



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

"ILUMINACIÓN E INSTALACIONES ELÉCTRICAS,  
CRITERIO PARA EL CÁLCULO DE ILUMINACIÓN  
DE LA VIALIDAD DEL DESARROLLO TURÍSTICO  
NOPOLÓ BAJA CALIFORNIA SUR"

**TRABAJO DE SEMINARIO**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

FRANCISCO ADYEL NIETO SALAZAR

ASESOR: ING. CASILDO RODRÍGUEZ ARCINIEGA

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E

ATN. Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario

"Iluminación e Instalaciones Eléctricas, Criterio para el  
Cálculo de Iluminación de la Vialidad del Desarrollo  
Turístico Nopoló Baja California Sur."

que presenta el pasante Francisco Adyel Nieto Salazar  
con número de cuenta: 9114792-5 para obtener el título de  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 9 de Septiembre de 2002

MODULO

PROFESOR

FIRMA

II

M. en AI. Pedro Guzmán Tinajero

III

Ing. Casildo Rodríguez Arciniega

IV

Ing. Ramón Osorio Galicia

**A DIOS:**

Por guiarme y ponerme en el sendero correcto.

**A MI MADRE:**

Quien me dedicó toda una vida, gracias por el enorme sacrificio que has tenido conmigo. Ten la seguridad que no fallaré a la confianza que has depositado en mi.

**A MI PADRE:**

Quien me brindó su apoyo, consejos, y en los momentos difíciles me alentó a seguir adelante.

**A MI FAMILIA:**

Por estar siempre pendiente y brindarme su apoyo en buenos y difíciles momentos.

**A MIS AMIGOS:**

Y a todas las personas que de alguna manera han contribuido en mi desarrollo personal y profesional.

# INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>LUZ Y VISIÓN .....</b>	<b>3</b>
1.1 LA LUZ.....	3
1.1.1 El espectro electromagnético .....	3
1.1.2 Propiedades de la luz.....	4
1.2 LA VISIÓN.....	6
1.2.1 Fisiología del ojo humano.....	7
1.2.2 El proceso visual y sus características .....	7
1.2.3 Factores que influyen en la visión. ....	11
1.3 EL COLOR.....	13
1.3.1 El color como fenómeno físico.....	13
1.3.2 El color como fenómeno sensorial.....	14
<b>CAPITULO II</b>	
<b>FOTOMETRÍA .....</b>	<b>16</b>
II.1 MAGNITUDES Y UNIDADES DE MEDIDA .....	16
II.1.1 Flujo luminoso .....	16
II.1.2 Intensidad luminosa.....	17
II.1.3 Iluminancia .....	18
II.1.4 Luminancia .....	19
II.1.5 Eficiencia luminosa.....	20
II.2 GRÁFICOS Y DIAGRAMAS .....	21
II.2.1 Diagrama polar o curvas de distribución luminosa .....	21
II.2.2 Diagramas isocandela.....	22
II.2.3 Curvas isolux .....	23
<b>CAPITULO III</b>	
<b>LÁMPARAS Y LUMINARIAS.....</b>	<b>25</b>
III.1 LÁMPARAS INCANDESCENTES.....	25
III.1.1 La incandescencia .....	25
III.1.2 Características de una lámpara incandescente .....	27
III.1.3 Factores externos que influyen en el funcionamiento de las lámparas .....	29
III.1.4 Partes de una lámpara .....	30
III.1.5 Tipos de lámparas .....	30
III.2 LÁMPARAS DE DESCARGA .....	32
III.2.1 Funcionamiento .....	32
III.2.2 Características cromáticas .....	35
III.2.3 Características de duración .....	36

III.2.3 Características de duración.....	36
III.2.4 Factores externos que influyen en el funcionamiento .....	36
III.2.5 Partes de una lámpara.....	37
III.3 CLASES DE LÁMPARAS DE DESCARGA.....	37
III.3.1 Lámparas de vapor de mercurio .....	38
III.3.2 Lámparas de vapor de sodio.....	45
III.4 LUMINARIAS.....	49
III.4.1 Clasificación.....	50
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>ALUMBRADO PÚBLICO.....</b>	<b>52</b>
IV.1 CLASIFICACIÓN DE LUMINARIOS PARA ALUMBRADO PÚBLICO .....	52
IV.1.1 Clasificación según el tipo de curva (distribución de la luz vertical)....	53
IV.1.2 Clasificación según la distribución de iluminación (Control de la distribución de la luz) .....	55
IV.2 DISPOSICIÓN DE LAS LUMINARIAS EN LA VÍA.....	57
<b>CAPITULO V</b>	
<b>CALCULO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO .....</b>	<b>65</b>
V.1 MÉTODO DE LOS LÚMENES O DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN .....	65
V.2 CALCULO DE ILUMINACIÓN POR SOFTWARE .....	74
<b>CAPITULO VI</b>	
<b>PROYECTO DE ILUMINACIÓN .....</b>	<b>77</b>
VI.1 UBICACIÓN DEL DESARROLLO TURÍSTICO NOPOLÓ.....	77
VI.2 CÁLCULO DE ILUMINACIÓN POR EL MÉTODO DE LUMEN. ....	80
VI.2.1 Iluminación de la Vialidad A.....	80
VI.2.2 Iluminación de la Vialidad B.....	88
VI.2.3 Iluminación de la Vialidad C.....	91
VI.2.4 Iluminación de la Vialidad D.....	95
VI.3 CÁLCULO DE ILUMINACIÓN POR SOFTWARE.....	99
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>120</b>

# Introducción

La luz artificial juega un papel muy importante en la actualidad, debido a que sin ella no podríamos realizar actividades nocturnas, ni muchas de las que se realizan durante el día; esto es, que la luz artificial no solo debe asociarse con la comodidad que nos proporciona, si no también la seguridad que nos brinda al contar con vías de comunicación bien iluminadas, señalizaciones, etc., como lo es en el alumbrado público. Este último tiene como finalidad satisfacer las condiciones básicas de iluminación de calles y el servicio a peatones y vehículos en vialidades, así como en espacios públicos: plazas, parques y jardines.

Una instalación de alumbrado público crea un ambiente que permite una visibilidad clara e identificación precisa de las personas y objetos en las vías transitadas.

Esto trae consigo una reducción en los accidentes vehiculares y/o peatonales durante las horas nocturnas. Además al permitir la supervisión y seguridad de las vías, se promueve su uso comercial e industrial durante las noches.

Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de vías públicas existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento, confort visual, etc.). Afortunadamente, hoy día estos cálculos están muy mecanizados y no es necesario tener profundos conocimientos en la materia para realizarlos. No obstante, es recomendable tener nociones de algunos de ellos para comprender mejor la mecánica de cálculo; en este trabajo se tocan algunos de estos temas.

Para los cálculos de la iluminación de las vialidades, éstas últimas se tomaron del plano del desarrollo turístico de Nopoló, que se encuentra en Baja California Sur; este desarrollo se encuentra a cargo del Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR), que fue creado por el Gobierno Federal, y tiene por objeto participar en la programación, fomento y desarrollo del turismo; dentro de sus funciones FONATUR realiza, entre otras actividades, estudios y proyectos que permitan identificar las áreas territoriales susceptibles de ser explotadas en proyectos turísticos; crear y consolidar centros turísticos; ejecutar obras de infraestructura y realizar edificaciones e instalaciones en centros de desarrollo turístico. El plano mencionado se pudo obtener debido a la estancia en ésta paraestatal durante la realización del servicio social en la Subgerencia de Coordinación Regional.

# Capítulo I

## Luz y Visión

### I.1 La Luz

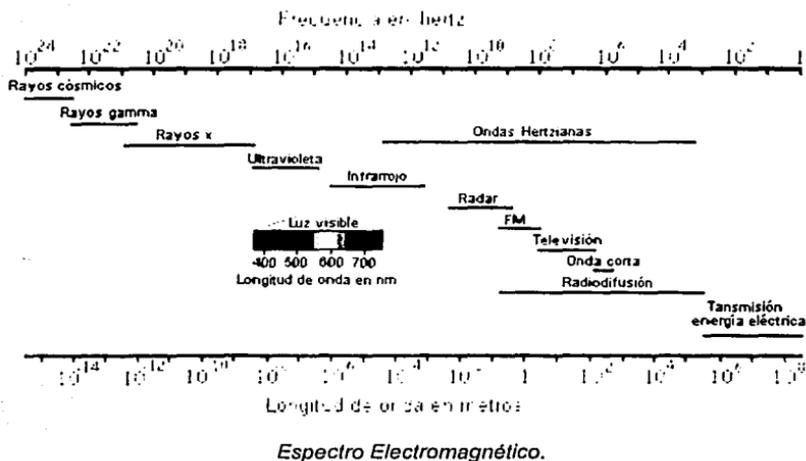
La luz, que llega a nuestros ojos y nos permite ver, es un conjunto de radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 770 nm.

#### I.1.1 El espectro electromagnético

La luz forma parte del espectro electromagnético que comprende tipos de ondas tan dispares como los rayos cósmicos, los rayos gamma, los ultravioletas, los infrarrojos y las ondas de radio o televisión entre otros. Cada una de ellas comprende un intervalo definido por una magnitud característica que puede ser la longitud de onda ( $\lambda$ ) o la frecuencia ( $f$ ). La relación entre ambas es:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s).



### 1.1.2 Propiedades de la luz

Cuando la luz encuentra un obstáculo en su camino choca contra la superficie de este y una parte es reflejada. Si el cuerpo es opaco el resto de la luz será absorbida. Si es transparente una parte será absorbida y el resto atravesará el cuerpo. Así pues, tenemos tres posibilidades:

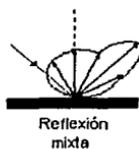
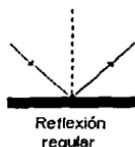
Reflexión.

Transmisión - refracción

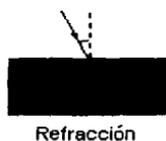
Absorción

La **reflexión** es un fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes (ya sean gases como la atmósfera, líquidos como el agua o sólidos). La dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie. Si es una superficie brillante o pulida se produce la reflexión regular en que toda la luz sale en una única

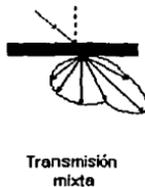
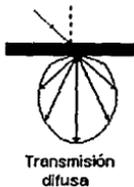
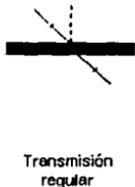
dirección. Si la superficie es mate y la luz sale desperdigada en todas direcciones se llama reflexión difusa. Por último, está el caso intermedio, reflexión mixta, en que predomina una dirección sobre las demás. Esto se da en superficies metálicas sin pulir, barnices, papel brillante, etc.



La **refracción** se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente.



La **transmisión** se puede considerar una doble refracción. Si pensamos en un cristal; la luz sufre una primera refracción al pasar del aire al vidrio, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar de nuevo al aire. Si después de este proceso el rayo de luz no es desviado de su trayectoria se dice que la transmisión es regular como pasa en los vidrios transparentes. Si se difunde en todas direcciones tenemos la transmisión difusa que es lo que pasa en los vidrios translúcidos. Y si predomina una dirección sobre las demás tenemos la mixta como ocurre en los vidrios orgánicos o en los cristales de superficie labrada.



**La absorción** es un proceso muy ligado al color. El ojo humano sólo es sensible a las radiaciones pertenecientes a un pequeño intervalo del espectro electromagnético. Son los colores que mezclados forman la luz blanca.

<b>Tipo de radiación</b>	<b>Longitudes de onda (nm)</b>
Violeta	380-436
Azul	436-495
Verde	495-566
Amarillo	566-589
Naranja	589-627
Rojo	627-770

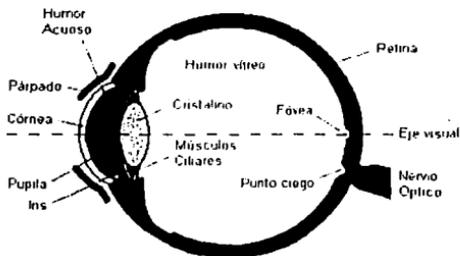
Cuando la luz blanca choca con un objeto una parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie y el resto son reflejados. Las componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos. Si las refleja todas es blanco y si las absorbe todas es negro. Un objeto es rojo porque refleja la luz roja y absorbe las demás componentes de la luz blanca. Si iluminamos el mismo objeto con luz azul lo veremos negro porque el cuerpo absorbe esta componente y no refleja ninguna.

## **1.2 La Visión**

El ojo humano es un órgano sensitivo muy complejo que recibe la luz procedente de los objetos, la enfoca sobre la retina formando una imagen y la transforma en información comprensible para el cerebro. La existencia de dos ojos nos permite una visión panorámica y binocular y la capacidad del cerebro para combinar ambas imágenes produce una visión tridimensional o estereoscópica.

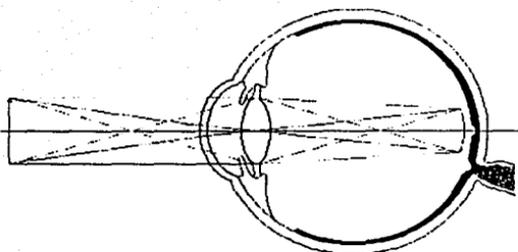
## 1.2.1 Fisiología del ojo humano

El ojo humano está formado por un grupo óptico (la córnea, el iris, la pupila y el cristalino), un fotorreceptor (la retina) y otros elementos accesorios encargados de diversas tareas como protección, transmisión de información nerviosa, alimentación, mantenimiento de la forma, etc.



## 1.2.2 El proceso visual y sus características

A menudo, se compara el funcionamiento del ojo con el de una cámara fotográfica. La pupila actúa de diafragma, la retina de película, la córnea de lente y el cristalino se equipara a acercar o alejar la cámara del objeto para conseguir un buen enfoque. Al igual que en la cámara de fotos, en la retina la imagen se forma invertida aunque para el cerebro es como si no lo estuviera.

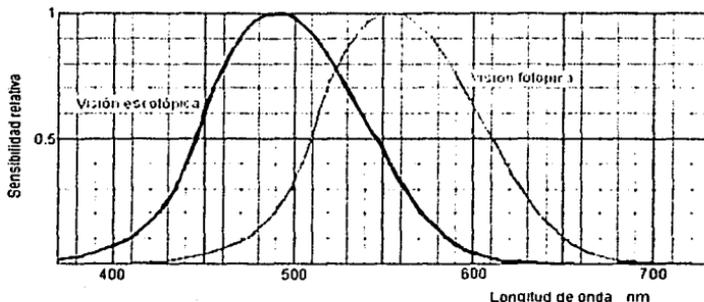


Formación de la imagen en el ojo

### La sensibilidad y los tipos de visión.

La cantidad de luz juega un papel importante en la visión. En condiciones de buena iluminación (más de  $3 \text{ cd/m}^2$ ) como ocurre de día, la visión es nítida, detallada y se distinguen muy bien los colores; es la **visión fotópica**. Para niveles inferiores a  $0.25 \text{ cd/m}^2$  desaparece la sensación de color y la visión es más sensible a los tonos azules y a la intensidad de la luz. Es la llamada **visión escotópica**. En situaciones intermedias, la capacidad para distinguir colores disminuye a medida que baja la cantidad de luz pasando de una gran sensibilidad hacia el amarillo a una hacia el azul. Es la **visión mesiópica**.

En estas condiciones, se definen unas **curvas de sensibilidad del ojo** a la luz visible para un determinado observador patrón que tiene un máximo de longitud de onda de **555 nm** (amarillo verdoso) para la **visión fotópica** y otro de **480 nm** (azul verdoso) para la **visión escotópica**.



*Curvas de sensibilidad del ojo.*

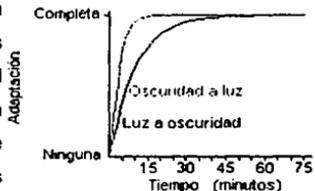
Toda fuente de luz que emita en valores cercanos al máximo de la visión diurna (555 nm) tendrá un rendimiento energético óptimo porque producirá la máxima sensación luminosa en el ojo con el mínimo consumo de energía. No obstante, si la fuente no ofrece una buena reproducción cromática puede provocar resultados contraproducentes.

### La acomodación

Se llama **acomodación** a la capacidad del ojo para enfocar automáticamente objetos situados a diferentes distancias. Esta función se lleva a cabo en el cristalino que varía su forma al efecto. Esta capacidad se va perdiendo con los años debido a la pérdida de elasticidad que sufre; es lo que se conoce como presbicia o vista cansada y hace que aumente la distancia focal y la cantidad de luz mínima necesaria para formar una imagen nítida.

## La adaptación.

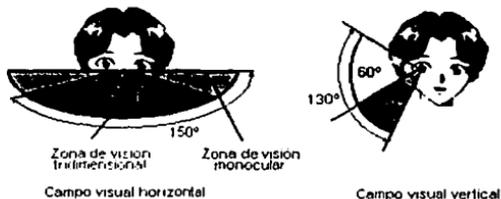
La **adaptación** es la facultad del ojo para ajustarse automáticamente a cambios en los niveles de iluminación. Se debe a la capacidad del iris para regular la abertura de la pupila y a cambios fotoquímicos en la retina. Para pasar de ambientes oscuros a luminosos el proceso es muy rápido pero en caso contrario es mucho más lento. Al cabo de un minuto se tiene una adaptación aceptable. A medida que pasa el tiempo, vemos mejor en la oscuridad.



## El campo visual

El ojo humano dispone de un **campo visual**. Cada ojo ve aproximadamente  $150^\circ$  sobre el plano horizontal y con la superposición de ambos se abarcan los  $180^\circ$ . Sobre el plano vertical son unos  $130^\circ$ ,  $60^\circ$  por encima de la horizontal y  $70^\circ$  por debajo.

El campo visual de cada ojo es de tipo monocular, sin sensación de profundidad, siendo la visión en la zona de superposición de ambos campos del tipo binocular. La sensación de profundidad o visión tridimensional se produce en el cerebro cuando este superpone e interpreta ambas imágenes.

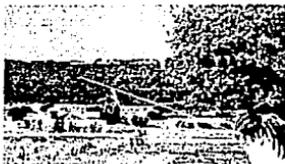


### 1.2.3 Factores que influyen en la visión.

Los factores externos que influyen sobre la formación de una buena imagen en la retina pueden dividirse en dos clases: los subjetivos y los objetivos. Los primeros dependen del propio individuo como su salud visual, el nivel de atención en lo que mira, si está en reposo o en movimiento o la comodidad visual. Los segundos dependen de lo que estemos mirando, del objeto visual. Son los factores objetivos y son el tamaño, la agudeza visual, el contraste y el tiempo.

#### El tamaño.

El tamaño aparente de un cuerpo en relación con el resto de los elementos que forman el campo visual es un factor importante para distinguirlo con rapidez. Si analizamos las fotos, vemos que la iglesia de la foto de la izquierda parece más pequeña que la de la derecha. Comparada con otros objetos más cercanos, como el árbol que hay en primer plano, parece pequeña. Pero vista de cerca parece muy grande. El ángulo visual del ojo abarcado por la construcción respecto al ocupado por el fondo ha aumentado.



Objeto lejano.



Objeto cercano.

## La agudeza visual

La **agudeza visual** es la capacidad de distinguir entre objetos muy próximos entre sí. Es una medida del detalle más pequeño que podemos diferenciar y está muy influenciada por el nivel de iluminación. Si este es bajo como ocurre de noche cuesta mucho distinguir cosas al contrario de lo que ocurre de día.



*Influencia del nivel de iluminación sobre la agudeza visual.*

## El contraste

El **contraste** se produce por diferencias entre colores o luminancias (porción de luz reflejada por un cuerpo que llega al ojo) entre un elemento del campo visual y el resto. Mientras mayor sea mejor se verá, se distinguen más detalles y hay menos fatiga para la vista. Una buena iluminación ayuda mucho y puede llegar a compensar bajos contrastes en colores aumentando la luminancia.

Compruebe  
el contraste  
entre el texto

## El tiempo

El ojo dispone de mecanismos para enfocar la imagen y transmitirla al cerebro. Este proceso requiere un cierto **tiempo**. Si el objeto está en movimiento y hay un alto nivel de iluminación, la inercia visual provocará la impresión de una sucesión de imágenes fijas. Es el llamado **efecto estroboscópico**. Por otro lado, mientras más tiempo dispongamos para ver una imagen, más nítida y detallada será. Con una buena iluminación podremos reducirlo y aumentar la **velocidad de percepción**.

## 1.3 El color

Al hablar del color hay que distinguir entre el fenómeno físico donde intervienen la luz y la visión (sensibilidad y contraste) y el fenómeno sensorial.

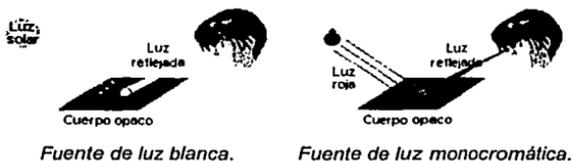
### 1.3.1 El color como fenómeno físico

La **luz blanca** del sol está formada por la unión de los colores del arco iris, cada uno con su correspondiente longitud de onda. Los colores van del violeta (380 nm) hasta el rojo (770 nm).

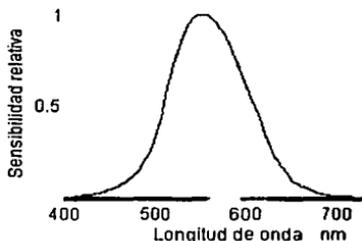
Color	Longitud de onda (nm)
Violeta	380-436
Azul	436-495
Verde	495-566
Amarillo	566-589
Naranja	589-627
Rojo	627-770

*Distribución espectral aproximada*

Cuando un cuerpo opaco es iluminado por luz blanca refleja un color o una mezcla de estos absorbiendo el resto. Las radiaciones luminosas reflejadas determinarán el color con que nuestros ojos verán el objeto. Si las refleja todas será blanco y si las absorbe todas negro. Si, por el contrario, usamos una fuente de luz monocromática o una de espectro discontinuo, que emita sólo en algunas longitudes de onda, los colores se verán deformados.



El ojo humano no es igual de **sensible** a todas las longitudes de onda que forman la luz diurna. De hecho, tiene su máximo para un valor de 555 nm que corresponde a un tono amarillo verdoso. A medida que nos alejamos del máximo hacia los extremos del espectro (rojo y violeta) esta va disminuyendo. Es por ello que las señales de peligro y advertencia, la iluminación de emergencia o las luces antiniebla son de color amarillo.



### 1.3.2 El color como fenómeno sensorial

El color como otras sensaciones que percibimos a través de los sentidos está sometida a criterios de análisis subjetivos. Depende de las preferencias personales, su relación con otros colores y formas dentro del campo visual (el contraste, la extensión que ocupa, la iluminación recibida, la armonía con el ambiente...), el estado de ánimo y de salud, etc.

Tradicionalmente distinguimos entre **colores fríos** y **cálidos**. Los primeros son los violetas, azules y verdes oscuros. Dan la impresión de frescor, tristeza, recogimiento y reducción del espacio. Por contra, los segundos, amarillos, naranjas, rojos y verdes claros, producen sensaciones de alegría, ambiente estimulante y acogedor y de amplitud de espacio.

**Sensaciones asociadas a los colores.**

Blanco	Frialdad, higiene, neutralidad.
Amarillo	Actividad, impresión, nerviosismo.
Verde	Calma, reposo, naturaleza.
Azul	Frialdad.
Negro	Inquietud, tensión.
Marrón	Calidez, relajación.
Rojo	Calidez intensa, excitación, estimulante.

# Capítulo II

## Fotometría

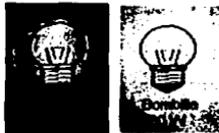
Con la fotometría se pretende definir herramientas de trabajo, magnitudes y gráficos, para la luz con las que se podrán realizar los cálculos de iluminación.

### II.1 Magnitudes y unidades de medida.

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía. La energía se mide en joules (J) en el Sistema Internacional. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa, ni toda la energía que consume, por ejemplo, una bombilla se convierte en luz. A continuación se definen algunas magnitudes:

#### II.1.1 Flujo luminoso

Se consideran dos bombillas, una de 25 W y otra de 60 W. Está claro que la de 60 W dará una luz más intensa.



Cuando hablamos de 25 W o 60 W nos referimos sólo a la potencia consumida por la bombilla de la cual solo una parte se convierte en luz visible, es el llamado flujo luminoso.

Se define el **flujo luminoso** como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es  $\Phi$  y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre watts y lúmenes se le llama **equivalente luminoso de la energía** y equivale a:

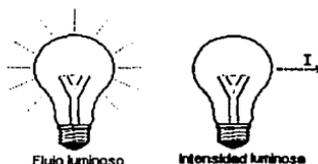
$$1 \text{ watt-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

Flujo luminoso

Símbolo:  $\Phi$   
Unidad: lumen (lm)

### II.1.2 Intensidad luminosa.

El flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, en todas las direcciones del espacio. Por el contrario, si pensamos en un proyector es fácil ver que sólo ilumina en una dirección.



*Diferencia entre flujo e 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).

Intensidad luminosa

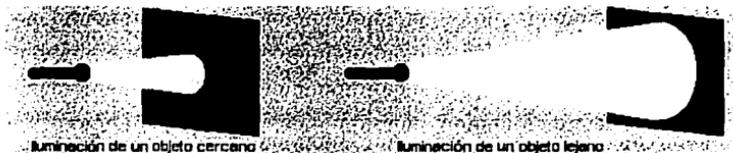
$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

Símbolo:  $I$   
Unidad: candela (cd)



### II.1.3 Iluminancia

Si se pone la mano delante de la linterna podemos ver esta fuertemente iluminada por un círculo pequeño y si se ilumina una pared lejana el círculo es grande y la luz débil.



Concepto de iluminancia.

Se define **iluminancia** como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es  $E$  y su unidad el lux (lx) que es un  $\text{lm}/\text{m}^2$ .

$$\begin{array}{ll} \text{Iluminancia} & \text{Símbolo: } E \\ E = \frac{\Phi}{S} & \text{Unidad: lux (lx)} \end{array} \quad \text{lux} = \frac{\text{lumen}}{\text{m}^2}$$

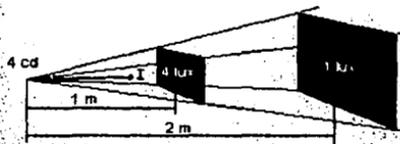
Existe también otra unidad, el *foot-candle* (fc), cuya relación con el lux es:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ fc} = 10.76 \text{ lx} \\ 1 \text{ lx} = 0.093 \text{ fc} \end{array}$$

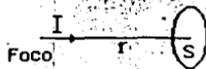
En el ejemplo de la linterna ya pudimos ver que la iluminancia depende de la distancia del foco al objeto iluminado. Lo que ocurre con la iluminancia se conoce por la ley inversa de los cuadrados que relaciona la intensidad luminosa ( $I$ ) y la distancia a la fuente. Esta ley sólo es válida si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie.

Ley inversa de los cuadrados

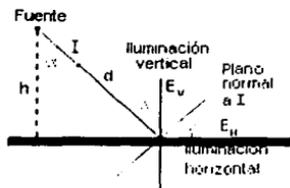
$$E = \frac{I}{r^2}$$



$$\text{Iluminancia} = \frac{\text{Intensidad luminosa}}{\text{Cuadrado distancia}}$$



Cuando el rayo no es perpendicular, hay que descomponer la iluminancia recibida en una componente horizontal y en otra vertical a la superficie.



$$E_H = \frac{I \cdot \cos \alpha}{d^2}$$

$$E_v = \frac{I \cdot \sin \alpha}{d^2} = E_H \cdot \tan \alpha$$

A la componente horizontal de la iluminancia ( $E_H$ ) se le conoce como la ley de los cosenos. Es fácil ver que si  $\alpha = 0$  nos queda la ley inversa de los cuadrados. Si expresamos  $E_H$  y  $E_v$  en función de la distancia del foco a la superficie ( $h$ ) nos queda:

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$

$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}$$

#### II.1.4 Luminancia

Se llama **luminancia** a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es  $L$  y su unidad es la  $\text{cd}/\text{m}^2$ . También es posible encontrar otras unidades como el stilb ( $1 \text{ sb} = 1 \text{ cd}/\text{m}^2$ ) o el nit ( $1 \text{ nt} = 1 \text{ cd}/\text{cm}^2$ ).

**Luminancia**

$$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}} = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}$$

Símbolo: L  
Unidad: cd/m<sup>2</sup>



Es importante destacar que sólo vemos luminancias, no iluminancias.

### II.1.5 Eficiencia luminosa

Se mencionó al hablar del flujo luminoso que no toda la energía eléctrica consumida por una lámpara se transformaba en luz visible. Parte se pierde por calor, parte en forma de radiación no visible, etc.



Para poder darse una idea de la porción de energía útil se define el **rendimiento luminoso** como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida (W). Mientras mayor sea mejor será la lámpara y menos gastará. La unidad es el lumen por watt (lm/W).

Rendimiento  
luminoso  
 $\eta = \frac{\Phi}{W}$

Símbolo:  $\eta$   
Unidad:  
lm / W

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Potencia consumida}}$$

## II.2 Gráficos y Diagramas

A continuación veremos los gráficos más habituales:

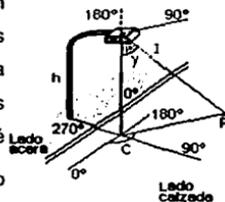
Diagrama polar ó curvas de distribución luminosa.

Diagrama isocandela.

Curva isolux.

### II.2.1 Diagrama polar o curvas de distribución luminosa

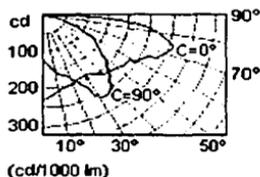
La intensidad luminosa se representa mediante un sistema de tres coordenadas ( $I, C, \gamma$ ). La primera de ellas  $I$  representa el valor numérico de la intensidad luminosa en candelas e indica la longitud del vector mientras las otras señalan la dirección. El ángulo  $C$  nos dice en qué plano vertical estamos y  $\gamma$  mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. En este último,  $0^\circ$  señala la vertical hacia abajo,  $90^\circ$  la horizontal y  $180^\circ$  la vertical hacia arriba. Los valores de  $C$  utilizados en las gráficas no se suelen indicar salvo para el alumbrado público. En este caso, los ángulos entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  quedan en el lado de la calzada y los comprendidos entre  $180^\circ$  y  $360^\circ$  en la acera;  $90^\circ$  y  $270^\circ$  son perpendiculares al bordillo y caen respectivamente en la calzada y en la acera.



En la **curva de distribución luminosa**, los radios representan el ángulo  $\gamma$  y las circunferencias concéntricas el valor de la intensidad en candelas. De todos los planos verticales posibles identificados por el ángulo  $C$ , solo se suelen representar los planos verticales correspondientes a los planos de simetría y los transversales a estos ( $C = 0^\circ$  y  $C = 90^\circ$ ) y aquel en que la lámpara tiene su máximo de intensidad. Para evitar tener que hacer un gráfico para cada lámpara cuando solo varía la potencia de esta, los gráficos se normalizan para una lámpara de

referencia de 1000 lm. Para conocer los valores reales de las intensidades bastará con multiplicar el flujo luminoso real de la lámpara por la lectura en el gráfico y dividirlo por 1000 lm.

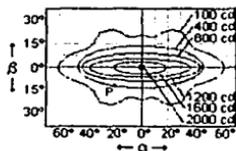
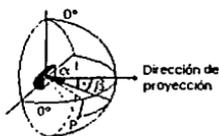
$$I_{\text{real}} = \Phi_{\text{lámpara}} \frac{I_{\text{gráfico}}}{1000}$$



## II.2.2 Diagramas isocandela.

En los **diagramas isocandelas** se representan en un plano, mediante curvas de nivel, los puntos de igual valor de la intensidad luminosa. Cada punto indica una dirección del espacio definida por dos coordenadas angulares.

Se utiliza un sistema de coordenadas rectangulares con ángulos en lugar de  $x$  y  $y$ . Para situar una dirección se utiliza un sistema de meridianos y paralelos. El paralelo  $0^\circ$  se hace coincidir con el plano horizontal que contiene la dirección del haz de luz y el meridiano  $0^\circ$  con el plano perpendicular a este. Cualquier dirección, queda pues, definida por sus dos coordenadas angulares. Conocidas estas, se sitúan los puntos sobre el gráfico y se unen aquellos con igual valor de intensidad luminosa formando las **líneas isocandelas**.



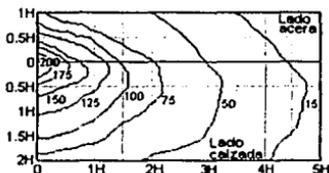
## II.2.3 Curvas isolux

Las curvas isolux hacen referencia a las iluminancias, que es el flujo luminoso recibido por una superficie, los datos se obtienen experimentalmente o por calculo a partir de la matriz de intensidades usando la fórmula:

$$E_H = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cos^3 \gamma$$

Estos gráficos son muy útiles porque dan información sobre la cantidad de luz recibida en cada punto de la superficie de trabajo y son utilizadas especialmente en el alumbrado público donde de un vistazo nos podemos hacer una idea de como iluminan las luminarias la calle.

Lo más habitual es expresar las **curvas isolux en valores absolutos definidas para una lámpara de 1000 lm y una altura de montaje de 1 m.**



Los valores reales se obtienen a partir de las curvas usando la expresión:

$$E_{H_{real}} = E_{curva} \cdot \frac{\Phi_{L_{real}}}{1000} \cdot \frac{1^2}{H^2}$$

También puede expresarse en **valores relativos a la iluminancia máxima (100%) para cada altura de montaje.** Los valores reales de la iluminancia se calculan entonces como:

$$E_{real} = E_{curva} \cdot E_{m\acute{a}x}$$

con

$$E_{\max} = a \cdot \frac{\Phi_{L_{\text{real}}}}{H^2}$$

siendo  $a$  un parámetro suministrado con las gráficas.

# **Capitulo III**

## **Lámparas y Luminarias**

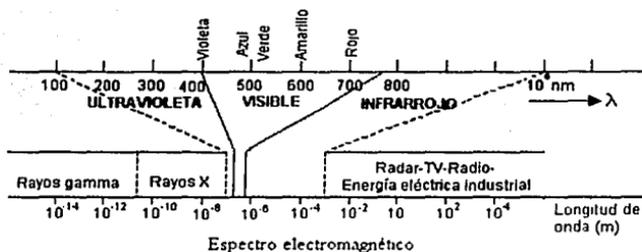
Para iluminar espacios carentes de luz es necesaria la presencia de fuentes de luz artificiales (lámparas), y aparatos que sirvan de soporte y distribuyan adecuadamente la luz (luminarias). De esta forma es posible vencer las limitaciones que la naturaleza impone a las actividades humanas.

### **III.1 Lámparas Incandescentes**

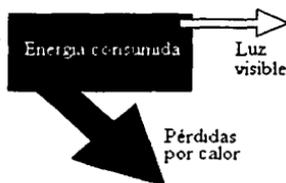
Las lámparas incandescentes fueron la primera forma de generar luz a partir de la energía eléctrica. Su principio de funcionamiento es simple, se pasa una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano.

#### **III.1.1 La incandescencia**

Todos los cuerpos calientes emiten energía en forma de radiación electromagnética. Mientras más alta sea su temperatura mayor será la energía emitida y la porción del espectro electromagnético ocupado por las radiaciones emitidas. Si el cuerpo pasa la temperatura de incandescencia una buena parte de estas radiaciones caerán en la zona visible del espectro y obtendremos luz.



La incandescencia se puede obtener de dos maneras. La primera es por combustión de alguna sustancia. La segunda es pasando una corriente eléctrica a través de un hilo conductor muy delgado como ocurre en las bombillas corrientes. Tanto de una forma como de otra, obtenemos luz y calor. En general los rendimientos de este tipo de lámparas son bajos debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor.



*Rendimiento de una lámpara incandescente*

La producción de luz mediante la incandescencia tiene una ventaja adicional, y es que la luz emitida contiene todas las longitudes de onda que forman la luz visible o dicho de otra manera, su espectro de emisiones es continuo. De esta manera se garantiza una buena reproducción de los colores de los objetos iluminados.

### III.1.2 Características de una lámpara incandescente

Entre los parámetros que sirven para definir una lámpara tenemos las características fotométricas: la intensidad luminosa, el flujo luminoso y el rendimiento o eficiencia. Además de estas, existen otros que nos informan sobre la calidad de la reproducción de colores y los parámetros de duración de las lámparas.

#### **Características cromáticas**

Los colores que vemos con nuestros ojos dependen en gran medida de las características cromáticas de las fuentes de luz. No se ve igual una calle de noche iluminada por lámparas de luz blanca que con lámparas de luz amarilla.

A la hora de describir las cualidades cromáticas de las fuentes de luz se consideran dos aspectos. El primero trata sobre el color que presenta la fuente. Y la descripción de cómo son reproducidos los colores de los objetos iluminados por esta.

La **temperatura de color** hace referencia al color de la fuente luminosa. Su valor coincide con la temperatura a la que un cuerpo negro tiene una apariencia de color similar a la de la fuente considerada. Esto se debe a que sus espectros electromagnéticos respectivos tienen una distribución espectral similar.

El **rendimiento en color**, hace referencia a cómo se ven los colores de los objetos iluminados. Los objetos iluminados por lámparas fluorescentes no se ven del mismo tono que aquellos iluminados por incandescentes. En el primer caso destacan más los tonos azules mientras que en el segundo lo hacen los rojos. Esto se debe a que la luz emitida por cada una de estas lámparas tiene un alto porcentaje de radiaciones monocromáticas de color azul o rojo.



### Características de duración

La duración de una lámpara viene determinada básicamente por la temperatura de trabajo del filamento. Mientras más alta sea esta, mayor será el flujo luminoso pero también la velocidad de evaporación del material que forma el filamento. Las partículas evaporadas, cuando entren en contacto con las paredes se depositarán sobre estas, ennegreciendo la ampolla. De esta manera se verá reducido el flujo luminoso por suciedad de la ampolla. Pero, además, el filamento se habrá vuelto más delgado por la evaporación del tungsteno que lo forma y se reducirá, en consecuencia, la corriente eléctrica que pasa por él, la temperatura de trabajo y el flujo luminoso. Esto seguirá ocurriendo hasta que finalmente se rompa el filamento. A este proceso se le conoce como depreciación luminosa.

Para determinar la **vida de una lámpara** disponemos de diferentes parámetros según las condiciones de uso definidas.

- La **vida individual** es el tiempo transcurrido en horas hasta que una lámpara se estropea, trabajando en condiciones determinadas.
- La **vida promedio** es el tiempo transcurrido hasta que se produce el fallo de la mitad de las lámparas de un lote representativo de una instalación, trabajando en unas condiciones determinadas.
- La **vida útil** es el tiempo estimado en horas.

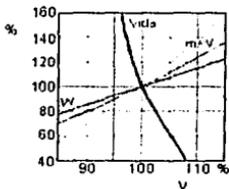
- La **vida media** es el tiempo medio que resulta tras el análisis y ensayo de un lote de lámparas trabajando en unas condiciones determinadas.

### III.1.3 Factores externos que influyen en el funcionamiento de las lámparas

Los factores externos que afectan al funcionamiento de las lámparas son la temperatura del entorno dónde esté situada la lámpara y las desviaciones en la tensión nominal en los bornes.

La **temperatura ambiente** no es un factor que influya demasiado en el funcionamiento de las lámparas incandescentes, pero sí se ha de tener en cuenta para evitar deterioros en los materiales empleados en su fabricación. En las lámparas normales hay que tener cuidado de que la temperatura de funcionamiento no exceda de los 200° C para el casquillo y los 370° C para el bulbo en el alumbrado general.

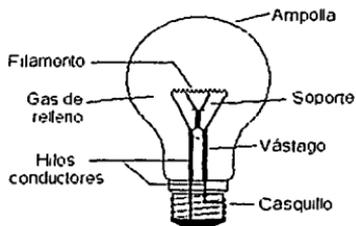
Las **variaciones de la tensión** se producen cuando aplicamos a la lámpara una tensión diferente de la tensión nominal para la que ha sido diseñada. Cuando aumentamos la tensión aplicada se produce un incremento de la potencia consumida y del flujo emitido por la lámpara pero se reduce la duración de la lámpara. Análogamente, al reducir la tensión se produce el efecto contrario.



*Efecto de las variaciones de tensión (%) sobre las características de funcionamiento de las lámparas incandescentes*

### III.1.4 Partes de una lámpara

Las lámparas incandescentes están formadas por un hilo de wolframio que se calienta por efecto Joule alcanzando temperaturas tan elevadas que empieza a emitir luz visible. Para evitar que el filamento se queme en contacto con el aire, se rodea con una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho el vacío o se ha rellenado con un gas. El conjunto se completa con unos elementos con funciones de soporte y conducción de la corriente eléctrica y un casquillo normalizado que sirve para conectar la lámpara a la luminaria.



Partes de una bombilla

### III.1.5 Tipos de lámparas

Existen dos tipos de lámparas incandescentes: las que contienen un gas halógeno en su interior y las que no lo contienen:

#### Lámparas no halógenas

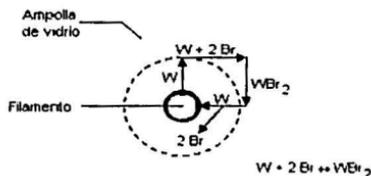
Entre las lámparas incandescentes no halógenas podemos distinguir las que se han rellenado con un gas inerte de aquellas en que se ha hecho el vacío en su interior. La presencia del gas supone un notable incremento de la eficacia luminosa de la lámpara dificultando la evaporación del material del filamento y permitiendo el aumento de la temperatura de trabajo del filamento. La vida útil de estas lámparas oscila entre 1000 y 2500 horas y su potencia entre 40 y 1000 W

(para mayor información ver los datos de lámparas incandescentes que se encuentran contenidas en el anexo).

### Lámparas halógenas de alta y baja tensión

En lámparas incandescentes normales, con el paso del tiempo, se produce una disminución significativa del flujo luminoso. Esto se debe, en parte, al ennegrecimiento de la ampolla por culpa de la evaporación de partículas de wolframio del filamento y su posterior condensación sobre la ampolla.

Agregando una pequeña cantidad de un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo), normalmente se usa el  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ , al gas de relleno se consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento. Cuando el tungsteno (W) se evapora se une al bromo formando el bromuro de wolframio ( $\text{WBr}_2$ ). Como las paredes de la ampolla están muy calientes (más de  $260\text{ }^\circ\text{C}$ ) no se deposita sobre estas y permanece en estado gaseoso. Cuando el bromuro de wolframio entra en contacto con el filamento, que está muy caliente, se descompone en W que se deposita sobre el filamento y Br que pasa al gas de relleno. Y así, el ciclo vuelve a empezar.



*Ciclo del halógeno*

El funcionamiento de este tipo de lámparas requiere de temperaturas muy altas para que pueda realizarse el ciclo del halógeno. Por eso, son más pequeñas y compactas y la ampolla se fabrica con un cristal de cuarzo.

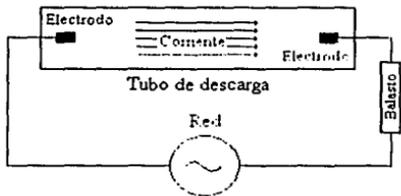
Las lámparas halógenas se utilizan normalmente en alumbrado por proyección y cada vez más en iluminación doméstica (ver datos en el anexo).

### III.2 Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga constituyen una forma alternativa de producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. La luz emitida se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté sometido tendremos diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas con sus propias características luminosas.

#### III.2.1 Funcionamiento

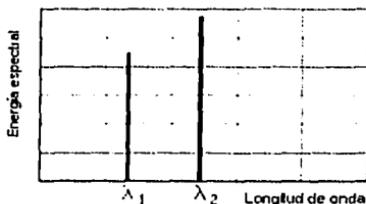
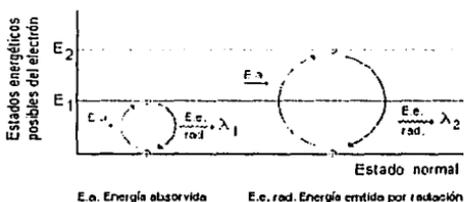
En las lámparas de descarga, la luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno con un gas o vapor ionizado.



En el interior del tubo, se producen descargas eléctricas como consecuencia de la diferencia de potencial entre los electrodos. Estas descargas provocan un flujo de electrones que atraviesa el gas. Cuando uno de ellos choca con los electrones de las capas externas de los átomos les transmite energía y pueden suceder dos cosas:

Que la energía transmitida en el choque sea lo suficientemente elevada para poder arrancar al electrón de su orbital. Este, puede a su vez, chocar con los electrones de otros átomos repitiendo el proceso. Si este proceso no se limita, se puede provocar la destrucción de la lámpara por exceso de corriente.

La otra es que el electrón no reciba suficiente energía para ser arrancado. En este caso, el electrón pasa a ocupar otro orbital de mayor energía. Este nuevo estado acostumbra a ser inestable y rápidamente se vuelve a la situación inicial. Al hacerlo, el electrón libera la energía extra en forma de radiación electromagnética, principalmente ultravioleta (UV) o visible. Un electrón no puede tener un estado energético cualquiera, sino que sólo puede ocupar unos pocos estados que vienen determinados por la estructura atómica del átomo. Como la longitud de onda de la radiación emitida es proporcional a la diferencia de energía entre los estados inicial y final del electrón y los estados posibles no son infinitos, es fácil comprender que el espectro de estas lámparas sea discontinuo.



*Relación entre los estados energéticos de los electrones y las franjas visibles en el espectro*

La consecuencia de esto es que la luz emitida por la lámpara no es blanca. Por lo tanto, la capacidad de reproducir los colores es peor que en el caso de las lámparas incandescentes que tienen un espectro continuo. Es posible, recubriendo el tubo con sustancias fluorescentes, mejorar la reproducción de los colores y aumentar la eficacia de las lámparas convirtiendo las nocivas emisiones ultravioletas en luz visible.

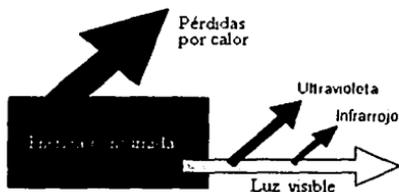
### Elementos auxiliares

Para que las lámparas de descarga funcionen correctamente es necesario la presencia de elementos auxiliares. Los **cebadores** ó **ignitores** son dispositivos que suministran un breve pico de tensión entre los electrodos del tubo, necesario para iniciar la descarga y vencer así la resistencia inicial del gas a la corriente eléctrica.

Los balastos, por el contrario, son dispositivos que sirven para limitar la corriente que atraviesa la lámpara y evitar así un exceso de electrones circulando por el gas.

### Eficacia

En las lámparas, las pérdidas se centran en dos aspectos: las pérdidas por calor y las pérdidas por radiaciones no visibles (ultravioleta e infrarrojo). El porcentaje de cada tipo dependerá de la clase de lámpara con que se trabaje.



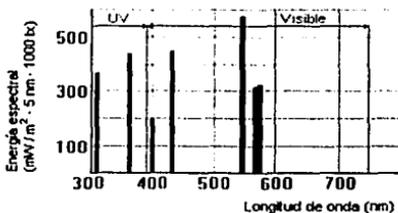
*Balance energético de una lámpara de descarga*

La eficacia de las lámparas de descarga se puede ver mejor en los datos de lamparas que aparecen en el anexo.

Tipo de lámpara	Eficacia sin balasto (lm/W)
Fluorescentes	38-91
Luz Mixta	19-28
Vapor de Mercurio	44-63
Aditivos Metálicos	74-103
Sodio a baja presión	100-183
Sodio a alta presión	64-140

### III.2.2 Características cromáticas

Debido a la forma discontinua del espectro de estas lámparas, la luz emitida es una mezcla de unas pocas radiaciones monocromáticas; en su mayor parte en la zona ultravioleta (UV) o visible del espectro. Esto hace que la reproducción del color no sea muy buena y su rendimiento en color tampoco.



Ejemplo de espectro de una lámpara de descarga

### III.2.3 Características de duración

Hay dos aspectos básicos que afectan a la duración de las lámparas. El primero es la depreciación del flujo. Este se produce por ennegrecimiento de la superficie del tubo donde se va depositando el material emisor de electrones que recubre los electrodos. En lámparas que usan sustancias fluorescentes otro factor es la pérdida gradual de la eficacia de estas sustancias.

El segundo es el deterioro de los componentes de la lámpara que se debe a la degradación de los electrodos por agotamiento del material emisor que los recubre. Otras causas son un cambio gradual de la composición del gas de relleno y las fugas de gas en lámparas a alta presión.

<b>Tipo de lámpara</b>	<b>Vida promedio (h)</b>
Fluorescente	12000-20000
Luz Mixta	6000
Vapor de Mercurio	24000
Aditivos Metálicos	3000-20000
Sodio a baja presión	18000
Sodio a alta presión	24000

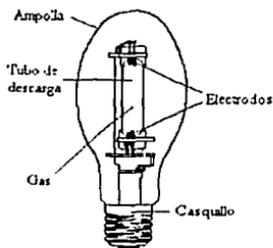
### III.2.4 Factores externos que influyen en el funcionamiento

Los factores externos que más influyen en el funcionamiento de la lámpara son la temperatura ambiente (esto dependerá del tipo de lámpara) y la influencia del número de encendidos.

La influencia del número de encendidos es muy importante para establecer la duración de una lámpara de descarga ya que el deterioro de la sustancia emisora de los electrodos depende en gran medida de este factor.

### III.2.5 Partes de una lámpara

Las formas de las lámparas de descarga varían según la clase de lámpara con que tratemos. De todas maneras, todas tienen una serie de elementos en común como el tubo de descarga, los electrodos, la ampolla exterior o el casquillo.



*Principales partes de una lámpara de descarga*

### III.3 Clases de lámparas de descarga.

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían unas de otras y esto las hace adecuadas para cierto tipo de usos.

Lámparas de vapor de mercurio:

Baja presión:

Lámparas fluorescentes

Lámparas fluorescentes compactas

Alta presión:

Lámparas de vapor de mercurio

## Lámparas de luz mixta

## Lámparas de aditivos metálicos

Lámparas de vapor de sodio:

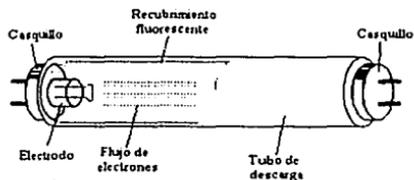
Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Lámparas de vapor de sodio a alta presión

### III.3.1 Lámparas de vapor de mercurio

#### Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión (0.8 Pa). En estas condiciones, en el espectro de emisión del mercurio predominan las radiaciones ultravioletas en la banda de 253.7 nm. Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles. De la composición de estas sustancias dependerán la cantidad y calidad de la luz, y las cualidades cromáticas de la lámpara. En la actualidad se usan dos tipos de polvos; los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten un espectro de tres bandas con los colores primarios. De la combinación estos tres colores se obtiene una luz blanca que ofrece un buen rendimiento de color.

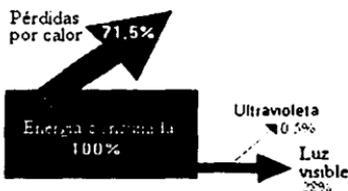


*Lámpara fluorescente*

Están formadas por un tubo cilíndrico, cerrado en cada extremo con un casquillo de dos contactos donde se alojan los electrodos. El tubo de descarga está relleno

con vapor de mercurio a baja presión y una pequeña cantidad de un gas inerte que sirve para facilitar el encendido y controlar la descarga de electrones.

La eficacia de estas lámparas depende de muchos factores: potencia de la lámpara, tipo y presión del gas de relleno, propiedades de la sustancia fluorescente que recubre el tubo, temperatura ambiente... Esta última es muy importante porque determina la presión del gas y en último término el flujo de la lámpara. La eficacia oscila entre los 41 y 102 lm/W dependiendo de las características de cada lámpara (*ver anexo*).



*Balance energético de una lámpara fluorescente*

La duración de estas lámparas se sitúa entre 7500 y 20000 horas (*ver anexo*). Su vida termina cuando el desgaste sufrido por la sustancia emisora que recubre los electrodos, hecho que se incrementa con el número de encendidos, impide el encendido al necesitarse una tensión de ruptura superior a la suministrada por la red. Además de esto, hemos de considerar la depreciación del flujo provocada por la pérdida de eficacia de los polvos fluorescentes y el ennegrecimiento de las paredes del tubo donde se deposita la sustancia emisora.

El rendimiento en color de estas lámparas varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes empleadas. De igual forma la apariencia y la temperatura de color varía según las características concretas de cada lámpara.

Apariencia de color	T <sub>color</sub> (K)
Blanco cálido	3000
Blanco	3500
Natural	4000
Blanco frío	4200
Luz de día	6500

Las lámparas fluorescentes necesitan para su funcionamiento la presencia de elementos auxiliares. Para limitar la corriente que atraviesa el tubo de descarga utilizan el balasto y para el encendido existen varias posibilidades que se pueden resumir en arranque con cebador o sin él.

### Lámparas fluorescentes compactas.

Más modernamente han aparecido las lámparas fluorescentes compactas que llevan incorporado el balasto y el cebador. Son lámparas pequeñas con casquillo de rosca o bayoneta pensadas para sustituir a las lámparas incandescentes con ahorros de hasta el 70% de energía.

Este tipo de lámparas denominadas Dulux, PL, etc..., están basadas en el principio de descarga en vapor de mercurio a baja presión, similar al de las lámparas fluorescentes convencionales. Su principal atributo es su reducido tamaño, comparable al de las lámparas de incandescencia.

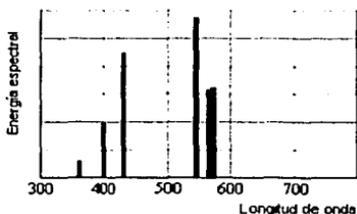


La eficacia luminosa es del orden de 69 Lm/W., su vida media de unas 10.000 horas y la temperatura de color de 2.700 °K. La depreciación del flujo luminoso para su vida media es del 20%. Se fabrican varios tipos de potencias (ver anexo),

y tienen la particularidad de que el cebador va incorporado en la base de la lámpara. El balasto es común para las cuatro lámparas y su conexión es en serie. El principal inconveniente es que el nivel de iluminación nominal no se alcanza hasta después de transcurridos unos tres minutos.

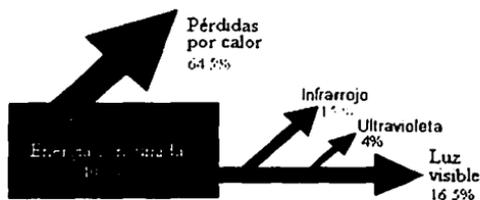
### Lámparas de vapor de mercurio.

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404.7 nm, azul 435.8 nm, verde 546.1 nm y amarillo 579 nm).



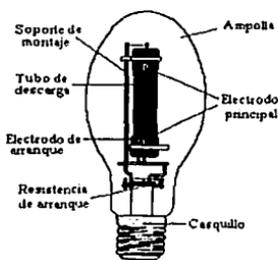
*Espectro de emisión sin corregir*

En estas condiciones la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se añaden sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara. La temperatura de color se mueve entre 3500 y 4500 K con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 24000 horas (*ver anexo*). La eficacia oscila entre 44 y 63 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.



*Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión*

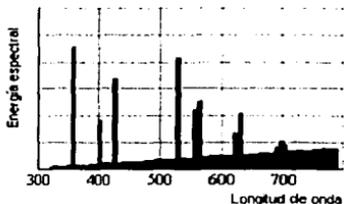
Los modelos más habituales de estas lámparas tienen una tensión de encendido entre 150 y 180 V que permite conectarlas a la red de 220 V sin necesidad de elementos auxiliares. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales. A continuación se inicia un periodo transitorio de unos cuatro minutos, caracterizado porque la luz pasa de un tono violeta a blanco azulado, en el que se produce la vaporización del mercurio y un incremento progresivo de la presión del vapor y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores normales. Si en estos momentos se apagara la lámpara no sería posible su reencendido hasta que se enfriara, puesto que la alta presión del mercurio haría necesaria una tensión de ruptura muy alta.



*Lámpara de mercurio a alta presión*

## Lámparas de luz mixta

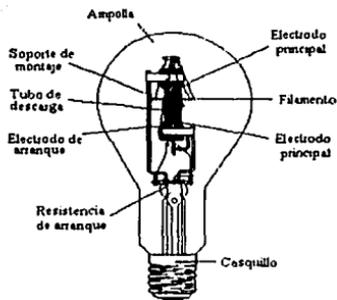
Son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y, habitualmente, un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia.



*Espectro de emisión de una lámpara de luz de mezcla*

Su eficacia se sitúa entre 19 y 25 lm/W (*ver anexo*) y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3600 K.

La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo. Respecto a la depreciación del flujo por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio y por el otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida media se sitúa en torno a las 6000 horas.

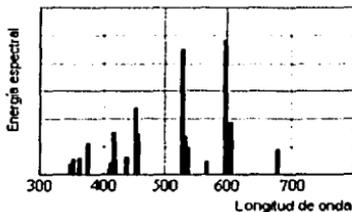


*Lámpara de luz mixta*

Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balasto ya que el filamento actúa como estabilizador de la corriente.

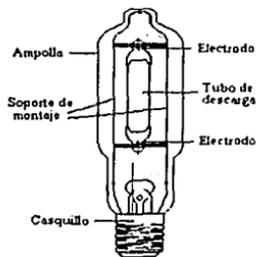
### Lámparas de aditivos metálicos

Si añadimos en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro (por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio).



*Espectro de emisión de una lámpara de aditivos metálicos*

Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3000 a 6000 K y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficiencia está entre los 71 y 83 lm/W y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario para que se establezca la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido (tensión de arranque 1500-5000 V).

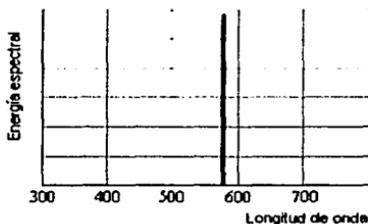


*Lámpara de aditivos metálicos*

### III.3.2 Lámparas de vapor de sodio

#### Lámparas de vapor de sodio a baja presión

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro (589 nm y 589.6 nm) muy próximas entre sí.



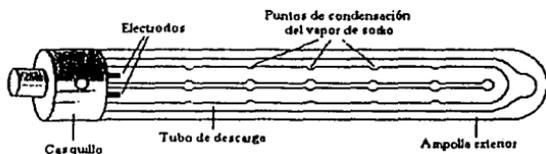
*Espectro de una lámpara de vapor de sodio a baja presión*

La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano (555 nm). Por ello, la eficacia de estas lámparas es muy elevada (entre 167 y 183 lm/W). Otra ventaja es que permite una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Pero, por el contrario, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos.



*Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a baja presión*

La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 18000 horas (*ver anexo*) y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. En cuanto a la vida útil, ésta se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones. Aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior.



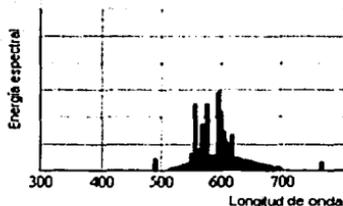
*Lámpara de vapor de sodio a baja presión*

En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible.

El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de unos diez minutos. Es el tiempo necesario desde que se inicia la descarga en el tubo en una mezcla de gases inertes (neón y argón) hasta que se vaporiza todo el sodio y comienza a emitir luz. Físicamente esto corresponde a pasar de una luz roja (propia del neón) a la amarilla característica del sodio.

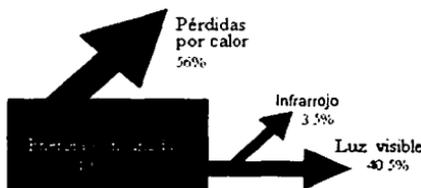
### **Lámparas de vapor de sodio a alta presión**

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la que proporcionan las lámparas de baja presión.



*Espectro de una lámpara de vapor de sodio a alta presión*

Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color ( $T_{color} = 2100\text{ K}$ ) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión. No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda entre los 64 y 134 lm/W (*ver anexo*) sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas.

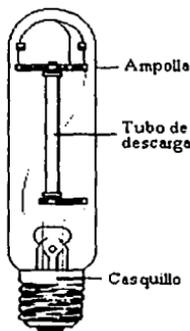


*Balanza energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión*

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 24000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas (*ver anexo*). Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de la depreciación del flujo tenemos fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas (1000 °C), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón

que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.



*Lámpara de vapor de sodio a alta presión*

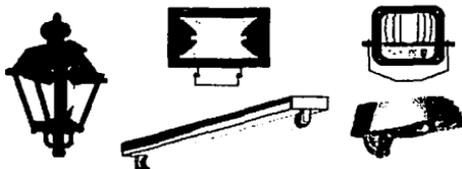
Este tipo de lámparas tienen muchos usos posibles tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, **alumbrado público** o iluminación decorativa.

### III.4 Luminarias

Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a las lámparas. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara - luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios. Otros requisitos que debe cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción deberán

ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.



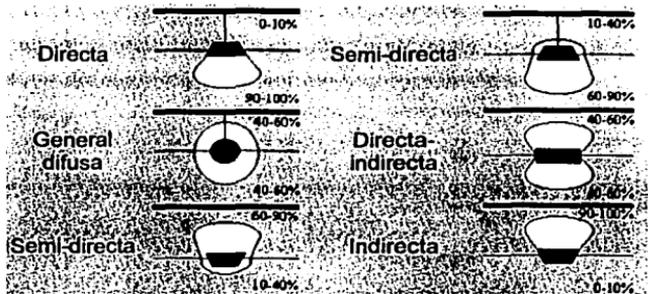
Ejemplos de luminarias

#### III.4.1 Clasificación

Las luminarias pueden clasificarse de muchas maneras aunque lo más común es utilizar criterios ópticos, mecánicos o eléctricos.

##### Clasificación según las características ópticas de la lámpara

Su clasificación es según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumine hacia el techo o al suelo.



*Clasificación de acuerdo a su curva de distribución*

### Otras clasificaciones

Otras clasificaciones posibles son según la aplicación a la que esté destinada la luminaria (alumbrado viario, alumbrado peatonal, proyección, industrial, comercial, oficinas, doméstico...) o según el tipo de lámparas empleado (para lámparas incandescentes o fluorescentes).

# Capítulo IV

## Alumbrado Público

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

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

### IV.1 CLASIFICACIÓN DE LUMINARIOS PARA ALUMBRADO PÚBLICO

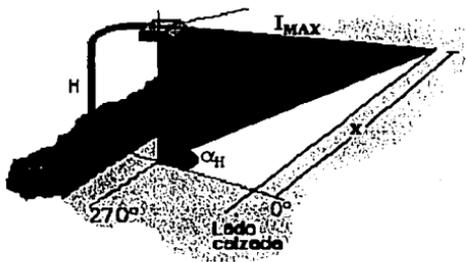
Debido a que la distribución de flujo luminoso de los luminarios es uno de los factores esenciales en una eficiente iluminación de vialidades se deben conocer estas clasificaciones de distribución. La clasificación de la distribución de luz se basa en las curvas de isocandelas y tanto en el *American Standard Practice for Roadway Lighting*, patrocinado por la *Illuminating Engineering Society of North America (IES)*, como en la *Norma Oficial Mexicana (NOM)* se definen los criterios que se utilizan para la clasificación de las luminarias; hay tres criterios generales utilizados:

#### IV.1.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU CURVA (distribución de la luz vertical)

**Distribución Corta:** Se clasifica la curva de distribución de un luminario como CORTA, cuando la máxima potencia en candelas ( $I_{MAX}$ ) cae entre 1.00 y 2.25 veces la altura de montaje en el sentido longitudinal de la calle.

**Distribución Media:** Se clasifica la curva de distribución de un luminario como MEDIA, cuando la máxima potencia en candelas ( $I_{MAX}$ ) cae entre 2.25 y 3.75 veces la altura de montaje en el sentido longitudinal de la calle.

**Distribución Larga:** Se clasifica la curva de distribución de un luminario como LARGA, cuando la máxima potencia en candelas ( $I_{MAX}$ ) cae entre 3.75 y 6.00 veces la altura de montaje en el sentido longitudinal de la calle.



En donde:

$I_{MAX}$  = Intensidad Máxima en candelas

$\alpha_H$  = Angulo Horizontal

$\alpha_V$  = Angulo Vertical

$X$  = Línea Longitudinal de la Calle

Para encontrar el valor de X:

Para  $\alpha_v$

$$\text{Tan} \alpha_v = \frac{Z}{H}$$

$$Z = H \text{Tan} \alpha_v$$

Para  $\alpha_H$

$$\text{Sen} \alpha_H = \frac{X}{Z}$$

$$Z = \frac{X}{\text{Sen} \alpha_H}$$

Igualando Z

$$H \text{Tan} \alpha_v = \frac{X}{\text{Sen} \alpha_H}$$

$$X = H (\text{Tan} \alpha_v \text{Sen} \alpha_H)$$

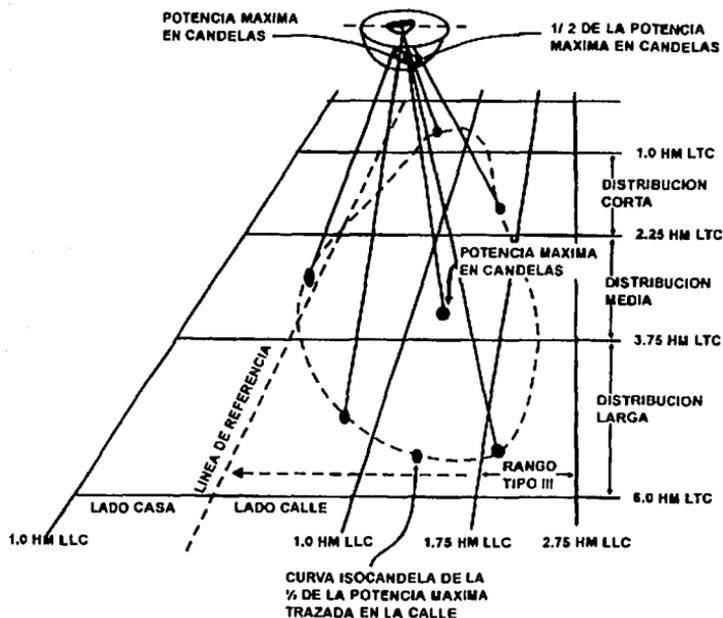
Diagrama mostrando la potencia máxima y la curva isocandela de la mitad de la potencia máxima para la determinación del tipo nema.

En donde:

HM = Altura de montaje.

LTC = Línea transversal de la calle.

LLC = Línea longitudinal de la calle.



#### IV.1.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN DE ILUMINACIÓN (Control de la distribución de la luz)

También conocido como control vertical de la distribución de la luz, para este tipo se tiene las siguientes clasificaciones.

**Cutoff:** Se designa como CUTOFF a la distribución de luz de un luminario cuando la potencia en candelas por cada 1000 lúmenes emitidos por la lámpara no excede numéricamente 2.5 % del total en ángulo de 90° sobre el nadir (horizontal) y 10 %

en el ángulo vertical de  $80^\circ$  sobre el nadir. Esto se aplica a cualquier ángulo lateral alrededor del luminario.

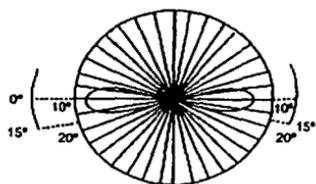
**Semicutoff:** Se designa como SEMICUTOFF a la distribución de luz de un luminario cuando la potencia en candelas por cada 1000 lúmenes emitidos por la lámpara no excede numéricamente 5% del total en un ángulo de  $90^\circ$  sobre el nadir (horizontal) y un 20% en un ángulo vertical de  $80^\circ$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

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

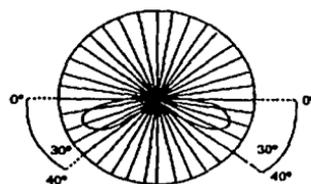
Como podemos ver, los luminarios clasificados como "cutoff" (haz recortado) tienen mayor eficiencia que los otros dos puesto que prácticamente toda la iluminación es dirigida hacia abajo con la limitante de iluminar una menor superficie y tener un mayor costo.

#### **IV.1.3 CLASIFICACIÓN TIPO NEMA (Distribución de luz lateral)**

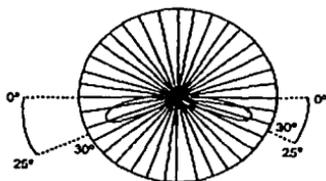
Para esta distribución las luminarias se clasifican como del tipo I, II, III, IV, V. Esta se encuentra indicada en los datos fotométricos que proporcionan los fabricantes y señala la forma aproximada del haz del luminario, también indica hasta que parte del camino o área será emitida la luz, se determina de acuerdo a la localización de la mitad de la línea de máxima candela en el diagrama isocandela y su posición relativa a la línea especificada longitudinal a la calle. Esta clasificación no se aplica para el tipo de curva V, en la figura se pueden apreciar los diversos tipos de curva.



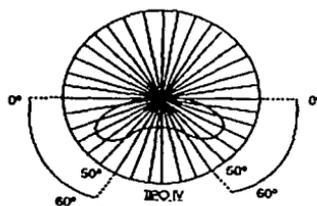
TIPO I  
 ANCHO RECOMENDADO 15°  
 RANGO ACEPTABLE DE 10°  
 A MENOS DE 20°



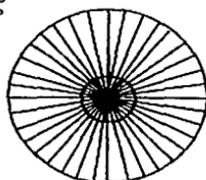
TIPO II  
 ANCHO RECOMENDADO 40°  
 RANGO ACEPTABLE DE 30°  
 A MENOS DE 50°



TIPO III  
 ANCHO RECOMENDADO 25°  
 RANGO ACEPTABLE DE 20°  
 A MENOS DE 30°



TIPO IV  
 ANCHO RECOMENDADO 60°  
 RANGO ACEPTABLE DE 50°  
 O MÁS ANCHO



TIPO V

## IV.2 Disposición de las luminarias en la vía

Para conseguir una buena iluminación hay que conocer los diferentes tipos de arreglo de distribución de las luminarias y basándose en el tipo de avenida o calzada, seleccionar la disposición más conveniente para nuestro cálculo.

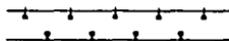
En los tramos rectos de vías con una única calzada existen tres tipos de arreglo básicos: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas.



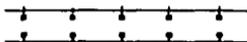
Unilateral



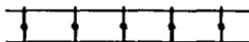
Tresbolillo



Pareada



Suspendida transversal



La distribución unilateral ó tresbolillo se recomienda si el ancho de la vía es menor a 1.5 veces la altura de montaje de las luminarias. La tresbolillo ó bilateral si esta es mayor a 1.5 veces la altura de montaje.

## MONTAJE A UN LADO DE LA VIA

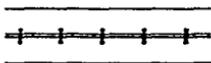
Unilateral o Tresbolillo	Tresbolillo o Bilateral	Cruces de Vías Publicas
Ancho de la vía hasta 1.5 veces la altura de montaje.	Ancho de la vía mayor a 1.5 veces la altura de montaje.	Ancho de la vía hasta 1.5 veces la altura de montaje.
Tipo Nema II, III y IV	Tipo Nema III y IV	Tipo Nema II Cuatro Vías

*Guía para el uso de luminarios en el alumbrado público y su localización o ubicación de los mismos de acuerdo al tipo nema (tabla 1)*

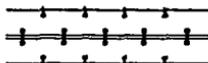
En el caso de tramos rectos de vías con dos o más calzadas separadas por un camellón se pueden colocar las luminarias sobre el camellón o considerar las dos calzadas de forma independiente. Si el camellón es estrecho se pueden colocar postes de doble brazo para dar una buena orientación visual. Si el camellón es muy ancho es preferible tratar las calzadas de forma separada. Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner las luminarias en el lado contrario del camellón.



Central con doble brazo

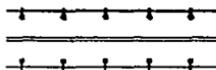


Combinación brazos  
dobles y tresbolillo





Unilateral en calzadas diferenciadas



En este caso, la relación entre el ancho del arrollo y la altura de montaje para las vías con dos o más calzadas varía con respecto a las vías de una sola calzada ó arrollo vehicular.

<b>MONTAJE A UN LADO DE LA VIA (CON CAMELLON AL CENTRO)</b>		
<b>Carretera Sencilla</b>	<b>Carretera Doble</b>	<b>Cruces de Vías Públicas</b>
Ancho de la vía hasta 2 veces la altura de montaje.	Ancho de la vía mayor a 1.5 veces la altura de montaje.	Ancho de la vía hasta 2 veces la altura de montaje.
Tipo Nema I	Tipo Nema II y III	Tipo Nema I Cuatro Vías y V

*Guía para el uso de luminarios en el alumbrado público y su localización o ubicación de los mismos de acuerdo al tipo nema (tabla 2)*

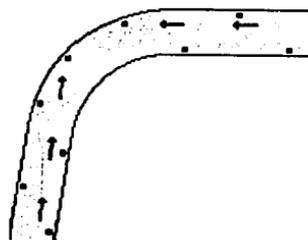
En tramos curvos se debe proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre las luminarias cuanto menor sea el radio de la curva. Si la curvatura es grande ( $R > 300$  m) se considerará como un tramo recto. Si es pequeña y el ancho de la vía es menor de 1.5 veces la altura de 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.



Unilateral por el lado exterior



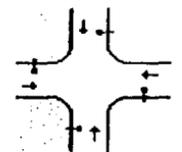
Bilateral pareada



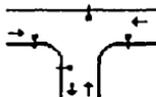
Disposición correcta de las luminarias en una curva

- |                     |   |             |                     |             |                   |
|---------------------|---|-------------|---------------------|-------------|-------------------|
| $R > 300 \text{ m}$ | Se toma como un tramo recto   |             |                     |             |                   |
| $R < 300 \text{ m}$ | <table border="0"> <tr> <td><math>A/H &lt; 1.5</math></td> <td>Unilateral exterior</td> </tr> <tr> <td><math>A/H &gt; 1.5</math></td> <td>Bilateral pareada</td> </tr> </table> | $A/H < 1.5$ | Unilateral exterior | $A/H > 1.5$ | Bilateral pareada |
| $A/H < 1.5$         | Unilateral exterior   |             |                     |             |                   |
| $A/H > 1.5$         | Bilateral pareada   |             |                     |             |                   |

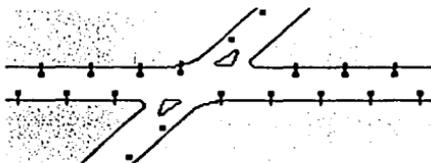
En cruces conviene que el nivel de iluminación sea superior al de las vías que confluyen en él para mejorar la visibilidad. Asimismo, es recomendable situar las luminarias en el lado derecho de la calzada y después del cruce. Si tiene forma de T hay que poner una luminaria al final de la calle que termina. En la salidas de autopistas conviene colocar luces de distinto color al de la vía principal para destacarlas. En cruces y bifurcaciones (dividirse en dos ramales) complicados es mejor recurrir a iluminación con proyectores situados en postes altos, más de 20 m, pues desorienta menos al conductor y proporciona una iluminación agradable y uniforme.



Cruce de 4 calles



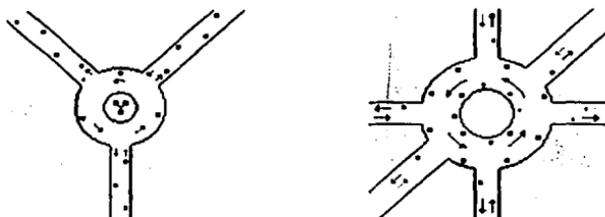
Cruce en T



Cruce de 2 vías

En las glorietas se instalarán luminarias en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas. La altura de los postes y el nivel de iluminación será por lo menos igual al de la calle más importante que desemboque en ella. Además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza. Si son pequeñas y el terraplén (pedazo de tierra central en una glorieta) no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un poste alto multibrazo. En otros casos es mejor

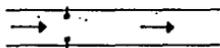
situar las luminarias en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desembocan en esta.



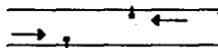
En los pasos de peatones las luminarias se colocarán antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea visible tanto por los peatones como por los conductores.



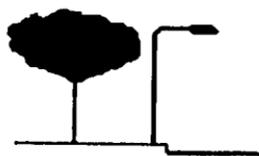
Vía con una calzada  
y un único sentido



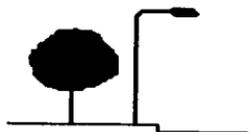
Vía con una calzada  
y doble sentido



Por último, hay que considerar la presencia de árboles en la vía. Si estos son altos, de unos 8 a 10 metros, las luminarias se situarán a su misma altura. Pero si son pequeños los luminarios usados serán más altos que estos. En ambos casos es recomendable podar periódica los árboles.



Iluminación con árboles altos



Iluminación con árboles bajos

# Capítulo V

## Calculo de Instalaciones de Alumbrado

La experiencia acumulada en el alumbrado público, recomienda una serie de requisitos ó factores que se deben tener presentes a la hora de los cálculos; debido a estos factores que intervienen en la iluminación de vías públicas, el cálculo del alumbrado público ha sido siempre una tarea un poco compleja.

Para esto, existen varios métodos en el cálculo de iluminación para el alumbrado exterior, pero debido a la complejidad de algunos de ellos (el cálculo de iluminación por el método punto por punto es considerado un método lento, tedioso y poco fiable debido a que es fácil equivocarse durante su desarrollo), los cálculos se enfocarán a determinar las condiciones de iluminancia sobre el arrollo vehicular ó la calzada, el cual proporcionará una buena visibilidad dentro de los márgenes establecidos por las normas oficiales.

Así pues, podemos agrupar los métodos a utilizar en nuestro cálculo en dos:

- Método de los lúmenes o del factor de utilización
- Calculo de iluminación por software

### V.1 Método de los lúmenes o del coeficiente de utilización

La finalidad de este método es calcular la distancia de separación adecuada entre las luminarias para que ésta a su vez garantice un nivel de iluminación medio determinado.



Para poder iniciar el cálculo de iluminación se deben obtener ciertos factores necesarios para elaborar este proyecto; por lo tanto, los pasos a seguir para encontrar estos datos son:

- Determinar el nivel de iluminación ó iluminancia media ( $E_m$ ). Este valor depende de las características y clase de vía. Como valores recomendados podemos usar:

Clasificación de Calles	Tipo de Area		
	Comercial	Intermedia	Residencial
Vías principales	22	15	11
Vías secundarias (colectores).	13	10	6
Vías de trafico mediano (locales)	10	6	4
Vías de trafico ligero	6	4	4

*Niveles de iluminación en luxes recomendados por American National Standard Practice for Roadway Lighting.*

- Escoger el tipo de lámpara (vapor de mercurio, sodio...) y el tipo de luminario, según las necesidades de iluminación que se requieran para el tipo de calle ó vialidad que se vaya a iluminar.
- Determinar la altura de montaje (H) necesaria sin exceder del valor máximo recomendado.

$H_{\min} = \text{Factor valor mínimo} \times \text{Ancho de la calle}$

$H_{\text{recomendado}} = \text{Factor valor recomendado} \times \text{Ancho de la calle}$

Tipo de arreglo	Relación = $\frac{\text{Altura de montaje del luminario}}{\text{Ancho de arrollo}}$	
	Valor mínimo	Valor Máximo Recomendado
Unilateral	0.85	1
Tresbolillo o alternado	0.5	0.66
Bilateral	0.33	0.5

De esta relación la altura de montaje a seleccionar debe estar entre el valor mínimo y máximo recomendado.

$$H_{\min} \leq H \leq H_{\text{recomendado}}$$

**Recomendaciones:** Las alturas de montaje usuales son de 7 a 9 metros; los postes de más altitud serían muy costosos.

- Elegir la disposición de luminarias más adecuada según la relación entre el ancho de la calzada y la altura de las luminarias.

Disposición	Relación ancho vía/altura
Unilateral ó Tresbolillo	$A/H < 1.5$
Tresbolillo ó Bilateral	$A/H > 1.5$

- Determinar el factor de mantenimiento ( $f_m$ ) dependiendo de las características de la zona (contaminación, tráfico, mantenimiento...).

$$F.M. = L.L.D. \times L.D.D.$$

Donde:

- F.M. = FACTOR DE MANTENIMIENTO Ó FACTOR DE PERDIDA DE LUZ (LIGHT LOOSE FACTOR):** Es el factor utilizado en el cálculo de iluminancia bajo condiciones dadas de tiempo y de uso. En él se toma en cuenta las variaciones de

temperatura y tensión, acumulación de suciedad en las superficies del cuarto y en el luminario, depreciación de la emisión luminosa de la lámpara, procedimientos de mantenimiento y condiciones atmosféricas.

- **L.L.D. = DEPRECIACION DE LUMENES DE LA LAMPARA** (Lamp Lumen Depreciation).- Es la pérdida de la emisión luminosa (lúmenes), emitidos por la lámpara debido al uso normal de operación.

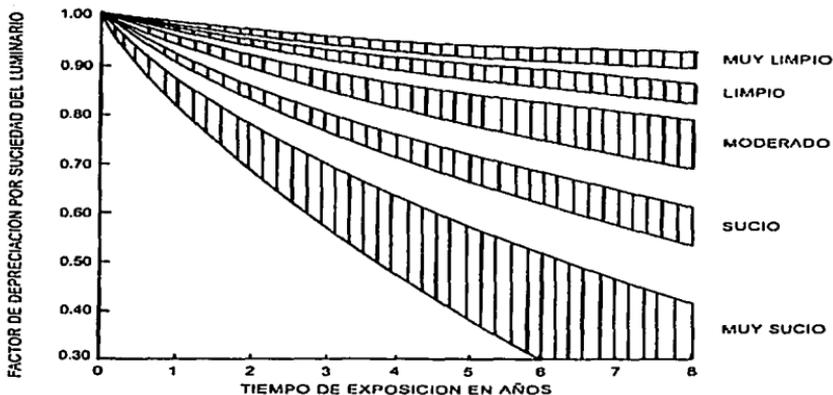
- **DEPRECIACION POR SUCIEDAD EN EL LUMINARIO: L.D.D.** (Luminaire Dirt Depreciation).- La acumulación de la suciedad en los luminarios trae como consecuencia una pérdida en la emisión luminosa y, por lo mismo, perdidas de iluminación en el plano de trabajo. Esta pérdida se conoce como el factor LDD (Luminaire Dirt Depreciation).

Para conocer el factor de depreciación (**L.L.D.**), éste es proporcionado por el fabricante en los datos de las lamparas que aparecen en el anexo.

#### DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO ALTA PRESION (STANDAR)

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

Para determinar la depreciación por suciedad (**L.D.D.**) se utiliza la siguiente gráfica y se estima con un tiempo de exposición recomendado de 3 años.



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

Se selecciona la curva apropiada de acuerdo con el tipo de ambiente.

### MUY LIMPIO

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

### LIMPIO

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

### MODERADO

Moderada actividad generadora de polvo y humos en la cercanía, el nivel de partículas no es mayor de 600 microgramos por  $m^3$ .

### SUCIO

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

### MUY SUCIO

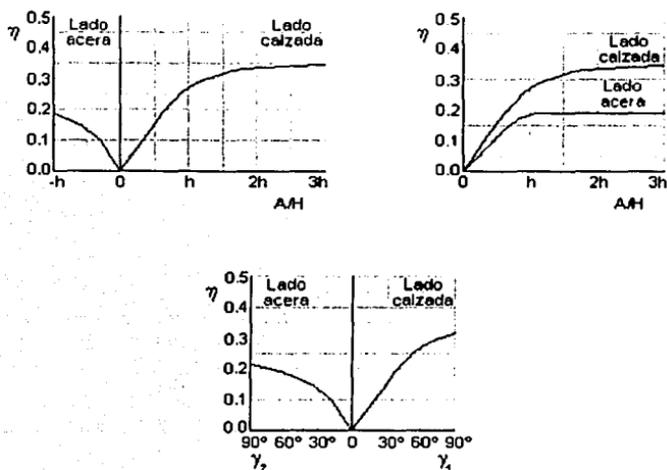
Como el inciso anterior pero los luminarios están envueltos en humo y polvo.

- Calcular el coeficiente de utilización ( $\eta$  ó  $\text{Cu}$ )

El **coeficiente de utilización** es la relación entre el flujo luminoso (lúmenes) emitidos por un luminario que incide sobre el plano de trabajo y que se define como flujo útil ( $\Phi_{\text{útil}}$ ), el que llega a la calzada, y el flujo luminoso ( $\Phi_L$ ) emitido por las lámparas solas del luminario.

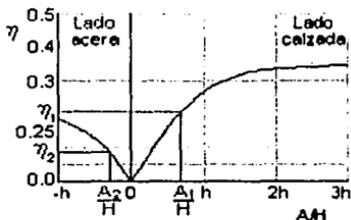
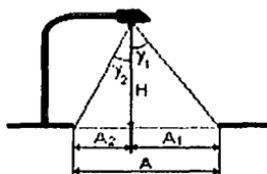
$$\eta = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\Phi_L}$$

Normalmente se representa mediante curvas que suministran los fabricantes con las luminarias. Estas curvas se pueden encontrar en función del cociente ancho de la calle por la altura de montaje del luminario ( $A/H$ ), que es la más común, o de los ángulos  $\gamma_1, \gamma_2$  en el lado calzada y acera respectivamente.



Curvas del coeficiente de utilización

De los gráficos se puede observar que hay dos valores posibles, uno para el lado acera ó casa y otro para el lado calle ó calzada, que se obtienen de las curvas.



$$\text{Relación lado calle} = \frac{A_1}{H}$$

$$\text{Relación lado casa} = \frac{A_2}{H}$$

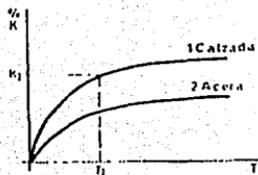
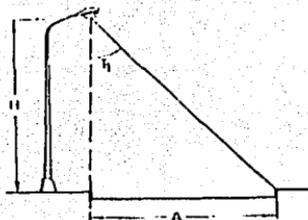
$$C_u = \eta = \eta_1 + \eta_2$$

Por tanto, para obtener el coeficiente de utilización total de la sección transversal de la calle habrá que sumar los coeficientes del lado acera y del lado calzada, aunque en otros casos puede ser diferente. Vamos a dividir el estudio detallado de este coeficiente en cuatro casos, para una mayor comprensión:

1º) Cuando la vertical que pasa por la luminaria coincide justamente con el final de la calzada y el principio de la acera.

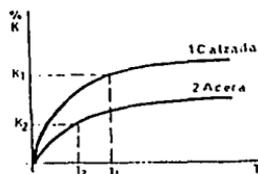
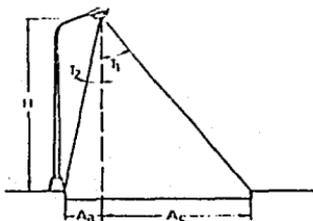
En este caso, el flujo correspondiente a la zona de acera (curvas Isolux), se utiliza para iluminar la acera, y el flujo correspondiente a la zona de calzada se utiliza para iluminar la misma.

$$T_1 = \frac{A}{H} \quad ; \quad C_u = K_1$$



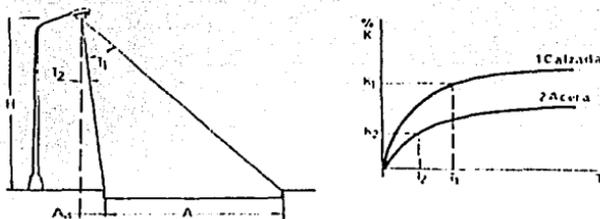
2º) Cuando la vertical que pasa por la luminaria cae dentro de la calzada.  
 Ahora la zona correspondiente a calzada se utiliza para iluminar la calzada, y parte de la zona de acera se utiliza también para iluminar la calzada.

$$T_1 = \frac{Ac}{H} \quad ; \quad T_2 = \frac{Aa}{H} \quad ; \quad C_u = K_1 + K_2$$



3º) Cuando la vertical que pasa por la luminaria cae dentro de la acera.  
 En este caso parte del flujo luminoso de la zona de calzada se utiliza para iluminar la acera.

$$T_1 = \frac{Aa}{H} \quad ; \quad T_2 = \frac{A}{H} \quad ; \quad C_u = K_1 + K_2$$

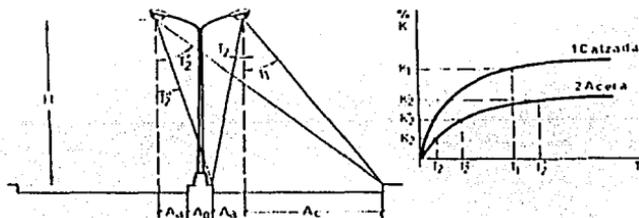


4º) Cuando se utiliza iluminación central con doble brazo.

Este caso difiere notablemente de los anteriores, ya que ahora hay que contar con parte de la zona de acera, de una de las calzadas, que ilumina la otra calzada.

$$T_1 = \frac{Ac}{H} ; T_2 = \frac{Aa}{H} ; T'_2 = \frac{Aa + A0 + Aa + Ac}{H} ; T''_2 = \frac{Aa + A0}{H}$$

$$Cu = K_1 + K_2 + K'_2 - K''_2$$



- Cálculo de la separación entre luminarias

Una vez fijados estos parámetros, se puede proceder al cálculo de la separación (d) entre las luminarias utilizando la expresión de la iluminancia media.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

donde:

- $E_m$  es el nivel de iluminación en Luxes.
- $\eta$  es el coeficiente de utilización.
- $f_m$  es el factor de mantenimiento.
- $\phi_L$  es el flujo luminoso máximo de la lámpara en Lúmenes.
- $A$  es el ancho a iluminar de la calzada ó arrollo que en disposición bilateral pareada es la mitad ( $A/2$ ) y toda ( $A$ ) en disposiciones unilateral y tresbolillo.

Unilateral o tresbolillo	$A$
Bilateral	$A/2$

- $d$  es la separación entre las luminarias.

## V.2 Calculo de Iluminación por software

La finalidad de utilizar un software para el cálculo de iluminación es por las ventajas que éste nos puede ofrecer como son rapidez para procesar los datos y exactitud en los resultados; pero primero veamos a grandes rasgos que es un software.

El software ó programa es el conjunto de instrucciones que le dicen a la computadora qué debe hacer. Hay diferentes clases de programas. Las dos principales categorías son los sistemas operativos y el software aplicativo o aplicaciones.

El sistema operativo es el programa más importante, porque controla el funcionamiento de la computadora y el de los demás programas.

Las aplicaciones son todos los programas que permiten al usuario realizar tareas: procesadores de palabras para escribir, juegos para divertirse, hojas de cálculo para trabajo financiero, browsers para navegar por la red, etc.

Para los cálculos de iluminación existen varios software, pero para este caso se realizarán con el programa Visual 2.0 de Lithonia Lighting Group.

- Ejecución de Visual 2.0.

Para iniciar la ejecución de Visual 2.0 esta se puede presentar de dos formas, siempre y cuando el programa ya esté instalado en la computadora:

- Si se encuentra en el escritorio (desktop) de la computadora el icono del programa Visual basta con dar doble clic sobre él para iniciar la ejecución.

- La otra forma, en caso de no contar con el icono en el escritorio consiste en realizar los siguientes pasos:

- 1.- Oprimir el botón de Inicio de la barra de tareas que se encuentra en la parte inferior izquierda de la pantalla

- 2.- Seleccionar la opción Programas

- 3.- Seleccionar Visual

- 4.- Seleccionar Visual – Professional Edition

- La ejecución de Visual inicia mostrando la siguiente pantalla (Figura 5.1); en la cual para el cálculo de iluminación de vialidad se selecciona la opción New Exterior File.

- Una vez iniciado el programa se comienza a trabajar en un ambiente de diseño parecido a AutoCAD (Figura 5.2).



Figura 5.1

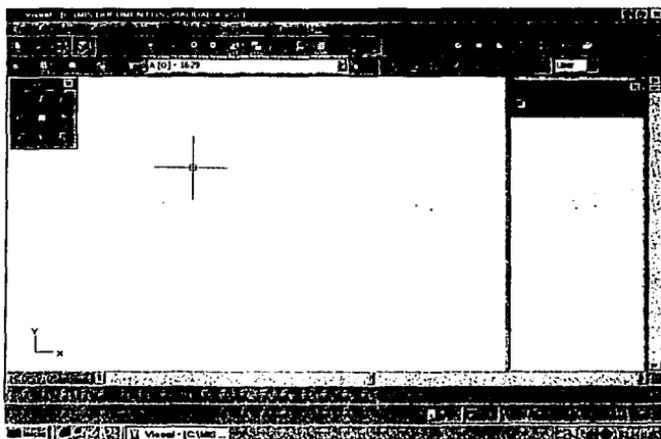


Figura 5.2

# Capítulo VI

## Proyecto de Iluminación

### VI.1 Ubicación del Desarrollo Turístico Nopoló.

Este desarrollo está a cargo del Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR) y se encuentra ubicado en el estado de Baja California Sur. Se localiza en la parte sur de la península; limita al norte con el estado de Baja California, al sur y al oeste con el Océano Pacífico y al este con el Golfo de California ó Mar de Cortés.



Figura 6.1

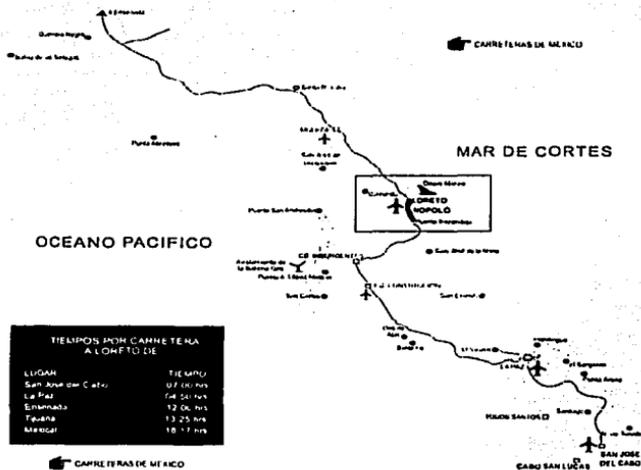


Figura 6.2

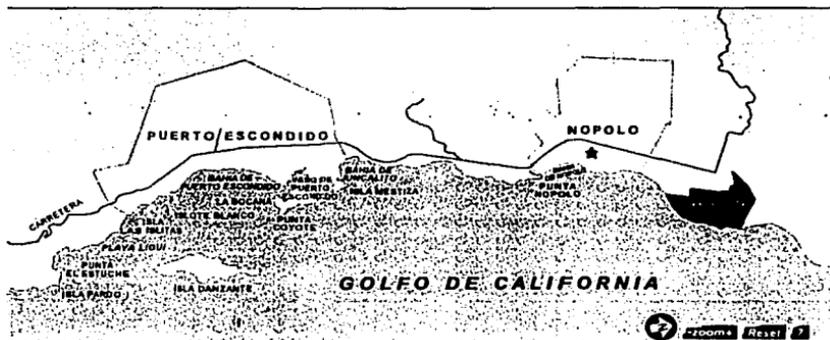
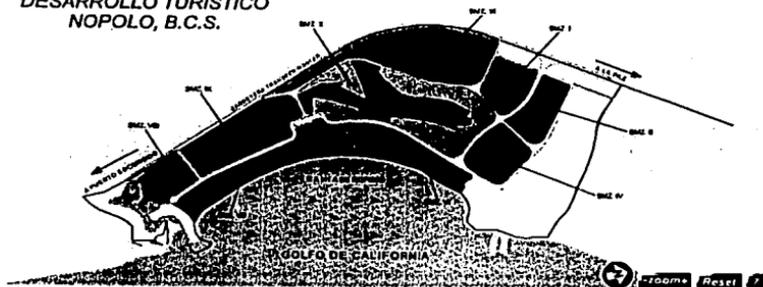
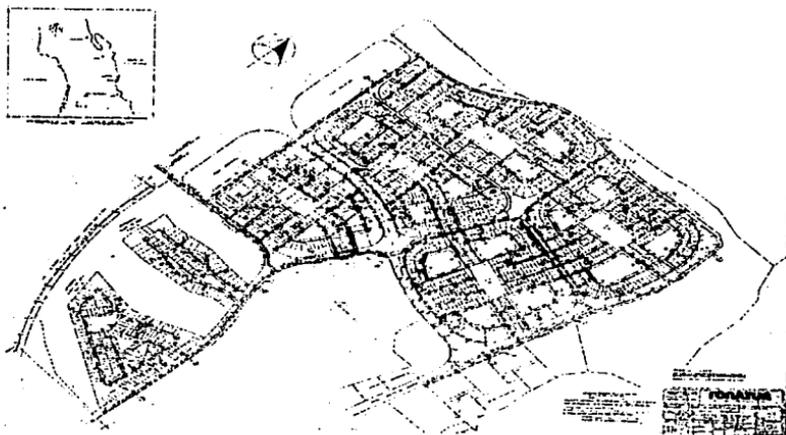


Figura 6.3

**DESARROLLO TURISTICO  
NOPOLO, B.C.S.**



*Figura 6.4*



*Figura 6.5*

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## **VI.2 Cálculo de iluminación por el método de lumen.**

Para iniciar el cálculo de iluminación se utilizarán los dos métodos descritos en el capítulo anterior; por lo tanto se comienza con el método de lumen y posteriormente con el programa de diseño Visual 2.0.

Cabe también mencionar que se tienen cuatro diferentes vialidades, las cuales se clasificarán según el ancho de la vía:

**Vialidad A:** Avenida "Paseo Misión de San José del Cabo"

Ancho de la avenida: 30 mts.

**Vialidad B:** Avenida "Paseo Misión de Loreto"

Ancho de la avenida: 28 mts.

**Vialidad C:** Avenidas "Paseo Misión de San Javier" y "Paseo Misión de San Luis Gonzaga"

Ancho de las avenidas: 15 mts.

**Vialidad D:** Calles de las zonas residenciales.

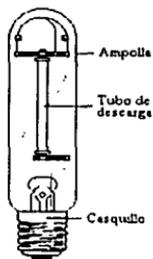
Ancho de las calles: 7 mts.

Únicamente se siguen los pasos descritos en el capítulo anterior del método de los lúmenes para realizar los cálculos.

### **VI.2.1 Iluminación de la Vialidad A.**

- Se determina el nivel de iluminación media que para este caso es de  $E_m = 15$  luxes promedio mantenido, ya que se considera una vía principal intermedia (Nivel de iluminación recomendado por American National Standard Practice for Roadway Lighting)

- Se escoge el tipo de lampara; para un alumbrado público se recomienda de **Vapor de Sodio a Alta Presión (V.S.A.P.)** ya que, a comparación con la de aditivos metálicos que tiene una vida en horas de 10,000; ésta tiene una duración en horas más prolongada (24000 hrs.), aunque no hay distinción de colores en las lamparas de V.S.A.P. en este caso no se requiere, puesto que es una vialidad.



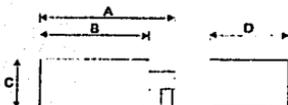
Lámpara de vapor de sodio a alta presión

- Se selecciona el tipo de luminario.

Para este caso no se utiliza el luminario HOV que aparece en la figura (derecha), y que es el más común para iluminación de vialidades, pero considerando que el proyecto se localiza en un desarrollo turístico, se toma en cuenta el diseño y el acabado, por lo que el luminario seleccionado es el de tipo **MAYFAIR** de la marca Holophane, ya que está diseñado para mejorar la apariencia y la estética en las vialidades, porque realza los estilos arquitectónicos actuales; además de proporcionar una excelente uniformidad de luz.

Datos del Luminario seleccionado:

- Luminario: **MAYFAIR.**
- Aplicaciones: Vialidades, estacionamientos, jardines, patios de maniobras.
- Catalogo No. 1629.
- Tipo: III, Cutoff.
- Lampara de 250 HPS (High presion sodium)
- Watts: 250
- Lúmenes: 27500
- Altura de prueba: 25'



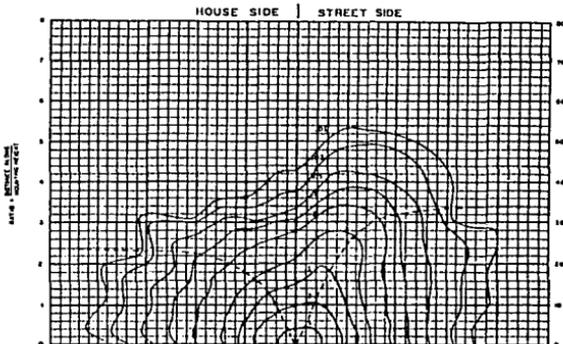
Catálogo	A	B	C	D
1624, 1627, 1629 y 1628	788	630	216	375

Dimensiones Normales Aprox. en mm.

Entrada para Esplga de 2 1/2" Ø Ext. x 7" de Altura

Datos y gráfica Isofootcandles del luminario Mayfair.

ISOFOOTCANDLES



OUTDOOR ILLUMINATION DATA

Luminario Mayfair No. 1629

---

HS TYPE Type III, Medium Cutoff

LAMP 250W High Pressure Sodium

LUMENS 27500

WATTS 250

Maximum Spacing See Manual

---

**ILLUMINATION DATA**

CONSTRUCTIVE FACTORS TO OBTAIN ILLUMINATION VALUES AT OTHER SPACING

**NOTES**

A. Spacing may vary when using other lamp wattage or lumens or different mounting heights. See Chart B for Spacing Factors.

B. Spacing may vary when using other mounting heights. See Chart B for Spacing Factors.

C. For Spacing Factors, See Chart B.

D. For Spacing Factors, See Chart B.

---

FOOTCANDLES

1.50

1.00

0.50

0.25

---

DATA FROM 1629

FOR. BY SM

APP. BY [Signature]

DATE           

RELATED DATA SHEETS           

RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER  
HERSCHEY, PENNSYLVANIA

Illuminex  
RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER  
HERSCHEY, PENNSYLVANIA

FOR THE USE OF THE ENGINEER  
CONSTRUCTION OF ILLUMINATION DATA SHEETS  
(LUMENS PER SQ. FT.)  
\* FOR ILLUMINATION DATA SHEETS, SEE ILLUMINATION DATA SHEET NO. 1-1302

SHEET No. 1-1302

- Se determina la altura de montaje con los valores mínimo y recomendado para después seleccionar el tipo de arreglo (Ancho de la vía = 30 metros):

- **UNILATERAL:**

$$H_{\min} = 0.85 \times 30 = 25.5 \text{ mts}$$

$$H_{\text{rec}} = 1 \times 30 = 30 \text{ mts.}$$

- **TRESBOLILLO:**

$$H_{\min} = 0.5 \times 30 = 15 \text{ mts}$$

$$H_{\text{rec}} = 0.66 \times 30 = 19.8 \text{ mts.}$$

- **BILATERAL:**

$$H_{\min} = 0.33 \times 30 = \mathbf{9.9 \text{ mts.}}$$

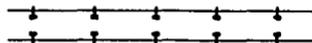
$$H_{\text{rec}} = 0.5 \times 30 = 15 \text{ mts.}$$

Como se puede observar, la altura a la que debe ir montado el luminario debe estar entre la  $H_{\min}$  y la  $H_{\text{recomendada}}$ , por lo que se considera una altura de montaje de **H = 10 metros**.

- Se elige la disposición de luminarias. Con los datos del punto anterior se elige la disposición más adecuada, que para este caso es **BILATERAL** ó **pareada**.



**Pareada**

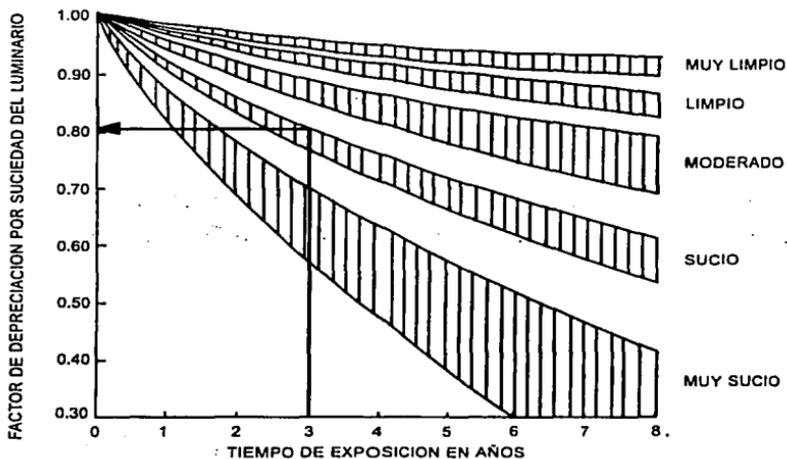


- Se determina el factor de mantenimiento:

$$F.M. = L.L.D. \times L.D.D.$$

En la tabla de los datos de lamparas de vapor de sodio alta presión que aparece en el anexo, se toma un L.L.D. para una lamapara de 250 W de 0.90.

El valor de L.D.D. se determina con la gráfica de factores de depreciación por suciedad en los luminarios, estimándose con un tiempo de exposición a tres años para el cálculo de todas las vialidades y tomando la curva para un ambiente sucio como se indica en la gráfica, se obtiene un factor aproximado de 0.81.



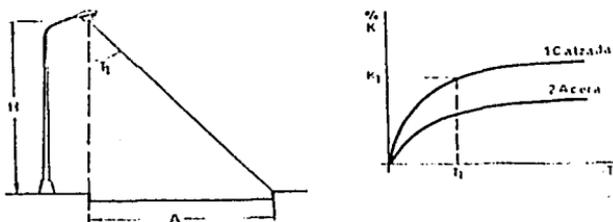
Ya que se obtienen los factores L.L.D. y L.D.D., estos se multiplican para obtener el Factor de Mantenimiento:

$$\begin{aligned} \mathbf{F.M.} &= \mathbf{L.L.D. \times L.D.D} \\ \mathbf{F.M.} &= 0.90 \times 0.81 = \mathbf{0.729} \end{aligned}$$

**NOTA:** Los valores obtenidos de L.L.D. y L.D.D serán los mismos para el cálculo de las demás vialidades.

- Se determina el Coeficiente de Utilización (**Cu**).

En este caso hay que obtener los valores de las relaciones lado calle y lado casa. Para el luminario Mayfair la horizontal cae entre la calzada y la acera, como se muestra en la figura (caso 1), por lo que solo se determina la relación del lado calle.



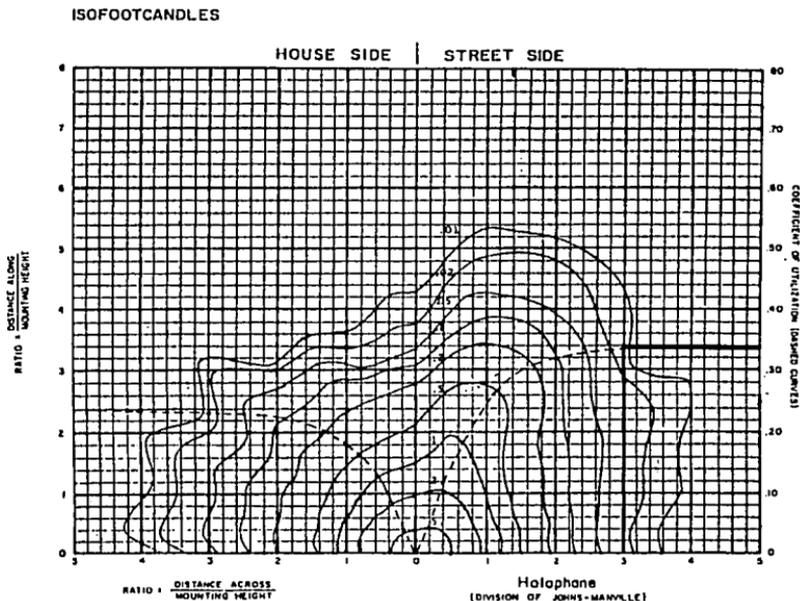
Caso 1.

Para obtener el coeficiente hay que hacer el cociente  $A / H$  (Ancho de la vía / Altura de Montaje), si la Vialidad **A** tiene un ancho de 30 metros y una altura de montaje determinada de 10 metros, la relación queda de la siguiente manera:

$$\text{Relación Calle: } \frac{A}{H} = \frac{30}{10} = 3$$

Ya que se tiene éste valor se localiza en la gráfica isofootcandle y se obtiene el Coeficiente de Utilización como se indica en la figura; por lo tanto, el valor aproximado que se obtiene es:

$$Cu = 0.34$$



- Se Calcula la separación entre luminarias.

Una vez que se obtienen todos los parámetros requeridos, se comienza el cálculo de la separación (d) entre las luminarias utilizando la fórmula de la iluminancia media:

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

Datos:

- $E_m = 15$  luxes (nivel de iluminación en Luxes)
- $C_u = \eta = 0.34$  (Coeficiente de Utilización)
- $f_m = 0.729$  (Factor de Mantenimiento)
- $\phi_L = 27,500$  (Flujo luminoso de la lámpara en Lúmenes)
- $A = 30 / 2$  (Ancho de la calzada; en disposición bilateral pareada es  $(A/2)$ .)
- $d$  (Separación entre luminarios)

Los datos anteriores se sustituyen en la fórmula de la iluminancia media, teniendo únicamente como constante la distancia entre cada luminario, así que esta se despeja y la fórmula queda de la siguiente manera:

$$d = \frac{\eta * f_m * \phi_L}{A * E_m} = \frac{0.34 * 0.729 * 27500}{\left(\frac{30}{2}\right) * 15} = \frac{6816.15}{225} = 30.294 \approx 30 \text{mts.}$$

La relación de espaciamiento de la luminaria es **3.5 : 1**, lo que significa que la distancia entre luminarios debe ser máximo 3.5 veces la altura de montaje:

$$3.5 \times 10 = 35 \text{ metros}$$

Ahora determinamos el nivel de iluminación con la distancia de separación entre luminarias de 30 metros obtenida anteriormente; utilizando la fórmula de la iluminancia media se obtiene:

$$E_m = \frac{\eta * f_m * \phi_L}{A * d} = \frac{0.34 * 0.729 * 27500}{\left(\frac{30}{2}\right) * 30} = \frac{6816.15}{450} = 15.147 \text{luxes}$$

El nivel de iluminación resultante es un poco más de los 15 luxes requeridos. Entonces para obtener una buena iluminación en la **vialidad A**, el luminario debe colocarse a una distancia **d = 30 metros** uno del otro.

### VI.2.2 Iluminación de la Vialidad B.

- Se determina el nivel de iluminación. Se considera una vía principal intermedia, por lo tanto la iluminación media para esta vialidad es de  $E_m = 15$  luxes.
- Se escoge el tipo de lámpara: **Vapor de Sodio a Alta Presión (V.S.A.P.)**.
- Se selecciona el tipo de luminario: **MAYFAIR** Catalogo No. 1629
- Se determina la altura de montaje (Ancho de la vía: 28 metros):

Tipo de Arreglo:

- **UNILATERAL:**

$$H_{\min} = 0.85 \times 28 = 23.8 \text{ mts}$$

$$H_{\text{rec}} = 1 \times 28 = 28 \text{ mts.}$$

- **TRESBOLILLO:**

$$H_{\min} = 0.5 \times 28 = 14 \text{ mts}$$

$$H_{\text{rec}} = 0.66 \times 28 = 18.48 \text{ mts.}$$

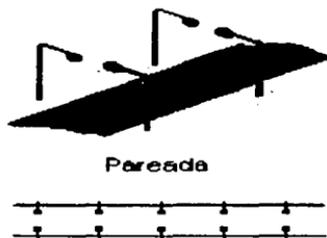
- **BILATERAL:**

$$H_{\min} = 0.33 \times 28 = \underline{9.24 \text{ mts.}}$$

$$H_{\text{rec}} = 0.5 \times 28 = 14 \text{ mts.}$$

Como  $H_{\min} \leq H \leq H_{\text{recomendado}}$ ; la altura de montaje que se toma es de **H = 10 metros**.

- Se elige la disposición de luminarias. Para este caso se considera una disposición BILATERAL ó pareada.



- Se determina el factor de mantenimiento:

$$\begin{aligned} \text{F.M.} &= \text{L.L.D.} \times \text{L.D.D} \\ \text{F.M.} &= 0.90 \times 0.81 = \mathbf{0.729} \end{aligned}$$

- Se determina el Coeficiente de Utilización (**Cu**).

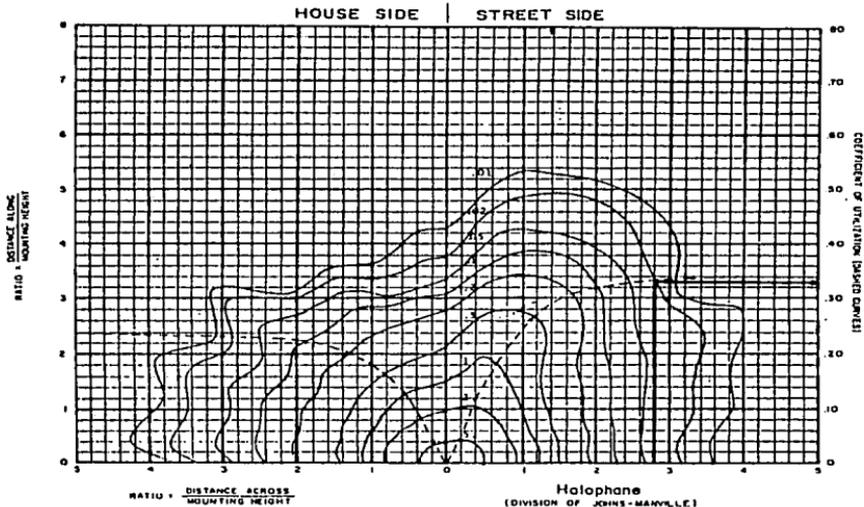
Se obtiene el cociente  $A / H$  (Ancho de la vía / Altura de Montaje); como la **Vialidad B** tiene un ancho de 28 metros y una altura de montaje de 10 metros, la relación queda de la siguiente manera:

$$\text{Relación Calle: } \frac{A}{H} = \frac{28}{10} = 2.8$$

El Coeficiente de Utilización se obtiene como se indica en la figura; por lo tanto, el valor aproximado que se obtiene es:

$$\mathbf{Cu = 0.33}$$

ISOFOOTCANDLES



- Se Calcula la separación entre luminarias.

Fórmula de la iluminancia media.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

Datos:

- $E_m = 15$  luxes (nivel de iluminación en Luxes)
- $C_u = \eta = 0.33$  (Coeficiente de Utilización)
- $f_m = 0.729$  (Factor de Mantenimiento)
- $\Phi_L = 27,500$  (Flujo luminoso de la lámpara en Lúmenes)
- $A = 28 / 2$  (Ancho de la calzada; en disposición bilateral pareada es  $(A/2)$ .)
- $d$  (Separación entre luminarios)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se despeja  $d$  de la fórmula (iluminancia media) y se sustituyen los datos:

$$d = \frac{\eta * f_m * \phi_L}{A * E_m} = \frac{0.33 * 0.729 * 27500}{\left(\frac{28}{2}\right) * 15} = \frac{6615.675}{210} = 31.51 \approx 32 \text{mts.}$$

La relación de espaciamiento de la luminaria es **3.5 : 1**.

$$3.5 \times 10 = 35 \text{ metros}$$

Determinando el nivel de iluminación  $E_m$  con una distancia de separación entre luminarios  $d = 30$  metros.

$$E_m = \frac{\eta * f_m * \phi_L}{A * d} = \frac{0.33 * 0.729 * 27500}{\left(\frac{28}{2}\right) * 30} = \frac{6615.675}{420} = 15.752 \text{luxes}$$

El nivel de iluminación resultante es un poco más de los 15 luxes requeridos. Entonces para obtener una buena iluminación en la **vialidad B**, el luminario debe colocarse a una distancia  $d = 30$  metros uno del otro.

### VI.2.3 Iluminación de la Vialidad C.

- Se determina el nivel de iluminación. Se considera vía secundaria colector intermedia, por lo tanto la iluminación es de  $E_m = 10$  luxes.
- Se escoge el tipo de lámpara: **Vapor de Sodio a Alta Presión (V.S.A.P.)**.
- Se selecciona el tipo de luminario: **MAYFAIR** Catálogo No. 1629

- Se determina la altura de montaje (Ancho de la vía: 15 metros):

Tipo de Arreglo:

- UNILATERAL:

$$H_{\min} = 0.85 \times 15 = 12.75 \text{ mts}$$

$$H_{\text{rec}} = 1 \times 15 = 15 \text{ mts.}$$

- **TRESBOLILLO:**

$$H_{\min} = 0.5 \times 15 = 7.5 \text{ mts}$$

$$H_{\text{rec}} = 0.66 \times 15 = \underline{\underline{9.9 \text{ mts.}}}$$

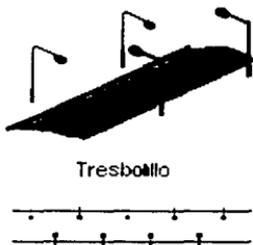
- BILATERAL:

$$H_{\min} = 0.33 \times 15 = 4.95 \text{ mts.}$$

$$H_{\text{rec}} = 0.5 \times 15 = 7.5 \text{ mts.}$$

Como  $H_{\min} \leq H \leq H_{\text{recomendado}}$ ; la altura de montaje recomendada es de  $H = 9.9$  metros, pero redondeando ésta cifra, se toma una altura de  $H = 10$  metros.

- Se elige la disposición de luminarias. Para este caso se considera una disposición TRESBOLILLO.



- Se determina el factor de mantenimiento:

$$F.M. = L.L.D. \times L.D.D$$

$$F.M. = 0.90 \times 0.81 = 0.729$$

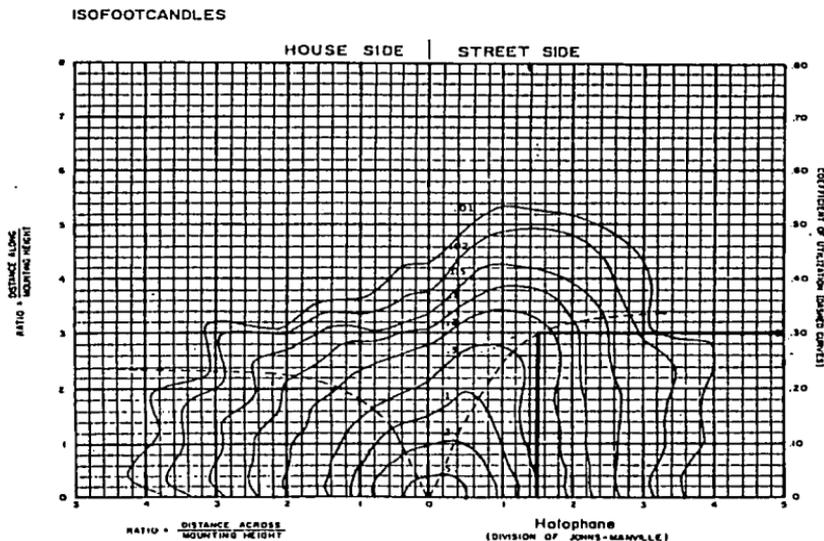
- Se determina el Coeficiente de Utilización (**Cu**).

Se obtiene el cociente A / H (Ancho de la vía / Altura de Montaje); como la **Vialidad C** tiene un ancho de 15 metros y una altura de montaje de 10 metros, la relación queda de la siguiente manera:

$$\text{Relación Calle: } \frac{A}{H} = \frac{15}{10} = 1.5$$

El Coeficiente de Utilización se obtiene como se indica en la figura; por lo tanto, el valor aproximado que se obtiene es:

$$Cu \approx 0.30$$



- Se Calcula la separación entre luminarias.

Fórmula de la iluminancia media.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

Datos:

- $E_m = 10$  luxes (nivel de iluminación en Luxes)
- $C_u = \eta = 0.30$  (Coeficiente de Utilización)
- $f_m = 0.729$  (Factor de Mantenimiento)
- $\Phi_L = 27,500$  (Flujo luminoso de la lámpara en Lúmenes)
- $A = 15$  metros (Ancho de la calzada)
- $d$  (Separación entre luminarias)

Se despeja  $d$  de la formula (iluminancia media) y se sustituyen los datos:

$$d = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \phi_L}{A \cdot E_m} = \frac{0.30 \cdot 0.729 \cdot 27500}{15 \cdot 10} = \frac{6014.150}{150} = 40.095 \approx 40mts.$$

La relación de espaciamiento de la luminaria es 3.5 : 1,:

$$3.5 \times 10 = 35 \text{ metros}$$

Determinando el nivel de iluminación  $E_m$  con una distancia de separación entre luminarias  $d = 35$  metros, ya que una distancia de 40 metros se sale del rango de espaciamiento y por consiguiente habría penumbras entre uno y otro luminario.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \phi_L}{A \cdot d} = \frac{0.30 \cdot 0.729 \cdot 27500}{15 \cdot 35} = \frac{6614.25}{525} = 11.455luxes$$

El nivel de iluminación es un poco más de los 10 luxes requeridos; por lo que la distancia de separación entre luminarios para la **Vialidad C** se toma de  $d = 35$  metros.

#### **VI.2.4 Iluminación de la Vialidad D.**

- Se determina el nivel de iluminación. Se considera vía local de tráfico mediano, por lo tanto la iluminación es de  $E_m = 6$  luxes.
- Se escoge el tipo de lámpara: **Vapor de Sodio a Alta Presión (V.S.A.P.)**.
- Se selecciona el tipo de luminario; para este caso 250W es demasiada potencia, por lo tanto se escoge el mismo luminario, pero con una potencia menor.
  - ◆ Luminario: **MAYFAIR**
  - ◆ . Catalogo No. 1628
  - ◆ Lámpara de 100 HPS (High presión sodium)
  - ◆ Watts: 100
  - ◆ Lúmenes: 9500
- Se determina la altura de montaje (Ancho de la vía: 7 metros):

Tipo de Arreglo:

- **UNILATERAL:**

$$H_{\min} = 0.85 \times 7 = 5.95 \text{ mts}$$

$$H_{\text{rec}} = 1 \times 7 = \underline{\underline{7 \text{ mts.}}}$$

- **TRESBOLILLO:**

$$H_{\min} = 0.5 \times 7 = 3.5 \text{ mts}$$

$$H_{\text{rec}} = 0.66 \times 7 = 4.62 \text{ mts.}$$

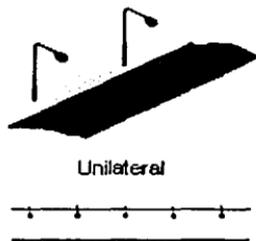
- **BILATERAL:**

$$H_{\min} = 0.33 \times 7 = 2.31 \text{ mts.}$$

$$H_{\text{rec}} = 0.5 \times 7 = 3.5 \text{ mts.}$$

Como  $H_{\min} \leq H \leq H_{\text{recomendado}}$ ; la altura de montaje que se debe escoger es de  $H = 7$  metros; pero si ésta se toma habrá una separación mayor entre luminarios y una disminución en la relación de espaciamiento; así que se prueba con una altura para el luminario de  $H = 9$  metros

- Se elige la disposición de luminarias. Para este caso se considera una disposición **UNILATERAL**.



- Se determina el factor de mantenimiento:

$$F.M. = L.L.D. \times L.D.D$$

$$F.M. = 0.90 \times 0.81 = 0.729$$

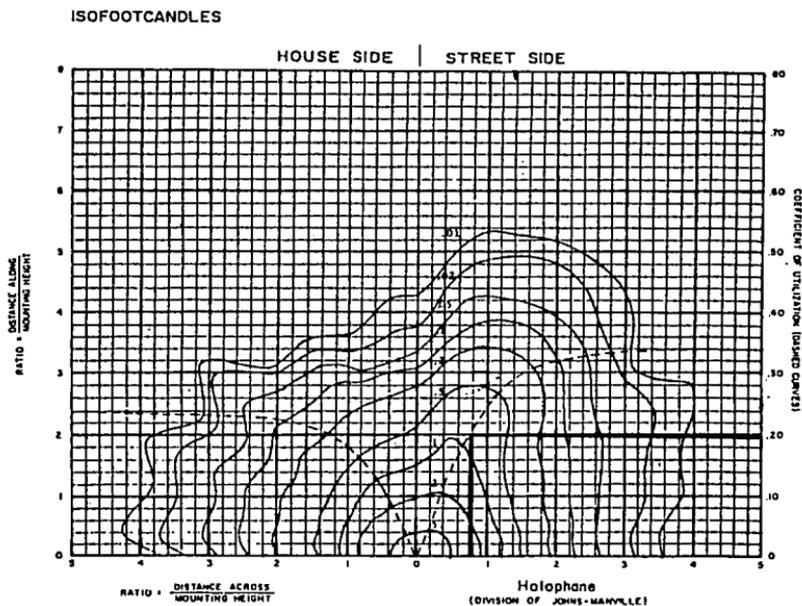
- Se determina el Coeficiente de Utilización (**Cu**).

Se obtiene el cociente A / H (Ancho de la vía / Altura de Montaje); como la Vialidad D tiene un ancho de 7 metros y una altura de montaje de 9 metros, la relación queda de la siguiente manera:

$$\text{Relación Calle: } \frac{A}{H} = \frac{7}{9} = 0.78$$

El Coeficiente de Utilización se obtiene como se indica en la figura; por lo tanto, el valor aproximado que se obtiene es:

$$Cu = 0.20$$



- Se Calcula la separación entre luminarias.

Fórmula de la iluminancia media.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

Datos:

- $E_m = 6$  luxes (nivel de iluminación en Luxes)
- $C_u = \eta = 0.20$  (Coeficiente de Utilización)
- $f_m = 0.729$  (Factor de Mantenimiento)
- $\phi_L = 9500$  (Flujo luminoso de la lámpara en Lúmenes)
- $A = 7$  metros (Ancho de la calzada)
- $d$  (Separación entre luminarios)

Se despeja  $d$  de la formula (iluminancia media) y se sustituyen los datos:

$$d = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \phi_L}{A \cdot E_m} = \frac{0.20 \cdot 0.729 \cdot 9500}{7 \cdot 6} = \frac{1385.1}{42} = 32.978 \approx 32 \text{mts.}$$

La relación de espaciamiento de la luminaria es 3.5 : 1,

$$3.5 \times 9 = 31.5 \text{ metros}$$

Determinando el nivel de iluminación  $E_m$  con una distancia de separación entre luminarios que se redondea a  $d = 32$  metros.

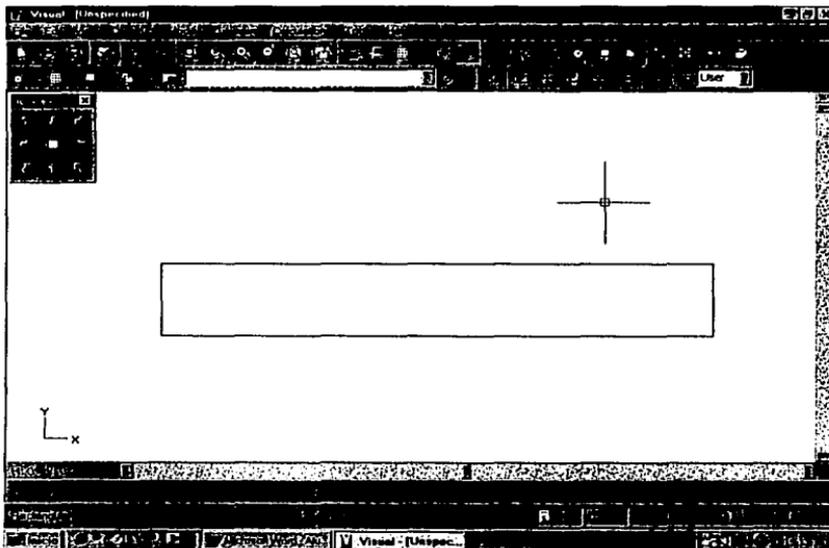
$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \phi_L}{A \cdot d} = \frac{0.20 \cdot 0.729 \cdot 9500}{7 \cdot 32} = \frac{1385.1}{224} = 6.183 \text{luxes}$$

El nivel de iluminación es un poco más de los 6 luxes requeridos; por lo que la distancia de separación entre luminarios para la **Vialidad D** se toma de  $d = 32$  metros.

### VI.3 Cálculo de iluminación por software.

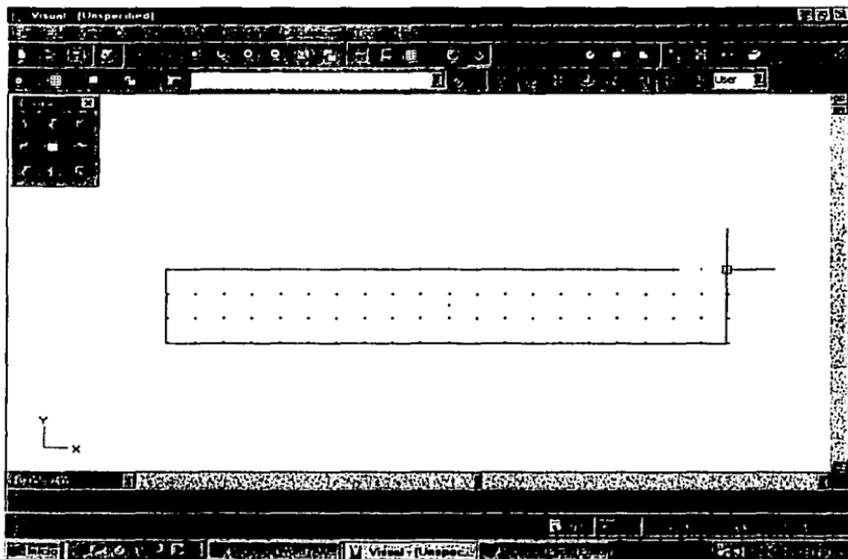
Una vez que se ejecuta el programa Visual se seguirán los siguientes pasos para obtener los cálculos de iluminación.

- Primero se dibuja un rectángulo que simula un tramo de la calzada que se va a calcular, teniendo de ancho el de la vialidad, para el caso de la primera será de 30 metros, y un largo representativo (que será de 200 metros); para realizar la figura (rectángulo) se dan las coordenadas de ésta.

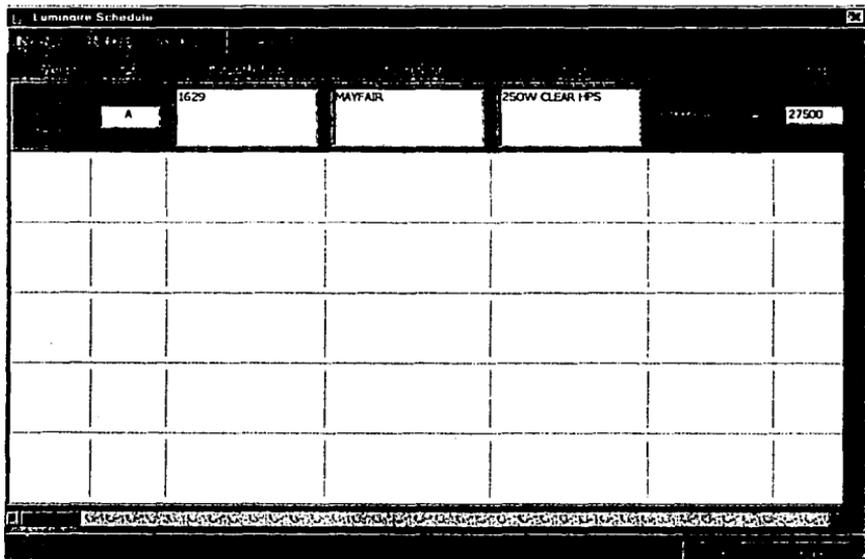


- Oprimir el botón de Calculations en la barra de herramientas que se encuentra en la parte superior.
- Seleccionar Calculation Zone.
- Seleccionar Rectangular

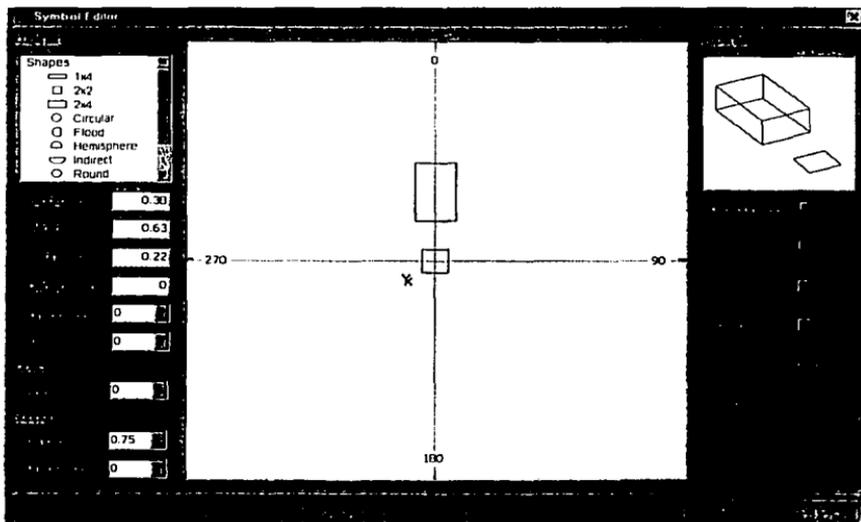
Una vez hecho esto, con el cursor se selecciona la figura y aparecen los puntos que se van a calcular.



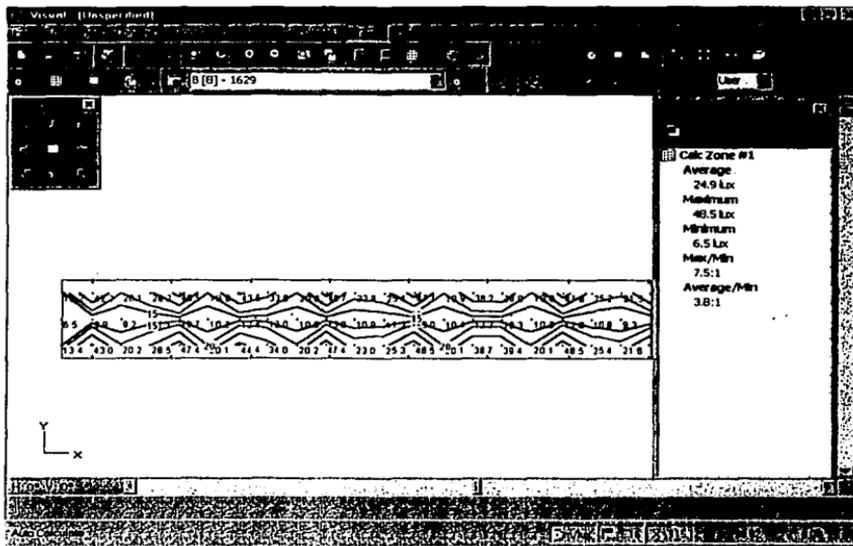
- Oprimir el botón Luminaire de la barra de herramientas en la parte superior.
- Seleccionar Schedule
- Aparecerá una ventana con el nombre *Luminaire Schedule*, oprimir el botón New en la parte superior izquierda y seleccionar de la fotometría el archivo de la lampara Mayfair.
- Se recorre la pantalla con la barra de movimiento que se encuentra en la parte inferior y en donde aparece el factor de mantenimiento (LLF) se corrige y se pone el obtenido en los cálculos para la vialidad A ( $0.729 \approx 0.73$ ).



- En esta misma pantalla se oprime el icono Symbol del luminario seleccionado.
- Una vez hecho esto aparecerá la siguiente pantalla; Se oprime el icono Configuration de la parte superior derecha y se oprime la opción Single, esto indica que el luminario no se encuentra en medio del poste si no al frente de este.
- Del lado derecho en la opción Displacement se pone el valor de cero, ya que la luminaria va sujeta al poste y no tienen ningún brazo.
- En la opción Orientation se deja en cero para los luminarios que alumbran en la parte inferior de la calzada, para los que iluminan en la parte superior habrá que cambiar la orientación a 180° para cambiar el sentido del luminario.



- Oprimir el botón Luminaire en la barra de herramientas que se encuentra en la parte superior.
- Seleccionar Place.
- Se comienza a acomodar los luminarios sobre la calzada dándoles la separación obtenida para la vialidad A (se acomodan por coordenadas).
- Oprimir el botón Calculations de la barra de herramientas en la parte superior.
- Se selecciona Calculate, se obtienen los cálculos y las curvas de iluminación sobre la calzada.
- Estos pasos se repiten para el calculo de las demás vialidades.



En la siguiente tabla se presentan los valores average promedio a mínimo recomendados según el tipo de vialidad.

<b>Tipo de vialidad</b>	<b>Valor Recomendado</b>
Alta velocidad	$Av/Min \leq 3$
Entronques	$Av/Min \leq 4$
Vialidad Secundaria	$Av/Min \leq 6$

Para este análisis, se toman como vías de alta velocidad las vialidades **A** y **B**, así que el nivel promedio Average / Mínimo debe ser menor ó igual a tres; Las vialidades **C** y **D** se toman como vialidades secundarias, por lo que el nivel promedio Average / Mínimo debe ser menor o igual a 6. Este nivel promedio se puede observar en la tabla STATISTICS de los resultados obtenidos con el software.

A continuación se imprimen y se muestran los resultados del cálculo de las cuatro vialidades.

### LUMINAIRE SCHEDULE

Symbol	Label	Qty	Catalog Num	Description	Lamp	File	Lumens LLF	Watts
	A	7	1629	MAYFAIR	250W CLEAR HPS	36002.IES	27500 0.73	250
	B	7	1629	MAYFAIR	250W CLEAR HPS	36002.IES	27500 0.73	250

### LUMINAIRE LOCATIONS

No.	Label	Location			MH	Orientation	Tilt	X	Aim	
		X	Y	Z					Y	Z
1	B	10.0	30.0	10.0	10.0	180.0	0.0	10.0	29.6	0.0
2	B	40.0	30.0	10.0	10.0	180.0	0.0	40.0	29.6	0.0
3	B	70.0	30.0	10.0	10.0	180.0	0.0	70.0	29.6	0.0
4	B	100.0	30.0	10.0	10.0	180.0	0.0	100.0	29.6	0.0
5	B	130.0	30.0	10.0	10.0	180.0	0.0	130.0	29.6	0.0
6	B	160.0	30.0	10.0	10.0	180.0	0.0	160.0	29.6	0.0
7	B	190.0	30.0	10.0	10.0	180.0	0.0	190.0	29.6	0.0
8	A	10.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	10.0	0.4	0.0
9	A	40.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	40.0	0.4	0.0
10	A	70.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	70.0	0.4	0.0
11	A	100.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	100.0	0.4	0.0
12	A	130.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	130.0	0.4	0.0
13	A	160.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	160.0	0.4	0.0
14	A	190.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	190.0	0.4	0.0



Vialidad "A"

Designer

Date

Scale

Drawing No.

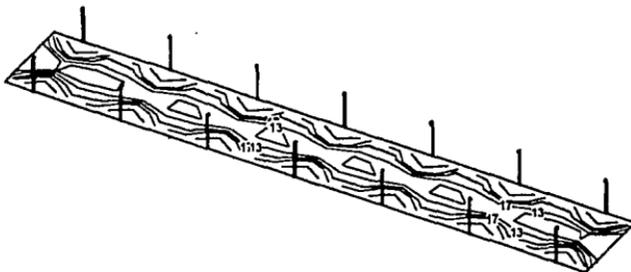
1 of 2

### STATISTICS

Description	Avg	Max	Min	Max/Min	Avg/Min	UG	CV
Calc Zone #1	18.6 lux	46.7 lux	5.9 lux	7.9:1	3.2:1	2.4	0.59



**Plan View**  
Scale 1:1000



**Southeast View**  
Not to Scale



Vialidad "A"

Designer

Date

Scale

Drawing No.

2 of 2

### LUMINAIRE SCHEDULE

Symbol	Label	Qty	Catalog Num	Description	Lamp	File	Lumens	LLF	Watts
☐	A	7	1629	MAYFAIR	250W CLEAR HPS	36002.IES	27500	0.73	250
☐	B	7	1629	MAYFAIR	250W CLEAR HPS	36002.IES	27500	0.73	250

### LUMINAIRE LOCATIONS

No.	Label	Location			MH	Orientation	Tilt	Aim		
		X	Y	Z				X	Y	Z
1	A	10.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	10.0	0.4	0.0
2	A	40.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	40.0	0.4	0.0
3	A	70.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	70.0	0.4	0.0
4	A	100.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	100.0	0.4	0.0
5	A	130.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	130.0	0.4	0.0
6	A	160.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	160.0	0.4	0.0
7	A	190.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	190.0	0.4	0.0
8	B	10.0	28.0	10.0	10.0	180.0	0.0	10.0	27.6	0.0
9	B	40.0	28.0	10.0	10.0	180.0	0.0	40.0	27.6	0.0
10	B	70.0	28.0	10.0	10.0	180.0	0.0	70.0	27.6	0.0
11	B	100.0	28.0	10.0	10.0	180.0	0.0	100.0	27.6	0.0
12	B	130.0	28.0	10.0	10.0	180.0	0.0	130.0	27.6	0.0
13	B	160.0	28.0	10.0	10.0	180.0	0.0	160.0	27.6	0.0
14	B	190.0	28.0	10.0	10.0	180.0	0.0	190.0	27.6	0.0



Vialidad "B"

Designer \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

Scale \_\_\_\_\_

Drawing No. \_\_\_\_\_

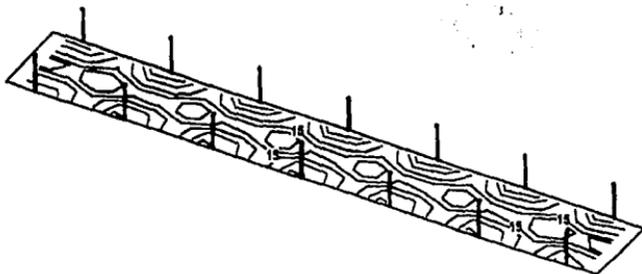
1 of 2

### STATISTICS

Description	Avg	Max	Min	Max/Min	Avg/Min	UG	CV
Calc Zone #1	22.3 lux	38.9 lux	9.2 lux	4.2:1	2.4:1	2.4	0.43



**Plan View**  
Scale 1:1000



**Southeast View**  
Not to Scale



Validad "B"

Designer

Date

Scale

Drawing No.

2 of 2

### LUMINAIRE SCHEDULE

Symbol	Label	Qty	Catalog Num	Description	Lamp	File	Lumens	LLF	Watts
	A	3	1629	MAYFAIR	250W CLEAR HPS	38002.IES	27500	0.73	250
	B	2	1629	MAYFAIR	250W CLEAR HPS	38002.IES	27500	0.73	250

### LUMINAIRE LOCATIONS

No.	Label	Location			MH	Orientation	Tilt	Aim		
		X	Y	Z				X	Y	Z
1	A	10.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	10.0	0.4	0.0
2	A	80.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	80.0	0.4	0.0
3	A	150.0	0.0	10.0	10.0	0.0	0.0	150.0	0.4	0.0
4	B	45.0	15.0	10.0	10.0	180.0	0.0	45.0	14.8	0.0
5	B	115.0	15.0	10.0	10.0	180.0	0.0	115.0	14.6	0.0



Validad "C"

Designer

Date

Scale

Drawing No.

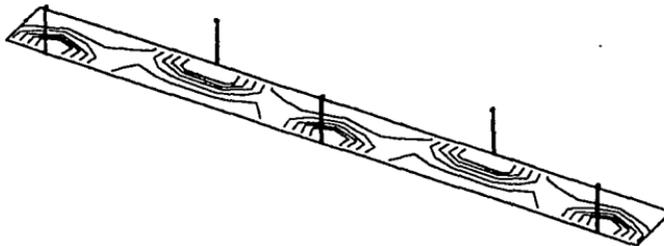
1 of 2

### STATISTICS

Description	Avg	Max	Min	Max/Min	Avg/Min	UG	CV
Calc Zone #1	14.9 lux	41,6 lux	3.1 lux	13.4:1	4.8:1	2.2	0.70



**Plan View**  
Scale 1:750



**Southeast View**  
Not to Scale



Validad "C"

Designer

Date

Scale

Drawing No.

2 of 2

### LUMINAIRE SCHEDULE

Symbol	Label	Qty	Catalog Num	Description	Lamp	File	Lumens	LLF	Watts
▮	A	0	1628	MAYFAIR	100W CLEAR HPS	36056.IES	9500	0.73	100
▮	B	4	1628	MAYFAIR	100W CLEAR HPS	36056.IES	9500	0.73	100

### LUMINAIRE LOCATIONS

No.	Label	Location			MH	Orientation	Tilt	Aim		
		X	Y	Z				X	Y	Z
1	B	10.0	7.0	10.0	10.0	180.0	0.0	10.0	6.6	0.0
2	B	42.0	7.0	10.0	10.0	180.0	0.0	42.0	6.6	0.0
3	B	74.0	7.0	10.0	10.0	180.0	0.0	74.0	6.6	0.0
4	B	106.0	7.0	10.0	10.0	180.0	0.0	106.0	6.6	0.0



Validad "D"

Designer \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

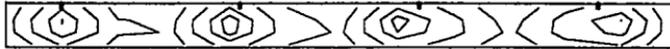
Scale \_\_\_\_\_

Drawing No. \_\_\_\_\_

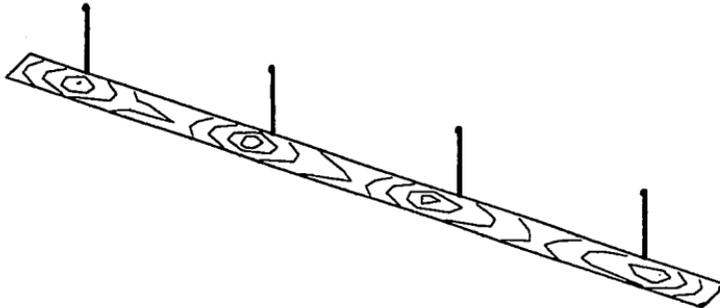
1 of 2

### STATISTICS

Description	Avg	Max	Min	Max/Min	Avg/Min	UG	CV
Calc Zone #1	7.8 lux	15.3 lux	2.4 lux	6.4:1	3.3:1	1.5	0.48



Plan View  
Scale 1:600



Southeast View  
Not to Scale



Validad "D"

Designer

Date

Scale

Drawing No.

2 of 2

## CONCLUSIONES.

En la realización de éste trabajo se pretendió dar a conocer la importancia que tiene el alumbrado público, además de mostrar algunos de los conceptos más fundamentales que se deben conocer para poder tener una mayor comprensión a la hora de la elaboración de los cálculos de iluminación; también se expusieron los métodos y pasos que se deben seguir para poder realizar un proyecto de este tipo.

Se hizo ver que la elaboración de un proyecto de iluminación de vialidades no es tan complicado como se piensa, ya que se mostró un método manual como lo es el de los lúmenes y la facilidad con la que se pueden obtener los datos necesarios para el cálculo de iluminación, pero también se pudo apreciar que aunque no es difícil obtener estos datos hay que tener un criterio común a la hora de dar una solución al problema, ya que en la iluminación de las cuatro vialidades expuestas la distancia entre luminarios fue diferente entre sí, y ésta se corroboró con el nivel de iluminación media, por consiguiente se seleccionó la distancia más óptima que pudiera dar el nivel de iluminación requerido; también en el caso de la vialidad D se tuvo que incrementar la altura de montaje del luminario por que la obtenida en los cálculos disminuía la relación de espaciamiento y aumentaba la distancia entre luminarios; asimismo la potencia de las lamparas se tuvo que reducir a 100 watts, ya que la que se utilizó en las demás vialidades era demasiada para éste caso

Al parecer durante todo el desarrollo del problema esto fue lo que se complicó un poco, por que aunque se tenga el criterio para conseguir la solución, muchas veces la experiencia en este tipo de situaciones ayuda a dar una mejor y más rápida solución a este tipo de proyectos de iluminación de vialidades.

Así también se expuso la sencillez con la que se pueden elaborar estos mismos cálculos de iluminación mediante la ayuda de un software, que en este caso se utilizó el programa Visual versión 2.0, con el cual se pudo obtener rapidez al procesar los datos y conseguir resultados más precisos, esto claro, siempre y cuando se use de forma correcta, por que al no hacerlo así los resultados obtenidos pueden resultar erróneos ó la diferencia entre estos y los resultados manuales pueden ser muy grande; pero este problema se puede ir eliminando con la práctica en el uso de este software.

Así es que también se constató la importancia que tiene el software en nuestros días como una herramienta de trabajo ya que éste nos ahorra tiempo y nos da un menor rango de error a la hora de realizar y obtener los resultados del cálculo de iluminación;

Por lo tanto, en un cálculo de iluminación de vialidades además de que se deben tomar en cuenta ciertos factores y procedimientos, en muchas ocasiones esto no es suficiente, ya que siempre se debe de tener un cierto criterio para darle una mejor solución al problema.

# Anexo

## 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	1,760	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	.690	MEDIA (E-26)	PS-30	*	20.5
500	125	10,100	1,000	20	.650	MOGUL (E-40)	PS-40	*	24.8
500	220	9,270	1,000	18	.670	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

500	125	10,500	2,000	21	0.96	CONTACTO EMBUTIDO	T-3	CLARO	11.90
1000	220	21,500		22					25.60
1500	220	35,800		24					25.60

\* NOTA: LA LETRA INDICA LA FORMA DE BULBO O BORBUJILLO Y EL NUMERO QUE LE SIGUE EL DIAMETRO MAXIMO EN CENTIMOS DE PULGADA

EjemPlo:	PS-40	*S* PERA CON CUELLO RECTO	43/8" DE DIAMETRO	*F* FLAMA
	*S* RECTO	*P* PERA	*PAR* REFLECTOR PARABOLICO	*CA* DECORATIVO
	*S* REDONDO	*A* NORMAL	*R* REFLECTOR	

## DATOS DE LAMPARAS DE LUZ MIXTA

160	220	3,100	6,000	19	0.57	MEDIA (E-26)	BF-75	COLOR CORREGIDO	17.20
250		5,600		22	0.65	MOGUL (E-40)	BF-90		22.50
500		14,000		25	0.74	MOGUL (E-40)	ED-37		27.70

### 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 CALDO	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 CALDO	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 CALDO	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 CALDO	900	10,000	69	0.87	GX23-2	T-4	12.30	RAPIDO
13	TUBO DOBLE	BLANCO FRIO	900	10,000	69	0.87	GX23-2	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 CALDO	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 CALDO	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 CALDO	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

### DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES

WATTS	TIPO	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS	ENCENDIDO
22	CIRCULAR	LUZ DE DIA	895	12,000	41	0.72	4 ALFILERES	F-9	20.96 φ	RAPIDO
22	CIRCULAR	B. FRIO DE LUJO	875	12,000	40	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 φ	RAPIDO
22	CIRCULAR	B. CALDO DE LUJO	785	12,000	36	0.72	4 ALFILERES	F-9	20.96 φ	RAPIDO
32	CIRCULAR	BLANCO FRIO	1,850	12,000	58	0.82	4 ALFILERES	T-9	30.48 φ	RAPIDO
32	CIRCULAR	LUZ DE DIA	1,590	12,000	50	0.82	4 ALFILERES	F-9	30.48 φ	RAPIDO
40	CIRCULAR	BLANCO FRIO	2,650	12,000	66	0.77	4 ALFILERES	T-9	40.64 φ	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	F-8	60.20	RAPIDO
20	TUBULAR	BLANCO CALIDO	1,300	9,000	85	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	F-8	60.00	CON ARRANCADOR
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	3,050	20,000	95	0.82	MEDIANA 2 ALFILERES	F-8	122.00	RAPIDO
32	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,050	20,000	95	0.82	MEDIANA 2 ALFILERES	F-8	122.00	RAPIDO
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	3,050	15,000	95	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	F-8	122.00	INSTANTANEO
32	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,050	15,000	95	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	F-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	121.60	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. CALDO 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	F-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" S8	BLANCO FRIO	2,800	20,000	90	0.90	MEDIANA 2 ALFILERES	F-8	57.15	RAPIDO
32	TIPO "U" S8	BLANCO FRIO	3,000	20,000	94	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	F-8	57.15	RAPIDO
40	TIPO "U" S8	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	F-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	F-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	F-12	243.84	INSTANTANEO

### DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

WATTS	ACABADO	LUMENES	VIDA EN	EFICACIA LUMENES/ WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS
		INICIALES	HORAS					
100	BLANCO DE LUJO	4,400	24.000	44	0.82	MOGUL	BT-25	19.10
175	BLANCO DE LUJO	8,500		49	0.89		E-28	21.00
250	BLANCO DE LUJO	12,775		51	0.84		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	MOGUL	BT-26	21.10
175	FOSFORADO	13,000	10,000V - 7,500H	80	0.73		BT-26	21.10
250	CLARO	22,000V 20,000H	10,000	82	0.83		BT-26	21.10
250	FOSFORADO	22,000V 20,000H	10,000	82	0.78		BT-26	21.10
400	CLARO	36,000V 37,000H	20,000V - 15,000H	90	0.75		BT-37	29.20
400	FOSFORADO	36,000V 32,000H	20,000V - 15,000H	90	3.72		BT-37	29.20
400	CLARO	40,000	20,000	100	0.80		BT-37	29.20
1000	CLARO	115,000V 127,800H	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 152,000H	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

### DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO ALTA PRESION (STANDAR)

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	24.000	80	0.90	MEDIUM	ED-17	13.81
70	CLARO	6.300		90	0.90	MOGUL	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		E-28	18.70
150(55V)	DIFUSO	15.000		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	60.000		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	EFICACIA LUMENES/ WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS
18	CLARO	1.800	18.000	100	1.00	BY22d	T-17	21.60
35		4.800		137				31.10
55		8.000		145				42.50
90		13.500		150			52.80	
135		22.500		167			77.50	
180		33.000		183			112.00	

# Bibliografía.

HOLOPHANE MEXICO, Catálogo Condensado 2000

SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERIA E ILUMINACIÓN A.C., Principios de Iluminación y Niveles de Iluminación en México, Ingeniería de Iluminación, 1967

OSRAM, Catálogo de Conceptos de Iluminación Artificial

QUIROZ LOPEZ, BENJAMIN. Trabajo de Seminario, Iluminación e Instalaciones Eléctricas; Criterios para la Iluminación de Vialidades, UNAM 1998.

RIMALUZ ILUMINACIÓN, Manual de Iluminación,

Web Site <http://rimaluz.upc.es>

BASE DE DATOS DE INGENIERÍA, Instalaciones Eléctricas,

Web Site <http://bdd.unizar.es>

FONDO NACIONAL DE FOMENTO AL TURISMO.

Web Site <http://www.fonatur.gob.mx>

HOLOPHANE MEXICO.

Web Site <http://www.holophane.com.mx>

LITHONIA LIGHTING GROUP.

Web Site <http://lithonia.com>