüedades de los vehículos.
- Buena calidad del ambiente luminoso, cuyo efecto psicológico es importante sobre todo en los túneles muy largos.

Se debe señalar que los niveles de la zona del interior se consiguen en toda la longitud del túnel, igualmente en las denominadas zonas de refuerzo de alumbrado (zona de entrada y zona de salida), donde a esta situación se le conoce como alumbrado base.

Sistema de alumbrado	Distancia de seguridad (DS)		
	60 m	100 m	160 m
1	0.5	2	3
2	1	2	4
3	2	3	5
4	2	3	6
5	2	4	6
6	3	5	8
7	3	6	10

Tabla 26. *Luminancia en cd/m^2 en la zona del interior.*

3.2.10 Iluminación de la zona de salida.

La zona de salida es la parte del túnel en la que, durante el día la visión del conductor está influida predominantemente por la elevada luminancia exterior del túnel. La zona de salida al final de la zona del interior y termina en la boca de salida del túnel.

En la zona de salida del túnel debe establecerse un nivel de luminancia L_{ex} en la calzada, para iluminar directamente los vehículos, de forma que los más pequeños resulten visibles en la zona de salida del túnel, dado que sin reforzamiento del alumbrado por encima de los niveles de la zona interior L_{in} permanecerían ocultos detrás de los vehículos grandes, debido al deslumbramiento originado por la luz diurna de salida del túnel.

Asimismo, dicha luminancia media en servicio de la calzada con mantenimiento de la instalación L_{ex} de la zona de salida del túnel, posibilita a los conductores de los vehículos que están saliendo del mismo tener suficiente visión, a través de los espejos retrovisores, de la parte posterior o trasera del vehículo, particularmente cuando la distancia entre vehículos sea corta (intensidad de tráfico elevada).

Todo ello, aun teniendo en cuenta que pasar de una luminancia interior L_{in} débil a una luminancia en el exterior del túnel elevada, la adaptación del ojo del conductor es muy rápida y en general no plantea problemas para el usuario.

Sin embargo, en los túneles largos unidireccionales cuya clase de alumbrado sea de 6 y 7, de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 33, la luminancia en la zona de salida L_{ex} deberá aumentar linealmente a lo largo de una longitud como mínimo igual a la distancia de seguridad (DS), a partir de la luminancia de la zona del interior, a un nivel 5 veces superior al de la zona del interior ($L_{ex} = 5 * L_{in}$) a una distancia de 20m, antes de llegar a la boca o portal de salida del túnel. El aumento lineal de la luminancia podrá realizarse escalonadamente de forma que la relación entre escalones no exceda de la relación 3:1 en una longitud, como mínimo, igual a la distancia de seguridad (DS).

En los casos de túneles unidireccionales cuyas clases de alumbrado sean 1 a 5 ambas inclusive, la zona de salida tendrá la misma luminancia que la zona del interior del túnel ($L_{ex} = L_{in}$), no requiriéndose alumbrado adicional sobre el previsto en la zona del interior. No obstante, con independencia de la clase de alumbrado que corresponda al túnel, en ciertos casos particulares de túneles unidireccionales, donde existan serios riesgos de molestia y deslumbramiento a la salida, debido por ejemplo a la orientación del túnel o a las incomodidades ocasionadas por la salida y ocaso del sol, deberá reforzarse el alumbrado de la zona de salida del túnel en las condiciones establecidas para los de clase de alumbrado 6 y 7.

3.2.11 Uniformidad de la luminancia de la calzada.

En los túneles, la calzada y las paredes actúan como delimitadores o guías visuales para el tráfico de vehículos, de ahí que deba alcanzarse una buena uniformidad en la calzada y en las paredes de los túneles hasta una altura de 2m.

En la tabla 27 se establecen los valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de la uniformidad global y longitudinal de luminancias en las calzadas de los túneles, en todas sus zonas, es decir, en la longitud total del mismo y la anchura completa de la calzada, en función de la clase de alumbrado.

Clase de alumbrado	Uniformidades	
	Global U_0	Longitudinal U_1
1 -2 -3	0.3	0.5
4 -5 - 6 - 7	0.4	0.6

Tabla 27. Uniformidades de luminancia de la superficie de la calzada.

3.2.12 Limitación del deslumbramiento.

Dado que el deslumbramiento reduce la visibilidad, es muy importante minimizarlo en el alumbrado de túneles. El deslumbramiento perturbador, es definido como el incremento de umbral de contraste (TI) necesario para ver un obstáculo cuando hay deslumbramiento, se especifica mediante las siguientes expresiones:

$$TI = \frac{L_V}{L_m^{0.8}} \quad \text{En \% para } 0.05 < L_m < 5 \text{ cd/m}^2$$

$$TI = \frac{L_V}{L_m^{1.05}} \quad \text{En \% para } L_m > 5 \text{ cd/m}^2$$

Donde:

TI = Incremento de umbral correspondiente al deslumbramiento perturbador.

L_V = Luminancia de velo Total [cd/m^2]

L_m = Luminancia media de la calzada [cd/m^2]

El incremento de umbral (TI) debe ser menor del 15% para las zonas de umbral, de transición y zona interior durante el día, y para todas las zonas durante la noche. Para la zona de salida durante el día no existe limitación en el deslumbramiento perturbador.

3.2.13 Control del efecto Flicker.

La sensación de parpadeo o efecto flicker es la impresión molesta e incómoda producida por las variaciones periódicas de la luminancia en el campo de visión. Tales sensaciones se experimentan cuando se conduce un vehículo a través de cambios periódicos espaciales de luminancia como los producidos por las luminarias instaladas en las paredes o techos de los túneles cuando existe una separación inadecuada entre las mismas, con una elevada velocidad de cambio en la distribución de la intensidad luminosa.

La incomodidad visual experimentada por el conductor debida al parpadeo o efecto flicker depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- Numero de cambios de la luminancia por segundo (frecuencia de parpadeo).
- Duración total del efecto flicker.
- Velocidad de cambio de claro a oscuro, en un solo ciclo.
- Relación de pico-luz a valle-oscuridad, dentro de cada periodo (profundidad de modulación de luminancia).

La influencia de los tres primeros puntos, dependen de la velocidad del vehículo y de la separación entre luminarias; el último punto depende también de las características fotométricas (distribución de la intensidad luminosa) e interdistancia entre luminarias.

Cuando la distancia entre los extremos de las luminarias adyacentes es inferior a la longitud de una sola luminaria, el tercer punto relativo de cambio de claro a oscuro queda minimizado, y el parpadeo o efecto Flicker percibido resulta despreciable, debido a que la implantación de la instalación de alumbrado puede asimilarse a una línea continua.

Para calcular la frecuencia de parpadeo o efecto Flicker en una zona del túnel, se divide la velocidad del tráfico en metros/segundo por la separación entre luminarias en metros.

1) *Ejemplo: efecto flicker*

Se presenta un efecto Flicker en un túnel donde la separación entre las luminarias es de 4 m. entre cada una de ellas, y la velocidad del tráfico es de 60 km/h. encuentre si el efecto flicker resultara molesto para el conductor.

$$V = 60 \text{ km/h} = 16.6 \text{ m/s}$$

Separación entre luminarias = 4m.

$$\text{Frecuencia de parpadeo o efecto Flicker} = 16.6[\text{m/s}]/4[\text{m}] = 4.16 \text{ Hz}$$

Deben evitarse frecuencias de parpadeo o efecto Flicker (variación de luminancia), comprendidas entre 2.5 Hz y 15 Hz, a la velocidad de circulación durante más de 20 segundos, debido a que el efecto de parpadeo puede despreciarse para frecuencias por debajo de 2.5 Hz, y por encima de 15 Hz.

3.2.14 Alumbrado nocturno.

Si el túnel se encuentra en un tramo de carretera iluminado, el alumbrado del túnel debe ser al menos igual al de la carretera de acceso, recomendándose de 1.5 a 2 veces los valores del tramo exterior, en lo que respecta al nivel de luminancia de la superficie de la calzada. Las uniformidades de luminancia por la noche deberán satisfacer las mismas exigencias que en el caso del alumbrado diurno, ajustándose, por tanto, a los valores mínimos establecidos en la tabla 27.

Todo lo anterior será igualmente de aplicación para túneles de 100m. De longitud que no estén iluminados durante el día.

En el caso de túneles que se encuentran situados en una sección de carretera que no está iluminada además de instalas alumbrado en el túnel de acuerdo con lo establecido en el párrafo anterior, la vía posterior a la salida del túnel debe iluminarse en una longitud igual a 2 veces la distancia de seguridad y como mínimo en un recorrido de 200m, con una luminancia media superior a 1/3 de la luminancia de la calzada en la zona de salida del túnel.

El alumbrado nocturno en los tramos de paralúmenes o pantallas para luz diurna en la zona de entrada y/o salida del túnel será igual al de la zona del interior del túnel. En el supuesto de que por razones de seguridad se instale y funcione un sistema de vigilancia del tráfico de vehículos mediante cámaras de televisión, el nivel nocturno mínimo será de 1 cd/m².

Para el alumbrado nocturno general de todas las zonas del túnel, el valor mínimo en servicio con mantenimiento de la instalación de la luminancia media de la calzada será establecido en la tabla 28.

Clase de alumbrado	Luminancia media cd/m ²
1 -2 -3	0.5
4 -5 -6 -7	0.6

Tabla 28. *Luminancias en cd/m² del alumbrado nocturno.*

3.2.15 Clase de alumbrado del túnel.

La actual forma de categorizar las clases de túneles se basa en factores de ponderación, para clasificar los túneles desde la clase 1 hasta la clase 7, a continuación, presentaremos los factores de ponderación.

3.2.16 Intensidad de tráfico.

Existe una relación entre la intensidad de tráfico y la accidentalidad. Esta relación puede ser contrarrestada en parte, incrementando el nivel de iluminación del túnel tabla 29.

Intensidad de tráfico (veh/hora por carril)		Factores de ponderación
Unidireccional	Bidireccional	
< 60	< 30	0
60 – 100	30 – 60	1
100- 180	60 – 100	2
180 – 350	100 – 180	3
350 – 650	180 – 350	4
659 – 1200	350 – 65	5
>1200	650 – 1200	6
	>1200	7

Tabla 29. Factores de ponderación en función de la intensidad de tráfico.

3.2.17 Composición del tráfico.

El diseño del sistema de iluminación debe tomar en cuenta la composición del tráfico: por ejemplo, porcentaje de camiones, vehículos, motocicletas, ciclistas, etc. Tabla 30.

Composición del trafico	Factor de ponderación
Motorizado	0
Motorizado porcentaje de camiones > 15%	1
Mixto	2

Tabla 30. Factores de ponderación en función de la composición del tráfico.

3.2.18 Guiado visual.

El guiado visual resulta importante, este puede conseguirse con dispositivos retrorreflectantes, con balizamiento, etc. tabla 31.

Guiado visual	Factor de ponderación
Bueno	0
Pobre	2

Tabla 31. Factores de ponderación en función del guiado visual.

3.2.19 Comodidad en la conducción.

Se entiende como tal la facilidad y mínimo esfuerzo que deben realizar los usuarios en la conducción de vehículos, debido a la completa información recibida y a la carencia de complejidad en el campo visual mostrado en la tabla 32.

Comodidad en conducción requerida	Factor de ponderación
Baja	0
Media	2
Elevada	4

Tabla 32. Factores de ponderación en función de la comodidad en la conducción.

Con estos factores de ponderación se puede definir la clase de alumbrado del túnel de acuerdo con la tabla 33.

Suma de factores de ponderación	Clase de túnel
0 – 3	1
4 – 5	2
6 – 7	3
8 – 9	4
10 – 11	5
12 – 13	6
14 – 15	7

Tabla 33. Clases de alumbrado para túneles largos.

Una vez definidos el sistema de alumbrado, la distancia de seguridad y la clase de alumbrado del túnel, podemos a través de la tabla 25 obtener el valor “k” recomendado, que es la relación que tiene que haber entre la luminancia de la zona de umbral y la de la zona de acceso, para que la entrada del conductor en el túnel sea segura desde el punto de vista visual.

La luminancia media de las paredes hasta 2 metros de altura, debe ser similar a la media de la calzada.

3.3. Iluminación de Túneles Cortos y Pasos a Desnivel.

Los túneles cortos y los pasos a desnivel son situaciones especiales que suelen presentar algunos contratiempos para su iluminación, empezando por la cuestión ¿Es necesario dotarlos de un sistema de iluminación? Después de esta característica principal vendrán otras como decidir si es mejor dotarlos de; alumbrado diurno, alumbrado limitado o bien iluminarlo de igual forma que en el caso de un túnel largo.

El factor determinante para establecer el alumbrado diurno depende de que los conductores de los vehículos que se aproximan al túnel y que se encuentren a una distancia de seguridad (DS), logren ver otros vehículos, o bien a los peatones que circulen por el túnel.

Cabe mencionar que la exigencia de alumbrado diurno está relacionada con el grado en el que la salida del túnel o paso a desnivel es visible para un conductor situado frente a la entrada, a la distancia de seguridad (DS), es decir la visión a través del túnel depende de los siguientes factores:

- Longitud del túnel.
- Existencia de curvas en su interior.
- Existencia de rampas o pendientes en el túnel.



Figura 72. Túnel cortó con iluminación diurna.

Túnel Buenavista carretera al llano. Fuente Panoramio image ID 18844925.
<https://geolocation.ws/v/P/18844925/tunel-buenavista-carretera-al-llano/en>.

Nota: Por lo general los pasos a desnivel y túneles cortos inferiores a 25 metros de longitud, regularmente son excluidos de la instalación de alumbrado diurno.

Cuando la longitud del túnel supera los 25 metros, el fondo oscuro constituido por las paredes y el techo del túnel, así como por la propia calzada, puede ocultar de la visión de los conductores y peatones que lo atraviesan, los objetos que ahí se encuentran debido a que impide su percepción. Bueno para este caso deberá instalarse el sistema de alumbrado diurno en el túnel o paso a desnivel.

3.3.1 Diagramas guía para túneles cortos (recomendaciones).

Con la finalidad de proporcionar una guía para ayudar en la decisión de instalar o no el sistema de alumbrado diurno, así como también que tipo de alumbrado diurno debería implementarse, a continuación, se presenta una clasificación de cuatro tipos de túneles cortos para los cuales se presentan las cuatro tablas guía siguientes:

1) Túneles cortos tipo A. tabla 34

Túneles situados en entornos urbanos o periurbano en vías de tráfico (excluyendo autopistas y autovías). Frecuentemente dotadas de alumbrado público y cuya velocidad de circulación este limitada entre 40 y 60 km/h.

Longitud	< 25m.		25 a 75m.		75 a 125m.		> 125 m.
¿salida visible?	-	Si	No	Si	No	-	-
Alumbrado requerido	No se requiere alumbrado diurno		Alumbrado diurno limitado		Alumbrado de túnel largo		

Tabla 34. Alumbrado diurno de túneles tipo A, urbanos o periurbano cortos (excluidas autopistas y autovías), con velocidad de circulación limitada entre 40 y 60km/h.

2) Túneles cortos tipo B tabla 35.

Túneles interurbano bidireccionales, considerando un volumen de tráfico denso cuando la intensidad media diaria de los vehículos que circulan es superior a 5.000 (IMD>5.000).

Longitud [m]	0 a 80		81 a 120				121 a 150		>150
¿Salida visible?	-	Si	No		Si	No	Si	No	-
Velocidad ≤ 80km/h	-	Si	No		Si	No	-	-	-
Volumen de tráfico	-	-	Ligero	Denso	-	Ligero	Denso	-	-
Alumbrado requerido	No se requiere alumbrado		Alumbrado diurno limitado				Alumbrado diurno completo		Alumbrado de túnel largo

Tabla 35. Alumbrado diurno de túneles tipo B. urbanos bidireccionales cortos (volumen de tráfico denso cuando IMD >5000).

3) Túneles cortos tipo C tabla 36.

Túneles interurbanos unidireccionales (autopistas y autovías), estimando un volumen de tráfico denso cuando la intensidad media diaria de los vehículos que circulan es superior a 10.000 (IMD>10.000).

Longitud [m]	0 a 100		101 a 150				151 a 200		>200	
¿Salida visible?	-	Si		No				Si	No	-
Velocidad ≤ 80km/h	-	Si	No		Si	No		-	-	
Volumen de tráfico	-	-	Ligero	Denso	-	Ligero	Denso	-	-	
Alumbrado requerido	No se requiere alumbrado		Alumbrado diurno limitado				Alumbrado diurno completo		Alumbrado de túnel largo	

Tabla 36. Alumbrado diurno de túneles tipo C.

Urbanos unidireccionales cortos de autopistas y autovías (volumen de tráfico denso cuando IMD >10 000).

4) Túneles cortos tipo D tabla 37.

Túneles interurbanos con tráfico de baja velocidad (límite de velocidad considerable menor de 80 km/h), y un volumen de tráfico notablemente inferior a una intensidad media diaria de 5.000 (IMD<5.000).

Longitud [m]	0 - 100		101 - 150		151 - 200	>200
¿Salida visible?	-	Si	No	Si	No	-
Alumbrado requerido	No se requiere alumbrado diurno		Alumbrado diurno limitado		Alumbrado diurno completo	Alumbrado de túnel largo.

Tabla 37. Alumbrado diurno de túneles tipo D.

Interurbanos cortos con tráfico de baja velocidad (menor de 80 km/h) y volumen de tráfico inferior a 5000 vehículos diarios (IMD < 5000).

Para cada tipo de túnel corto en los diagramas guía y en su parte izquierda, se toman en consideración las siguientes cuestiones:

Longitud, visibilidad de la salida, velocidad y volumen de tráfico.

- Longitud [m]: Se establecen para cada diagrama guía cuatro órdenes de longitudes de túneles cortos o pasos a desnivel, expresadas en metros.
- Salida visible. En cada diagrama guía se considera, cuando el conductor del vehículo que se aproxima al túnel y se encuentra como mínimo, a una distancia igual a la de seguridad (DS) antes de la entrada del mismo, si es o no es visible la salida del túnel o paso a desnivel.
- Velocidad [80 km/h]: En los diagramas correspondientes a los túneles tipo B y C, se contempla si la velocidad de diseño del túnel o paso a desnivel es mayor o menor que 80 km/h. La velocidad de diseño es muy importante en relación a la distancia de seguridad (DS), así como respecto al riesgo de accidentes y a la gravedad de los mismos.
- Volumen de tráfico: Se tiene en cuenta en los diagramas para túneles tipo B y C el volumen de tráfico, que puede clasificarse en ligero y denso.

En la tabla 2 para túneles cortos tipo B (interurbanos bidireccionales), se considera que el volumen de tráfico es denso cuando la intensidad media diaria de los vehículos es superior a 5.000 ($IMD > 5.000$).

En tabla 3 para túneles cortos tipo C (interurbanos unidireccionales de autopistas y autovías) se estima que el volumen de tráfico es denso cuando la intensidad media diaria es superior a 10.000 ($IMD > 10.000$).

Se establecen 4 tablas siguiendo recomendaciones europeas que constituyen una guía de carácter orientativo, y proporciona una ayuda para decidir si el túnel corto o paso a desnivel necesita o no dotarse de alumbrado diurno, y si lo precisa, se muestra que tipo de alumbrado debe adoptarse.

a) Ejemplo:

A continuación, se presentan las consideraciones para precisar si es necesario o no la adaptación de alumbrado diurno.

Se presenta el siguiente caso en el cual encontramos un túnel corto de 120 metros de longitud, situado en una carretera interurbano con tráfico de baja velocidad ($v > 60$ km/h), y con una intensidad media diaria $IMD < 3\ 000$, y se necesita decidir si debe dotarse o no de alumbrado diurno y, en el caso de ser requerido se precisa determinar el tipo de alumbrado a instalar, la forma de operar es la siguiente:

Tomando las consideraciones del cuarto diagrama, Se contempla el túnel dentro del rango de longitudes que le corresponden, es decir, entre 101 y 150 metros.

Continuando se contesta la segunda cuestión de diseño ¿salida visible? En caso de ser el acertado con lo sugerido en la tabla 4, no se requiere alumbrado diurno. Y en caso de ser negado, debido a la existencia de curvas o pendientes en el interior del túnel, se instala alumbrado diurno limitado.

En el supuesto del mismo túnel corto, pero con una longitud de 170 metros, siguiendo la conformidad la cuarta tabla, las dos únicas alternativas en el caso de que la salida del túnel sea o no visible, son respectiva la instalación de alumbrado diurno limitado o diurno completo.

Las tablas constituyen una guía práctica que, en cada caso concreto, deberá ser adaptada al tipo de carretera teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- La configuración real del túnel y de su carretera de acceso y salida.
- El volumen y la composición de tráfico; motorizado o mixto que incluye vehículos pesados, ligeros, ciclistas, peatones, etc.

Además de considerar como recomendaciones los diagramas guía, para el diseño funcionamiento y mantenimiento del alumbrado de túneles cortos y pasos a desnivel, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones técnicas y económicas:

- Efectuar un análisis cuidadoso del riesgo de accidentes y de la seguridad en relación a la iluminación (calidad y cantidad).
- Estudiar la señalización conveniente frente a la entrada del túnel, especialmente en lo relativo a la velocidad límite, encendido de los faros de los vehículos, etc.
- Realizar un examen meticuloso de los costes de instalación y explotación anual del alumbrado, incluidos los costes de funcionamiento, mantenimiento y trabajos de reparación en relación a la seguridad y comodidad proporcionada por dicha instalación (relación costo/beneficio).

3.3.2 Tipos de alumbrado en túneles cortos.

Tal y como se presentó en los diagramas guía, además del alumbrado de noche, las situaciones que se pueden presentar para el alumbrado diurno en túneles cortos que se muestra en el diagrama 11.



Diagrama 11. Tipos de alumbrado en túneles cortos.

1) Sin exigencia de alumbrado diurno.

Cuando el túnel o paso a desnivel es demasiado corto o las condiciones de construcción satisfacen las exigencias de iluminación mínima para túneles cortos, no se requiere alumbrado diurno.

2) Alumbrado diurno limitado.

Se denomina así dado que está en funcionamiento solamente durante una parte de tiempo, es decir, únicamente se encuentra en servicio el alumbrado diurno durante periodos en los que la penetración de la luz solar diurna no proporciona un fondo de luminancia suficiente, para permitir que actúe el efecto silueta, tales condiciones pueden plantearse después del crepúsculo, antes del amanecer y en días nublados.

En el alumbrado diurno limitado, la luminancia media en servicio de la calzada con mantenimiento de la instalación será 3 veces la luminancia de la zona del interior del túnel. De acuerdo con lo establecido en la tabla 26, o de 15 cd/m², debiéndose adoptar la mayor cifra de las dos.

Por la mañana, el alumbrado diurno limitado deberá encenderse media hora después de la salida del sol y apagarse cuando la luminancia en la zona de acceso L_{20} sobrepase las 150 cd/m². Por la tarde, se encenderá cuando la luminancia en la zona de acceso L_{20} descienda por debajo de 150 cd/m² y se efectuara el apagado media hora antes de la puesta del sol.

3) Alumbrado diurno completo.

El alumbrado diurno completo es el que está en funcionamiento durante el periodo diurno total. Básicamente los túneles cortos que se asemejan a túneles largos deben ser iluminados como estos últimos. En consecuencia, el alumbrado diurno completo será constante a lo largo de toda longitud del túnel, con los niveles requeridos en la zona de umbral de túneles largos.

4) Alumbrado de noche.

Para túneles cortos o pasos inferiores mayores de 25m, en los que las carreteras de aproximación estén iluminadas, se requiere la instalación de alumbrado nocturno. El nivel de luminancia media en servicio de la calzada con mantenimiento de la instalación será, al menos igual, pero no mayor de 2 veces la luminancia de la carretera de aproximación.

3.2.3 Diseño de alumbrado de túneles.

Respecto a las tablas guía para túneles cortos debe mencionarse que constituyen solamente una guía que debe adaptarse al tipo de túnel y carretera de acceso y salida.

Los pasos a desnivel bajo carreteras o ferrocarriles, menores de 25m. De longitud, constituyen los tramos mínimos de carretera cubierta que se presentan habitualmente. Dada la pequeña longitud, normalmente no es necesaria la instalación de alumbrado durante el día. Al objeto de facilitar la entrada de la luz solar en el interior del túnel corto o paso a desnivel, resulta conveniente llevar a cabo cuando sea posible, las siguientes medidas:

- Construir la boca del túnel más elevada.
- Revestimiento de color blanco en las paredes del túnel.
- Instalar claraboyas en el techo del túnel.

Tipos de túneles	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Longitud	< 25	< 80	< 100	< 100
	25 a 75	80 a 120	100 a 150	100 a 150
	75 a 125	120 a 150	150 a 200	150 a 200
	> 125	> 150	> 200	> 200
¿Salida visible?	Si	Si	Si	Si
	No	No	No	No
		Si	Si	
		No	No	
Volumen de tráfico		Ligero	Ligero	
		Denso	Denso	

Tabla 38. *Túneles cortos.*

Si está previsto de alumbrado en la carretera, este se implantará de forma que asegure una penetración adecuada de la iluminación dentro del túnel corto o paso a desnivel.

Es importante una elevada reflectancia de paredes para aumentar el brillo del fondo contra el que los objetos pueden ser vistos. En los túneles cortos, donde la salida no es visible desde la distancia de seguridad (DS) enfrente de la entrada del túnel, la reflectancia de paredes es

particularmente importante, debido a que una reflectancia de pared elevada asegurara que una gran proporción del alumbrado diurno que penetra por la boca de salida, se refleje hacia los conductores. Las paredes con una reflectancia difusa, en servicio, de más del 40%, son denominadas como elevada y las paredes de menos del 40% de reflectancia, son denominadas como baja (debe considerarse el factor de depreciación o mantenimiento).

En cualquier túnel, las paredes deben estar cubiertas por un revestimiento blanco de hasta 2m. De altura, con una superficie lisa y una reflectancia especular elevada en servicio o mantenida. La parte inferior hasta 0.50 m. y las aceras laterales, pueden ser ennegrecidas o pintadas de color negro, fundamentalmente cuando el revestimiento de la calzada es claro o blanco, debido a las necesidades de conducción de los vehículos con un buen contraste mantenido, a fin de mejorar la percepción total. Cuando la reflectancia de las paredes se califica como baja, la longitud señalada en los cuatro diagramas guía debe ser reducida en un 20%.

El grado de penetración de luz diurna en la salida también es importante. Así, un túnel con una gran sección transversal, por ejemplo, de tres carriles o más de anchura, y una salida en terreno plano o con pendiente descendente y mirando al sur, admitirá un máximo de luz diurna y contribuirá considerablemente a la visibilidad en el túnel. Por otro lado, la penetración de la luz diurna puede ser pobre cuando el túnel sea de dos carriles o menos, en el caso de que la salida este situada en un corte o se encuentre rodeada por edificios altos, así como cuando la carretera tenga pendiente ascendente desde la salida o en el supuesto de que la salida mire al norte. La importancia de la penetración de la luz diurna es buena, la longitud indicada en cada uno de los cuatro diagramas guía debe ser incrementada hasta en un 20%.

En lo que se refiere a la geometría del túnel y sus carreteras de acceso, el diseño del alumbrado del túnel debe seguir el recorrido más conservador en cada diagrama guía. Lo mismo debe hacerse:

- Cuando el túnel presente en primer lugar una pendiente y luego una rampa.
- Cuando hay discontinuidades o singularidades geométricas.

En el caso de que el túnel presente una mala percepción total, el diseño del alumbrado debe seguir un trayecto conservador en cada uno de los 4 diagramas guía.

Es necesario un análisis específico, cuando el transporte de mercancías peligrosas sea frecuente. En este caso, el diseño del alumbrado en el túnel debe llevarse a cabo optando por la trayectoria más conservadora en cada uno de los diagramas guía.

3.4. Iluminación de Emergencia.

En el caso de la iluminación de emergencia cuando el túnel sufra una falla de alimentación de corriente se debe disponer de un sistema de alimentación de emergencia y un sistema de alumbrado de emergencia.

El alumbrado de emergencia debe cubrir la longitud total del túnel y el nivel de luminancia debe ser al menos del 10% de la luminancia interior o 0.2 cd/m^2 (se recomienda elegir el mayor).

En los túneles de clase de iluminación de 3 a 7, se requiere un sistema de alumbrado para el guiado de emergencia contra incendio (se precisa siempre que desde cualquier posición sea visible al menos una salida).

La situación de estas luminarias será en la pared a una altura de 0.5 m. de la calzada y con una separación inferior a 50 m.

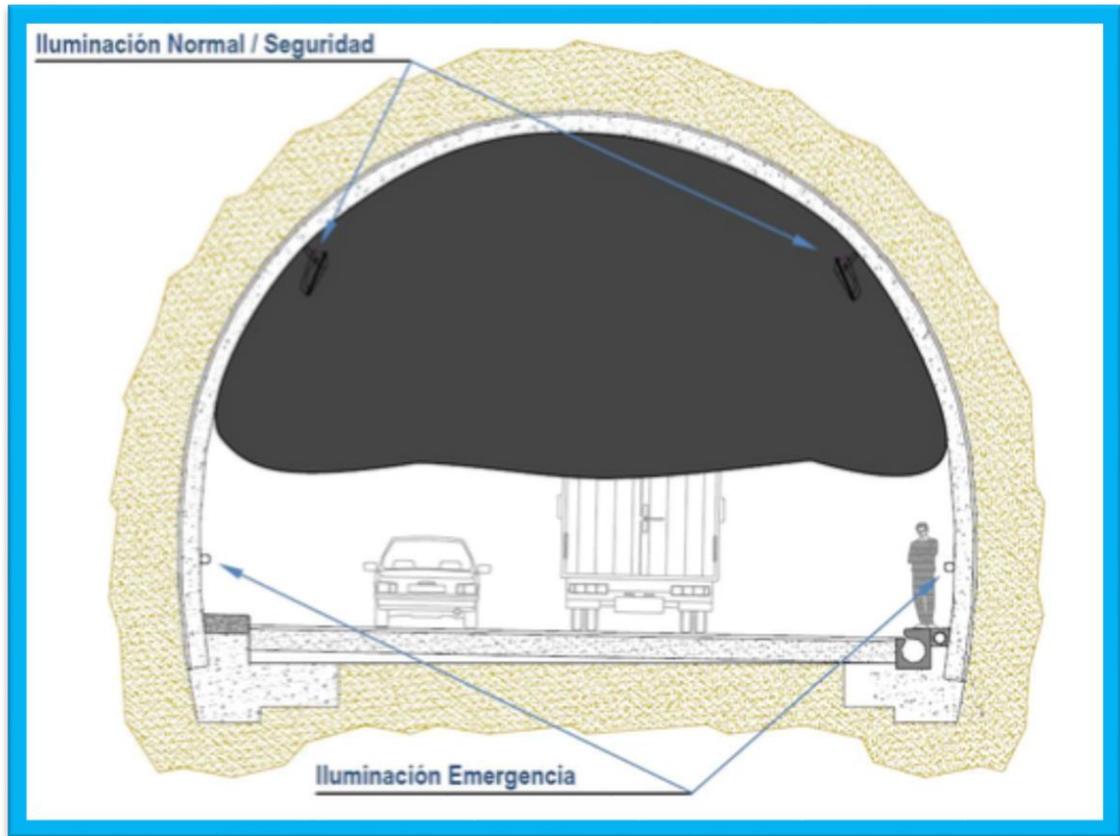


Figura 73. Localización de las luminarias de emergencia.

A continuación, se presentará una tabla de las características recomendadas para la iluminación de seguridad y emergencia de acuerdo a diversas normativas internacionales.

	Iluminación de Seguridad	Iluminación de Emergencia
(2006) Real Decreto 635/2006.	Iluminación de Seguridad	Iluminación de Emergencia H ≤ 1,5 m E _{min} = 10 lux ó L _{min} = 0,2 cd/m ²
(2004) Directiva Europea 2004/54/CE.	Iluminación de Seguridad	Iluminación de Evacuación H ≤ 1,5 m
(1990) Recomendaciones M. Fomento.	Alumbrado de Emergencia Máx. (L _m = 0,1 · L _{in} ; 0,2 cd/m ²)	Alumbrado de Guiado de Emergencia en caso de incendio. H = 0,5m Interdistancia < 50 m
(2000) Circulaire interministérielle n° 2000-63.	Alumbrado de Emergencia E _m = 10 lux E _{min} = 2 lux Sobre aceras y calzada.	Balizamiento luminoso H ≈ 1 m Interdistancia ≈ 10 m
(2008) NFPA 502: 2008	Iluminación de Emergencia. E _m ≥ 10 lux E _{min} = 1 lux E _{max} /E _{min} = máximo 40 / 1 Sobre aceras y calzada.	
(2004) CIE 88:2004	Alumbrado de Emergencia. E _m ≥ 10 lux E _{min} = 2 lux Sobre cualquier punto del túnel.	Refiere a la UNE 1838.

Tabla 39. Normas de iluminación de emergencia.

Capítulo 4 “Contaminación lumínica”

La contaminación lumínica, puede describirse como “Cualquier afectación al medio natural ocasionada por la iluminación artificial”. Estas afectaciones incluyen; el resplandor luminoso de la cúpula celeste, la luz intrusa en habitas naturales oscuros, el deslumbramiento, el consumo energético, y la contaminación derivada de la utilización y distribución de la energía eléctrica.

La contaminación lumínica, comenzó a detectarse a partir desde el siglo pasado, propiciada principalmente por estudios sobre la eficiencia energética y las formas de los sistemas de alumbrado, incrementando los niveles de iluminación y, por tanto, la luz nocturna. Esta luz escapa de las ciudades creando un halo de luz alrededor de ella que difuminándose en el cielo, llena la noche natural de este resplandor luminoso. Este halo luminoso se crea debido a la reflexión y refracción de la luz en las partículas que forman la atmosfera. (Átomos y partículas en suspensión).

4.0.1.- Causas de la contaminación lumínica.

En la sociedad actual, la necesidad de la iluminación nocturna, ha provocado que los tiempos y espacios han dejado de seguir el ritmo natural del día y la noche.

Nuestro crecimiento urbano conlleva al traslado de diferentes actividades humanas a horarios nocturnos como pueden ser: suministro de mercancías, viajes, eventos deportivos, culturales, y espectáculos entre otros. Requiriendo por tanto el apoyo de la iluminación artificial para:

- Crear condiciones de seguridad ciudadana.
- Mejorar la seguridad vial.
- Proporcionar comodidad visual y fluidez a la actividad.
- Evitar riesgos y accidentes en la actividad.
- Permitir la actividad social entre el individuo e incrementar la actividad económica.
- Mejorar el aspecto de las ciudades, mediante la iluminación ornamental.
- Etc.

A continuación, se presenta una imagen en la que se muestran algunos de los sistemas de alumbrado que contribuyen a la contaminación lumínica, como son: farolas, letreros luminosos, ventanas, etc.



Figura 74. Sistemas de alumbrado que contribuyen a la contaminación lumínica.

4.0.2 Factores de la contaminación lumínica.

La contaminación lumínica puede provenir de la suma de los siguientes factores:

- Emisión directa desde las fuentes de luz.
Es la emisión de la luz hacia el entorno oscuro. Puede ser hacia el cielo o hacia un hábitat de seres vivos. Es la causa más importante de contaminación, debido a la intensidad de la fuente contaminante.
- Reflexión en las superficies iluminadas.
Otra causa de la contaminación lumínica es la reflexión sobre las superficies iluminadas, Calles, monumentos, espectáculos, etc... La reflexión es inevitable si queremos conservar el alumbrado, pero minimizarse si se están utilizando niveles lumínicos superiores a los necesarios.
- Refracción de la luz en las partículas del aire.
Es la causa que posee la menor afectación y su caracterización aún se encuentra en estudio actualmente. Se trata de una variación del factor anterior, pero la luz, en lugar de reflejarse en una superficie sólida, se refleja en los átomos y en las partículas de la atmosfera.



Figura 75. El resplandor observado es provocado por la contaminación lumínica.

4.0.3 Efectos de la contaminación lumínica.

La contaminación lumínica suele abordarse con la pregunta de si realmente puede considerarse la luz como un contaminante, pues generalmente se piensa que “la luz es buena”, pues no resulta del todo preciso pues la luz no es gratuita y deriva en diversos factores de índice socioeconómicos, pero bien la afectación de la contaminación lumínica se puede clasificar dependiendo de ámbito donde tiene lugar:

- Sobre el cielo nocturno.
- Sobre el habitat humano.
- Sobre los espacios naturales.

A continuación, presentaremos algunos ejemplos de la contaminación lumínica debido a la mala iluminación.

<i>Contaminación lumínica.</i>	
Sobre iluminación, con farolas tipo globo.	
Sobre iluminación.	
Sobre iluminación con apantallamiento.	
Iluminación suficiente y apantallada.	
Luces apagadas cuando no es requerido su uso.	

Tabla 40. *Contaminación lumínica.*

4.1. Seguridad.

La seguridad es un tema de vital importancia dentro de la iluminación, debido a las consecuencias en que puede repercutir un inadecuado sistema de iluminación. Entonces debemos hacer mención en ello, Bien podemos decir que el deslumbramiento es el principal problema de seguridad lumínica.

El deslumbramiento es una sensación molesta que se produce cuando la luminancia de un objeto es mayor que la de su entorno. El deslumbramiento puede clasificarse en dos tipos: el deslumbramiento perturbador y el deslumbramiento molesto.

4.1.1. Deslumbramiento perturbador.

Se produce cuando aparece un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y poco contraste, que desaparece al cesar su causa. Un ejemplo de este acontecimiento puede percibirse cuando al conducir nos encontramos de frente a otro automóvil y este utiliza las luces “altas”.

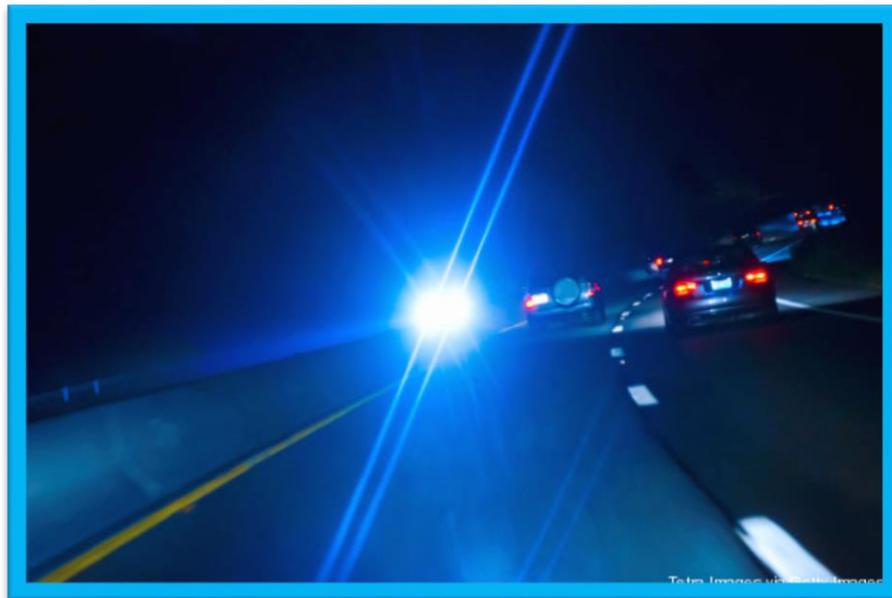


Figura 76. Deslumbramiento perturbador.

4.1.2 El deslumbramiento molesto

Consiste en una sensación molesta producida debido a la intensidad luminosa que percibimos directamente en los ojos, provocando fatiga visual.

Existen diversos acontecimientos en los que podemos percibir este tipo de deslumbramiento, pero el más claro puede apreciarse en el denominado agujero negro cuando entramos a un túnel en el automóvil o el efecto cebra cuando circulamos en vialidades con iluminación deficiente y gran distancia interpostal.

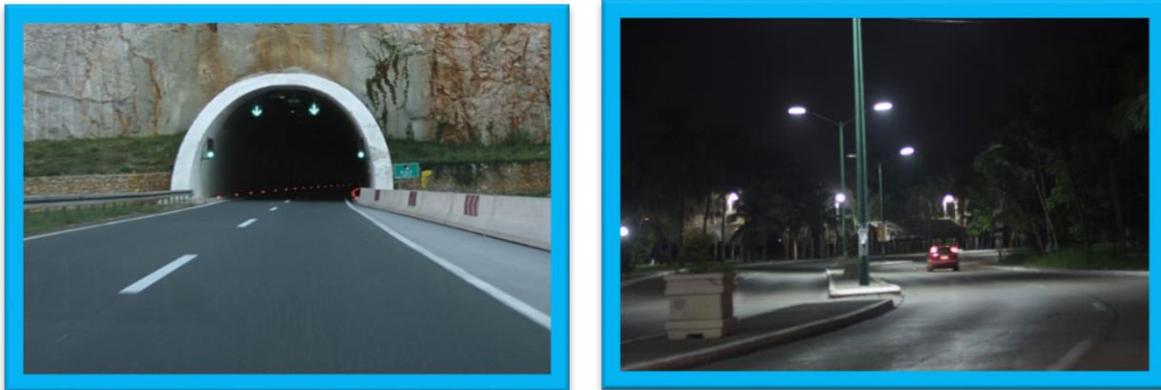


Figura 77. Deslumbramiento molesto. En la figura de la izquierda se aprecia el efecto de agujero negro y en la figura de la derecha percibimos de forma visual el efecto de cebra

4.2. Visión de Contraste.

La mayor parte de la información que percibimos por medio del mecanismo de la visión procede de las diferentes luminosidades que emiten los objetos situados en el campo visual. Estas diferencias de luminancia dan lugar a la aparición de los contrastes.

El contraste entre las luminancias de los objetos, así como también el contraste entre los colores de los mismos objetos, nos permite distinguir unos objetos de otros.

Por tanto, la visibilidad de un objeto situado sobre otro depende de la diferencia de luminancias entre el objeto y el fondo. Un objeto claro sobre un fondo oscuro presenta un contraste positivo y por el contrario un objeto más oscuro que el fondo nos presenta un contraste negativo.

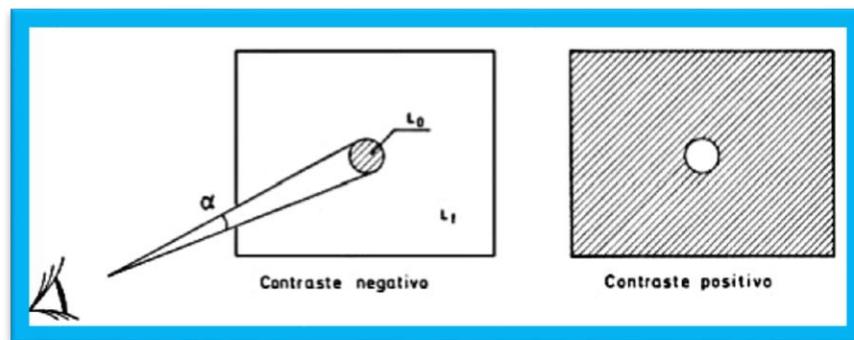


Figura 78. Contraste negativo y contraste positivo.

La siguiente ecuación nos permite expresar el contraste de las luminancias.

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f}$$

Donde:

C = Valor del contraste de luminancias.

L_o = Luminancias del objeto a observar. [Cd/m²]

L_f = Luminancia del fondo. [Cd/m²]

Esta forma de expresar el contraste de luminancias, en la que indirectamente, a través de la luminancia del fondo se tiene en cuenta el estado de adaptación del ojo y, por tanto, su capacidad de detección de contrastes, resulta particularmente útil para explicar algunos de los fenómenos relacionados con la contaminación lumínica.

Pero en el caso que deseemos determinar el tipo de contraste de manera más objetiva debemos saber que:

Si $L_o > L_f$ $C > 0$ el contraste es positivo.

Y

Si $L_o < L_f$ $C < 0$ el contraste es negativo.

El contraste puede provocar diversos efectos, desde ocultar objetos, así como también puede acentuarlos de manera precisa.

4.3. Distancias y Puntos de Referencia.

La contaminación lumínica en el cielo de una zona específica. Por decir, la zona particular donde se encuentra el “punto de referencia” (observatorios astronómicos de categoría internacional), es debida a las dimensiones de esa zona y su propia iluminación, así como a la iluminación de las zonas vecinas o colindantes. Por tanto, debe considerarse la iluminación de las zonas cercanas de la que contiene el “punto de referencia”.

A continuación, se mostrará en la tabla 41 el sistema de zonificación.

Clasificación de zonas.	Descripción.
E1	Áreas con entornos oscuros: Observatorios astronómicos de categoría internacional.
E2	Áreas de bajo brillo: Áreas rurales.
E3	Áreas de brillo medio: Áreas urbanas residenciales.
E4	Áreas de brillo alto: Centros urbanos con elevada actividad nocturna.

Tabla 41. *Sistema de zonificación.*

La influencia de la iluminación de estas zonas iluminadas colindantes, sobre el total de la contaminación lumínica en el “punto de referencia”, dependerá de las distancias entre las fronteras de las zonas y el “punto de referencia”.

En la siguiente tabla 42, se muestran las distancias en Km. Recomendadas entre los límites de cada zona (E1, E2, E3, E4) y el “punto de referencia”.

Zona del punto de referencia.	Distancia entre los límites de la zona		
	E1 – E2	E2 – E3	E3 – E4
E1	1	10	100
E2		1	10
E3			1
E4	Sin límites.		

Tabla 42. *Distancias mínimas en Km. Entre los límites de cada zona.*

Para el uso correcto de la tabla anterior, primero debe seleccionarse la zona donde se encuentra el “punto de referencia” y a continuación, en la tabla 42, se obtiene la distancia mínima en Km. Donde comienza la zona siguiente, y así sucesivamente para el resto de las zonas colindantes.

4.4. Características Fotométricas del tipo de Pavimento.

Las características fotométricas del pavimento deben ser tomadas en cuenta para evitar situaciones como el deslumbramiento por parte de los luminarios tanto de la vialidad como edificios cercanos, así como otras situaciones propiciadas por los mismos automovilistas y el mismo entorno natural que influye en la iluminación de las vialidades como se mostró en el capítulo 2.

4.5. Variaciones Temporales de Iluminación.

Las variaciones temporales en la iluminación se refieren a la eficiencia energética y a la correcta utilización de las lámparas, luminarios y demás sistemas, de acuerdo a las necesidades y afectaciones proporcionadas por agentes externos al sistema de iluminación.

Puede entenderse por variaciones temporales que el diseño y sistema de iluminación se ve afectado por agentes externos como pueden ser: del tipo climático principalmente, Las estaciones del año, los niveles de iluminación requeridos, por esto es necesario llevar a cabo las adecuaciones necesarias para el uso adecuado de este sistema.

En las zonas peatonales, vialidades, carriles para uso ciclista, etc. Los niveles luminosos podrán disminuirse a ciertas horas de la noche siempre que se garantice la seguridad de los automovilistas y peatones.

En puntos específicos con elevados porcentajes de accidentalidad nocturna, zonas peatonales con considerable riesgo de criminalidad, se recomienda por razones de seguridad no llevar a cabo variaciones temporales de los niveles de iluminación.

En ningún caso la reducción de los niveles temporales de iluminación deberá descender por debajo del nivel de iluminación recomendado para la seguridad vial y para el uso peatonal.

La reducción de los niveles luminoso mediante el apagado de puntos de luz no es recomendable, y en el supuesto de utilizar dicho procedimiento, deben mantenerse las uniformidades mínimas establecidas en las publicaciones de la C.I.E.

La reducción con sistemas de regulación, se estima es el procedimiento más adecuado ya que evita zonas de sombra y muros de luz que dificulten la visión, manteniendo la uniformidad de la iluminación.

Esta práctica obedece principalmente al ahorro energético y al cuidado del medio ambiente evitando la contaminación lumínica, pues como podemos notar cuando caminamos por la acera en algunas ocasiones podemos notar que algunas lámparas de vialidades en ocasiones permanecen encendidas aun en pleno día cuando resulta absurdo mantenerlas encendidas, pues bien para esto contamos con diversos estudios de diseño de obra civil así como diversos sistemas y equipos de iluminación que nos permiten mejorar nuestra eficiencia y evitar el consumo excesivo de energía.

Algunos de los sistemas que nos permiten llevar a cabo las variaciones temporales de iluminación son:

- Interruptor crepuscular.
- Interruptor de horario astronómico.
- Balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia.
- Reguladores estabilizadores en cabecera de línea.
- Balastos electrónicos para doble nivel de potencia.



Figura 79. Interruptor crepuscular de célula fotoeléctrica, interruptor de horario astronómico.

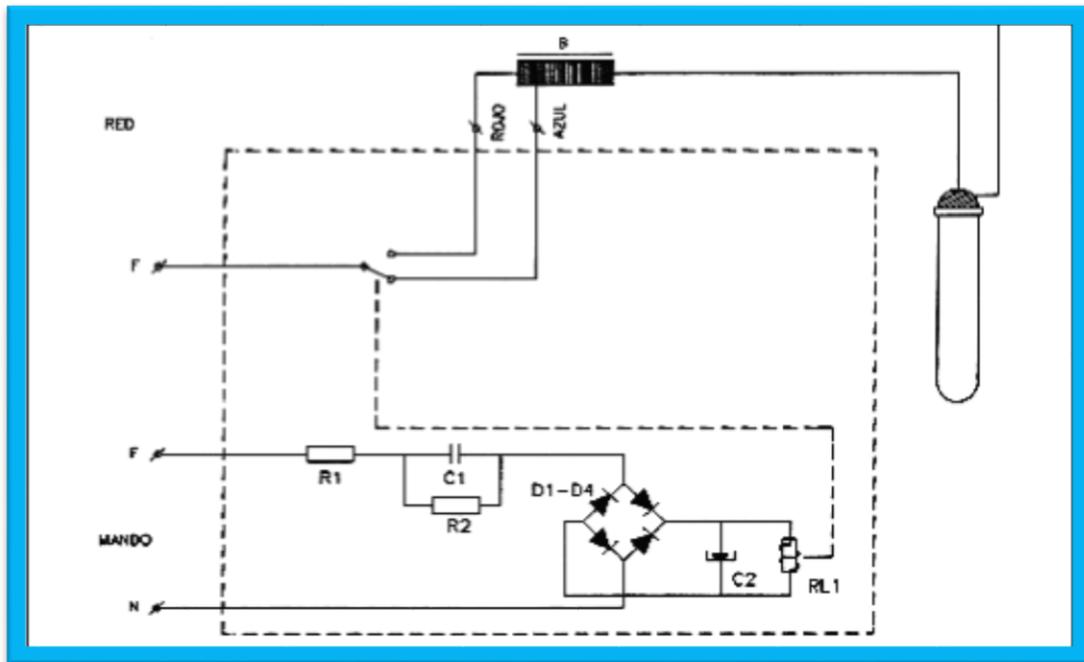


Figura 80. Esquema de conexión y funcionamiento de un balastro serie tipo inductivo con doble nivel de potencia con línea de mando.

Capítulo 5 “Diseño de sistemas de iluminación exterior”

El diseño de un sistema de iluminación convencional resulta más simple de lo que puede apreciarse en este manual debido a que la mayoría de las consideraciones y criterios de diseño para llevarlo a cabo de forma adecuado son omitidos en la práctica pues algunos pueden despreciarse, así como también gracias a las distintas herramientas de cálculo y diseño de estos, así como los programas diseñados para facilitar su diseño a continuación mostraremos algunos ejemplos de diseño de sistemas de iluminación.

5.1. Sistemas de Iluminación.

Los sistemas de iluminación obedecen directamente al tipo de espacio a iluminar, así como las características, cantidad, calidad, con las cuales deseemos dotar el sistema de alumbrado y la disposición de este, pues todos estos aspectos se encuentran relacionados.

5.1.1. Características de una instalación de Iluminación.

Las características de un sistema de iluminación dependerán del tipo de lámpara, luminaria, tipo de disposición del sistema, además del lugar a iluminar.

5.1.2. Cantidad.

La cantidad de la iluminación se encuentra relacionada con la calidad del alumbrado el tipo de disposición, las lámparas y luminarias, así como la calidad que deseemos lograr obtener, tomando en cuenta la normatividad, si es que se requiere respetas ciertos acuerdos.

5.1.3. Calidad.

La calidad dependerá de la relación de lámpara y luminaria utilizada principalmente, pues en este apartado se toman en cuentas diversos aspectos como son la distinción de colores, la

uniformidad del sistema, el tipo de iluminación dependiente del tipo de fuente luminosa utilizada entre otros.

5.1.4. Costos.

Los costos de un sistema de alumbrado pueden calcular tomando en cuenta un sinnúmero de conceptos, pero para dar una guía que cumpla con la mayoría de las situaciones de proyecto, se mostrará una tabla guía que puede usarse de forma comparativa entre más de un sistema de iluminación.

		Sistema de alumbrado	Caso 1	Caso 2
Descripción de los sistemas de alumbrado.	1.	Tipo de lámpara.		
	2.	Descripción de la lámpara.		
	3.	Tipo de luminaria.		
	4.	Numero de lámparas por luminaria.		
Datos básicos.	5.	Emisión luminosa inicial por luminaria.		
	6.	Vida de lámpara.		
	7.	Potencia por luminaria en vatios (considerando el equipo auxiliar).		
	8.	Coeficiente de utilización.		
	9.	Factor de mantenimiento.		
	10.	Numero de luminarias.		
	11.	Nivel luminoso medio mantenido (lux).		
	12.	Coste de la energía (kW/h).		
	13.	Horas estimadas de servicio por año.		
Costo inicial.	14.	Costo neto de cada luminaria.		
	15.	Costo neto adicional de los accesorios por luminaria.		
	16.	Costo estimado de los conductores y de instalación por luminaria. (costo de los materiales, mano de obra, transformadores, equipos de alimentación, incluyendo su costo proporcional por luminaria).		
	17.	Costo inicial neto por cada lámpara (precio de catálogo menos descuentos, más impuestos).		
	18.	Costo inicial neto de las lámparas por cada luminaria (factores 4 x 17).		
	19.	Costo inicial total por luminaria (factores 14 + 15 + 16 + 18).		
	20.	Costo inicial total (factores 10 x 19).		

Tabla 43. Costos (1)

Sistema de alumbrado		Caso 1	Caso 2
Cargas anuales fijas.	<p>21. Costo inicial por luminaria sin lámparas (factores 14 + 15 + 16).</p> <p>22. Costo inicial total sin lámparas (factores 10 x 21).</p> <p>23. Cargas anuales fijas (factor % de 22)</p> <p>La proporción que sobre el desembolso inicial supone la amortización por año depende de la naturaleza de los negocios. Si se consideran plantas industriales, en la cuales el estilo de luminarias rara vez cambia, se debe tomar el 10% o menos. En los establecimientos comerciales, los motivos cambian frecuentemente y el factor de depreciación, se aproxima al 20%. A esto se deben añadir los intereses, impuestos, seguros, etc. Todo esto variara normalmente entre el 5 y 10% de las cargas fijas totales. El comprador deberá ser consultado.</p>		
Costo anual de operación.	<p>24. Número anual de lámparas reemplazadas. (factores $[4 \times 10 \times 13]/6$).</p> <p>25. Costo anual de la reposición de lámparas (factores 17 x 24).</p> <p>26. Costo anual de partes reemplazadas (celadores, balastos, etc.).</p> <p>27. Costo total anual del material de reposición (25 + 26).</p> <p>28. Costo estimado de la mano de obra para reemplazar una lámpara.</p> <p>29. Costo total de la mano de obra de reposición de lámparas (24 x 28).</p> <p>30. Costo estimado de limpieza por luminaria.</p> <p>31. Numero de limpiezas por año.</p> <p>32. Costo anual de la limpieza (10 x 30 x 31)</p> <p>33. Costo anual total del trabajo de mantenimiento (29 + 32).</p> <p>34. Costo anual total de mantenimiento (27 + 33).</p> <p>35. Costo anual de la energía ($[7 \times 10 \times 12 \times 13] / 1000$).</p> <p>36. Costo total anual de conservación (34 + 35).</p>		
Costo total y relativo.	<p>37. Costo anual total (23 + 36).</p> <p>38. Costo relativo anual.</p> <p>39. Costo anual por lux (37 / 11).</p> <p>40. Costo anual relativo por lux.</p>		

Tabla 44. *Costos (2).*

5.1.5. Normatividad Aplicable.

La normatividad aplicable es prácticamente exclusiva de cada caso de aplicación pues cada a tomar en cuenta obedece al diseño especializado como por ejemplo no podemos usar normas de iluminación de hospitales para la iluminación interior de un túnel, así como la iluminación exterior de un túnel no es similar a la de una vialidad, por ejemplo, aunque podemos encontrar normas que se relacionan entre sí que cubren variadas situaciones de proyecto.

5.1.6. Factores influyentes.

Los factores influyentes se presentan por cuestiones ajenas al sistema de alumbrado como son las características del medio (tipo de ambiente, pérdidas de nivel de iluminación, estación del año, tipo de situación como son los casos de las vialidades con la vegetación intensidad de tráfico, distancias de seguridad, tramos singulares etc.).

5.2. Procedimientos básicos de diseño:

Los procedimientos básicos de diseño dependen de cada proyecto en específico pero un estándar por así decirlo, consiste en establecer el área a iluminar, las características de eliminación o luminancia a establecer, el tipo de lámpara, el tipo de luminaria, la disposición de estas, considerar la normatividad aplica cable y establecer las correcciones y continuamos con los procedimientos de cálculo y podemos apoyarnos con el uso de software para realizar correcciones y/o adecuaciones dependiendo de los resultados obtenidos. Por ultimo analizar los resultados obtenidos y realizar un análisis económico, de si es rentable o no implantar un nuevo sistema de iluminación.

5.2.1. Métodos de Cálculo.

Pueden clasificarse en dos tipos principalmente como son el método del lumen y el método de punto por punto.

5.2.2. Uso de Software.

El uso de un software especializado para la iluminación es de vital importancia para un tiempo de trabajo reducido, además de poder analizar diferentes aspectos sin la necesidad de realizar cálculos matemáticos para cada caso.

5.3 Ejemplos.

5.3.1 Vialidades.

Tenemos una sección de autopista longitudinal de 210 metros, con un camellón central de 5 metros, aceras a cada lado de la autopista, así como también dos carriles de autopista de 11.5 metros cada uno como se muestra en las siguientes imágenes. En esta vía se tomaron en cuenta algunas consideraciones de tráfico vehicular con una IMD. De 600 veh/hr, así como carácter del tipo de vía siendo una vía rápida mayor de 60km/h, de carácter comercial con un tráfico peatonal medio.

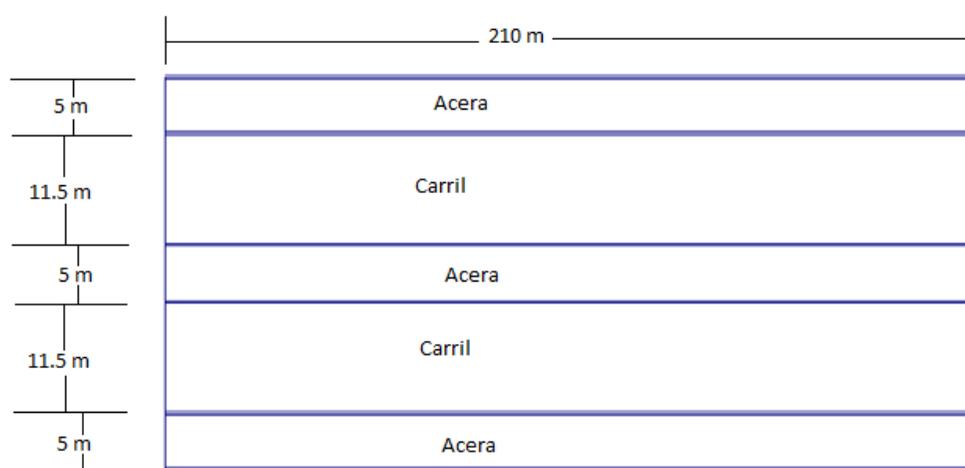


Figura 81. Esquema de la avenida.

En este caso utilizaremos dos opciones de luminarias de diferentes tipos mostrando un tipo de luminaria cut-off y una non-cut-off.

Primero debemos de determinar el nivel de iluminación requerido para el tipo de vía.

De acuerdo con los datos del enunciado y las tablas presentadas en el capítulo 2 determinamos que el nivel de iluminación adecuado para el tipo de vía será de 15 luxes.

Para este caso por cuestiones didácticas utilizaremos dos tipos de luminarias para la realización del cálculo:

Tipo de luminaria.	No. HOV – 16 –Z	Mayfair No. 1629
Lámpara	250 W. V.S.A.P.	250 W. V.S.A.P.
Largo del brazo	2.4 m	1.8 m
Largo de la luminaria	0.55 m	0.788 m
Tipo de luminaria	Non-cut-off tipo II	Cut-off tipo III
Tipo de curva.	Media	Media

Tabla 45. *Luminarias utilizadas.*

Método de cálculo.

1.- determinación de la altura del montaje.

Tomando en cuenta la relación mostrada en el capítulo 2 para la altura de báculo de alumbrado. Para una implantación en disposición unilateral.

Tenemos que el valor de R mínimo es de 0.85 y el valor recomendado es de 1 veces la altura de montaje. Entonces tenemos:

Tipo de luminaria.	No. HOV – 16 –Z	Mayfair No. 1629
H_{\min}	$0.85 \times 11.5 = 9.775 \text{ m}$	$0.85 \times 11.5 = 9.775 \text{ m}$
H_{\max}	$1 \times 11.5 = 11.5 \text{ m}$	$1 \times 11.5 = 11.5 \text{ m}$
Entonces por cuestiones de prácticas utilizaremos una altura media entre estos dos valores obtenidos.		
H	10.5 m	10.5 m

Tabla 46. *Altura de montaje de las luminarias.*

2.- cálculo de coeficiente de utilización (C.U.) de las relaciones lado calle y lado casa. De acuerdo con la figura de montaje. Y la hoja de características de las luminarias.

Luminaria	No. HOV – 16 –Z	Mayfair No. 1629		
		C.U.		C.U.
Relación lado calle	9.125/10.5 = 0.869	0.24	9.606/10.5 = 0.914	0.23
Relación lado casa	2.375/10.5 = 0.226	0.6	1.894/10.5 = 0.180	0.02
C.U total		0.30		0.25

Tabla 47. *Relaciones lado calle, lado casa.*

3.- Cálculo del factor por diferencia de altura de acuerdo a la hoja de características de las luminarias.

Luminaria	No. HOV – 16 –Z	Mayfair No. 1629
H prueba.	30'	25'
F.C.D.A.	$\left(\frac{30}{10.5 \times 3.28}\right)^2$	$\left(\frac{25}{10.5 \times 3.28}\right)^2$
F.C.D.A.	0.7587	0.5269

Tabla 48. *Calculo de factor de diferencia de altura.*

4.- Factor L.L.D. (lamp lumen depreciation).

$$L.L.D. = \frac{\text{flujo al 70\% de vida}}{\text{flujo inicial}}$$

Se obtiene de tablas de las características de las lámparas y para este caso es una lámpara de V.S.A.P. de 250 watts es de 0.9.

5.- Factor L.D.D. (Luminaire dirt depreciation).

Se toma de la tabla de mantenimiento en este caso el tipo de luminaria es para la HOV 16-Z y la Mayfair 1629. Por esto usamos la figura 59 mostrada en el capítulo 2.

Suponiendo un ambiente moderado y un mantenimiento cada 3 años de la gráfica sabemos que el L.D.D. es de 0.87.

6.- Factor de mantenimiento F.M.

Luminaria	No. HOV – 16 –Z	Mayfair No. 1629
F.M.	(0.9) (0.87)	(0.9) (0.87)
F.M.	0.783	0.783

Tabla 49. $F.M. = (L.L.D.) (L.D.D.)$

7.- Determinación de la interdistancia de los puntos de luz o espaciamiento entre luminarios.

$$S = \frac{\left(\frac{lm}{lum}\right) (C. U.) (F. M.)}{(E \text{ o nivel de iluminación})(\text{Ancho de la calle})}$$

Utilizando los factores y datos obtenidos tenemos:

Luminaria	No. HOV – 16 –Z	Mayfair No. 1629
S	$S = \frac{(27500)(0.3)(0.783)}{(15)(11.5)}$	$S = \frac{(25500)(0.25)(0.783)}{(15)(11.5)}$
S _{calculada}	37.44 m	31.2 m
S _{utilizada}	38 m	32 m

Tabla 50. *Interdistancia de los puntos de luz.*

8.- determinación del nivel de iluminación promedio mantenido. ($E_{prom. mant.}$).

Luminaria	No. HOV – 16 -Z	Mayfair No. 1629
$E_{prom.mant.}$	$\frac{(27500)(0.3)(0.783)}{(38)(11.5)}$	$\frac{(25500)(0.25)(0.783)}{(32)(11.5)}$
$E_{prom.mant.}$	14.782 lx	14.628 lx
$E_{iniciales.}$	$\frac{(27500)(0.3)}{(38)(11.5)}$	$\frac{(25500)(0.25)}{(32)(11.5)}$
$E_{iniciales.}$	22.41 lx	18.682 lx

Tabla 51. *Determinación del nivel de iluminación promedio.*

Ahora mostraremos el mismo ejemplo por el método punto por punto.

Principalmente enfocándonos en los que reciben menor cantidad de luz que en estos casos suelen ser en las esquinas de la zona media de la interdistancia entre un luminario y otro.

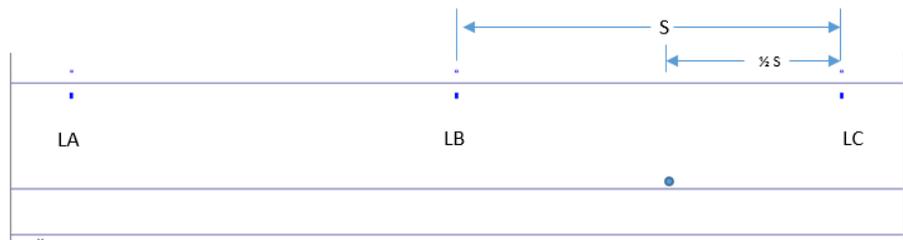


Figura 82. *Interdistancia de puntos de luz.*

Determinación de la cantidad de iluminación en cada punto de luz.

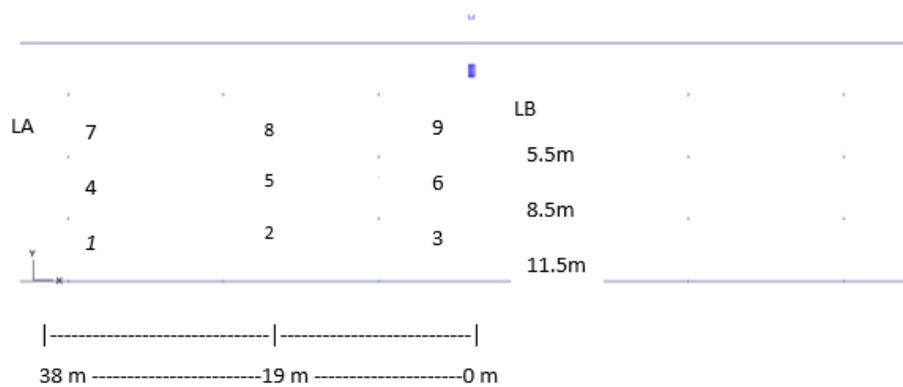


Figura 83. *Cantidad de iluminación de los puntos de luz.*

Para este ejemplo solo usaremos el caso del luminario HOV-16-Z.

Contribución del luminario en el punto 1. LA

$$R = \text{Distancia longitudinal} / \text{altura de montaje} = 0/10.5 = 0$$

$$R = \text{Distancia transversal} / \text{altura de montaje} = 11.5/10.5 = 1.09$$

$$E = 1.6 \text{ fc.}$$

Contribución del luminario en el punto 1. LB

$$R = \text{Distancia longitudinal} / \text{altura de montaje} = 38/10.5 = 3.61$$

$$R = \text{Distancia transversal} / \text{altura de montaje} = 11.5/10.5 = 1.09$$

$$E = 0.10 \text{ fc.}$$

Contribución del luminario en el punto 1. LC

$$R = \text{Distancia longitudinal} / \text{altura de montaje} = 76/10.5 = 7.23$$

$$R = \text{Distancia transversal} / \text{altura de montaje} = 11.5/10.5 = 1.09$$

$$E = 0.00 \text{ fc.} \text{ * Prácticamente es despreciable el aporte de iluminación a este punto.}$$

Y así continuamos los cálculos para cada punto. Como se muestra en la siguiente tabla donde se agregarán otro luminario más al que nombraremos B' y que será el luminario localizado del lado izquierdo de LA que también contribuyen a la iluminación y es reflejo del luminario B.

Punto	Luminarios				
	LA	LB	LB'	E_T iniciales.	E_T prom. mant.
	[fc]	[fc]	[fc]	[lx]	[lx]
1	1.60	0.10	0.10	14.69	11.5
2	0.40	0.40	0.40	9.79	7.67
3	0.10	1.60	1.60	26.93	21.09
4	2.40	0.11	0.11	21.38	16.74
5	0.50	0.50	0.50	14.04	10.99
6	0.11	2.40	2.40	40.08	31.38
7	3.20	0.11	0.11	27.91	21.86
8	0.75	0.75	0.75	18.36	14.38
9	0.11	3.2	3.2	53.14	41.61
promedio				25.14 lx	19.69 lx

Tabla 52. *Nivel de iluminación punto por punto.*

Uso de software:

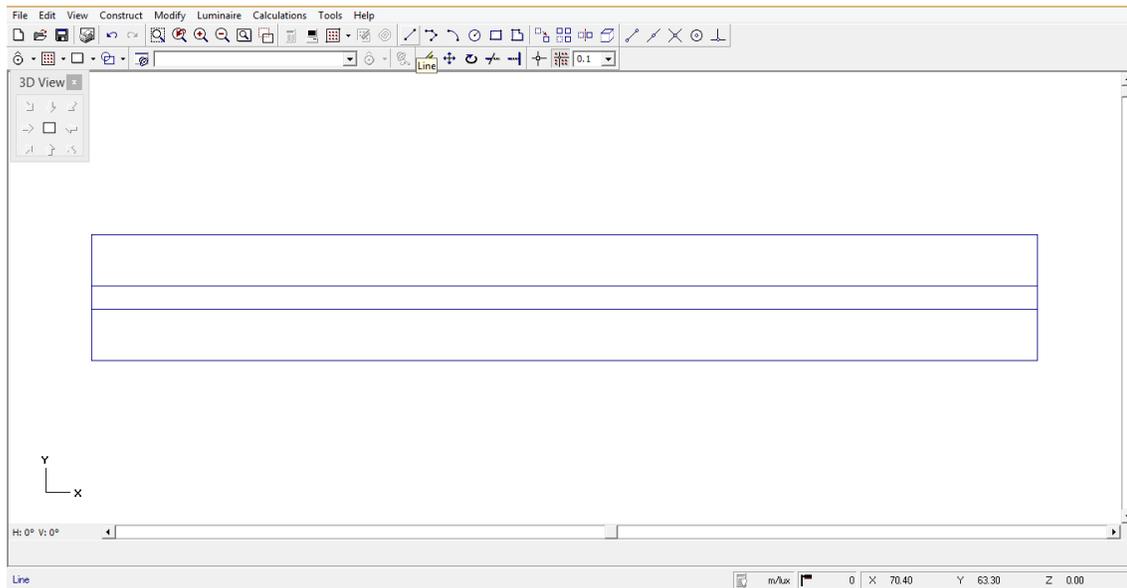


Figura 84. Dibujo de la vialidad.

Continuando, con los valores obtenidos de altura de montaje, elección de luminarios y lámparas procedemos a insertarlos, utilizando la opción schedule del panel de herramientas. Mostrando una disposición unilateral a un costado de la calzada.

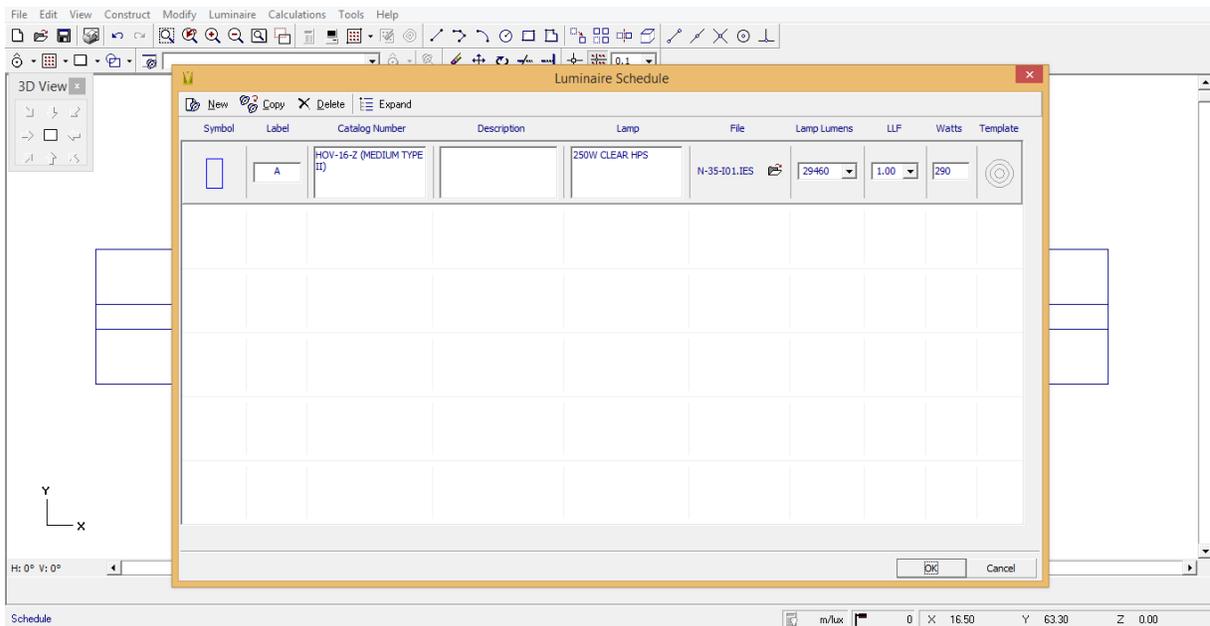


Figura 85. Selección de luminaria.

Ahora introduciremos los datos de lúmenes de lámpara, así como el L.L.F. o factor de L.D.D calculado y los watts de la lámpara.

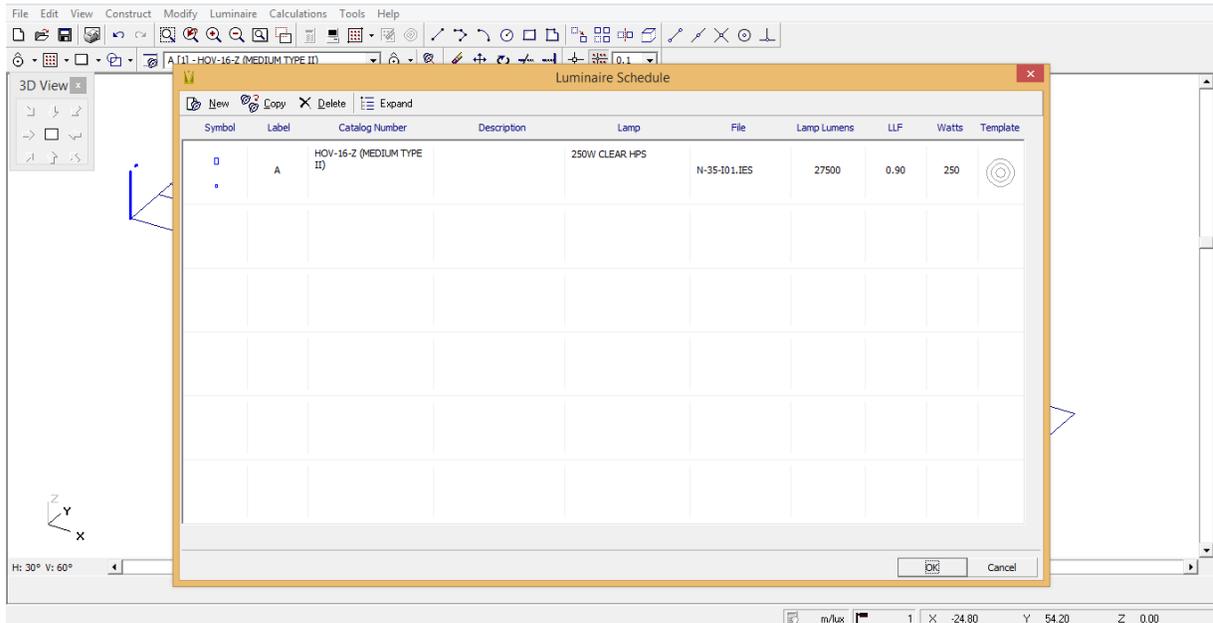


Figura 86. Configuración de datos de la luminaria.

Por ultimo para la configuración del luminario, introduciremos los valores de este luminario seleccionando en la opción Symbol del panel de opciones del luminario.

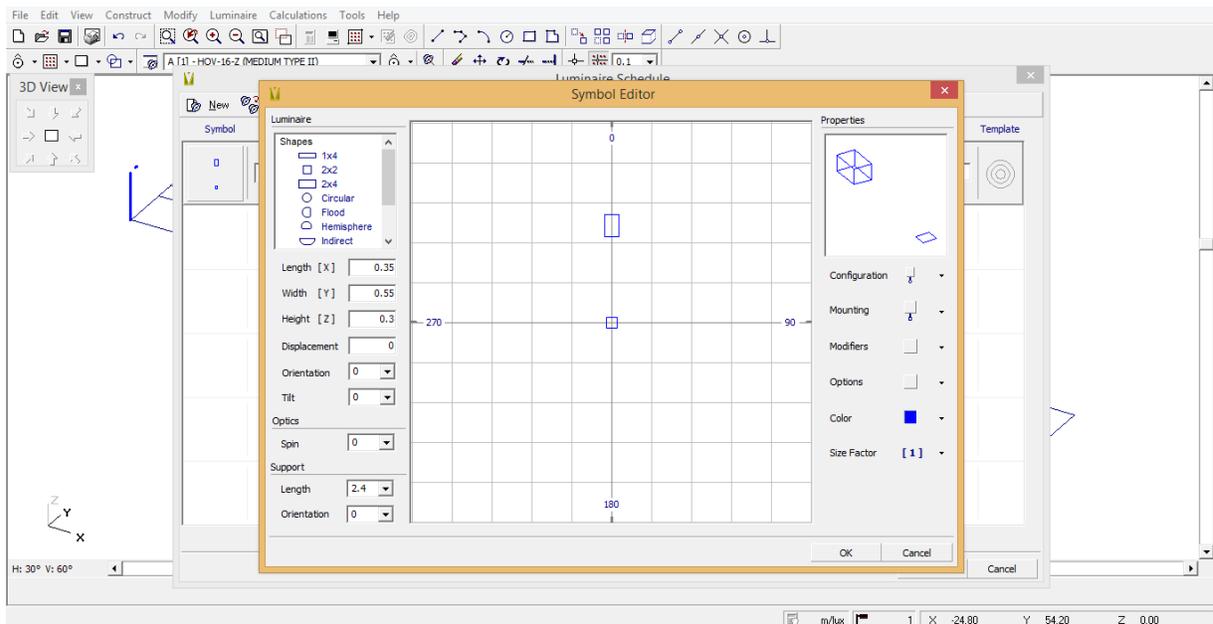


Figura 87. Configuración de la luminaria.

Y ahora procedemos a colocar los luminarios utilizando la opción de la barra de herramientas llamada place e introduciendo las coordenadas según la interdistancia calculada anteriormente.

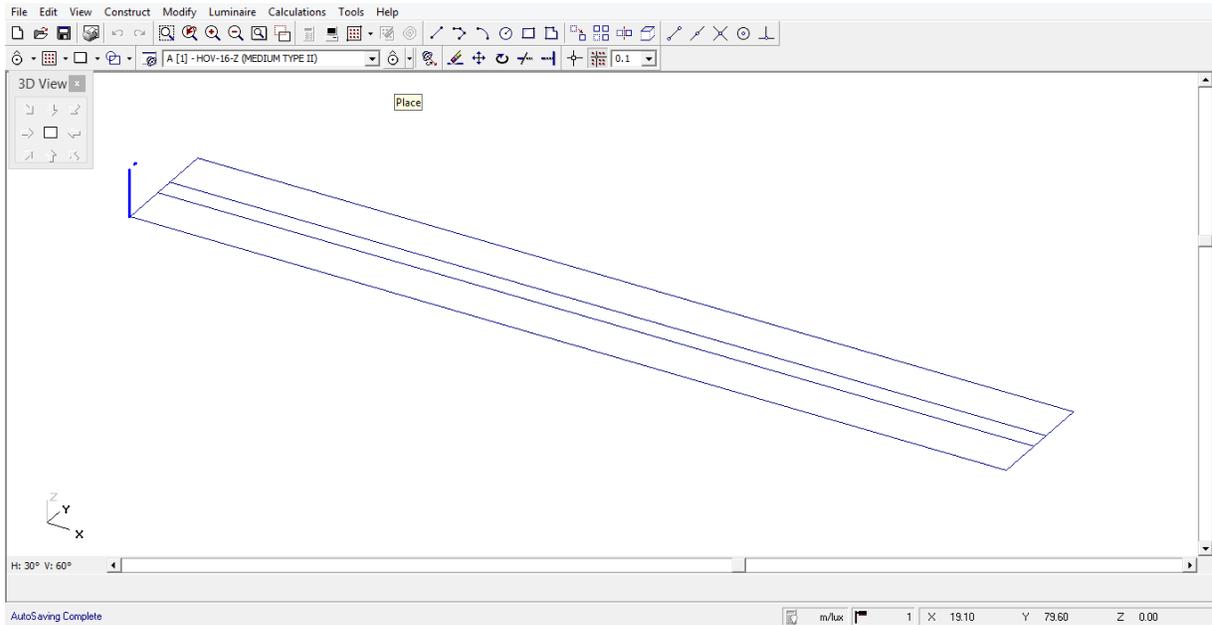


Figura 88. Colocación de luminarios.

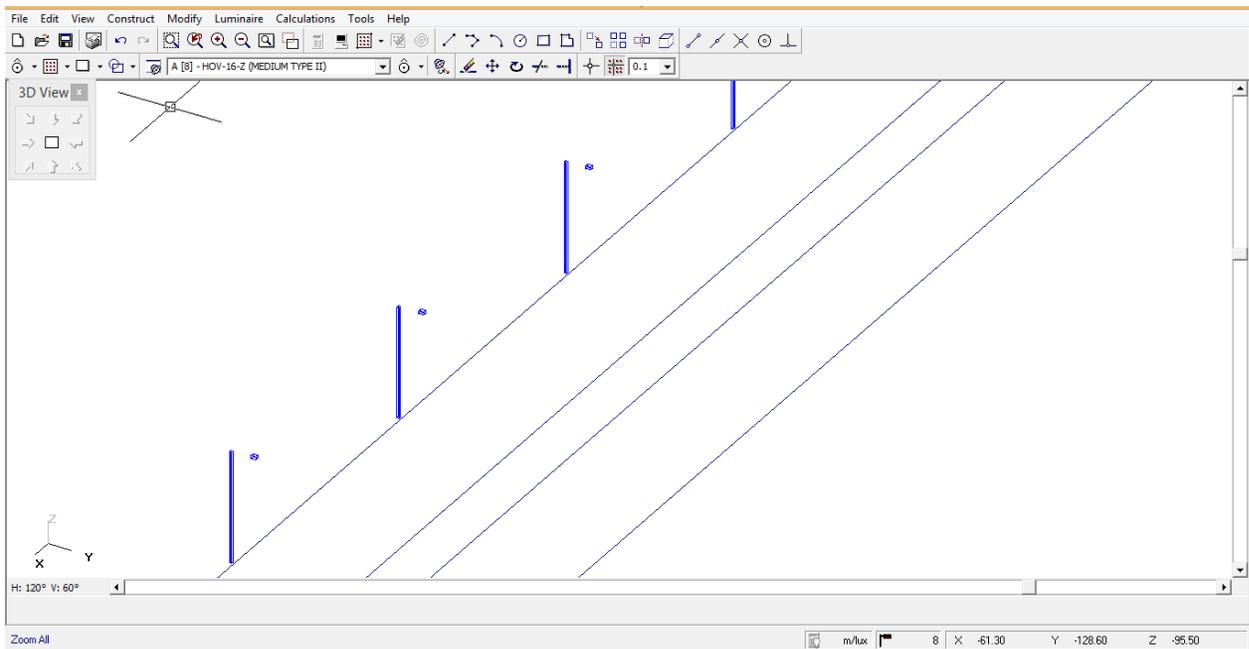


Figura 89. Colocación de luminarios.

Ya una vez instalados todos los luminarios es necesario colocar nuestra área de cálculo de iluminancia mediante el comando calculation zone rectangular de la barra de herramientas y una

determinados los márgenes de esta zona es necesario determinar cada cuantos metros se tomará la muestra de puntos de luz. En este caso los colocaremos cada 3 x 6 metros.

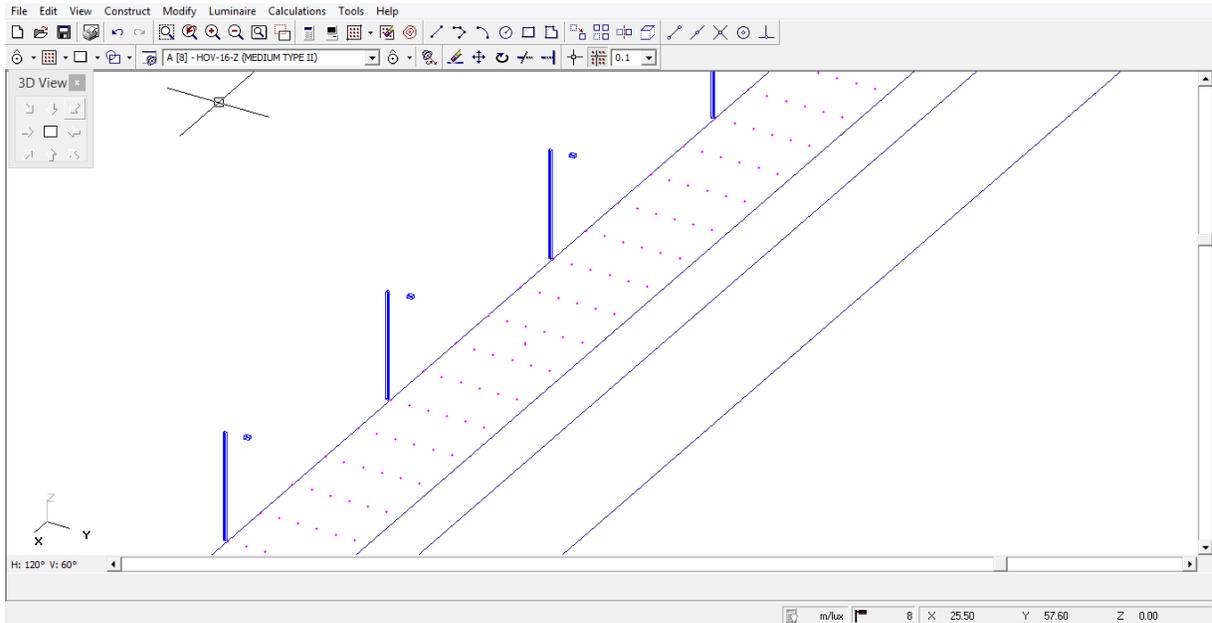


Figura 90. Zona de cálculo de iluminación.

Y ahora podemos proceder a calcular los resultados. Primero con una zona de cálculo considerando el coeficiente de iluminación de los alrededores.

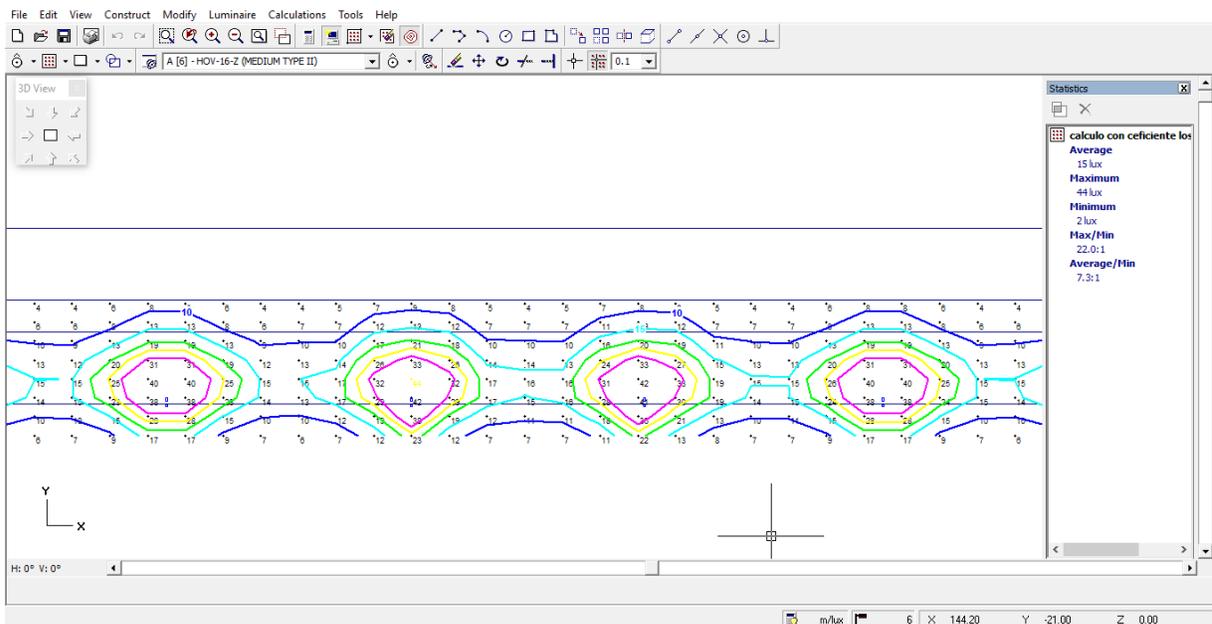


Figura 91. Contornos y datos de la zona de iluminación.

Ahora sola la zona de calzada.

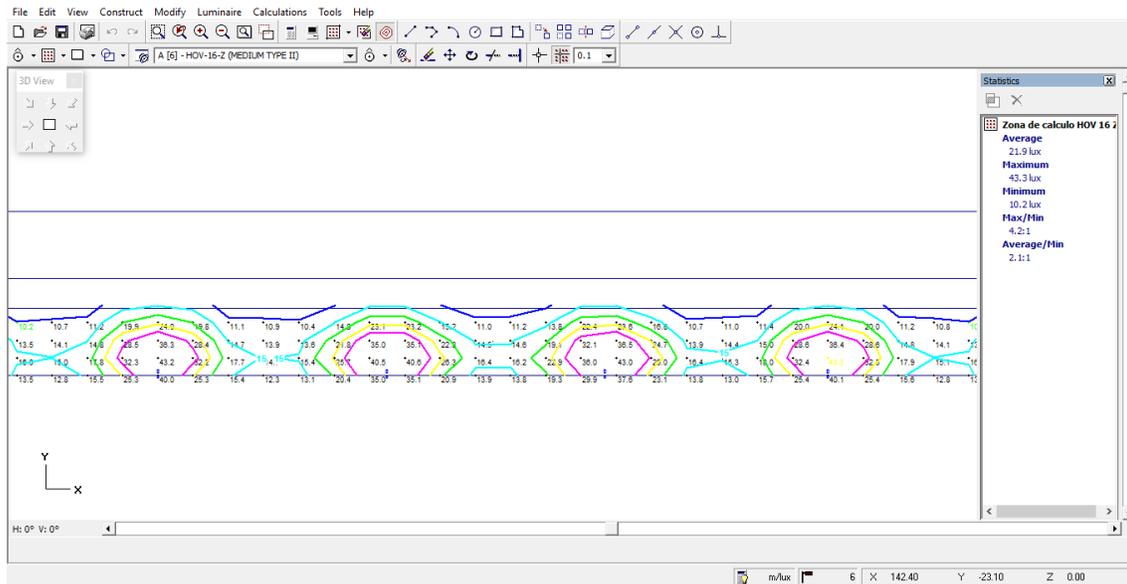


Figura 92. Datos de la zona de iluminación.

Y está calculado, ahora bien, si de desean realizar cambios para mejorar el nivel de uniformidad, podemos incrementar la interdistancia de cada punto de luz, así como también incrementar la altura de montaje de luminario, agregar un ángulo de inclinación a la lámpara, así como también sustituir por otra lámpara y/o luminario, a continuación, se muestra el ejemplo con el luminario Mayfair 1629.

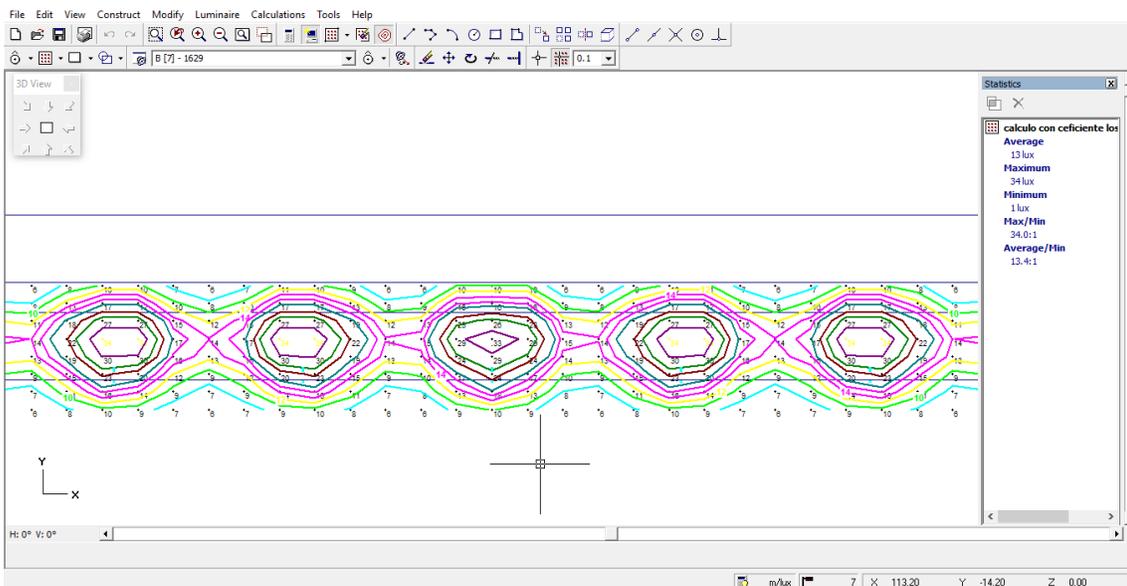


Figura 93. Contornos recalculados de la zona de iluminación.

5.3.2 Estacionamiento.

Situación del proyecto.

Se requiere iluminar el estacionamiento de un local comercial con tránsito vehicular y peatonal, actualmente el establecimiento no cuenta con ningún sistema de alumbrado, se precisa iluminar este espacio por motivos de seguridad peatonal como de maniobra vehicular donde el nivel de actividad tanto vehicular como peatonal es bajo de acuerdo a los estándares mínimos de diseño.

Ubicación del establecimiento.

El establecimiento inglés individual® de la zona Tlaxcala centro. Se encuentra en una avenida principal de transporte comercial.

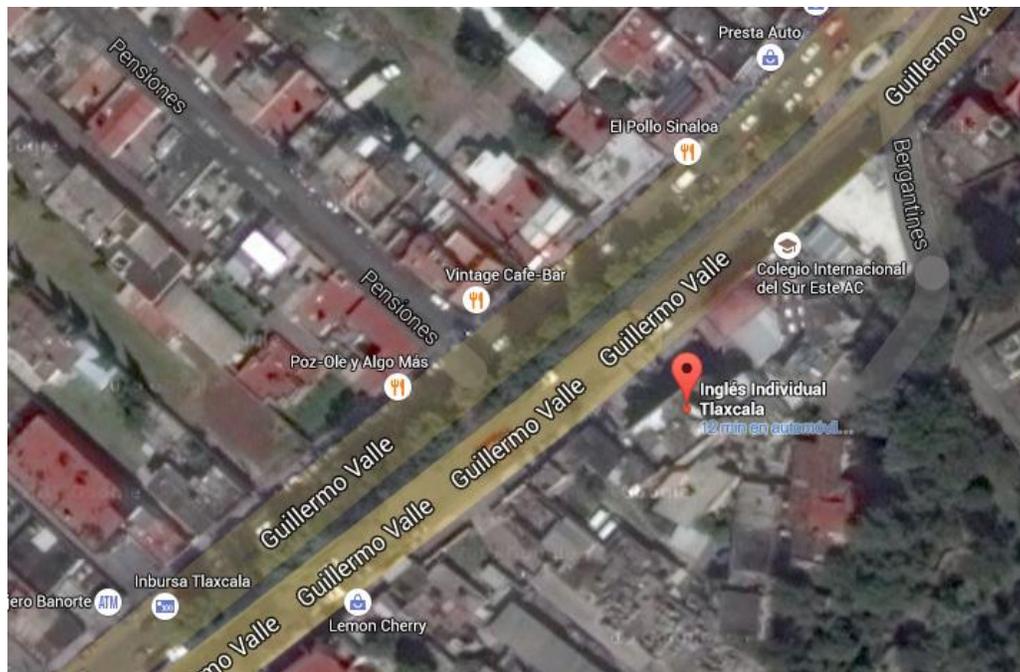


Figura 94. Ubicación del establecimiento.

Fachada del establecimiento.

La fachada del establecimiento mide 5 metros de altura, el ancho del estacionamiento es de 8.5 metros y 27.5 metros de largo.



Figura 95. Vista del establecimiento.

Sistemas de iluminación.

Debido al tamaño reducido del establecimiento se visualizan las posibles implantaciones de iluminación:

- 1.- La primera se plantea colocando un sistema de alumbrado de iluminación vial sobre el área del estacionamiento.
- 2.-Puede utilizarse un sistema de iluminación mediante proyectores.
- 3.-Podemos utilizar un sistema de luminarias de tipo muro.

Características de una instalación de iluminación.

Cantidad.

La cantidad de luminarios y lámparas a instalar está determinada por la cantidad de puntos de luz a implantar, así como el tipo de lámpara y luminaria, considerando también el nivel de iluminación que se desea otorgar al estacionamiento.

Calidad.

La calidad obedece a las características de la iluminación a implantar, que se verán más adelante en las características de diseño y el tipo de fuente luminosa a utilizar.

Normatividad aplicable.

Tomando como referencia lo mencionado en el capítulo 2 y la tabla 19 de acuerdo con las características del enunciado tenemos:

Fuente IES, 1993					
		Áreas peatonales y de estacionamiento.		Áreas de uso vehicular solamente	
Nivel de actividad	de	E (lx) (1)	U (2)	E lx) (1)	U (2)
Alto		10	4:1	22	3:1
Medio		6	4:1	11	3:1
Bajo		2	4:1	5	4:1

Notas:

(3) Valor de iluminancia mínimo sobre el pavimento.

(4) Valor de uniformidad de iluminancia (medio / mínimo).

Tabla 19 Niveles recomendados de iluminancia horizontal mantenida en zonas de estacionamiento.

Valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) para estacionamientos públicos abiertos.

Procedimientos básicos de diseño.

Para este caso por cuestiones didácticas utilizaremos:

Un brazo de luminaria de 1 m.

Una luminaria No. HOV – 16-Z tipo 2 non-cut-off

Y una lámpara de 250 Watts. V.S.A.P.

Método de cálculo.

1.- determinación de la altura del montaje.

Tomando en cuenta la relación mostrada en el capítulo 2 para la altura de báculo de alumbrado.

Para una implantación en disposición unilateral.

Tenemos que el valor de R mínimo es de 0.85 y el valor recomendado es de 1. Entonces tenemos:

$$H_{\min} = 0.85 \times 8.5\text{m} = 7.225 \text{ m.}$$

$$H_{\max} = 1 \times 8.5 \text{ m} = 8.5 \text{ m.}$$

Por consideraciones prácticas tomaremos una altura de montaje $h = 7.9 \text{ m.}$

2.- cálculo de coeficiente de utilización de las relaciones lado calle y lado casa.

C.U.

$$\text{Relación lado calle} = 8.17/8.5 = 0.96 \quad 0.26$$

$$\text{Relación lado casa} = 0.33/8.5 = 0.038 \quad 0.001$$

$$\text{C.U. total} = 0.261$$

3.- Cálculo del factor por diferencia de altura.

$$F.C.D.A. = \left(\frac{H_{prueba}}{H_{real}} \right)^2 = \left(\frac{30}{7.9 \times 3.28} \right)^2 = 1.3404$$

4.- Factor L.L.D. (lamp lumen depreciation).

$$L.L.D. = \frac{\text{flujo al 70\% de vida}}{\text{flujo inicial}}$$

Se obtiene de tablas de las características de las lámparas y para este caso es de 0.9

5.- Factor L.D.D. (Luminaire dirt depreciation).

Se toma de la tabla mantenimiento mostrada en el capítulo 2 de la figura 59.

Suponiendo un ambiente limpio y un mantenimiento cada 3 años de la gráfica sabemos que el L.D.D. es de 0.87

6.- Factor de mantenimiento F.M.

$$F.M. = (L.L.D.) (L.D.D.)$$

$$F.M. = (0.9) (0.87) = 0.783$$

7.- Determinación de la interdistancia de los puntos de luz o espaciamiento entre luminarios.

$$S = \frac{\left(\frac{\text{lm}}{\text{lum}}\right) (\text{C. U.}) (\text{F. M.})}{(\text{E o nivel de iluminación}) (\text{Ancho de la calle})}$$

Utilizando los factores y datos obtenidos tenemos:

$$S = \frac{(27500)(0.261)(0.783)}{(10)(8.5)} = 66.11 \approx 67 \text{ metros.}$$

8.- determinación del nivel de iluminación promedio mantenido. ($E_{\text{prom. mant}}$).

$$E_{prom.mant.} = \frac{\left(\frac{lm}{lum}\right) (C. U.) (F. M.)}{(Esp. entre lum)(Ancho de la calle)}$$

Sustituyendo los valores obtenemos:

$$E_{prom.mant.} = \frac{(27500)(0.261)(0.783)}{(54)(8.5)} = 12.24 \text{ luxes.}$$

Pero como sabemos las dimensiones del estacionamiento hacen que resulte complicado instalar más de un punto de luz por lo que ahora el procedimiento será analizar los niveles de iluminación obtenidos en diferentes puntos; los dos puntos más alejados de la luminaria dentro del estacionamiento y en el punto donde incide el haz luminoso a 90 grados, serán los principales además de algunos extras para analizar el nivel de iluminación de forma más adecuada, puesto que solo contamos con una luminaria.

Primero debemos definir la ubicación de estos puntos dentro del espacio del estacionamiento.

Por cuestiones prácticas yo elegí un número reducido de puntos en disposición asimétrica en el lugar más apartado de la lámpara.

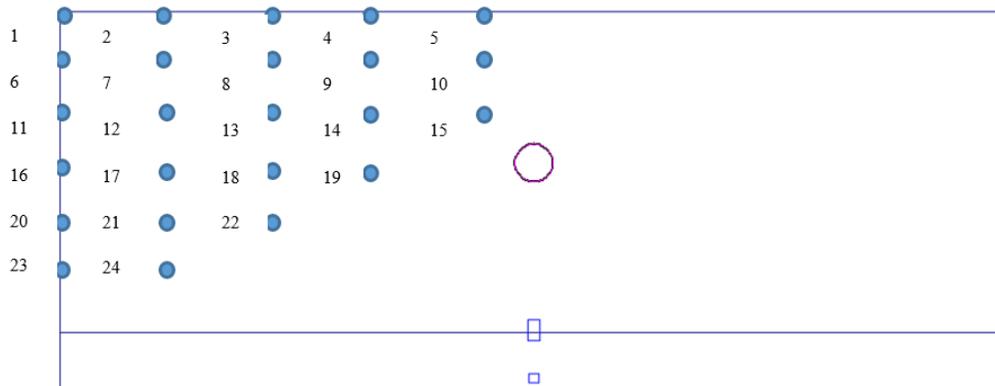


Figura 96. Método punto por punto.

Tomando en cuenta la posición de cada punto con relación a la posición de la lámpara se realiza los cálculos de las relaciones longitudinal y transversal. Para revisar la dispersión y alcance de la lámpara en cada punto.

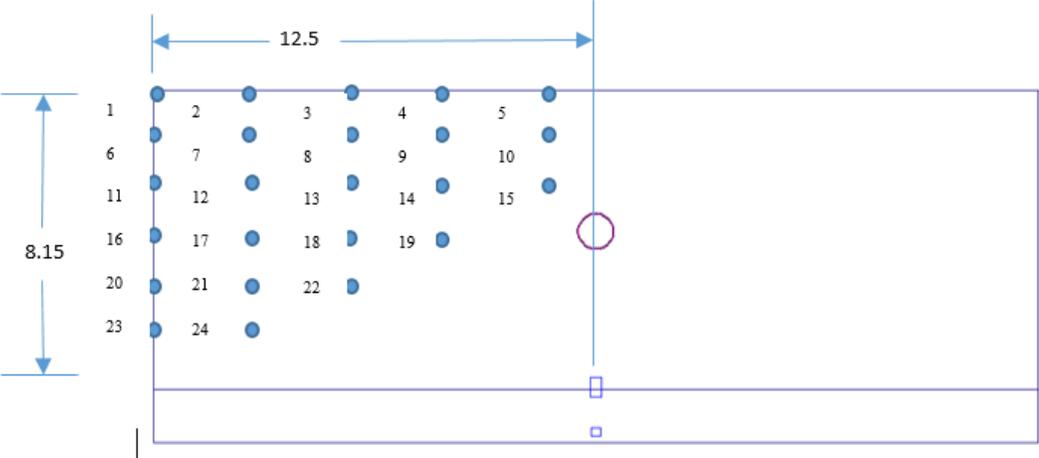


Figura 97. Ubicación de los puntos de luz.

Contribución del luminario en el punto 1.

$$R = \text{Distancia longitudinal} / \text{altura de montaje} = 12.5/7.9 = 1.58$$

$$R = \text{Distancia transversal} / \text{altura de montaje} = 8.15 / 7.9 = 1.03$$

$$E = 0.4 \text{ fc.}$$

Contribución del luminario en el punto 5.

$$R = \text{Distancia longitudinal} / \text{altura de montaje} = 0.5/7.9 = 0.06$$

$$R = \text{Distancia transversal} / \text{altura de montaje} = 8.15 / 7.9 = 1.03$$

$$E = 2.2 \text{ fc.}$$

Contribución del luminario en el punto 23

$$R = \text{Distancia longitudinal} / \text{altura de montaje} = 12.5/7.9 = 1.58$$

$$R = \text{Distancia transversal} / \text{altura de montaje} = 1.15 / 7.9 = 0.14$$

$$E = 0.65 \text{ fc.}$$

Por mencionar algunos a continuación se presentará una tabla con la contribución del luminario en cada uno de los 24 puntos considerados.

Punto	Contribución del luminario. [fc]	E iniciales	E prom. Mant.
1	0.4	5.76	4.51
2	0.75	10.81	8.46
3	1	14.42	11.29
4	1.9	27.40	21.45
5	2.2	31.73	24.84
6	0.48	6.92	5.42
7	0.8	11.53	9.03
8	1.1	15.86	12.42
9	2.4	34.61	27.10
10	2.5	36.05	28.23
11	0.5	7.21	5.64
12	0.9	12.98	10.16
13	1.9	27.40	21.45
14	2.9	41.82	32.74
15	3	43.27	33.87
16	0.5	7.21	5.64
17	1	14.42	11.29
18	2.2	31.73	24.84
19	3	43.27	33.87
20	0.6	8.65	6.77
21	1.2	17.30	13.55
22	2.5	36.05	28.23
23	0.65	9.37	7.34
24	1.2	17.30	13.55
promedio		21.373 lx	16.73 lx

Tabla 53. Iluminación por el método punto por punto.

Por último, se mostrará el ejemplo de diseño siguiendo los pasos mostrados en el ejemplo de vialidades, mostrando el caso con el estacionamiento utilizando el software visual.

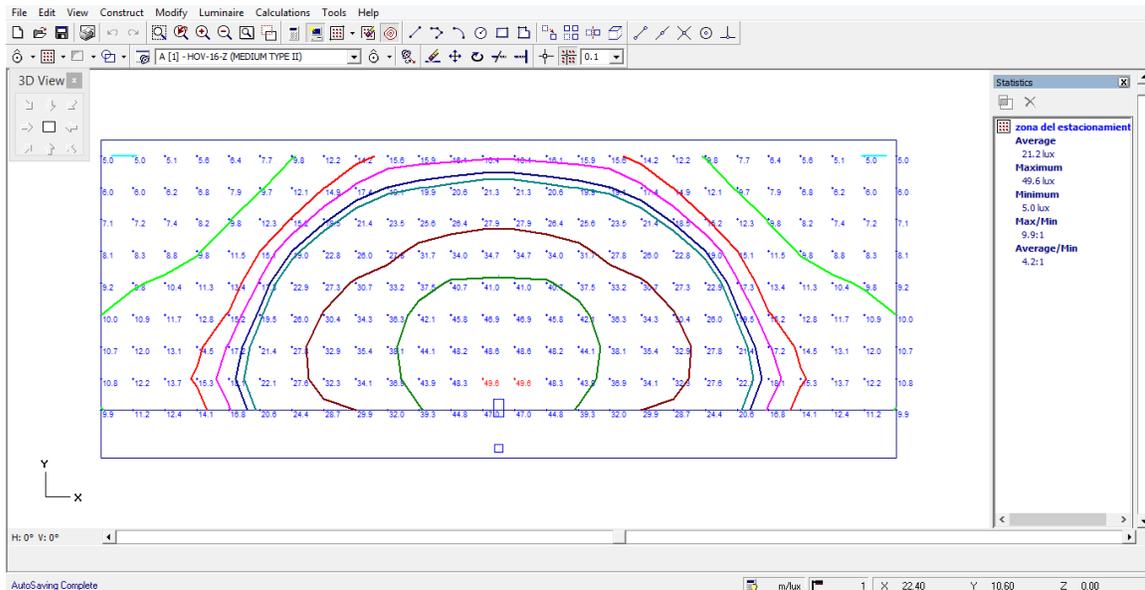


Figura 98. Zona de cálculo de iluminación.

Como se distingue esta lámpara no resulta ser la mejor opción para iluminar este establecimiento pues tenemos un centro de luz centralizado y zonas oscuras en las esquinas, ahora con ayuda del software mostraremos el mismo ejemplo utilizando proyectores halcón y lámparas de 70 watts de V.S.A.P.

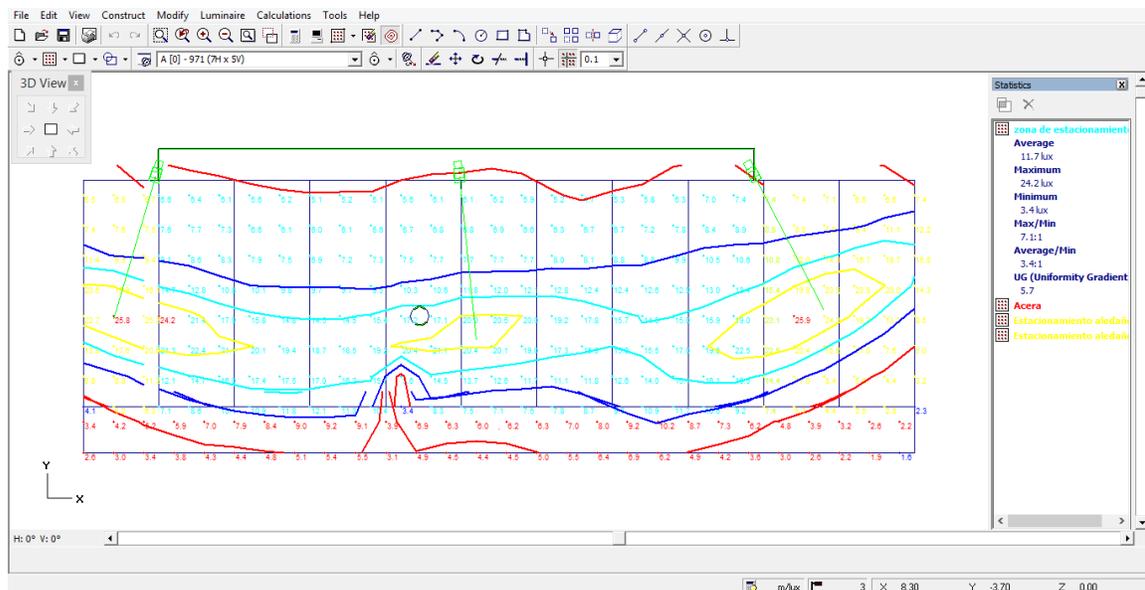


Figura 99. Contornos de la zona de iluminación.

Conclusión:

Mediante este trabajo se logró desarrollar una guía para el desarrollo del diseño y cálculo de diversos sistemas de iluminación exterior; como son vialidades, túneles, estacionamientos entre otros casos especiales, este trabajo se planteó y se desarrolló en forma de manual para permitirle al estudiante de ingeniería mecánica eléctrica interesado en adquirir conocimientos en el campo de la iluminación asimilar de forma práctica y dinámica el conocimiento ofrecido.

Como se muestra en este trabajo el diseño de un correcto sistema de iluminación contempla aspectos inesperados, y a pesar de la múltiples opciones de diseños que podemos encontrar la solución de estos aspectos requieren la combinación de 2 o más disposiciones de estos sistemas así como también no debe dejarse desentendido el entorno que rodea las vialidades, sin desentendernos de la naturaleza que es parte influyente y siempre evitando el deslumbramiento y el efecto flicker en todo lo posible, siendo ambos factores que afectan la seguridad vial tanto de los automovilistas, los peatones y la fauna de los alrededores.

La aplicación de iluminación en túneles vehiculares puede considerarse un arte en si misma pues no existen dos túneles con iguales características, pero si bien es cierto lo anterior mencionado también podemos concluir que todos comparten los principios de iluminación que nos permiten generalizar sus estructuras para facilitar su diseño.

Reforzando los conocimientos teóricos vistos con TIC's del campo de la iluminación.

Sin olvidar también que el campo de la iluminación no está exento del problema de contaminación ambiental, por ello se menciona un enfoque procurando hacer consciencia en el estudiante que inclusive una adecuada ingeniería en el diseño de un sistema de iluminación contribuimos con la disminución de la contaminación medioambiental.

Bibliografía o referencias.

Manual de luminotecnia Westinghouse.

Hugo Enrique Gómez Gonzales, Calva Sebastian Camilo. (2009). Procedimiento de cálculo de iluminación para interiores y exteriores. UNAM Cuautitlán.

Guía técnica de eficiencia energética en iluminación, Alumbrado público. Comité español de iluminación, Ministerio de ciencia u tecnología. IDEA. 155 pág.

Tesis Procedimiento de cálculo de iluminación para interiores y exteriores. Hugo Enrique Gómez Gonzales, Calva Sebastian Camilo. 74 pág.

Guía técnica de eficiencia energética en iluminación, Alumbrado público. Comité español de iluminación, Ministerio de ciencia u tecnología. IDEA. 155 pág.

Capítulo 12. Iluminación viaria. INDALUX. Luminotecnia 2002. Paginas (201-230)

Capítulo 10. Iluminación de exteriores. José D. Sandoval. Páginas 17

Capítulo 13. Iluminación de túneles. INDALUX. Luminotecnia 2002. Paginas (231-258)

Ing. Gabriel Torres Aguilar. (24 junio 2010). Iluminación de túneles vehiculares. Iluminet Sitio web: <http://www.iluminet.com/iluminacion-de-tuneles-vehiculares/>

Enrique

Oñoro,

www.Seguridadentuneles.com

<http://www.seguridadentuneles.com/2011/08/03/iluminacion-de-emergencia-y-seguridad-en-tuneles-carreteros/>

Javier García Fernández, Oriol Boix. <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/tunel.html>

Schröder, Schröder Group GIE Alumbrado de túneles, Las soluciones de un especialista. Páginas (4-20). <http://www.Schreder.com>

Estupiñá Cano, Sergio F. Túneles viarios urbanos. Diseño, instalaciones y elementos de seguridad. Páginas (54-68)

Manuel García Gil, Ramón San Martín Páramo, Héctor Solano Lamphar, Pau Francia Payàs. (Abril 2012). Contaminación lumínica. Una visión desde el foco contaminante: el alumbrado artificial. Universidad Politécnica de Catalunya BARCELONATECH. UPC GRAU. Sitio web: https://books.google.com.mx/books?id=uwJqBQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=contaminacion+luminica&hl=es&sa=X&ved=0CEQQ6AEwCGoVChMIh9T_wpT4yAIVCXY-Ch3VJAhc#v=onepage&q&f=true

Jorge Chapa Carreón. (1990). Contraste. En Manual de instalaciones de alumbrado y fotometría (270). México: LIMUSA.

V Congreso de Nacional del medio ambiente, grupo 20. Visión de contraste. Contaminación lumínica.

D. Sandoval. Capítulo 14. Contaminación lumínica. Manual de Luminotecnia INDALUX 2002 Páginas (259 - 270)

IDEA instituto para diversificación y ahorro de la energía, comité español de iluminación. Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Alumbrado público. 154 paginas.

Ing. Gabriel Torres Aguilar. (24 junio 2010). Iluminación de túneles vehiculares. de Iluminet
Sitio web: <http://www.iluminet.com/iluminacion-de-tuneles-vehiculares/>

<http://www.seguridadentuneles.com/2011/08/03/iluminacion-de-emergencia-y-seguridad-en-tuneles-carreteros/>

Javier García Fernández, Oriol Boix. <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/tunel.html>

http://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/vias_p.html

<http://www.holophane.com.mx>

Luis Bañon Blázquez. sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/01030502.pdf

I.E.S. Lighting Handbook 9 Edition. Illumination Engineering Boast- Mc Graw Hill.

Norma Oficial Mexicana NOM 001 SEDE 2005.

Holophane S.A. Catalogo Comercial.

Secretaria de energía. Iluminación eficiente en alumbrado público. Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía (CONUEE).

Índice de tablas.

Tabla 1.	Datos de lámparas fluorescentes T-8.	22
Tabla 2.	Conceptos fundamentales de iluminación.	25
Tabla 3.	Niveles de iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo.	39
Tabla 4.	Valores límites de IMD recomendados para iluminación.	42
Tabla 5.	Factor de altura de báculo.	46
Tabla 6.	Potencia de la lámpara considerando altura de la lámpara.	46
Tabla 7.	Características de reflectancia del pavimento.	50
Tabla 8.	Requisitos mínimos por tipo de iluminación.	51
Tabla 9.	Valores recomendados mantenidos de luminancia.	52
Tabla 10.	Clasificación vehicular de carreteras.	53
Tabla 11.	Factores de uniformidad.	54
Tabla 12.	Clasificación para luminarias de alumbrado público (CIE 1965)	56
Tabla 13.	Guía para la selección de tipos de curvas de distribución lateral de flujo luminoso.	59
Tabla 14.	Control.	65
Tabla 15.	Sistema de clasificación de la C.I.E. de propiedades fotométricas de luminarias.	65
Tabla 16.	Tipo de disposición de acuerdo al radio de curva.	76
Tabla 17.	Angulo de línea de poda tomando en cuenta altura de poda de árbol.	78
Tabla 18.	Color de luz y temperatura de color.	83
Tabla 19.	Niveles recomendados de iluminancia horizontal mantenida en zonas de estacionamiento.	108
Tabla 20.	Zonas de acceso.	115
Tabla 21.	Tipos de alumbrado en relación con el contraste.	119
Tabla 22.	Distancia de seguridad.	121
Tabla 23.	Luminancia media de la zona de acceso.	127

Tabla 24.	Entorno o alrededores del túnel.....	129
Tabla 25.	Valores de $k \cdot 10^3$ para la zona de umbral.	131
Tabla 26.	Luminancia en cd/m^2 en la zona del interior.	135
Tabla 27.	Uniformidades de luminancia de la superficie de la calzada.	137
Tabla 28.	Luminancias en cd/m^2 del alumbrado nocturno.....	140
Tabla 29.	Factores de ponderación en función de la intensidad de tráfico.....	141
Tabla 30.	Factores de ponderación en función de la composición del tráfico.	141
Tabla 31.	Factores de ponderación en función del guiado visual.....	142
Tabla 32.	Factores de ponderación en función de la comodidad en la conducción.	142
Tabla 33.	Clases de alumbrado para túneles largos.	142
Tabla 34.	Alumbrado diurno de túneles tipo A, urbanos o periurbano cortos (excluidas autopistas y autovías), con velocidad de circulación limitada entre 40 y 60km/h.	145
Tabla 35.	Alumbrado diurno de túneles tipo B. urbanos bidireccionales cortos (volumen de tráfico denso cuando $IMD > 5000$).	145
Tabla 36.	Alumbrado diurno de túneles tipo C.	146
	Urbanos unidireccionales cortos de autopistas y autovías (volumen de tráfico denso cuando $IMD > 10000$).	146
Tabla 37.	Alumbrado diurno de túneles tipo D.	146
	Interurbanos cortos con tráfico de baja velocidad (menor de 80 km/h) y volumen de tráfico inferior a 5000 vehículos diarios ($IMD < 5000$).	146
Tabla 38.	Túneles cortos.	151
Tabla 39.	Normas de iluminación de emergencia.	155
Tabla 40.	Contaminación lumínica.	159
Tabla 41.	Sistema de zonificación.	164
Tabla 42.	Distancias mínimas en Km. Entre los límites de cada zona.	165
Tabla 43.	Costos (1).....	169

Tabla 44.	Costos (2).....	170
Tabla 45.	Luminarias utilizadas.	173
Tabla 46.	Altura de montaje de las luminarias.	173
Tabla 47.	Relaciones lado calle, lado casa.	174
Tabla 48.	Calculo de factor de diferencia de altura.	174
Tabla 49.	F.M. = (L.L.D.) (L.D.D.).....	175
Tabla 50.	Interdistancia de los puntos de luz.	175
Tabla 51.	Determinación del nivel de iluminación promedio.....	176
Tabla 52.	Nivel de iluminación punto por punto.	178
Tabla 19	Niveles recomendados de iluminancia horizontal mantenida en zonas de estacionamiento.	186
Tabla 53.	Iluminación por el método punto por punto.	192

Índice de figuras.

Figura 1.	Iluminación normal.....	16
Figura 2.	Método punto por punto en superficies horizontales.....	17
Figura 3.	Método punto por punto en superficies verticales.	18
Figura 4.	Ángulo sólido.....	23
Figura 5.	Flujo luminoso.....	24
Figura 6.	Figura 1.2.3 Intensidad luminosa.....	24
Figura 7.	Luminancia.	26
Figura 8.	Ejemplo de brillantez.....	27
Figura 9.	Ejemplo de reflectancia.	28
Figura 10.	Ejemplo de transmitancia.....	29
Figura 11.	Ejemplos de iluminación VSAP y LED.....	30
Figura 12.	Temperatura de color.....	31
Figura 13.	Curva de distribución luminosa de una lámpara de vapor de sodio.....	32
Figura 14.	Curva Isolux.....	32
Figura 15.	Ley del inverso de los cuadrados.....	33
Figura 16.	Ley del coseno.....	34
Figura 17.	Concepto de lumen.....	34
Figura 18.	Concepto de lux.....	35
Figura 19.	Absorción.....	35
Figura 20.	Polarización.....	36
Figura 21.	Polarizador.....	36
Figura 22.	Luxómetro.....	37
Figura 23.	Coeficiente de iluminación de los alrededores.....	48
Figura 24.	Curvas fotométricas con su clasificación.....	56

Figura 25.	Tipo I.....	57
Figura 26.	Tipo II.....	57
Figura 27.	Tipo II.....	58
Figura 28.	Tipo IV.....	58
Figura 29.	Tipo V.....	59
Figura 30.	Aplicación de los 5 tipos de luminarias.....	60
Figura 31.	Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima que indica el ángulo utilizado para la determinación de alcance.	62
Figura 32.	Dispersión o apertura de las luminarias.	63
Figura 33.	Alcance y dispersión.	64
Figura 34.	Disposición unilateral.	67
Figura 35.	Disposición Bilateral tresbolillo.	67
Figura 36.	Disposición Bilateral pareada.	68
Figura 37.	Disposición Central o axial para valores de $1 < b < 3$ metros.....	69
Figura 38.	Disposición para valores “b” cualesquiera.....	69
Figura 39.	Disposición Suspendida o catenaria, longitudinal.....	70
Figura 40.	Disposición Suspendida o catenaria, transversal.....	70
Figura 41.	Disposición de luminarias combinadas.....	71
Figura 42.	Disposición de luminarias combinadas.....	72
Figura 43.	Disposición de luminarias en cruces en T.	73
Figura 44.	Disposición de luminarias en cruces de 4 calles.....	73
Figura 45.	Disposición de luminarias en glorietas con punto de luz central o brazo múltiple (para diámetro de glorieta $D < 18m$).	74
Figura 46.	Disposición de luminarias en glorietas con puntos de luz en prolongaciones (para diámetro de glorieta $D > 18m$.).	75

Figura 47.	Disposición de luminarias en curvas.	76
Figura 48.	Disposición de luminarias en curvas consecutivas.....	77
Figura 49.	Disposición de las luminarias en pasos peatonales.	77
Figura 50.	Disposición de luminarias considerando la vegetación.	78
Figura 51.	Ángulos de inclinación permisibles.....	88
Figura 52.	Lámpara incandescente convencional.....	89
Figura 53.	Lámpara de wolframio.....	91
Figura 54.	Lámpara fluorescente.....	92
Figura 55.	Lámpara de vapor de mercurio.	95
Figura 56.	Lámpara de vapor de sodio a baja presión.	98
Figura 57.	Lámparas de vapor de sodio a alta presión	99
Figura 58.	Lámpara de aditivos o halogenuros metálicos.....	101
Figura 59.	Factor de depreciación por suciedad del luminario.....	105
Figura 60.	Parque de estacionamiento.....	110
Figura 61.	Espacios parquizados de maniobra y circulación.....	110
Figura 62.	Túnel convencional.....	112
Figura 63.	Efecto agujero negro.	113
Figura 64.	Niveles de luminancia requerida en un túnel de tráfico unidireccional.....	114
Figura 65.	Zona de acceso.	115
Figura 66.	Curva de reducción de la luminancia.....	117
Figura 67.	Tipos de disposición de luminarias, alumbrado simétrico.	120
Figura 68.	Tipos de disposición de luminarias, alumbrado asimétrico a contraflujo.	120
Figura 69.	Diagrama de zonas del túnel.	125
Figura 70.	Distancia de seguridad considerando el porcentaje de cielo en la zona de acceso.	130
Figura 71.	Luminancia mínima en la zona de entrada.	133

EL valor de 100% corresponde a la primera mitad de la zona de umbral.....	133
Figura 72. Túnel cortó con iluminación diurna.	144
Figura 73. Localización de las luminarias de emergencia.	154
Figura 74. Sistemas de alumbrado que contribuyen a la contaminación lumínica.....	157
Figura 75. El resplandor observado es provocado por la contaminación lumínica.....	158
Figura 76. Deslumbramiento perturbador.	160
Figura 77. Deslumbramiento molesto. En la figura de la izquierda se aprecia el efecto de agujero negro y en la figura de la derecha percibimos de forma visual el efecto de cebra.....	161
Figura 78. Contraste negativo y contraste positivo.	162
Figura 79. Interruptor crepuscular de célula fotoeléctrica, interruptor de horario astronómico.	167
Figura 80. Esquema de conexión y funcionamiento de un balastro serie tipo inductivo con doble nivel de potencia con línea de mando.....	167
Figura 81. Esquema de la avenida.	172
Figura 82. Interdistancia de puntos de luz.	176
Figura 83. Cantidad de iluminación de los puntos de luz.	176
Figura 84. Dibujo de la vialidad.	179
Figura 85. Selección de luminaria.....	179
Figura 86. Configuración de datos de la luminaria.	180
Figura 87. Configuración de la luminaria.	180
Figura 88. Colocación de luminarios.....	181
Figura 89. Colocación de luminarios.....	181
Figura 90. Zona de cálculo de iluminación.	182
Figura 91. Contornos y datos de la zona de iluminación.	182
Figura 92. Datos de la zona de iluminación.	183
Figura 93. Contornos recalculados de la zona de iluminación.....	183

Figura 94.	Ubicación del establecimiento.....	184
Figura 95.	Vista del establecimiento.	185
Figura 96.	Método punto por punto.	189
Figura 97.	Ubicación de los puntos de luz.	190
Figura 98.	Zona de cálculo de iluminación.	193
Figura 99.	Contornos de la zona de iluminación.....	193

Índice de diagramas.

Diagrama 1.	Factores que influyen a la hora de instalar un sistema de alumbrado.	41
Diagrama 2.	Criterios de cuantificación de la iluminación de vialidades.	43
Diagrama 3.	Criterios de elección de los sistemas de iluminación.	45
Diagrama 4.	Clasificación CIE (1965).....	55
Diagrama 5.	Clasificación CIE (actual).	61
Diagrama 6.	Alcance.	62
Diagrama 7.	Dispersión.....	63
Diagrama 8.	Tipos de disposición de luminarias.	66
Diagrama 9.	Condiciones que deben reunir las lámparas.	80
Diagrama 10.	Zonas de luminancia de un túnel.	112
Diagrama 11.	Tipos de alumbrado en túneles cortos.	149

Apéndices y anexos.

Anexo 1 Luminaria HOV.



HOV-16



Dimensiones Nominales Aprox. en mm.



HOV-25

Catálogo	A	B
HOV-16	550	300
HOV-25	650	350

Catálogo	Descripción	Curva de Distribución	Espaciamiento	Peso Aprox. Kg.
HOVSM				
VAPOR DE SODIO ALTA PRESION				
HOV-16-H	70 W V.S.A.P. Compuesto de: HOV-16-H Armadura/Balastro. 4252 Refractor de Cristal.	II	5:1	13.100
HOV-16-R	100 W V.S.A.P. Compuesto de: HOV-16-R Armadura/Balastro. 4252 Refractor de Cristal.	II	5:1	14.200
HOV-16-K	150 W V.S.A.P. Compuesto de: HOV-16-K Armadura/Balastro. 4252 Refractor de Cristal.	III	6:1	16.000
HOV-16-Z	250 W V.S.A.P. Compuesto de: HOV-16-Z Armadura/Balastro. 4252 Refractor de Cristal.	II	6:1	17.500
HOV-25-Q	400 W V.S.A.P. Compuesto de: HOV-25-Q Armadura/Balastro. 4046 Refractor de Cristal.	III	5:1	24.000
HOV-25-Z	250 W V.S.A.P. Compuesto de: HOV-25-Z Armadura/Balastro. 4046 Refractor de Cristal.	III	5:1	22.500

NOTA: La Información Técnica de este Catálogo esta basada en la Aplicación de La Normatividad Americana Para opciones de Voltajes en línea H.I.D. ver pag. 49

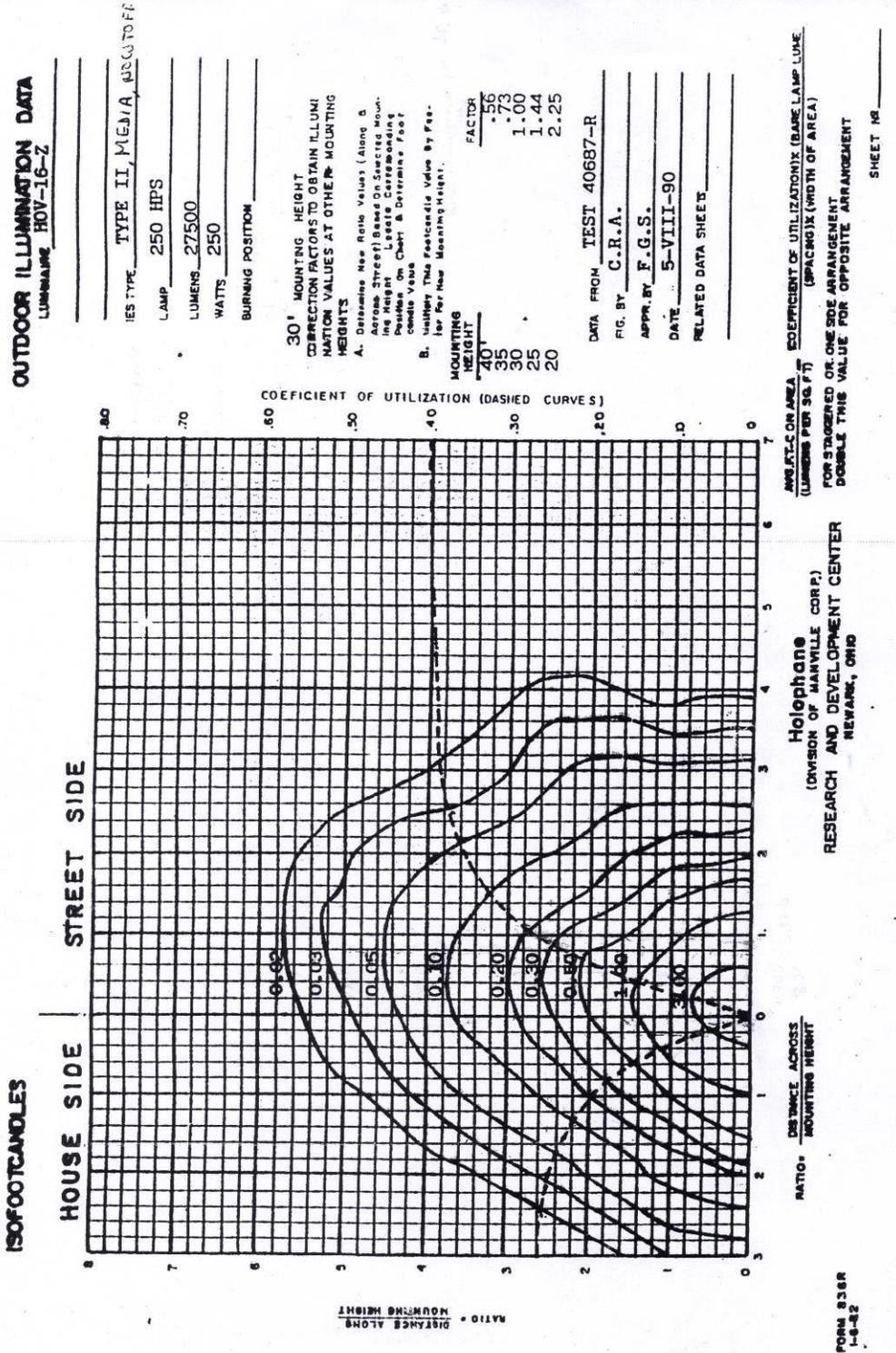
Aplicaciones Generales:

- Calles
- Avenidas
- Ejes viales
- Boulevares
- Periféricos
- Parques
- Exhibiciones exteriores

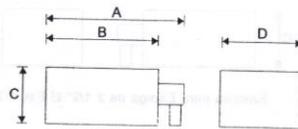
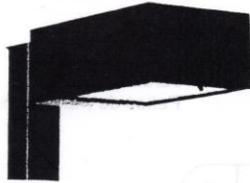
OPCION

Opción	Descripción
F-13	Receptáculo para Fotocelda

Anexo 2 Datos de iluminación HOV 16-Z.



Anexo 3 Luminaria Mayfair pequeña.



Entrada para espiga de 2 1/2" Ø ext. X 7" altura

Dimensiones Nominales Aprox. en mm.

Aplicaciones:

Vialidades
Estacionamientos
Jardines
Pacios de maniobra:

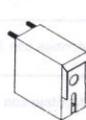
CATALOGO	A	B	C	D
1601,1603,1604, 1605 y 1606	680	540	185	320

Catálogo	Descripción	Espaciamiento	Peso Aprox. Kg.
MAYFAIR PEQUEÑA™			
ADITIVOS METALICOS			
1601	175 W A.M. GS-121 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	14.000
1603	250 W A.M. GS-121 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	14.500
VAPOR DE SODIO ALTA PRESION			
1604	70 W V.S.A.P. GS-121 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	14.000
1605	100 W V.S.A.P. GS-121 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	14.000
1606	150 W V.S.A.P. GS-121 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	15.600

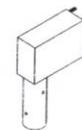
NOTA: Para opciones de Voltajes en línea H.I.D. ver pag. 49

OPCIONES

F-13	Base para Fotocelda
MN-19	Montaje a Percha
MN-51	Montaje Punta de Poste
MN-86	Montaje con Abrazadera a Poste Concreto
CRT-19	Montaje con 2 Luminarios a 180°
CRT-36	Montaje con 4 Luminarios a 90°
CRT-92	Montaje con 3 Luminarios a 90°



MN-19



MN-51



MN-86

Anexo 4 Luminaria Mayfair



MN-19



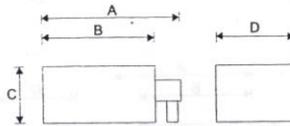
CRT-92



CRT-19



CRT-36



Entrada para Espiga de 2 1/2" Ø Ext. x 7" de Altura

Aplicaciones:

Vialidades
Estacionamientos
Jardines
Patios de maniobras

Catálogo	A	B	C	D
1624, 1627, 1626, 1629 y 1628	788	630	216	375

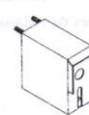
Dimensiones Nominales Aprox. en mm.

Catálogo	Descripción	Espaciamiento	Peso Aprox. Kg.
MAYFAIR^{MR}			
ADITIVOS METALICOS			
1624	400 W A.M. GS-120 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	19.000
1626	250 W A.M. GS-120 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	18.000
VAPOR DE SODIO ALTA PRESION			
1627	400 W V.S.A.P. GS-120 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	20.500
1628	150 W V.S.A.P. GS-120 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	17.300
1629	250 W V.S.A.P. GS-120 Vidrio Termotemplado Plano.	3.5:1	18.000

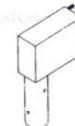
NOTA: La Información Técnica de este Catálogo esta basada en la Aplicación de La Normatividad Americana Para opciones de Voltajes en línea H.I.D. ver pag. 49

OPCIONES

F-13	Base para Focelda
MN-19	Montaje a Percha
MN-51	Montaje Punta de Poste
MN-86	Montaje con Abrazadera a Poste Concreto
CRT-19	Montaje con 2 Luminarios a 180°
CRT-36	Montaje con 4 Luminarios a 90°
CRT-92	Montaje con 3 Luminarios a 90°



MN-19



MN-51



MN-86

OUTDOOR ILLUMINATION DATA
LUMINAIRE Mayfair No. 1629

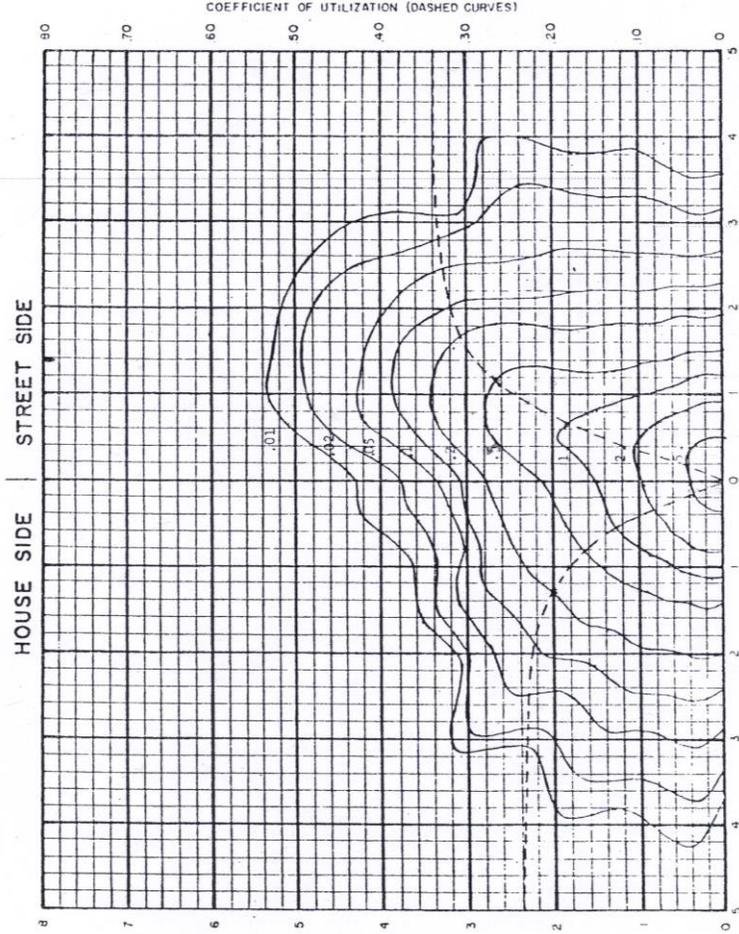
IES TYPE Type III, Medium, Cusoff
LAMP 250W High Pressure Sodium
LUMENS 25500
WATTS 250
BURNING POSITION Horizontal

2.5.1 MOUNTING HEIGHT
CORRECTION FACTORS TO OBTAIN ILLUMINATION VALUES AT OTHER MOUNTING HEIGHTS
A. Determine New Ratio Values (Along B Across Street) Based On Selected Mounting Height. — Locate Corresponding Position On Chart & Determine Foot-candle Value.
B. Multiply This Footcandle Value By Factor for New Mounting Height.

MOUNTING HEIGHT	FACTOR
20	1.00
25	1.00
30	0.99
35	0.97

DATA FROM 16.002
FIG. BY BM
APPR. BY [Signature]
DATE 2-13-76
RELATED DATA SHEETS _____

ISOFOOTCANDLES



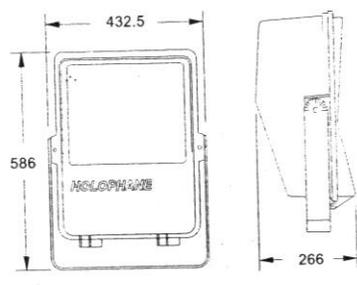
AVG FT-C ON AREA = (COEFFICIENT OF UTILIZATION) X (BARE LAMP LUMENS) * (LUMENS PER SQ FT) (SPACING) X (WIDTH OF AREA)
* FOR STAGGERED OR ONE SIDE ARRANGEMENT
DOUBLE THIS VALUE FOR OPPOSITE ARRANGEMENT

Holophane
(DIVISION OF JOHNS-MANVILLE)
RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER
NEWARK, OHIO

RATIO = DISTANCE ACROSS MOUNTING HEIGHT

SHEET No. I-350

Anexo 6 Halcón Mediano.



Dimensiones Nominales Aprox. en mm.



Entrada para espiga de 2" Ø Nom. Ced. 40 x 4" Altura

OPCIONES

Opción	Descripción
G-980	Guarda Protectora
V-980	Visera de Lámina
MN-1290	Punta de Poste para Horquilla

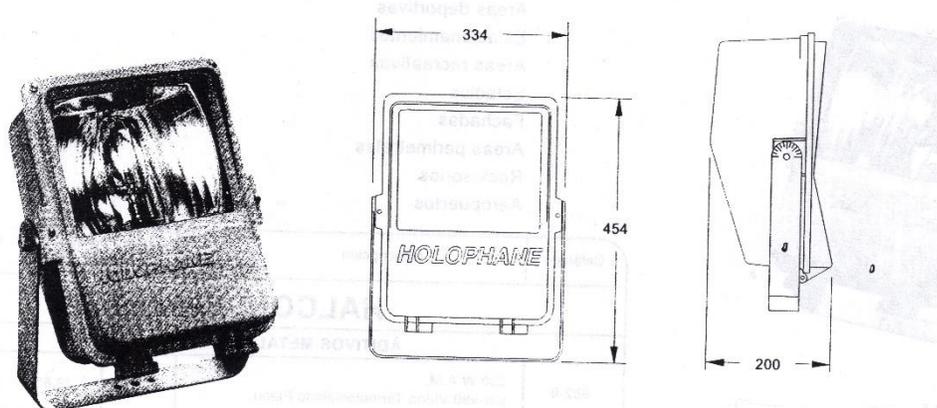
Aplicaciones Generales:

Areas deportivas
 Estacionamientos
 Areas recreativas
 Estadios
 Fachadas
 Areas perimetrales
 Reclusorios
 Aeropuertos

Catálogo	Descripción	Curva NEMA	Peso Aprox. Kg.
HALCON^{MR} MONTAJE CON HORQUILLA			
ADITIVOS METALICOS			
982-9	250 W A.M. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 4	19.850
983-9	400 W A.M. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 4	22.850
982-0	250 W A.M. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 6	19.850
983-0	400 W A.M. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 6	22.850
982-1	250 W A.M. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	6 x 4	19.850
983-1	400 W A.M. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	5 x 4	22.850
VAPOR DE SODIO ALTA PRESION			
980-9	250 W V.S.A.P. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 4	20.050
981-9	400 W V.S.A.P. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 5	21.950
980-0	250 W V.S.A.P. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 6	20.050
981-0	400 W V.S.A.P. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 6	21.950
980-1	250 W V.S.A.P. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	6 x 4	20.050
981-1	400 W V.S.A.P. GS-980 Vidrio Termotemplado Plano.	6 x 5	21.950

NOTA: Para opciones de Voltajes en línea H.I.D. ver pag. 70

Anexo 7 Luminaria Halcón Pequeño.



Dimensiones Nominales Aprox. en mm.

Aplicaciones Generales:

- Areas deportivas
- Estacionamientos
- Areas recreativas
- Estadios
- Fachadas
- Anuncios espectaculares
- Aeropuertos

Catálogo	Descripción	Curva NEMA	Peso Aprox. Kg.
HALCON^{MR} MONTAJE CON HORQUILLA			
ADITIVOS METALICOS			
974	175 W A.M. GS-970 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 5	13.850
VAPOR DE SODIO ALTA PRESION			
970	50 W V.S.A.P. GS-970 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 5	11.100
971	70 W V.S.A.P. GS-970 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 5	11.100
972	100 W V.S.A.P. GS-970 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 5	12.150
973	150 W V.S.A.P. GS-970 Vidrio Termotemplado Plano.	7 x 6	13.950

OPCIONES

Opción	Descripción
G-980	Guarda Protectora
V-980	Visera de Lámina
MN-1290	Punta de Poste para Horquilla

NOTA: La Información Técnica de este Catálogo esta basada en la Aplicación de La Normatividad Americana Para opciones de Voltajes en línea H.I.D. ver pag. 70

Anexo 8 Datos de lámparas.

DATOS DE LAMPARAS INCANDESCENTES

WATTS	VOLTS (TENSION DE OPERACION)	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	ACABADO PERLA O CLARO	LONGITUD EN CENTIMETROS
40	125	465	1,500	12	.875	MEDIA (E-26)	A-19	*	11.3
60	125	890	1,000	15	.930	MEDIA (E-26)	A-19	*	11.3
60	220	588	1,000	10	.930	MEDIA (E-26)	A-21	*	11.3
75	125	1,190	750	16	.920	MEDIA (E-26)	A-19	*	11.3
100	125	1,750	750	18	.905	MEDIA (E-26)	A-19	*	11.3
100	220	1,085	2,500	11	.900	MEDIA (E-26)	A-21	*	13.5
150	125	2,780	750	19	.895	MEDIA (E-26)	A-23	*	16
150	220	2,060	1,000	14	.870	MEDIA (E-26)	PS-25	*	15
200	125	3,750	750	19	.850	MEDIA (E-26)	PS-25	*	17.6
200	220	3,040	1,000	15	.900	MEDIA (E-26)	PS-30	*	20.5
300	125	6,103	1,000	20	.825	MEDIA (E-26)	PS-30	*	20.5
300	220	4,735	1,000	16	.890	MEDIA (E-26)	PS-30	*	20.5
500	125	10,100	1,000	20	.890	MOGUL (E-40)	PS-40	*	24.8
500	220	9,270	1,000	18	.870	MOGUL (E-40)	PS-40	*	24.8
1000	220	17,800	1,000	18	.820	MOGUL (E-40)	PS-52	*	33.1

DATOS DE LAMPARAS DE IODO CUARZO

WATTS	VOLTS	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	CONTACTO EMBUTIDO	BULBO	ACABADO PERLA O CLARO	LONGITUD EN CENTIMETROS
500	125	10,500	2,000	21	0.96	CONTACTO EMBUTIDO	T-3	CLARO	11.90
1000	220	21,500	2,000	22					25.60
1500	220	35,800	2,000	24					25.60

* NOTA: LA LETRA INDICA LA FORMA DE BULBO O BOMBILLO Y EL NUMERO QUE LE SIGUE EL DIAMETRO MAXIMO EN OCTAVOS DE PULGADA

EJEMPLO:

PS-40
"S" RECTO
"G" REDONDO

"PS" PERA CON CUELLO RECTO
"P" PERA
"A" NORMAL

40/8" DE DIAMETRO
"PAR" REFLECTOR PARABOLICO
"R" REFLECTOR

"F" FLAMA
"CA" DECORATIVO

DATOS DE LAMPARAS DE LUZ MIXTA

WATTS	VOLTS	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	CONTACTO EMBUTIDO	BULBO	ACABADO PERLA O CLARO	LONGITUD EN CENTIMETROS
160		3,100	6,000	19	0.57	MEDIA (E-26)	BF-75	COLOR CORREGIDO	17.20
250	220	5,600	6,000	22	0.65	MOGUL (E-40)	BF-90		22.50
500		14,000	6,000	25	0.74	MOGUL (E-40)	ED-37		27.70

Anexo 9 Datos de lámparas.

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

WATTS	TIPO	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS	ENCENDIDO
9	TUBO SENCILLO	BLANCO CALIDO	600	10,000	67	0.87	G23	T-4	16.70	RAPIDO
9	TUBO SENCILLO	BLANCO FRIO	600	10,000	67	0.87	G23	T-4	16.70	RAPIDO
13	TUBO SENCILLO	BLANCO CALIDO	900	10,000	69	0.87	GX23	T-4	17.70	RAPIDO
13	TUBO SENCILLO	BLANCO FRIO	900	10,000	69	0.87	GX23	T-4	17.70	RAPIDO
9	TUBO DOBLE	BLANCO CALIDO	600	10,000	67	0.87	G23-2	T-4	11.10	RAPIDO
9	TUBO DOBLE	BLANCO FRIO	600	10,000	67	0.87	G23-2	T-4	11.10	RAPIDO
13	TUBO DOBLE	BLANCO CALIDO	900	10,000	69	0.87	G23-2	T-4	12.30	RAPIDO
13	TUBO DOBLE	BLANCO FRIO	900	10,000	69	0.87	G23-2	T-4	12.30	RAPIDO
18	TUBO DOBLE	BLANCO FRIO	1,250	10,000	69	0.87	G24d2,2 PINES	T-4	17.00	RAPIDO
26	TUBO DOBLE	BLANCO FRIO	1,800	10,000	69	0.87	G24d2,3 PINES	T-4	19.00	RAPIDO
18	LARGE	BLANCO CALIDO	1,250	12,000	69	0.84	2G11	T-5	22.50	RAPIDO
18	LARGE	BLANCO FRIO	1,250	12,000	69	0.84	2G11	T-5	22.50	CON ARRANCADOR
36	LARGE	BLANCO CALIDO	2,900	12,000	80	0.84	2G11	T-5	41.50	CON ARRANCADOR
36	LARGE	BLANCO FRIO	2,900	12,000	80	0.84	2G11	T-5	41.50	RAPIDO
40	LARGE	BLANCO CALIDO	3,200	20,000	80	0.84	2G11	T-5	57.20	RAPIDO
40	LARGE	BLANCO FRIO	3,500	20,000	87	0.84	2G11	T-5	57.20	RAPIDO

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES ALTA DESCARGA H.O. 800 m. A.

60	TUBULAR	BLANCO FRIO	4,300	12,000	72	0.82	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	121.92	RAPIDO
85	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,650	12,000	78	0.82	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	182.88	RAPIDO
110	TUBULAR	BLANCO FRIO	8,800	12,000	80	0.82	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	243.84	RAPIDO
110	TUBULAR	LUZ DE DIA	7,800	12,000	70	0.82	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	243.84	RAPIDO

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES MUY ALTA DESCARGA H.O. 1500 m. A.

110	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,250	10,000	57	0.69	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	121.92	RAPIDO
165	TUBULAR	BLANCO FRIO	9,900	10,000	60	0.72	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	182.88	RAPIDO
215	TUBULAR	BLANCO FRIO	14,500	10,000	67	0.72	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	243.84	RAPIDO

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES POWER GROOVE 1500 m. A.

110	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,800	12,000	62	0.69	2 CONTAC. EMBUTIDA	PG-17	121.92	RAPIDO
165	TUBULAR	BLANCO FRIO	11,000	12,000	67	0.69	2 CONTAC. EMBUTIDA	PG-17	182.88	RAPIDO
215	TUBULAR	BLANCO FRIO	15,300	12,000	71	0.69	2 CONTAC. EMBUTIDA	PG-17	243.84	RAPIDO

Anexo 10 Datos de lámparas.

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES

WATTS	TIPO	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO EN CENTIMETROS	LONGITUD EN CENTIMETROS	ENCENDIDO
22	CIRCULAR	LUZ DE DIA	895	12,000	41	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 Ø	RAPIDO
22	CIRCULAR	B. FRIO DE LUJO	875	12,000	40	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 Ø	RAPIDO
22	CIRCULAR	B. CALIDO DE LUJO	785	12,000	36	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 Ø	RAPIDO
32	CIRCULAR	BLANCO FRIO	1,850	12,000	58	0.82	4 ALFILERES	T-9	30.48 Ø	RAPIDO
32	CIRCULAR	LUZ DE DIA	1,590	12,000	50	0.82	4 ALFILERES	T-9	30.48 Ø	RAPIDO
40	CIRCULAR	BLANCO FRIO	2,650	12,000	66	0.77	4 ALFILERES	T-9	40.64 Ø	RAPIDO
17	TUBULAR	BLANCO CALIDO	1,400	20,000	82	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	60.20	RAPIDO
17	TUBULAR	BLANCO FRIO	1,400	20,000	82	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	60.20	RAPIDO
20	TUBULAR	BLANCO CALIDO	1,300	9,000	65	0.85	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	60.96	CON ARRANCADOR
20	TUBULAR	BLANCO FRIO	1,300	9,000	65	0.85	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	60.96	CON ARRANCADOR
20	TUBULAR	LUZ DE DIA	1,075	9,000	54	0.85	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	60.96	CON ARRANCADOR
21	TUBULAR	LUZ DE DIA	1,030	7,500	49	0.81	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	60.96	INSTANTANEO
30	TUBULAR	LUZ DE DIA	1,900	7,500	63	0.81	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	60.00	CON ARRANCADOR
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	3,050	20,000	95	0.82	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	RAPIDO
32	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,050	20,000	95	0.82	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	RAPIDO
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	3,050	15,000	95	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	INSTANTANEO
32	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,050	15,000	95	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	INSTANTANEO
32	TUBULAR	B. FRIO DE LUJO	2,700	12,000	84	0.84	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	116.80	INSTANTANEO
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	2,700	12,000	84	0.84	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	116.80	INSTANTANEO
34	TUBULAR	BLANCO LIGERO	2,700	20,000	79	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.90	RAPIDO
34	TUBULAR	BLANCO FRIO	2,700	20,000	79	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.92	RAPIDO
39	TUBULAR	B. FRIO DE LUJO	3,200	12,000	82	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	117.00	INSTANTANEO
39	TUBULAR	B. CALIDO DE LUJO	3,200	12,000	82	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	117.00	INSTANTANEO
39	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,100	12,000	77	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	121.92	INSTANTANEO
39	TUBULAR	LUZ DE DIA	2,600	12,000	64	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	121.92	INSTANTANEO
40	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,150	12,000	79	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.92	RAPIDO
40	TUBULAR	LUZ DE DIA	2,600	12,000	65	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.92	RAPIDO
31	TIPO "U" 1 5/8"	BLANCO FRIO	2,800	20,000	90	0.90	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	57.15	RAPIDO
32	TIPO "U" 6"	BLANCO FRIO	3,000	20,000	94	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	57.15	RAPIDO
40	TIPO "U" 6"	BLANCO FRIO	2,900	12,000	73	0.84	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	57.15	RAPIDO
59	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,000	15,000	102	0.81	SLIMLINE UN ALFILER	T-8	243.84	INSTANTANEO
60	TUBULAR	B. FRIO DE LUJO	6,100	12,000	102	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO
60	TUBULAR	BLANCO CALIDO	6,100	12,000	102	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO
75	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,300	12,000	84	0.89	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO
75	TUBULAR	LUZ DE DIA	5,450	12,000	73	0.89	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO

Anexo 11 Datos de lámparas.

DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

WATTS	ACABADO	LUMENES		VIDA EN		EFICACIA LUMENES/WATTS (L.L.D.)	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS
		INICIALES	HORAS	HORAS	HORAS					
100	BLANCO DE LUJO	4,400				44	0.82		BT-25	19.10
175	BLANCO DE LUJO	8,500				49	0.89		E-28	21.00
250	BLANCO DE LUJO	12,775		24,000		51	0.84	MOGUL	E-28	21.00
400	BLANCO DE LUJO	23,000				58	0.86		BT-37	29.20
1000	BLANCO DE LUJO	63,000				63	0.77		BT-56	39.00

DATOS DE LAMPARAS DE ADITIVOS METALICOS

70	CLARO	5,200	15,000V - 10,000H			74	0.81	E-26	ED-17	14.60
70	FOSFORADO	4,800	15,000V - 10,000H			74	0.75	E-26	ED-17	14.60
100	CLARO	7,800	10,000V - 7,500H			78	0.75	E-26	ED-17	14.60
100	FOSFORADO	8,000	15,000V - 10,000H			78	0.73	E-26	ED-17	14.60
175	CLARO	14,000	10,000V - 7,500H			80	0.77		BT-28	21.10
175	FOSFORADO	13,000	10,000V - 7,500H			80	0.73		BT-28	21.10
250	CLARO	22,000V-20,000H	10,000			82	0.83		BT-28	21.10
250	FOSFORADO	22,000V-20,000H	10,000			82	0.78		BT-28	21.10
400	CLARO	36,000V-32,000H	20,000V - 15,000H			90	0.75		BT-37	29.20
400	FOSFORADO	36,000V-32,000H	20,000V - 15,000H			90	0.72	MOGUL	BT-37	29.20
400	CLARO	40,000	20,000			100	0.80		BT-37	29.20*
1000	CLARO	110,000V-107,800H	12,000V - 9,000H			110	0.80		BT-56	39.00
1000	FOSFORADO	105,000 V-100,000H	12,000V - 9,000H			105	0.78		BT-56	39.00
1500	CLARO	155,000V	3,000			103	0.92		BT-56	39.00*
1500	CLARO	155,000V-150,000H	3,000			103	0.92		BT-56	39.00**

DATOS DE LAMPARAS DE HALOGENUROS METALICOS "H.Q.I."

70	BLANCO CALIDO	5,200	10,000			74	0.80	G-12	SINGLE ENDED "T"	8.40
70	BLANCO FRIO	5,500	10,000			79	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	11.42
70	BLANCO CALIDO	5,000	10,000			71	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	11.42
150	BLANCO CALIDO	12,000	10,000			80	0.80	G-12	SINGLE ENDED "T"	8.40
150	BLANCO FRIO	12,500	10,000			83	0.80	G-12	SINGLE ENDED "T"	8.40
150	BLANCO CALIDO	11,000	10,000			73	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	13.20
150	BLANCO FRIO	11,250	10,000			75	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	13.20
250	LUZ DE DIA	19,000	10,000			76	0.80	MOGUL	T-14	22.50
400	LUZ DE DIA	33,000	10,000			83	0.80	MOGUL	T-14	28.50

* BASE ARRIBA

** BASE ABAJO

Anexo 12 Datos de lámparas.

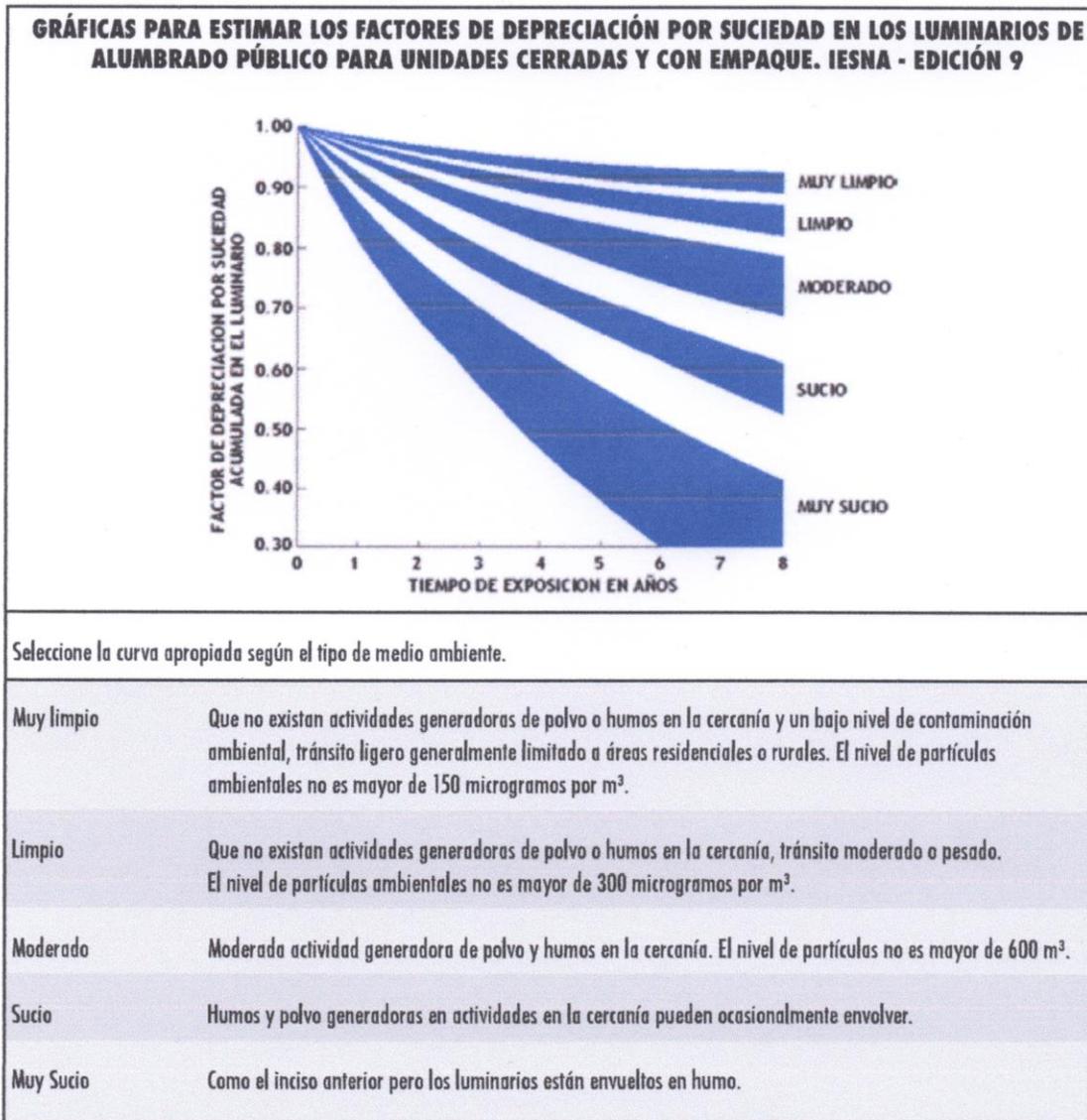
DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO ALTA PRESION (STÁNDAR)

WATTS	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS
35	CLARO	2,250	16,000	64	0.90	MEDIUM	ED-17	13.81
50	CLARO	4,000		80	0.90	MEDIUM	ED-17	13.81
70	CLARO	6,300		90	0.90		ED-23 ½	19.70
70	DIFUSO	6,000		86	0.86		ED-23 ½	19.70
100	CLARO	9,500		95	0.90		ED-23 ½	19.70
100	DIFUSO	8,800		88	0.90		ED-23 ½	19.70
150(55V)*	CLARO	16,000		107	0.90	MOGUL	E-28	19.70
150(55V)*	DIFUSO	15,000	24,000	100	0.90		E-28	19.70
250	CLARO	27,500		110	0.90		E-18	24.80
250	DIFUSO	26,000		104	0.90		E-28	22.90
400	CLARO	50,000		125	0.90		E-18	24.80
400	DIFUSO	47,500		119	0.90		E-37	28.70
1000	CLARO	140,000		140	0.90		E-25	38.30

DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO BAJA PRESION

WATTS	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICIENCIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS
18		1,800		100				21.60
35		4,800		137			T-17	31.10
55	CLARO	8,000	18,000	145	1.00	BY22d		42.50
90		13,500		150			T-21	52.80
135		22,500		167				77.50
180		33,000		183				112.00

Anexo 13 Gráficas para estimar los factores de depreciación por suciedad en los luminarios de alumbrado público para unidades cerradas y con empaque.



Anexo 14 Clasificación de las clases de vías vehiculares de acuerdo a la serie M.

Clase de iluminación	Descripción de la vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos IMD (Veh/h)
M1	Autopistas y carreteras	Extra alta	V > 80	Muy importante IMD > 1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta	60 < V < 80	Importante 500 < IMD < 1000
M3	Vías principales y ejes viales	Media	30 < V < 60	Media 250 < IMD < 500
M4	Vías primarias o colectoras	Reducida	V < 30	Reducida 100 < IMD < 250
M5	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida IMD < 100

Recomendaciones en la implantación de la clase de iluminación.

Descripción de la vía	Clase de iluminación
<p>Vías de alta velocidad con calzadas exentas de cruces a nivel y con accesos completamente controlados: autopistas expresas.</p> <p>Densidad del tráfico y complejidad de la vía.</p> <p>Alto IMD > 1000</p> <p>Medio 500 < IMD < 1000</p> <p>Bajo IMD < 500</p>	<p>M1</p> <p>M2</p> <p>M3</p>
<p>Vías de alta velocidad con doble sentido de circulación.</p> <p>Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía.</p> <p>Escaso</p> <p>Suficiente.</p>	<p>M1</p> <p>M2</p>
<p>Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras.</p> <p>Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía.</p> <p>Escaso</p> <p>bueno</p>	<p>M2</p> <p>M3</p>
<p>Conectores de vías de poca importancia, vías distribuidoras locales, vías de acceso a zonas residenciales. Vías que conducen a las propiedades y a las otras vías conectoras.</p> <p>Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía.</p> <p>Densidad de tráfico y complejidad de la vía.</p> <p>Escaso</p> <p>Bueno</p>	<p>M4</p> <p>M5</p>