



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"CAMPUS ARAGÓN"

"LA LUMINOTÉCNIA EN LA INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA"

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
**ÁREA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA**  
P R E S E N T A :  
**FERNANDO MÉNDEZ MARÍN**

ASESOR:  
ING. FRANCISCO RAÚL ORTÍZ GONZÁLEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCIÓN

FERNANDO MENDEZ MARIN

Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"LA LUMINOTECNIA EN LA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA"

ASESOR: Ing. FRANCISCO RAÚL ORTIZ GONZÁLEZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 9 de marzo de 2004.

LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



C p Secretaria Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/vr



## A DIOS

Por permitirme terminar la carrera y estar a mi lado  
en todo momento...

## A MIS PADRES

Ofelia Marín García

y

Hermelindo Méndez Martínez

Gracias por ser los pilares más importantes de mí vida  
y que día a día me demuestran su amor,  
cariño y apoyo para seguir  
adelante...

A mis hermanos Carlos Arturo y Víctor Hugo

Gracias por sus palabras de aliento...

A mi querida esposa Guadalupe Ayala Cristóbal

Gracias por todo su apoyo incondicional  
y el saber que cuento con ella  
en todo momento...

A Ambrosio García Camacho

Gracias por toda su gran ayuda que me brindo en mi carrera  
universitaria...





Al Ing. Francisco Raúl Ortiz González

Gracias por ser mi asesor de tesis, y por toda su ayuda  
para poder llevar a cabo la realización  
de esta tesis

A mis sinodales

Ing. Francisco Apolonio Arista Patiño

Ing. Eleazar Margarito Pineda Díaz

Ing. José Luis García Espinosa

Ing. Leonardo Zavaleta Pozo

A todos mis profesores por compartirme sus conocimientos



# CONTENIDO

# GENERAL

---

---

	Pagina
INTRODUCCIÓN .....	I
CAPÍTULO I	
PROCESO DE VISIÓN .....	1
CAPÍTULO II	
FUENTES DE ALUMBRADO .....	21
CAPÍTULO III	
EQUIPOS ELÉCTRICOS .....	52
CAPÍTULO IV	
CASOS DE APLICACIÓN .....	89
CONCLUSIONES .....	118
BIBLIOGRAFÍA .....	119

---

# CONTENIDO

---

---

INTRODUCCIÓN .....	I
--------------------	---

## CAPÍTULO I

### PROCESO DE VISIÓN

I.A. ASPECTO TÉCNICO Y SENSORIAL EN EL PROCESO VISUAL .....	1
I.A.1. El comportamiento del ojo humano como instrumento óptico .....	2
I.A.3. Proceso de visión .....	4
I.A.4. Acomodación .....	6
I.A.5. Adaptación .....	7
I.A.6. Agudeza visual .....	7
I.A.7. Contraste de luminancias .....	8
I.A.8. Deslumbramiento .....	8
I.B. INTRODUCCIÓN A LA ILUMINACIÓN .....	9
I.B.1. El arte de la iluminación .....	9
I.B.2. Aspectos a considerar en un proyecto de iluminación .....	9
I.B.3. Los proyectos de iluminación .....	10
I.B.3.a. Iluminación en espacios exteriores .....	11
I.B.3.b. Iluminación de espacios interiores .....	11
I.C. EL COLOR Y LA LUZ .....	12
I.C.1. Sistema de especificación de los colores .....	13
I.C.2. Espacios perceptuales uniformes .....	14
I.C.3. Efectos psicológicos .....	14

---

---

I.C.4. Temperaturas de color .....	15
I.C.5. Rendimiento del color .....	15
I.D. PRINCIPIOS FOTOMÉTRICOS, MAGNITUDES Y UNIDADES .....	16
I.D.1. Radiación energética .....	16
I.D.2. Espectro de una radiación .....	16
I.D.4. Espectro visible .....	17
I.D.4.a. Radiaciones no visibles .....	18
I.D.5. Magnitudes y unidades fundamentales de radiación .....	19

## CAPÍTULO II

### FUENTES DE ALUMBRADO

II.A. LUMINARIAS .....	22
II.A.1. Curvas de distribución de la luz .....	22
II.A.2. Leyes relacionadas con luminotécnica .....	24
II.A.3. Propiedades ópticas de luminarias .....	28
II.A.3.a. Los espejos (tipos y características principales) .....	28
II.B. FUENTES DE LUZ .....	30
II.B.1. Radiaciones por incandescencia .....	31
II.B.2. Lámparas de incandescencia clásicas .....	31
II.B.3. Lámparas de incandescencia con halogenuros .....	32
II.B.3.a. Ventajas .....	33
II.B.4. Lámparas de descarga de gas .....	34
II.B.4.a. Elementos auxiliares .....	34

---

---

II.B.5. Lámparas de vapor de mercurio .....	35
II.B.5.a. Aplicaciones .....	37
II.B.5.b. Lámparas de vapor de mercurio modernas .....	37
II.B.5.c. Lámparas de vapor de mercurio de luz mixtas .....	38
II.B.5.d. Lámparas de mercurio con halogenuros .....	39
II.B.5.d.i. Sus limitaciones .....	41
II.B.6. Lámparas de vapor de sodio .....	41
II.B.6.a. Lámparas de vapor de sodio baja presión .....	41
II.B.6.b. Lámparas de vapor de sodio alta presión .....	44
II.B.7. Fluorescencia .....	46
II.B.7.a. Tubos fluorescentes .....	46
II.B.7.b. Las manchas en los tubos .....	48
II.B.7.c. Lámparas fluorescentes compactas .....	50

### CAPÍTULO III

#### EQUIPOS ELÉCTRICOS

III.A. LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS EN LAS LUMINARIAS .....	52
III.A.1. Equipo para lámparas fluorescentes compactas .....	53
III.A.2. Equipo para lámparas fluorescentes .....	54
III.A.3. Equipo eléctrico para lámparas de vapor de mercurio de alta presión .....	58
III.A.4. Lámparas de vapor de sodio de alta presión .....	61
III.A.5. Lámparas de vapor de sodio baja presión .....	62
III.A.6. Equipos de maniobra y control .....	63
III.A.6.a. Controles de iluminación .....	63

---

---

III.B. ALUMBRADO DE INTERIORES .....	64
III.B.1.El ambiente visual .....	64
III.B.1.a. Factores que influyen en la visión .....	64
III.B.1.b. Deslumbramiento .....	66
III.B.2. Iluminación comercial decorativa .....	67
III.C. ALUMBRADO EXTERIOR .....	71
III.C.1. Iluminación de alumbrado público .....	71
III.C.2. Selección de las lámparas .....	74
III.C.3. Alumbrado por proyectores .....	74
III.C. 4. Postes columnas y brazos .....	76
III.C.5. Posición de luminarias en tramos de curvas .....	81
III.C.5.a. Posición de luminarias glorietas .....	82
III.C.5.b. Posición de luminarias en cruceros .....	82
III.C.5.c. Posición de luminarias entre los árboles .....	83
III.C.5.d. Posición de luminarias en cruce de peatones .....	83
III.C.6. Alumbrado en áreas deportivas .....	85

## CAPÍTULO IV

### CASOS DE APLICACIÓN

IV.A. NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS .....	89
IV.A.1. Método de Lumen aplicado para el cálculo de interiores .....	94
IV.A.2. Coeficiente de utilización .....	96

---

---

IV.A.3. Caso práctico de un alumbrado industrial .....	101
IV.A.4. Proyecto de alumbrado para una biblioteca .....	106
IV.A.5. Proyecto de alumbrado vial .....	110
CONCLUSIONES .....	118
BIBLIOGRAFÍA .....	119

# INTRODUCCIÓN

---

El diseño del alumbrado en un ambiente de trabajo interior o exterior es considerado una técnica, por ser, el requerimiento fundamental, al proporcionar suficiente luz para el desarrollo de las tareas visuales. Esto permite a las personas desarrollar sus tareas en forma eficiente y precisa, creando al mismo tiempo un ambiente confortable y con un mínimo de fatiga y esfuerzo para los ojos, dado que estos órganos vitales responden a la luz reflejada en cualquier superficie.

El presente trabajo esta dirigido a los sistemas de iluminación de interiores y exteriores tomando como base los conceptos que involucran a la luminotécnica.

A continuación se describen los aspectos principales en los que se encuentran comprendidos los capítulos de este trabajo:

El primer capítulo explica los aspectos relacionados con la visión dando a conocer los factores que producen una buena y mala visibilidad relacionada con la iluminación, tomado en cuenta la relación del color y la luz, que son de gran importancia.

En el segundo capítulo se presentan las principales lámparas, así como los tipos, modelos y características principales que existen en el mercado.

En el tercer capítulo se mencionan los componentes externos con los que cuentan las lámparas para su buen funcionamiento, también se hace mención detallada del alumbrado de interiores y exteriores, así como de áreas deportivas.

Por último en el cuarto capítulo se presenta el cálculo para proyectos de alumbrado en interiores así como de exteriores, basados en el Método de Lumen.

CAPÍTULO I  
PROCESO  
DE  
VISIÓN

---

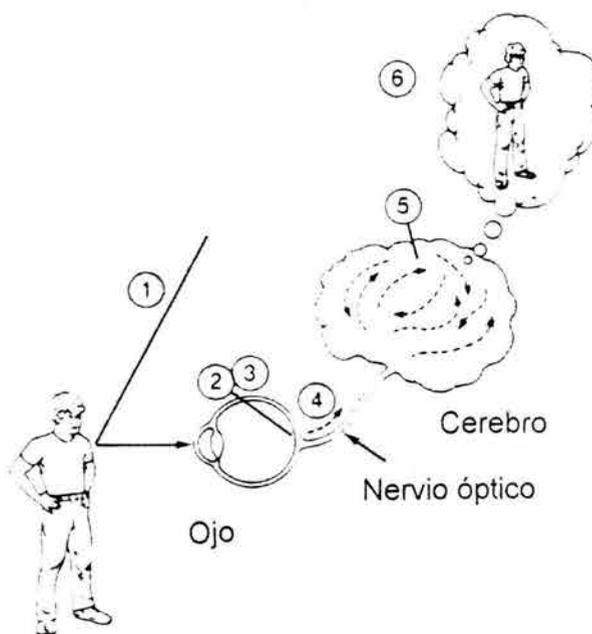
El ojo es el órgano de la visión en los seres humanos y en los animales. Los ojos de las diferentes especies varían desde las estructuras más simples, capaces de diferenciar sólo entre la luz y la oscuridad, hasta los órganos complejos que presentan los seres humanos y otros mamíferos, que pueden distinguir variaciones muy pequeñas de forma, color, luminosidad y distancia.

### I.A. ASPECTO TÉCNICO Y SENSORIAL EN EL PROCESO VISUAL

En realidad, el órgano que efectúa el proceso de la visión es el cerebro; la función del ojo es traducir las vibraciones electromagnéticas de la luz en un determinado tipo de impulsos nerviosos que se transmiten al cerebro

Todo el mundo da por hecho que el individuo es capaz de ver, pero ¿cómo tiene lugar la visión? Si queremos ver a una persona que está delante de uno, se genera un proceso perceptivo que consta de varias fases:

- 1.- La luz alcanza a la persona y la refleja en el ojo.
- 2.- Se forma una imagen de la persona en la retina
- 3.- Se generan señales en los receptores de la retina.
- 4.- Se transmiten impulsos eléctricos en dirección al cerebro a través de los nervios.
- 5.- Los impulsos eléctricos alcanzan al cerebro y son procesados por éste, y
- 6.- Se percibe.

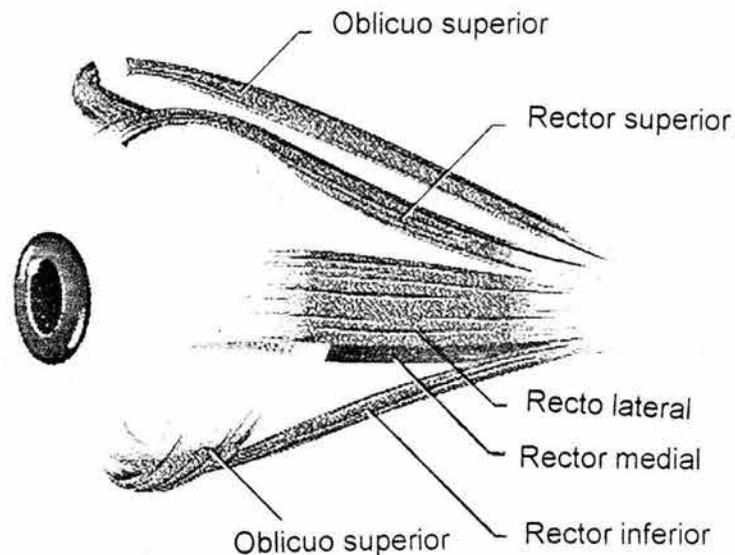


**Figura I.1:** Proceso de visión

El ojo, que se encuentra contenido en una cavidad ósea llamada órbita, o cuenca, tiene forma más o menos esférica y un diámetro de alrededor de 2.5 centímetros. Puede ser girado en diferentes direcciones por medio de seis músculos, que por un extremo están adheridos al globo ocular y por el otro a la pared de la cavidad orbital.

Músculos extrínsecos del ojo, vista lateral del ojo, donde se puede observar los músculos extrínsecos unidos directamente al globo ocular que permiten el movimiento del ojo.

Los cuatro rectos están alineados con sus puntos de origen, mientras que los dos oblicuos se insertan en la superficie ocular formando un ángulo.



**Figura I.2:** Músculos del ojo humano

Nadie es consciente de las diferentes zonas en las que se divide el campo visual. Esto es debido a que los ojos están en constante movimiento y la retina se excita en una u otra parte, según la atención se desvía de un objeto a otro. Los movimientos del globo ocular hacia la derecha, izquierda, arriba, abajo y a los lados se llevan a cabo por los seis músculos oculares y son muy precisos. Se ha estimado que los ojos pueden moverse para enfocar en, al menos cien mil puntos distintos del campo visual. Los músculos de los dos ojos funcionan de forma simultánea, por lo que también desempeñan la importante función de converger su enfoque en un punto para que las imágenes de ambos coincidan; cuando esta convergencia no existe o es defectuosa se produce la doble visión. El movimiento ocular y la fusión de las imágenes también contribuyen en la estimación visual del tamaño y la distancia.

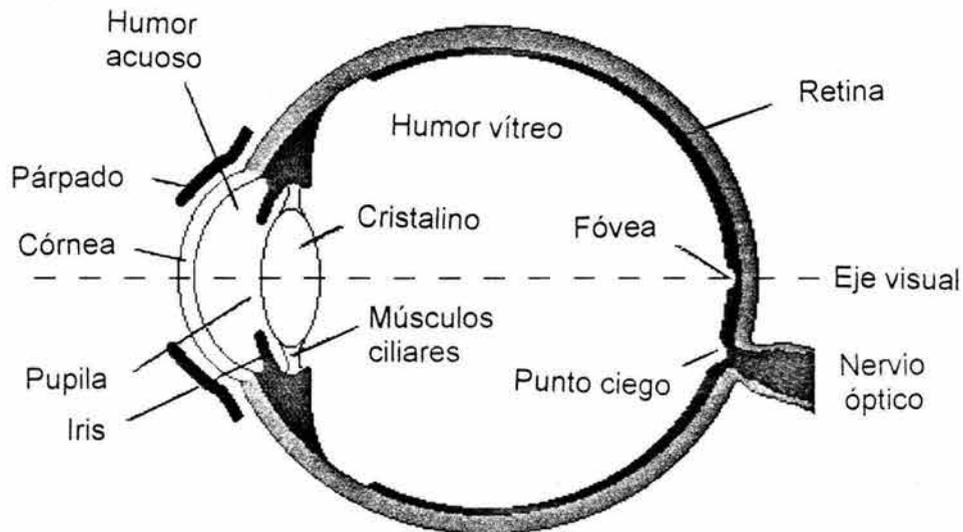
### **I.A.1. El comportamiento del ojo humano como instrumento óptico**

La luz llega en una serie de ondas, cuyas diferentes longitudes excitan distintas sensaciones de color cuando inciden en la retina. El ojo no presenta la misma sensibilidad a los rayos luminosos de todas las longitudes de onda. Algunos, como los rayos ultravioleta e infrarrojos entre otros, no producen ninguna sensación visual.

La pared del globo ocular que encierra las porciones interiores líquidas y semilíquidas, se compone de tres capas:

La parte externa es la esclerótica, que protege las delicadas estructuras internas del ojo, se puede ver parte de ésta capa, que se llama "blanco del ojo", por delante hay una zona circular transparente a la que se le da el nombre de córnea.

La parte exterior de la esclerótica está lubricada con el líquido lagrimal, secretado por la glándula de igual nombre. De la superficie del ojo, este líquido pasa a unos pequeños conductos -las vías lagrimales- y desde éstos a la nariz. Los párpados protegen el exterior del globo ocular. Los mismos se cierran como resultado de un acto reflejo cuando algo está a punto de tocarlo, por esta razón se ven los objetos, porque las ondas luminosas se reflejan en ellos y entran en el ojo.



**Figura I.3:** El ojo humano

A continuación se hace mención de cada una de las partes del ojo humano, que se muestran en la **Figura I.3**.

**Nervio óptico.**- Transporta los impulsos nerviosos producidos en la retina hasta el cerebro.

**Párpado.**- Membrana de piel que protege el ojo del exterior y ayuda a regular la cantidad de luz que llega. Si esta es excesiva, se cierra evitando deslumbramientos.

**Córnea.**- Membrana transparente y muy resistente de curvatura fija que cubre la parte anterior del ojo. Posee forma de lente convexa que le permite enfocar las imágenes sobre la retina aunque sin conseguir formar una imagen nítida.

**Humor acuoso.**- Líquido acuoso situado entre la córnea y el cristalino. Actúa como fuente de nutrientes para el cristalino y la córnea manteniendo la forma de esta gracias a la presión ejercida por el líquido.

**Humor vítreo.**- Es una masa gelatinosa y transparente compuesta casi exclusivamente por agua que rellena la cavidad situada entre el cristalino y la retina manteniendo su forma.

**Iris y pupila.**- El iris está situado detrás de la córnea y delante del cristalino con una abertura en el centro llamada pupila cuya función es regular la cantidad de luz que entra en el ojo; abriéndose en condiciones de oscuridad y cerrándose si la intensidad de luz es elevada.

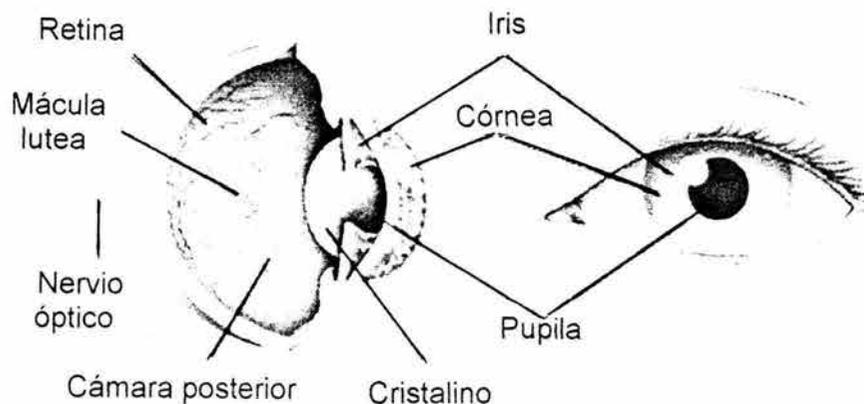
**Cristalino.**- Es un cuerpo en forma de lente biconvexa transparente que puede cambiar de forma por efecto de los músculos ciliares, proceso conocido por acomodación, para conseguir un enfoque nítido de la imagen sobre la retina.

**Retina.**- Porción del ojo sensible a la luz sobre la que se forman las imágenes. Sobre su superficie se encuentran unas células especiales encargadas de la visión: los conos y los bastones. Para esto los conos son responsables de la visión en colores mientras que los bastones nos permiten ver en la oscuridad.

**Fóvea o mancha amarilla.**- Es una pequeña depresión, poco profunda, situada en la retina donde solo hay un tipo de células nerviosas; que son los conos. Es el área de mayor agudeza visual ya que aquí se concentran las imágenes procedentes del centro del campo visual.

**Nervio óptico.**- Transporta los impulsos nerviosos producidos en la retina hasta el cerebro.

**Punto ciego.**- Es el punto de unión entre la retina y el nervio óptico. Se llama así porque esta zona no es sensible a la luz.



**Figura I.4:** Esquema del ojo con corte transversal

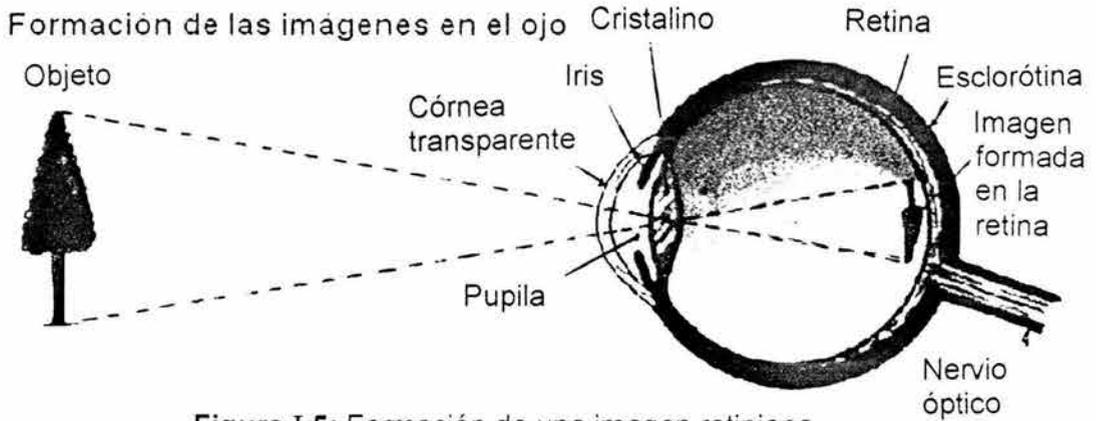
### I.A.3. Proceso de visión

Como se ha mencionado la energía luminosa que procede de un objeto, llega a la retina, depende fundamentalmente de la luminancia del objeto y del diámetro pupilar, y no dependiendo en contra lo que intuitivamente pudiera esperarse, de la distancia a la que se encuentra del objeto.

La energía luminosa que llega a un fotorreceptor viene dada por la iluminación que incide de la retina

La retina es una capa compleja compuesta sobre todo por células nerviosas. Las células receptoras sensibles a la luz se encuentran en su superficie exterior detrás de una capa de tejido pigmentado. Estas células tienen la forma de conos y bastones y está ordenadas

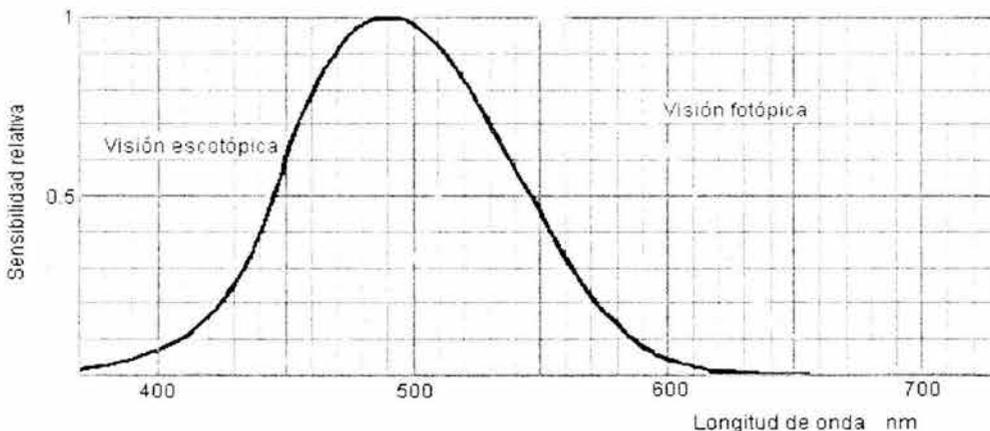
como los fósforos de una caja. Situada detrás de la pupila, la retina tiene una pequeña mancha de color amarillo, llamada mácula lútea; según se aleja del área sensible, las células con forma de cono se vuelven más escasas y en los bordes exteriores de la retina sólo existen las células con forma de bastones.



**Figura I.5:** Formación de una imagen retiniana

Al igual que en la fotografía, la cantidad de luz juega un papel importante en la visión. Así, 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 los 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 mesióptica).

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 color amarillo verdoso de 555 nm (nanometros) para la visión fotópica y otro de 480 nm (azul verdoso) para la visión escotópica.



**Figura I.6:** 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 visión fotopica se define como la visión a plena luz del día, donde las luminancias son superiores a  $3 \text{ cd/m}^2$ , también conocida como la sensibilidad espectral de los conos.

La visión escotopica se define como la visión característica de la luz de las estrellas por la noche, donde las luminancias son inferiores a  $0.001 \text{ cd/m}^2$ , también conocida como la sensibilidad espectral de los bastones.

#### I.A.4. 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. Pero 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 que se forme una imagen nítida.

El enfoque del ojo se lleva a cabo a la lente del cristalino se aplana o redondea; a este proceso se le llama acomodación.

En un ojo normal no es necesaria la acomodación para ver los objetos distantes, pues se enfocan en la retina cuando la lente está aplanada gracias al ligamento suspensorio. Para ver los objetos más cercanos, el músculo ciliar se contrae y por relajación del ligamento suspensorio, la lente se redondea de forma progresiva. Un niño puede ver con claridad a una distancia tan corta como 6,3 cm.

Al aumentar la edad del individuo, las lentes se van endureciendo poco a poco y la visión cercana disminuye hasta unos límites de unos 15 cm a los 30 años y 40 cm a los 50 años. En los últimos años de vida, la mayoría de los seres humanos pierden la capacidad de acomodar sus ojos a las distancias cortas. Esta condición, llamada presbiopía, se puede corregir utilizando unas lentes convexas especiales.

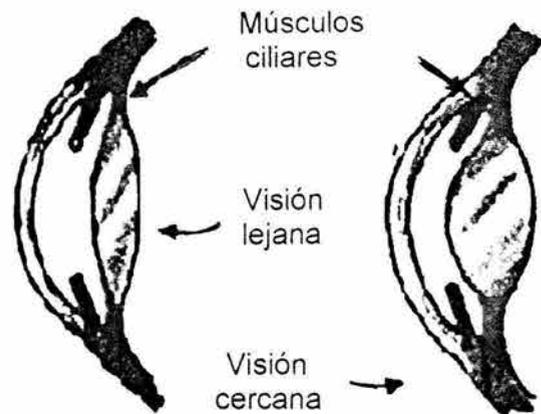


Figura I.7: Acomodación de la vista

### I A.5. Adaptación

El ojo humano puede adaptarse a los diversos niveles de luz con que se encuentre en la vida diaria, con excepción de intensidades tan extremas como la del sol o de luces de arco. Hay un ejemplo notable que patentiza esta facultad de adaptación del ojo: cuando se percibe la luz clara del día a la de una sala cinematográfica, al principio se puede ver muy poco; sin embargo, muy pronto la oscuridad se transforma en penumbra, la cual permite que se pueda acercarse al lugar correspondiente.

La adaptación es la facultad del ojo para ajustarse automáticamente a cambios en los niveles de iluminación, esto 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 y a la media hora ya vemos bastante bien. La adaptación completa se produce pasada una hora.



Figura I.8: Gráfica en la que se muestra la velocidad en tiempo, para la adaptación de la vista en varias circunstancias

### I A.6. Agudeza visual

La agudeza visual o grado de claridad en la visión se mide en el individuo por su capacidad para ver las letras de tamaño establecido que puede observarse normalmente a seis metros, entre los defectos más comunes en la visión tenemos:

a). - 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 esto sucede durante la noche, cuesta mucho distinguir cosas al contrario de lo que ocurre de día.

b). - La dificultad para ver de lejos (miopía).- Los rayos luminosos están enfocados antes de llegar a la retina, debido a que el globo ocular está más alargado que lo común, se corrige con lentes divergentes o cóncavas colocados frente al ojo para disminuir lo suficiente la refracción de los rayos luminosos que entrenen al ojo, formándose el foco de la retina.

c).- La dificultad para ver de cerca (hipermetropía) y el astigmatismo.- Justamente el opuesto a la miopía, los rayos luminosos están enfocados más allá de la retina, debido a que el eje horizontal del ojo es más corto de lo común, puede corregirse usando lentes convexas o convergentes, que originan la mayor convergencia de los rayos que penetran al ojo.

d).- La ceguera o pérdida de la sensación visual, puede ser parcial o completa. Esto es resultado de la pérdida de transparencia de cualquiera de los medios del ojo por los que pasa la luz, defectos de la retina, en la vía nerviosa del ojo al cerebro o daños funcionales en los centros visuales del cerebro.

### I.A.7. Contraste de luminancias

Por contraste se entiende la comparación relativa de dos valores de la misma magnitud, que en el caso de la luz, puede referirse a la luminancia o a cualquiera de los atributos cromáticos.

Tan importante para la visión es el nivel general de luminancia como el contraste de luminancia a color entre el objeto visual y su fondo.

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 percibirá, más detalles se distinguirán y menos se fatigará la vista. Una buena iluminación ayudará mucho y puede llegar a compensar bajos contrastes en colores aumentando la luminancia.



**Figura I.9:** Debido al contraste el texto parece estar más iluminado

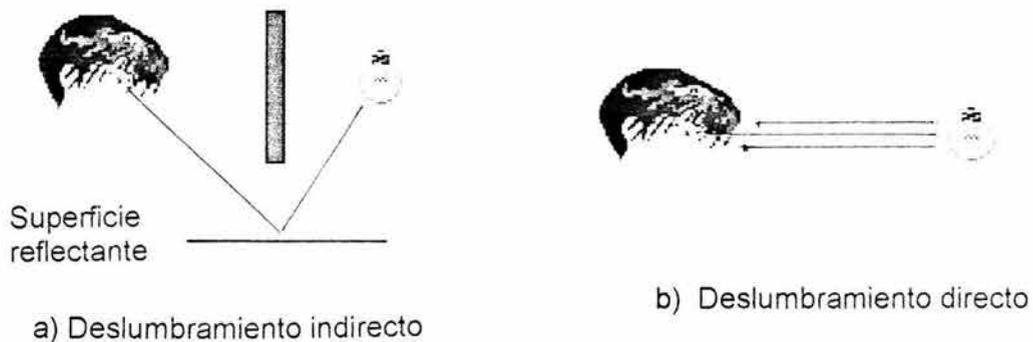
### I.A.8. Deslumbramiento

Por deslumbramiento se entienden niveles luminosos en los que las personas no se sienten a gusto (por razones fisiológicas o síquicas), o bien en un grado más avanzado.

Deslumbramiento por definición es: condición de la visión que produce molestias, reducción o ambas, en la habilidad para ver objetos significantes debido a una inconveniente distribución o nivel de luminancias o a variaciones extremas de las mismas en el espacio o en el tiempo.

Deslumbramiento puede tomar dos formas que algunas veces se manifiestan por separado pero que a menudo se producen simultáneamente. La primera se conoce como deslumbramiento perturbador e incapacita al observador para la percepción visual de los objetos; la segunda se conoce como deslumbramiento molesto y se caracteriza generalmente por una sensación de incomodidad que tiende a aumentar con el paso del tiempo.

El deslumbramiento puede ser directo e indirecto: El directo es el debido a las propias fuentes luminosas con su flujo incidiendo directamente en el ojo del observador. El indirecto se debe al flujo de una fuente luminosa reflejada en una superficie especular, mixta o semiespecular (difusora con un porcentaje de reflexión especular) hacia los ojos de un observador pudiendo producir sensaciones que van desde la leve distracción hasta fuerte incomodidad.



**Figura I.10:** Se muestran los tipos de deslumbramiento

## I B. INTRODUCCIÓN A LA ILUMINACIÓN

### I.B.1. El arte de la iluminación.

La iluminación es la densidad del flujo luminoso sobre una superficie, también la iluminación es un punto sobre una superficie que dista en dirección perpendicular, a un metro de una fuente puntual uniforme de una candela

### I.B.2. Aspectos a considerar en un proyecto de iluminación

Al proyectar un sistema de alumbrado, lo primero que se requiere es elegir un equipo que proporcione un máximo confort visual y el más alto rendimiento compatible con las limitaciones impuestas al proyectista

Un proyecto de iluminación esta condicionado por requerimientos económicos, físicos, de seguridad, confort y estéticos entre otros. El diseñador trata de resolver éstos, al manipular la intensidad, dirección, color y movimiento de la luz. Esta manipulación le permite controlar la calidad visual del espacio y sus componentes. El observador percibe un objeto en el espacio, por medio de la luz reflejada en el objeto y el contraste de éste

con relación a su contexto. Entre las muchas consideraciones a tomar, se debe tomar en cuenta que la capacidad de percepción del individuo se deteriora con la edad.

**Confort.-** Se debe adecuar la iluminación al tipo de la tarea, su duración, las edades de los observadores y el tipo de objetos a iluminar, a fin de diseñar una instalación adecuada. Cada instalación debe proveer un nivel y uniformidad acordes a los requerimientos ya descritos. También debe satisfacer que la calidad de la luz sea adecuada, que los ángulos de incidencia y las fuentes de luz no sean molestos y que la variedad no sea excesiva. Es importante considerar el confort del usuario a fin de evitarle fatiga visual, tensión, disminución de productividad y en causas extremas accidentes.

**Requerimientos de iluminación.-**El objetivo de una iluminación es producir un adecuado ambiente visual. Un ambiente es adecuado si este asegura el confort visual y si cumple con los requerimientos para la tarea visual según la función del local.

Un espacio interior cumple con esos requerimientos si sus partes pueden verse bien sin ninguna dificultad y una tarea visual dada puede ser realizada sin esfuerzo. El confort visual es una función de todo el ambiente visual. Junto con el confort térmico y acústico. El confort visual es una contribución a la sensación de bienestar general

Cumplir con los requerimientos de una tarea visual, requerida por la función de un local significa que la iluminación haga visibles los detalles del plano de referencia en forma correcta, rápida y confortablemente. Estos requerimientos normalmente están relacionados con el plano horizontal de trabajo, de una definida parte del ambiente.

La iluminación tiene que proveer un confort general todo el tiempo, y adicionalmente requerimientos específicos para una determinada tarea visual.

### **I.B.3. Los proyectos de iluminación**

En la actualidad, los centros laborales y lugares en que se habita, son algo más que un mero lugar de trabajo o diversión, son entornos en los que las personas y sus necesidades deben ser puntos de máxima atención para el diseñador de iluminación. Por lo tanto se exige que las soluciones tomadas en una instalación de iluminación sean parte de un conjunto de soluciones que generen ambientes agradables, correctos y racionales.

Por lo tanto es importante tener en cuenta la cantidad y calidad de luz necesaria, siempre en función de la dependencia que se va a iluminar y de la actividad que en ella se realizará.

Para obtener un alumbrado adecuado para el confort visual, hay que actuar desde una iluminación sensiblemente uniforme de la superficie del local, o bien iluminar de una forma individual y especial el lugar de estudio según un criterio localizado. Por último, también puede producirse el caso de que para determinadas tareas, aun teniendo un alumbrado general satisfactorio, sea necesaria una exigencia mayor en determinados puntos, a los que se suplementará la iluminación, para adaptarlos a ciertos valores específicos en lugares donde se realizan importantes trabajos visuales. Estos tres tipos de alumbrado se denominan: general, localizado y suplementario. Donde:

---

a).- El alumbrado general (el considerado en este proyecto).- Se aplicará con ventaja en los casos de locales que se encuentren densamente ocupados o de lugares sujetos a frecuentes modificaciones.

b).- El alumbrado localizado.- Quedará restringido en lugares de trabajo que exijan niveles de alumbrado muy elevado y variable.

c).- El alumbrado suplementario.- La denominación de suplementario indica que no se utilizará de forma única, sino cualquiera de los dos sistemas anteriores.

En general ni el alumbrado local ni el suplementario deberán emplearse nunca solos, sino combinarse con el general. El problema radica en evitar una relación de contrastes excesivos y violentos entre el punto de estudio y sus aledaños. Para que el ojo humano no detecte diferencias de iluminación, es deseable una uniformidad de repartición de luminarias superior al 60%; por ello, los niveles de alumbrado general y local deberán ser proporcionales entre sí.

### **I.B.3.a. Iluminación en espacios exteriores**

Se pretende establecer algunos criterios orientativos que debe tener en cuenta el proyectista encaminados no solamente a conseguir una iluminación adecuada en este tipo de ambientes, sino, teniendo en cuenta además su repercusión en un sistema amplio, tal como: Red eléctrica, trazado, colindancias con otras instalaciones, etc. Ello se ha proporcionado una terminología, introduciendo la palabra alumbrado, limitada estrictamente al estudio de la luz.

Su desarrollo se establece teniendo en cuenta en primer lugar la memoria (objeto, estado actual, justificación del proyecto, características de la red, necesidades, descripción de la red de alumbrado), planos, pliego de condiciones, presupuesto y normatividades.

Los espacios exteriores en función del uso, se clasifica en:

- · Iluminación de vías de tráfico peatonal o rodado,
- · Iluminación de edificios y espacios arquitectónicos singulares,
- · Iluminación de campos de deporte,
- · Iluminación de zonas ajardinadas y esparcimiento, e
- · Iluminación de imágenes urbanas y paisajísticas.

### **I.B.3.b. Iluminación de espacios interiores.**

Al proyectar un sistema de alumbrado interior, lo primero que se requiere es elegir un equipo que proporcione el máximo confort visual y el más alto rendimiento.

Por lo tanto es importante tener en cuenta la cantidad y calidad de luz necesaria, siempre en función de la dependencia que se va a iluminar y de la actividad que en ella se realizará.

Las escuelas y oficinas requieren un nivel de iluminación relativamente elevado y de excelente calidad para satisfacer las necesidades de una amplia diversidad de tareas visuales. Las actividades de las clases varían desde tareas de visión a distancia, tales como ver la pizarra, hasta las muy próximas como es leer y escribir.

Las actividades industriales especializadas y las domésticas requieren particular consideración.

Cuando las aulas se utilicen por la noche para enseñanzas especiales, reuniones especiales y reuniones sociales, el alumbrado eléctrico debe ser suficiente en sí mismo, y no simplemente un suplemento de la luz del día.

Cuando se emplea está para la simple visión o para lograr efectos estéticos o psicológicos, el sistema de luz diurna debe ser cuidadosamente diseñado para que resulte cómodo y agradable, de acuerdo con las mismas consideraciones de brillo que en el alumbrado eléctrico.

Los factores fundamentales que se deben tener en cuenta al realizar el diseño de una instalación son los siguientes:

- Iluminancias requeridas (niveles de flujo luminoso (lux) que inciden en una superficie),
- Uniformidad de la repartición de las iluminancias,
- Limitación de deslumbramiento,
- Limitación del contraste de luminancias,
- Color de la luz y la reproducción cromática, y
- Selección del tipo de iluminación, de las fuentes de luz y de las luminarias.

## I.C. EL COLOR Y LA LUZ

El color es uno de los más poderosos medios de que el ilustrador dispone. Por el pueden ser creadas sensaciones y ejercer una gran atracción cuando son conocidas sus potencias, cualidades y reacciones; también se podrá producir una impresión de gran belleza si se sabe organizar armónicamente su distribución y es aplicado en la intensidad conveniente

Como ciertos efectos de color son interesantes y determinan una reacción satisfactoria y otros por el contrario, crean desacordes y son totalmente negativos en la impresión, es indispensable que el artista posea una amplia capacitación del medio para que la acción de esté sea positiva y, también para que contribuya a un resultado estético satisfactorio.

El color es una cualidad asociada a un fenómeno conocido como radiación electromagnética, que se registra a partir de la vibración de campos eléctricos y magnéticos.

La luz es una forma de energía radiante que se evalúa en cuanto a su capacidad para producir la sensación de la visión

---

### I.C.1. Sistema de especificación de los colores

Para brindar una base de catalogación y comparación de las muestras de color se han desarrollado varios sistemas de clasificación. Todos dependen del hecho de que un color puede clasificarse siempre y cuando se especifique su tinte, saturación y brillo.

El que quiere dominar y manipular los colores debe de tener en cuenta los fundamentos teóricos de esta ciencia. Y puede adquirirlos mezclando en forma sistemática las pinturas o estudiando los sistemas de ordenamiento matemático y geométrico del color. Para ayudar a comprender existen las tablas sistemáticas que se encuentran en los Atlas del Color.

Uno de los sistemas es el atlas de color de Munsell, que da muestras coloreadas de tintes diferente y varios grados de saturación y brillo para cada tinte.

El Atlas de Munsell y otros sistemas de catalogación dependen de la combinación e identificación de los colores respecto de la sensación de color que producen y no en función de su longitud de onda.

En teoría, un diseñador gráfico solo tiene que definir en estos términos el color que se necesita para conseguir el color preciso. En la práctica, este sistema es demasiado complejo para ser útil en la mayoría de los trabajos de diseño, por lo que casi todos los diseñadores encuentran más conveniente especificar el color en términos de las tintas que el impresor usara en el trabajo.

Esta es una representación del llamado sólido del color Munsell o espacio de color, una versión tridimensional del árbol de color de Munsell tiene un eje vertical graduado en dimensiones iguales del negro al blanco, con una escala de saturación también graduada en divisiones iguales que irradia a partir de él.

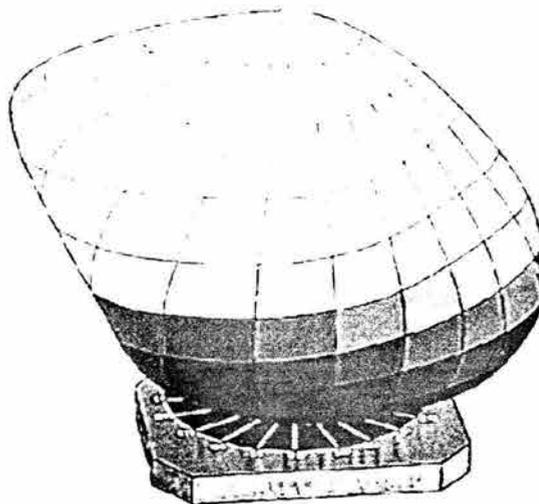
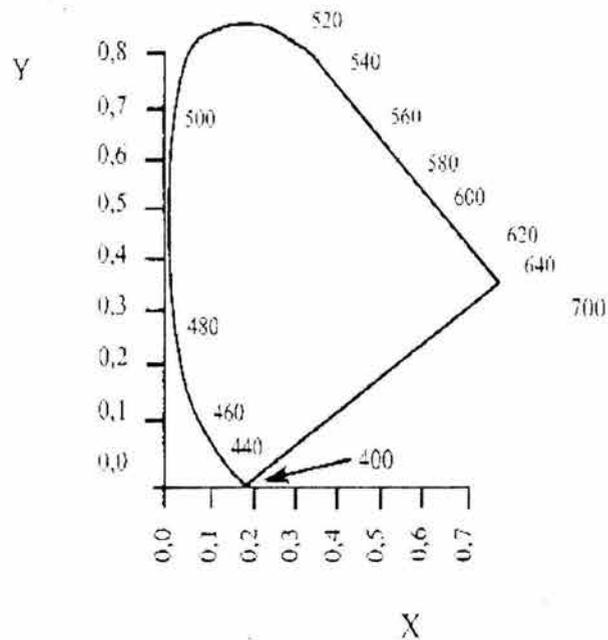


Figura I.11: Espacio de color de Musell

### I.C.2. Espacios perceptuales uniformes

Este recordatorio suscito sobre las nociones básicas de la colorimetría que muestra toda la importancia de la percepción en la concepción de sistemas de reproducción de los colores que se utilizan normalmente. Para el usuario, éstas nociones se olvidan mientras se permanece dentro de un sistema normalizado y calibrado como el vídeo, por ejemplo. Cuando hay una mezcla de tecnologías, película, infografía y vídeo, cosa que ocurre con frecuencia, es necesario saber como se efectúan las conversiones de las informaciones del color y cuáles son las consecuencias de las acciones sobre las imágenes.

Una de las principales razones que justifica el empleo de escalas uniformes de color (UCS) es la simplificación en el estudio de la "tolerancia del color" (máxima diferencia de color aceptada para una utilización específica). Los primeros intentos para lograr la uniformidad de las escalas, fueron sencillamente, proyecciones del diagrama CIE XY (1931) que tiende a estrechar los distintos trozos de separación cromática (longitud de onda dominante y pureza) en la zona de los verdes y alargarlos en la de los azules. Los diagramas cromáticos tienen desde el punto de vista practico, el gran defecto de no ser uniformes en lo que respecta a la diferenciación de color pudiendo producir errores en su manejo y su interpretación.



**Figura III.12:** Areas de tolerancia en el plano CIE XY para el rojo, amarillo, verde, azul, blanco y blanco lunar

### I.C.3. Efectos psicológicos

El color no es solamente un agente psicológico de primera magnitud, también personaliza y manifiesta la individualidad y el gusto. A la juventud le agradan los colores intensos y luminosos y a las personas de edad madura y a los del sexo masculino los tonos oscuros y conservadores. Sobre las mujeres ejercen atracción los ricos matices y colores pasteles, y también los colores alegres y saturados. Hay algunas personas que les gusta que el esquema de color de su habitación sea aquél que más les favorece y que es, precisamente el que utiliza en su atavío. Claro es que esto se refiere a la habitación de uso privativo, ya que las otras son vividas por otras personas y no deben tener un carácter individualista. De todas maneras, y como la mujer es la que más vive y reina en el hogar, nada debe haber en éste que la perjudique ni pueda dañar su aspecto.

Los colores tienen un fuerte poder sugeridor; el amarillo es luz, sol, vida, acción y poder y simboliza arrogancia; oro fuerza, voluntad y estímulo, es el color de los celos, de la degradación moral y de la locura; el verde sugiere humedad, frescura y vegetación y significa realidad, esperanza, razón, lógica y juventud; el azul es el color del infinito, de los sueños y de lo maravilloso y simboliza sabiduría, fidelidad, verdad eterna e inmortalidad; también es descanso y lasitud (la música "blue" es lánguida), asimismo recogimiento, juicio y seguridad. En la ciencia expresa lealtad, castidad y buena reputación. El violeta significa martirio, misticismo, misterio, tristeza, aflicción, profundidad y también experiencia; en su variación al rojo (púrpura) es realeza, dignidad, suntuosidad y representa el alto rango de reyes y cardenales; al mezclarlo con negro es deslealtad, desesperación y miseria y con blanco, muerte, rigidez y dolor; el rojo simboliza sangre, fuego, calor, revolución, alegría, acción, pasión, fuerza, disputa, desconfianza, destrucción e impulso; también es crueldad y rabia; el naranja expresa entusiasmo y exaltación y cuando es muy encendido o rojizo, ardor y pasión.

#### **I.C.4. Temperaturas de color**

Es un hecho conocido que la mayoría de los cuerpos calentados hasta una temperatura suficientemente alta emiten una luz rojiza y, a medida que la temperatura aumenta, la luz emitida se va haciendo más blanca. Este fenómeno que es válido para las emisiones de luz por termorradiación, establece una relación entre la temperatura de la fuente de luz y su apariencia de color. Así, el parámetro que caracteriza la tonalidad de la luz emitida recibe el nombre de temperatura de color.

La temperatura de color es un término que se usa para describir el color de una fuente luminosa comparándola con el de un cuerpo negro, que es el teóricamente "radiante perfecto".

Como cualquier cuerpo incandescente, un cuerpo negro cambia de color al aumentar su temperatura, poniéndose primero rojo oscuro y después rojo claro, naranja, amarillo y, finalmente blanco, blanco azulado y azul.

Se ha de tener en cuenta que la temperatura del color no es una medida de la temperatura real, ya que define solamente el color, y que se puede aplicar únicamente a fuentes que se parezcan mucho al cuerpo negro.

#### **I.C.5. Rendimiento del color**

El rendimiento del color, por contra, hace referencia a cómo se ven los colores de los objetos iluminados, la experiencia indica que los objetos iluminados por un fluorescente no se ven del mismo tono que aquellos iluminados por bombillas. 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.

En la siguiente gráfica se muestra el efecto del color de la fuente sobre el color de los objetos.

---



Figura III.13: a) Fuente de luz monocromática



Figura III.14: b) Fuente de luz blanca

Para establecer el rendimiento en color se utiliza el índice de rendimiento de color (IRC o  $R_a$ ) que compara la reproducción de una muestra de colores normalizada iluminada con nuestra fuente con la reproducción de la misma muestra iluminada con una fuente patrón de referencia.

## I. PRINCIPIOS FOTOMÉTRICOS, MAGNITUDES Y UNIDADES

### I.D.1. Radiación energética

La luz es radiación energética. Radiación energética es la oscilación de las diferentes ondas electromagnéticas. La frecuencia es la diferencia entre dos crestas. Existe una escala continua de radiación energética; ellas van desde una fracción de un nanómetro hasta mil kilómetros: los rayos gama, rayos alfa, rayos x, luz, rayos de calor, televisión, radio, fuerza eléctrica. Estas radiaciones energéticas se diferencian solo en la longitud de sus ondas. Cada radiación energética en el área de 400 hasta 700 nanómetros se llama "Luz", porque se cree ver, pero en realidad al principio están registrados en el órgano de la vista y cambiado en impulsos eléctricos por la fisiología de la visión.

### I.D.2. Espectro de una radiación

El termino general de radiación es aplicado a la transmisión de energía a través del espacio sin soporte material (en el vacío), ésta transmisión a distancia se realiza por medio de ondas, del tipo de perturbaciones periódicas en el espacio recorrido por la radiación. La radiación se transmite siempre por el vacío, y en muchas ocasiones a través de medios materiales sólidos, líquidos y gaseosos; por ejemplo la luz solar que primeramente se ha transmitido a través de un medio gaseoso, hasta llegar a la superficie de la tierra, sin necesitar por ello de este medio para su transmisión.

La energía visible es una porción sumamente pequeña del espectro electromagnético, el cual es una enorme gama de energía radiante que se desplaza a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Todas estas radiaciones son parecidas en su naturaleza y en la velocidad en que se transmite (300,000 km por segundo), diferenciándose tan solo por su frecuencia y longitud de onda, así como en las formas en que se manifiesta.

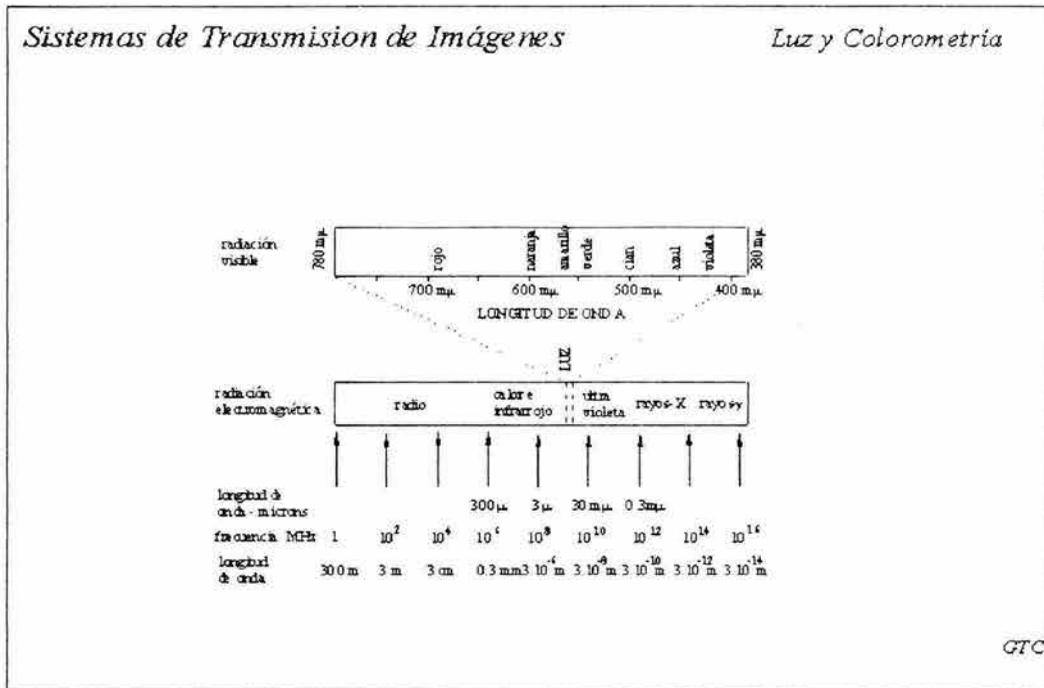


Figura I.14: Espectro de la radiación electromagnética

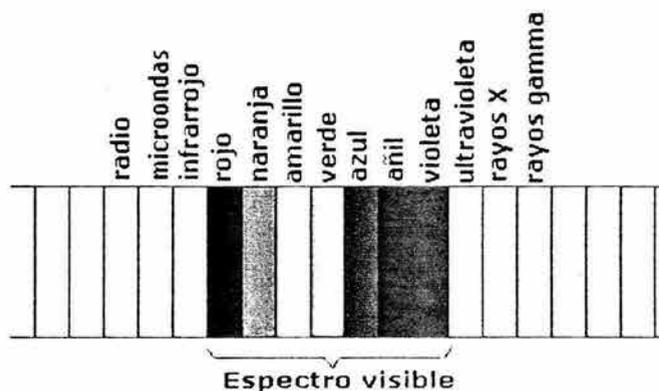
### I.D.4. Espectro visible

La clase de radiación más familiar es la luz visible, que nos permite ver el mundo que nos rodea. La parte visible del espectro electromagnético ocupa una pequeña franja del mismo, dentro del cual el ojo humano distingue las diferentes longitudes de onda por las diversas sensaciones de color que originan. Así el espectro visible esta formado por las siguientes radiaciones:

TIPO DE RADIACIÓN	LONGITUDES DE ONDA (nm)
Violeta	380 - 436
Azul	436 - 495
Verde	495 - 566
Amarillo	566 - 589
Naranja	589 - 672
Rojo	672 - 760

Tabla I.1: Longitudes de onda para los tipos de radiación

Nuevamente los límites señalados no son estrictos, sino que existen en ellos las mezclas de color o transiciones entre dos colores saturados.



## EL ESPECTRO DE LA RADIACION

Figura I.15: El espectro visible

### I.D.4.a. Radiaciones no visibles

Aproximadamente a comienzos del siglo XIX se descubrió que este espectro solo representa la gama de radiación que puede ver el ojo y que más allá de ambos extremos existen otros rayos que son invisibles. El primer descubrimiento de este tipo fue echo por el astrónomo ingles sir William Herschel, tal como lo hizo Newton, colocó un prisma frente una abertura a través de la cual brillaba la luz solar y obtuvo un espectro; luego colocó varios termómetros en los diversos colores para ver cual produciría el mayor efecto calorífico. De todas las partes visibles, la luz roja hizo elevar más la temperatura. Luego Herschel colocó uno de los termómetros más allá del extremo rojo del espectro; el mercurio ascendió aún más, señalando claramente la presencia de rayos térmicos invisibles.

De esta manera, Herschel demostró la existencia de lo que a hora se llama rayos infrarrojos ("Infra" significa por debajo). Los rayos infrarrojos tienen una frecuencia más baja que los rojos.

Posteriormente el físico alemán Johann Wilhelm Ritter, descubrió que también había algo en el otro extremo del espectro. Ésto no producía calor, pero podía producir efectos químicos. Ritter sabía que el compuesto blanco que se denomina cloruro de plata se ennegrece cuando se lo expone a la luz. Puso algo de esta sustancia en línea con un espectro solar, más allá de la parte violeta, donde no brillase luz visible. El cloruro de plata se ennegreció a un más rápidamente que en la región en que se podían verse los diversos colores.

Así se descubrieron los rayos ultravioleta ("ultra" significa más allá), éstos rayos están situados más allá de la longitud de onda más corta del espectro visible.

### I.D.5. Magnitudes y unidades fundamentales de radiación

Existen cinco magnitudes y unidades fundamentales en la radiación, las cuales se mencionan a continuación.

- Flujo radiante ( $F_r$ ).- Es la potencia de la radiación electromagnética, que puede incluir componentes visibles y no visibles.

Su unidad radiante espectral es el vatio (W).

El flujo radiante espectral ( $F_{r\lambda}$ ).-Es el flujo radiante por unidad de longitud de onda y se expresa en W/nm. Así el flujo radiante corresponde a la integración de  $F_{r\lambda}$  en todo el espectro electromagnético.

$$F_r = \int F_{r\lambda} d\lambda$$

- Eficiencia radiante ( $n_r$ ).- Es la relación entre el flujo radiante emitido y la potencia absorbida por el emisor (ambos expresados en W).

$$n_r = \frac{F_r}{P}$$

P = potencia absorbida

- Intensidad radiante ( $I_r$ ).- Corresponde a la emisión de energía radiante en una dirección determinada y se define como el flujo radiante emitido en el ángulo sólido que contiene dicha dirección (expresado este ángulo sólido en estereorradianes).

$$I_r = \frac{F_r}{\Omega}$$

Su unidad de medida es el vatio por estereorradián ( $\frac{W}{sr}$ )

- Irradiancia ( $E_r$ ).- Es el flujo recibido por unidad de superficie.

$$E_r = \frac{F_r}{S}$$

Su unidad de medida es el vatio por metro cuadrado ( $\frac{W}{m^2}$ )

- Radiancia ( $L_r$ ).- Es la relación entre la intensidad radiante de un emisor, en una dirección determinada, y la superficie del emisor proyectada según dicha dirección.

$$L_r = \frac{I_r}{S \cdot \cos \cdot \alpha}$$

( $\alpha$ , ángulo de dirección)

Su unidad de medida es el vatio por estereorradián y metro cuadrado ( $\frac{W}{sr \cdot m^2}$ ).

El resumen de magnitudes y unidades de radiación, queda reflejado en la siguiente tabla:

Magnitud	Símbolo	Unidad
Flujo radiante	$F_r$	W
Eficiencia radiante	$n_r$	W
Intensidad radiante	$I_r$	$\frac{W}{sr}$
Irradiancia	$E_r$	$\frac{W}{m^2}$
Radiancia	$L_r$	$\frac{W}{sr \cdot m^2}$

CAPÍTULO II

FUENTES

DE

ALUMBRADO

---

Desde hace tiempo existe una real inquietud por mejorar las instalaciones de alumbrado. Ya no se trata tan sólo de iluminar, sino de hacerlo de la mejor forma posible. No se puede concebir una instalación sin valorar, adecuadamente, los factores de calidad, economía y estética, es por eso una adecuada selección de lámparas y luminarias así como conocer las características individuales de cada una de ellas, para poder brindar un alumbrado que cumpla con todas las necesidades en algún proyecto a realizar.

A continuación se hace mención de algunos puntos importantes para la selección de lámparas:

<b>Lamparas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Halógenas</b>	Tamaños pequeños, mayor eficiencia, mayor duración, excelente índice RA, luz blanca brillante, regulable.	No tiene.
<b>Fluorescentes</b>	Elevada eficiencia, larga duración, temperatura de color a elección, bajos costos de funcionamiento, bajo desarrollo de calor, fuentes luminosas difundidas.	Elevado costo inicial, sensible a la temperatura, limitado control óptico, necesidad de un alimentador electrónico.
<b>Incandescentes</b>	Bajo costo de compra, tamaños pequeños, excelente RA, formas variadas, regulable.	Baja eficiencia, elevado desarrollo de calor, costos altos de funcionamiento, breve duración.
<b>Haluros metálicos</b>	Elevada eficiencia, larga duración, buen control óptico, costos bajos de funcionamiento, buen rendimiento cromático.	Elevado costo inicial, necesidad de un alimentador eléctrico, largo periodo de encendido y reencendido
<b>Sodio a alta presión</b>	Larga duración, eficiencia excepcional, buen control óptico, bajos costos de funcionamiento, baja decadencia del flujo luminoso.	Costo inicial elevado, necesidad de alimentador eléctrico, tiempos de encendido y reencendido largos, bajo rendimiento cromático

**Tabla II.1:** Criterios para la selección de las lámparas

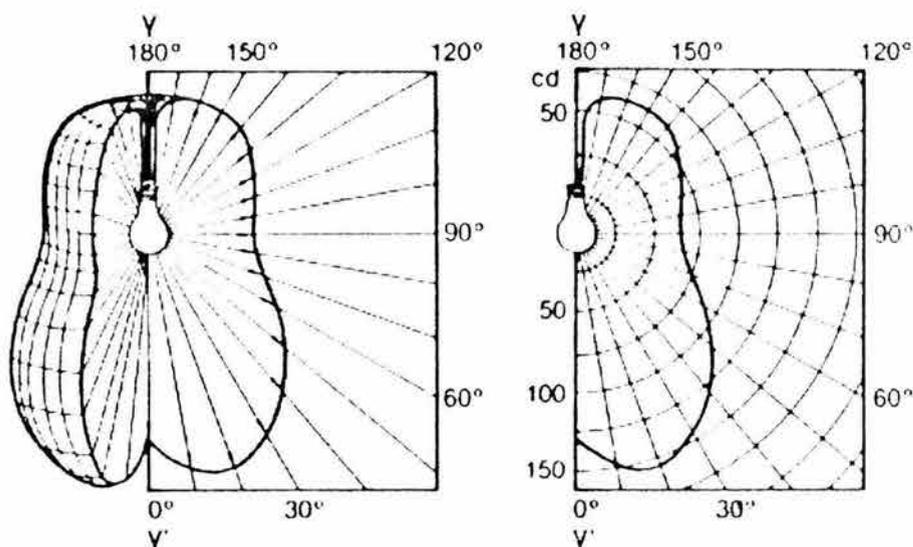
## II.A. LUMINARIAS

Las fuentes luminosas están casi siempre asociadas a las luminarias que son de distintas formas y materiales, salvo en casos particulares de lámparas echas de distinta forma. Estas luminarias sirven para dirigir, filtrar o transformar (en general controlar), la luz emitida por las lámparas, comprenden todos los elementos necesarios para fijar y proteger mecánicamente las lámparas y para recibir el circuito de alimentación.

### II.A.1. Curvas de distribución de la luz

La manera más simple de representar gráficamente la distribución luminosa de una lámpara o de un conjunto lámpara-luminaria, es a través de las curvas denominadas de "distribución luminosa" o curvas "fotométricas de intensidades".

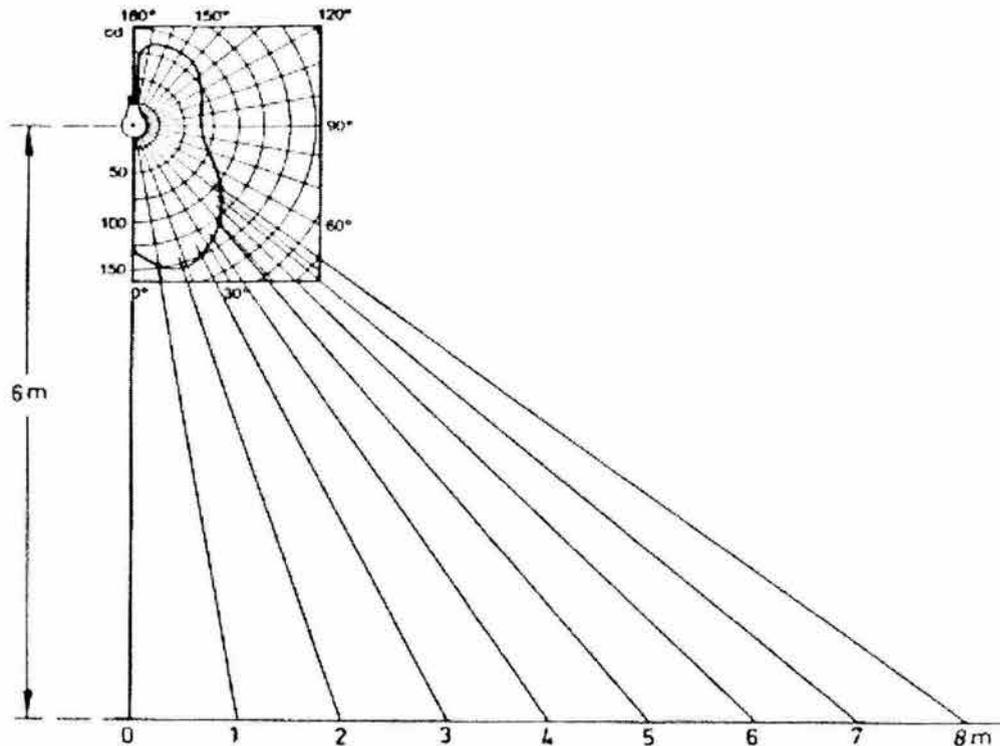
La distribución de las intensidades luminosas emitidas por una lámpara tipo standard, se muestra de una forma general, para un flujo luminoso de 1,000 lúmenes (lm), en la siguiente figura II.1 (siempre que no se indique lo contrario estas curvas vienen referidas a 1,000 lm), El volumen determinado por los vectores que representan las intensidades luminosas en todas las direcciones, resulta ser simétrico con respecto al eje Y-Y'. Es una figura de revolución engendrada por la curva fotométrica que gira alrededor de dicho eje.



**Figura II.1:** Representación gráfica de una curva fotométrica

En realidad, las curvas de distribución luminosa son la representación gráfica de las medidas de las intensidades luminosas efectuadas en las infinitas direcciones que parten del centro de la lámpara o luminaria y transcribirlas en forma gráfica, generalmente en coordenadas polares.

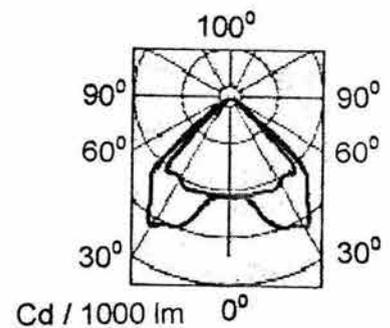
La distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de la fuente en esa dirección (a mayor distancia mayor intensidad), el valor de la intensidad luminosa se representa sobre círculos concéntricos y se expresa en candelas.



**Figura II.2:** Distancias en metros de una curva fotométrica

Estas mediciones se efectúan en distintos planos verticales de la luminaria, ya que la emisión de luz podrá diferir de uno a otro plano según el tipo de lámpara y de difusor.

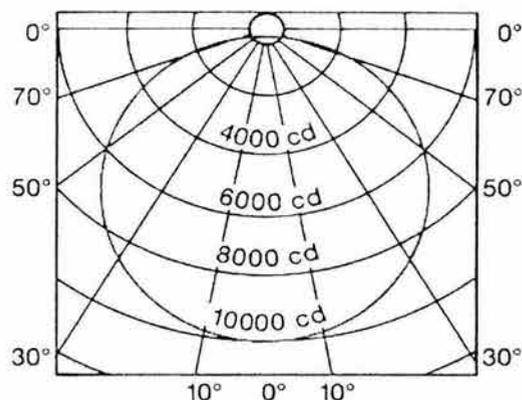
En general, la curva de distribución luminosa polar de una luminaria se representa mostrando dos de sus planos verticales; el transversal y el longitudinal (  $0^\circ$  y  $90^\circ$  ). Cuando la representación es en color, generalmente el plano transversal es rojo y el longitudinal azul o negro.



**Figura II.3:** Curvas de distribución luminosa

La distribución espacial de la intensidad luminosa de una lámpara reflectora o una luminaria se define como superficie de la distribución luminosa. Puede ser representada por diferentes planos secantes en diagramas polares (curvas de la distribución luminosa).

Para facilitar la comparación se relaciona la intensidad luminosa de la lámpara en la luminaria con 1,000 lm y con la unidad de cd/klm (candela/kilolumen).



**Figura II.4:** Curvas de distribución espacial

Estas curvas también pueden determinar si la luminaria proporciona alumbrado directo, indirecto, semiindirecto o semidirecto, dependiendo en que proporción esté distribuido el flujo luminoso en la gráfica.

A continuación se hace mención de los tipos de alumbrado, con relación a las curvas fotométricas:

a).- Alumbrado directo.- En un alumbrado directo el rendimiento lumínico es mayor que en un indirecto, produciendo excelentes resultados cuando se desea obtener una iluminación general adecuada, preferiblemente con difusión ancha en locales de gran amplitud.

Por lo tanto, es la solución más económica para producir los niveles de iluminancia requeridos, pero a su vez, puede provocar mayor deslumbramiento en techos bajos y la sensación óptica de confort puede ser peor, además, se producen mayor número de sombras y los techos quedan oscuros, las luminancias de este tipo tienen un rendimiento elevado aproximado de un 90-100%.

b).- Alumbrado semi-directo.- el flujo luminoso es directo en gran parte, hacia abajo un 40-90% y parte hacia arriba 10-40%.

c).-Alumbrado Mixto.- El flujo luminoso esta distribuido uniformemente hacia abajo en un 40-50% y hacia arriba en un 50-60%.

d).-Alumbrado semi-indirecto.- El flujo luminoso prevalece hacia la parte superior en un 60-90%.

e).-Alumbrado indirecto.- El rendimiento es bajo y la visión es poco nítida por la falta del efecto de sombra, el alumbrado hacia arriba es del 90al 100%.

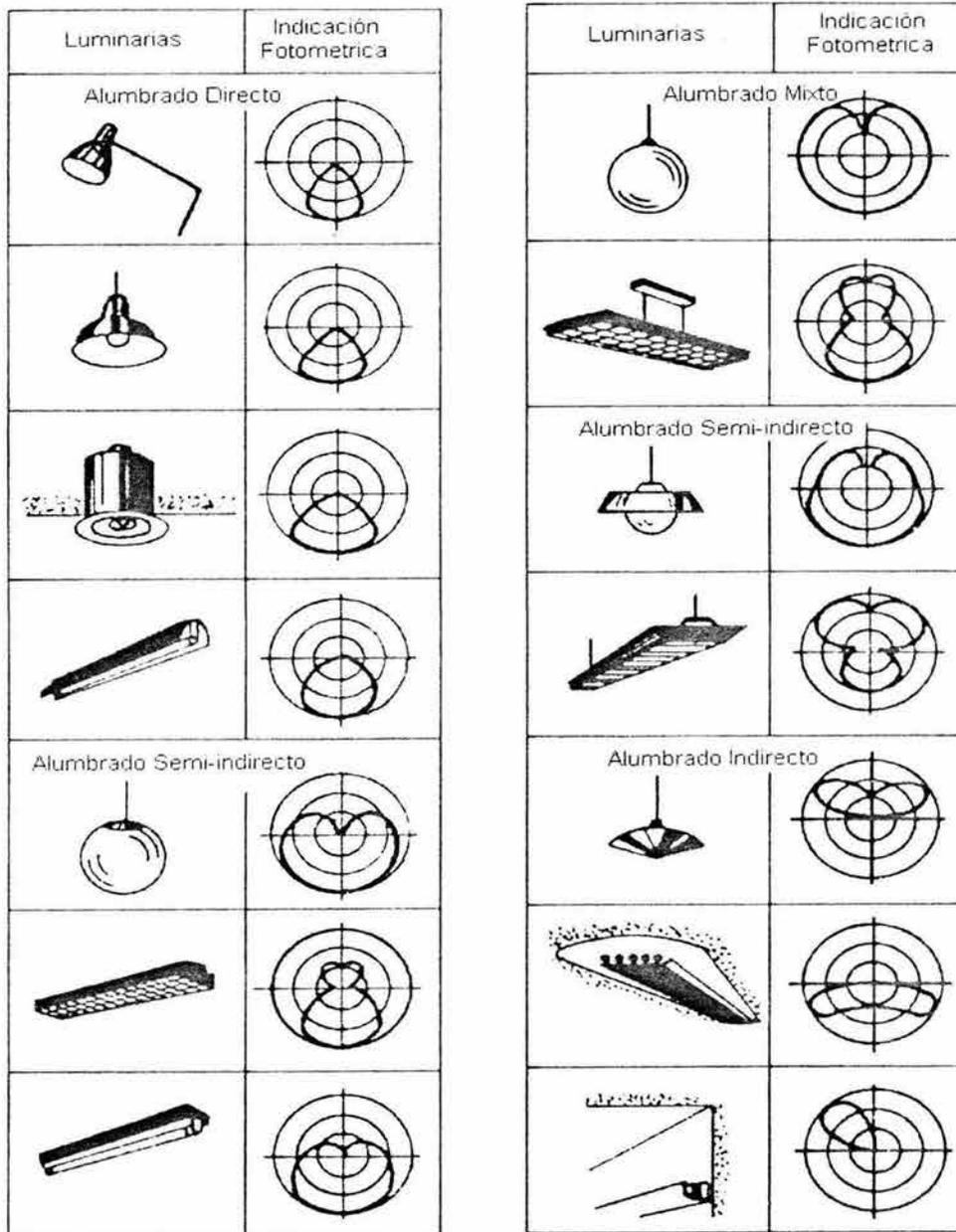
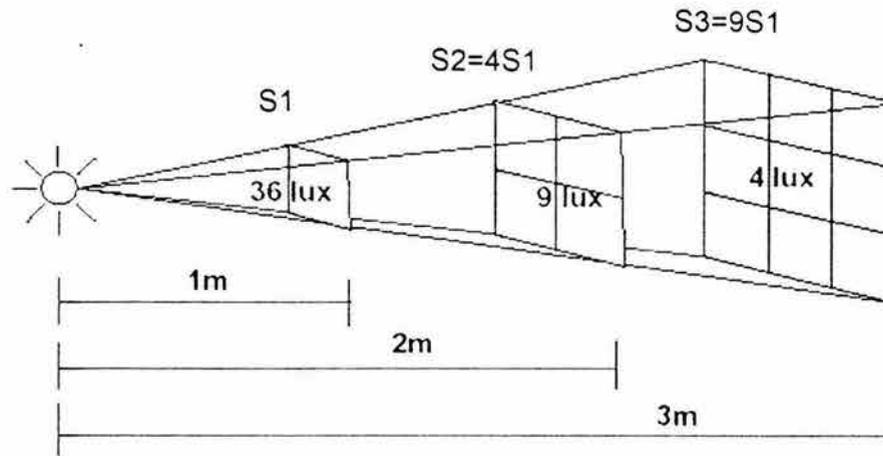


Figura II.5: Curvas fotométricas de algunos tipos de alumbrado

### II.A.2. Leyes relacionadas con luminotécnica

Existen dos leyes relacionadas fundamentalmente con la luminotecnica para la realización de un proyecto alumbrado, a continuación se hace mención de estas leyes:

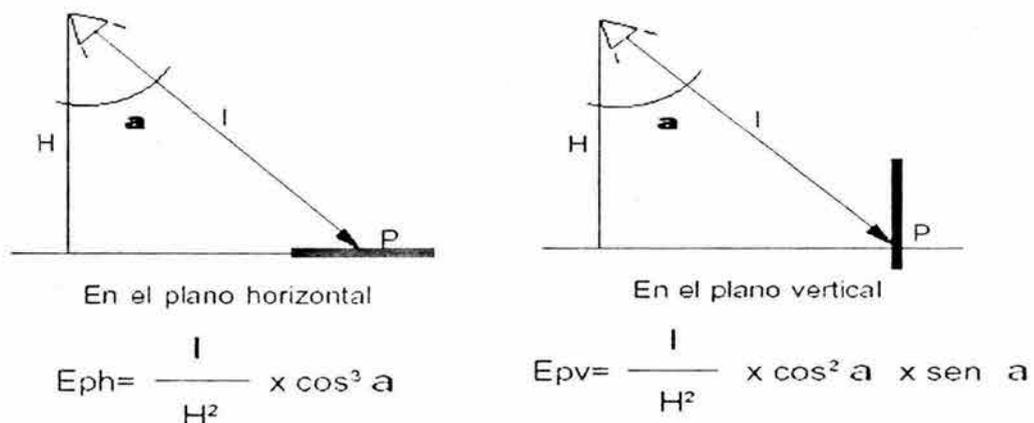
a) Ley de la inversa de los cuadrados.- Indica que la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre la fuente de luz y la superficie iluminada.



**Figura II.6:** Inversa de los cuadrados

Esta ley es válida únicamente tratándose de fuentes puntuales, superficies perpendiculares a la dirección del flujo y cuando la distancia es grande con relación al tamaño de la fuente, en la mayoría de los tipos de luminancias para alumbrado interior, se puede considerar que es bastante exacta en la práctica tomando en cuenta que la distancia debe ser al menos cinco veces la dimensión máxima de la luminaria.

b) Ley del coseno del ángulo.- Esta ley menciona que la iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia; (este ángulo es el formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto de incidencia P como se muestra en la siguiente figura).



**Figura II.7:** Ley del coseno del ángulo

Donde:

$E_{ph}$  = Nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal (en lux).

$E_{pv}$  = Nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical (en lux).

$I$  = Intensidad luminosa en una dirección dada (en candelas).

$H$  = Altura de montaje de la luminaria normal al plano horizontal que contiene al punto.

$a$  = Ángulo formado por el rayo de luz y la vertical que pasa por la luminaria.

Esta fórmula también puede expresarse de la siguiente manera:

$$E = \frac{i}{H} \times \cos a$$

En la ley de la inversa de los cuadrados, la superficie iluminada es perpendicular a la dirección de los rayos (el ángulo de incidencia es  $a = 0^\circ$ ), al cual le corresponde  $\cos 0^\circ = 1$  (Figura 2.7)

$$E_p = \frac{i}{H} \times 1$$

En la Figura II.7 el rayo se ha apartado de la normal un ángulo  $a = 45^\circ$ , por lo tanto:

$$E_p = \frac{i}{D} = \times \cos 45^\circ$$

Esta expresión es válida para superficies horizontales; para las superficies verticales es:

$$E_p = \frac{i}{D} \times \sen 45^\circ$$

### II.A.3. Propiedades ópticas de luminarias

La óptica de las luminarias es el elemento que define el tipo de emisión luminosa que tendrá esta, por tener un componente básico que es el espejo o reflector. Este es el encargado de "modelar" la distribución luminosa de cada luminaria. El material por excelencia para la construcción de los espejos es el aluminio en sus versiones básicas de brillante, ó semi-mate.

El aluminio brillante pulido a espejo, liso y anodizado, es el material indicado para todas aquellas ópticas en las que la precisión en el direccionamiento de los haces de luz sea fundamental. Cuando lo que se busca es que la luminaria tenga una emisión de luz del tipo dispersora, el espejo que se utiliza generalmente es del mismo material pero "gofrado" (efecto de martillado del aluminio).

#### II.A.3.a. Los espejos (tipos y características principales)

La forma en que la luminaria distribuya la luz depende casi exclusivamente de la conformación del espejo o reflector, a menos que exista algún otro elemento complementario como por ejemplo vidrios tipo "fresnel", espejos adicionales, etc.

A continuación se muestran algunos de los tipos de espejos así como sus características principales.

Reflector especular.- Su superficie lisa y de alto poder reflectante permite una gran precisión en el direccionamiento de los haces pudiéndose lograr así luminarias de muy alto rendimiento

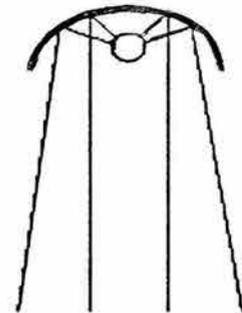


Figura II.8: Espejo especular

Reflector dispersor.- Fabricado con aluminio de superficie "gofrada" y con alto poder reflectante, se pueden lograr excelentes espejos destinados a distribuciones de luz más abiertas.

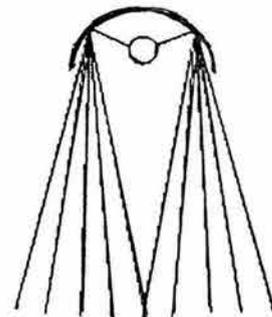


Figura II.9: Espejo dispersor

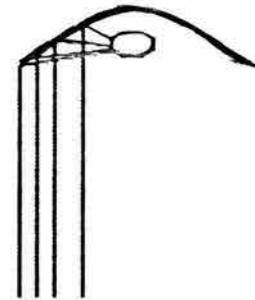
También existen los reflectores parabólicos, típico y asimétricos, tales como:

Reflector típico perfil.- Es el espejo de las luminarias destinadas a iluminar los puestos de trabajo con pantallas de vídeo. Este reflector evita que las altas intensidades se extiendan por encima de un determinado ángulo (generalmente  $65^\circ$ ) reflejándose en los monitores.



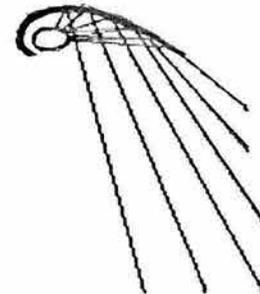
**Figura II.10:** Espejo típico

Reflector de espejo parabólico.- Es el que muestra la tradicional concentración de haces paralelos producidos cuando una fuente puntual se encuentra en el centro del foco. La intensidad será mayor en el centro del haz luminoso. Con este perfil se logran proyectores de gran rendimiento.



**Figura II.11:** Espejo parabólico

Clásico espejo asimétrico.- Éste reflector tiene la propiedad de dirigir los haces de luz hacia una sola mitad del hemisferio inferior. Se les utiliza fundamentalmente en todos aquellos casos donde se desee iluminar intensamente una superficie vertical.



**Figura II.12:** Espejo asimétrico

Evidentemente el mayor responsable, aun que no el único, de esa pérdida de rendimiento lumínico es el espejo. Ya sea por el material empleado, error constructivo, etc., o simplemente una mala elección del espejo. Ya que el espejo constituye de alguna manera el "corazón" de una luminaria. Si se analiza cuidadosamente, se verá que de los espejos depende en gran parte, el rendimiento o aprovechamiento lumínico de las fuentes de luz. Este elemento es el responsable de "conducir" al exterior del artefacto el flujo luminoso que la fuente es capaz de generar. Y es así, por cuanto si una lámpara en particular emite 20,000 lúmenes pero una vez instalada en la luminaria entrega solamente 2,000 lúmenes de ese total.

## II.B. FUENTES DE LUZ

Existen diversos sistemas productores de luz, en los que se va a proceder al estudio de las fuentes luminosas artificiales, las cuales se pueden definir en dos grandes familias:

a) Irradiación por efecto térmico (lámparas de incandescencia, etc.). Estas se conectan directamente a la red eléctrica, sin necesidad de equipos auxiliares de conexión o encendido.

b) Descarga de gas de gas o vapores (lámparas fluorescentes, vapor de mercurio, sodio, etc.). Algunas lámparas de descarga necesitan para su encendido tensiones superiores a la red, por lo que necesitan equipos eléctricos que suministran mayor tensión para el encendido.

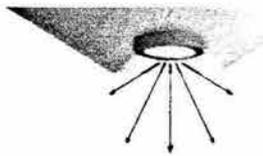


Figura a) Lámpara Plana

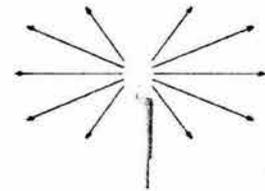


Figura b) Llama Bujía

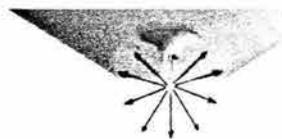


Figura c) Lámpara Gaseosa

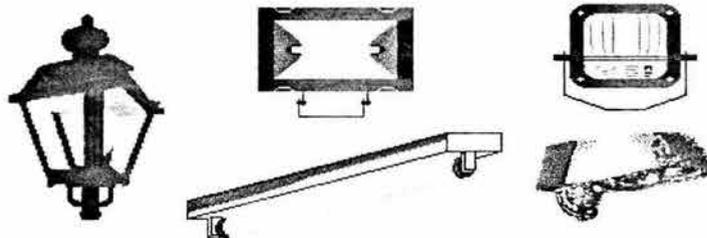


Figura d) Lámparas en general

Figura II.13: Ejemplos de luminarias

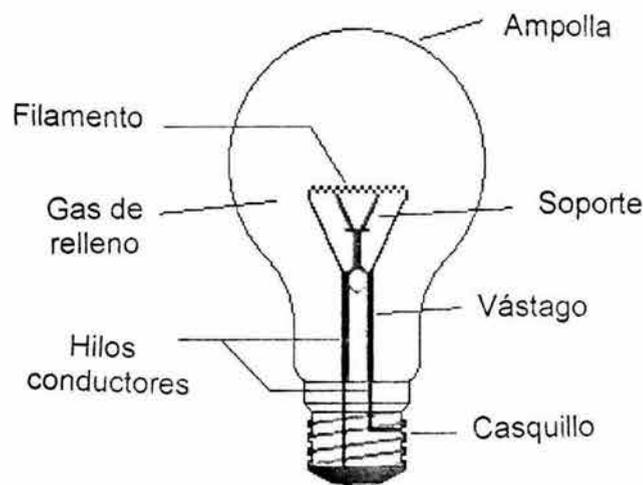
### II.B.1. Radiaciones por incandescencia

La luz se produce por termorradiación (a esta acción se le conoce como incandescencia). Es cuando un cuerpo alcanza una temperatura elevada y se pone incandescente, emitiendo de esa forma radiaciones electromagnéticas de diferentes longitudes de onda, o sea que la cantidad de luz depende de la temperatura absoluta del radiador. Dentro de este grupo podemos encontrar la luz natural del sol y la luz artificial de las lámparas incandescentes propiamente dichas y las incandescentes halógenas.

### II B.2. Lámparas de incandescencia clásicas

En el proceso de incandescencia, la luz se obtiene por agitación térmica de los átomos del material con que está hecho el filamento; como el filamento incandescente duraría muy poco si estuviera en contacto con aire, es necesaria una ampolla de vidrio para aislarlo.

Los componentes más importantes de una lámpara de incandescencia son el filamento, el pie que lo soporta, la ampolla y el casquillo que lo conecta a la red eléctrica.



**Figura II.14:** Lámpara de incandescencia (partes de una bombilla)

El rendimiento luminoso de una lámpara de incandescencia, disminuye a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento de dicha lámpara a esto se le llama duración de una lámpara de incandescencia. Esta disminución del rendimiento es debida, sobre todo, a la lenta pero continuada disgregación del filamento de tungsteno, que origina un depósito negro sobre las paredes internas de las ampollas; además, a medida de que la lámpara envejece la disgregación del filamento hace que este vaya teniendo cada vez menor sección, con lo que va aumentando paulatinamente su resistencia eléctrica; éste aumento de resistencia tiene como consecuencia una disminución de la intensidad de corriente que atraviesa el filamento y, por lo tanto, un descenso de la temperatura del mismo que a su vez provoca una disminución del flujo luminoso.

Se considera como límite económico de esta disminución, la reducción del flujo luminoso de una lámpara de un 20% del flujo luminoso inicial. La duración en horas de encendido, hasta que el flujo luminoso alcanza el valor indicado, a esto se le llama duración útil de la lámpara.

LÁMPARAS DE INCANDESCENCIA ESTANDAR						
Lampara Potencia  (Watts)	Flujo luminoso Lumen		Relleno	Dimensiones		Casquillo
	(125V)	(220V)		L (mm)	D (mm)	
15	140	125	Vacío	105	60	E-27
25	240	225	Vacío	105	60	E-27
40	490	430	Gas	105	60	E-27
60	820	730	Gas	105	60	E-27
100	1.560	1.380	Gas	105	60	E-27
150	2.350	2.100	Gas	140	80	E-27
200	3.250	2.950	Gas	173	80	E-27
300	5.100	4.750	Gas	233	110	E-40
500	9.500	8.450	Gas	267	130	E-40
750	14.800	13.500	Gas	300	150	E-40
1000	20.300	18.500	Gas	300	150	E-40
1500	31.000	27.700	Gas	335	170	E-40
2000	43.000	40.000	Gas	380	200	E-40

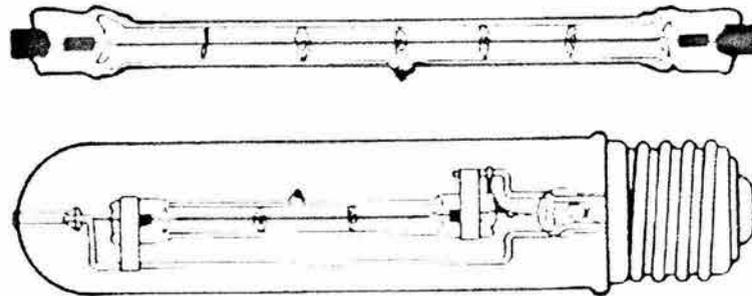
Eficiencia Luminosa 80 a 20 lumen/Watt.  
Temperatura de color 2,600° K

### II.B.3.Lámparas de incandescencia con halógenos

La atmósfera interior de la ampolla contiene una mezcla de gases inertes que no reaccionan con el filamento, como el argón y el nitrógeno; pero en estas lámparas se agrega una determinada cantidad de elementos halógenos, como yodo o bromo, que se van combinando con el tungsteno que se evapora, para luego restituirlo al filamento.

La mezcla se introduce en el bulbo a una presión mayor que la atmosférica (hasta 10 veces), disponiéndose de un bulbo fabricado generalmente con cuarzo para soportar las mayores temperaturas de trabajo que se emplean en estas lámparas.

Los halógenos son elementos químicos muy activos, que actúan, por lo general como monovalentes. Con el wolframio se forma un halógeno de wolframio que, a baja temperatura, es estable pero cuando esta aumenta se altera, dejando libre a los dos iones.



**Figura II.14:** Lámpara de incandescencia con halógenos

Estas lámparas se fabrican en forma de tubos rectos para proyectores (tubos de cuarzo-iodo) o con bulbo protector con base a rosca o bi-pin (halógenas compactas). Estas últimas se presentan en diferentes versiones, tamaños, formas y potencias, con o sin reflector incorporado para obtener haces de luz muy concentrados. Este reflector puede ser metálico parabólico o dicróico facetado, que dirige la radiación infrarroja, enviándola hacia atrás, lo que resulta particularmente útil para iluminar productos sensibles al calor, como por ejemplo alimentos refrigerados.

Algunas lámparas se conectan directamente a la red y otras trabajan a tensión reducida, generalmente de 12 V, por lo que precisan un transformador que reduzca la tensión aplicada para poder funcionar. Este transformador debe ser de buena calidad, ya que por un lado estas lámparas no soportan sobretensiones y por otro si la tensión baja mucho, se obtiene una luz amarillenta, bajando el rendimiento.

### II.B.3.a. Ventajas

A continuación se hace mención de algunas de las ventajas que presentan este tipo de lámparas:

- Presenta una mayor eficiencia que lámparas incandescentes convencionales.
- Menores dimensiones de la ampolla (generalmente echa de cuarzo), lo que permite un control exacto del haz luminoso en una amplia zona.
- Tiene una vida útil de aproximadamente de 2,000 horas
- Estas lámparas son utilizadas en interiores en general, sobre todo para destacar objetos dentro del campo visual.
- Tienen un tamaño reducido, lo que permite su utilización en luminarias pequeñas.
- Requieren portalámparas preparados para soportar las altas temperaturas de trabajo.
- Su luz es más blanca y más brillante que las incandescentes comunes, con temperaturas de color de 2,600 / 3,000<sup>o</sup>K.

- El flujo luminoso permanece constante a lo largo de toda su vida útil, ya que el ciclo del compuesto halógeno evita el ennegrecimiento del bulbo.
- Eficacia luminosa: 20 a 25 lm/W.

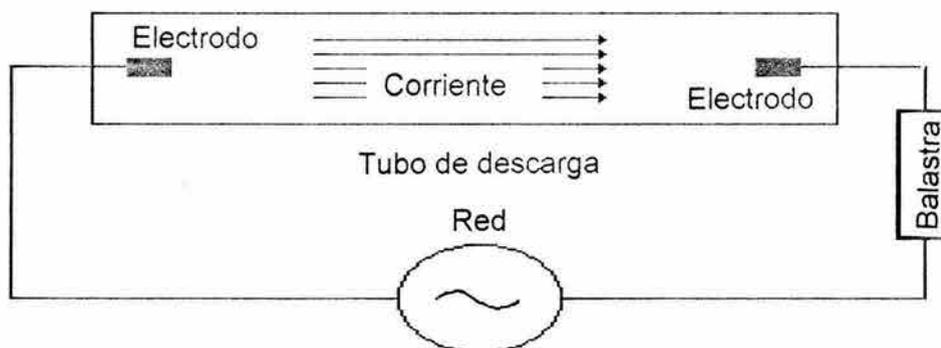
#### II.B.4. Lámparas de descarga de gas

La luz se genera por la emisión de radiaciones producidas por una descarga eléctrica a través de un gas o vapor. Aquí podemos encontrar las comúnmente llamadas lámparas de descarga gaseosa de vapor de mercurio, vapor de sodio y fluorescentes.

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

Las lámparas de descarga son, en general, sensibles a las temperaturas exteriores. Dependiendo de sus características de construcción (tubo desnudo, ampolla exterior...) se verá afectadas en diferente medida. Las lámparas a alta presión, por ejemplo, son sensibles a las bajas temperaturas en que tienen problemas de arranque; la temperatura de trabajo estará limitada por las características térmicas de los componentes (200° C para el casquillo y entre 350° y 520° C para la ampolla según el material y tipo de lámpara).

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.



**Figura II.16:** Funcionamiento de lámparas de descarga de gas

##### II.B.4.a. Elementos auxiliares

Para que las lámparas de descarga funcionen correctamente es necesario, en la mayoría de los casos, la presencia de unos elementos auxiliares: cebadores y balastos. Los cebadores o 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. Tras el encendido, continua un periodo transitorio durante el cual el gas se estabiliza y que se caracteriza por un consumo de potencia superior al nominal.

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

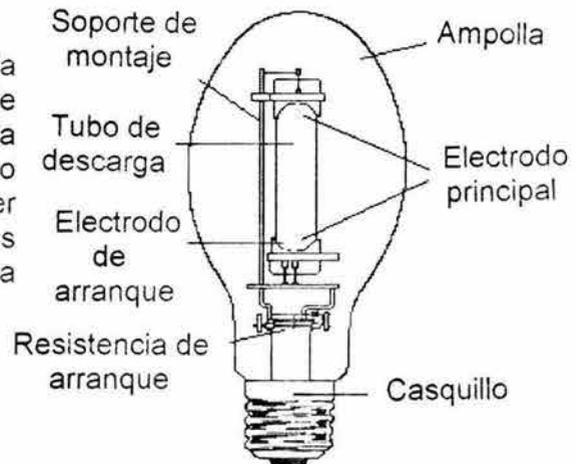
### II.B.5. Lámparas de vapor de mercurio

En la lámpara de vapor de mercurio, se utiliza la luminiscencia producida por el efecto de la descarga eléctrica en una atmósfera mezclada de vapor de mercurio y de un gas inerte (generalmente argón).

Las propiedades eléctricas y luminosas de la descarga de vapor de mercurio dependen, en gran parte, de la intensidad de la corriente y, sobre todo, de la presión del vapor contenido en el interior de la lámpara.

Las lámparas de vapor de mercurio están constituidas por una pequeña ampolla de cuarzo, provista de dos electrodos principales y uno o dos auxiliares, en cuyo interior se encuentra una cierta cantidad de argón y vapor de mercurio. Los electrodos auxiliares llevan una resistencia en serie que limita la intensidad que por ellos puede circular.

La pequeña ampolla de cuarzo está contenida dentro de otra de mucho mayor tamaño, de vidrio, cuya misión es la de proteger a la pequeña ampolla, establecer un cierto equilibrio térmico, así como también la de ser depositaria en su interior de sustancias fluorescentes encargadas de darle una cierta tonalidad roja.



**Figura II.16:** Lámpara de vapor de mercurio

La duración útil de las lámparas de vapor de mercurio puede calcularse en un haz de 4,000 horas, es decir, 4 veces más que las lámparas de incandescencia.

Como todas las lámparas de descarga, la lámpara de vapor de mercurio debe llevar un elemento limitador de corriente, balasto. Cuando se conecta a la red de alimentación, se producirá inicialmente una descarga entre el electrodo principal y el auxiliar, que se encuentran muy próximos, lo que ioniza el argón, haciéndolo conductor y estableciendo un tenue arco entre los dos electrodos principales; el calor generado por esta descarga va progresivamente evaporando el mercurio del interior de la ampolla, y poco a poco se va convirtiendo en el conductor principal.

A medida que aumenta la temperatura en el tubo de descarga, aumenta la presión del vapor de mercurio y con ella la potencia activa consumida y el flujo luminoso emitido, hasta alcanzar, al cabo de 3 o 4 minutos, los valores normales de régimen. La intensidad absorbida por el circuito se inicia con un valor del orden del 40 al 50% mayor que el nominal, y va reduciéndose progresivamente tal y como se ha indicado.

Esta variación de la intensidad durante el arranque de la lámpara tiene una muy importante influencia en el circuito, ya que en un alumbrado de este tipo, el limitador deberá estar dimensionado para poder concentrar dicha intensidad.

Si por algún motivo se apaga la lámpara, y seguidamente se requiere volver a encenderla, esto no será posible debido a que el vapor de mercurio no se habrá enfriado y estará con una presión elevada. Transcurridos tres o cuatro minutos, la lámpara se habrá enfriado y podrá reanudarse el periodo de encendido; esto es un serio inconveniente para este tipo de lámparas.

La temperatura de color de estas lámparas, depende del tipo de recubrimiento fluorescente que lleve, pero suele estar comprendida entre 3,800° y 4,000° K, y tiene un rendimiento luminoso que oscila entre 40 y 60 lm/W.

La depreciación del flujo luminoso depende naturalmente de las horas de funcionamiento de la lámpara. La depreciación suele ser del 12% a las 8,000 horas de funcionamiento y del 35% a las 15,000 horas.

LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO								
Potencia lámpara (Watts)	Intensidad de servicio (A)	Potencias		Flujo luminoso (Lumen)	Tiempo de encendido en minutos	Dimensiones		Casquillo
		Balasto (W)	Total (W)			L (mm)	D (mm)	
50	0,62	9	59	1,800	5	130	55	E-27
80	0,80	9	89	3,500	3,5	157	70	E-27
125	1,15	13	137	5,6000	1,5	177	75	E-27
250	2,05	16	266	12,000	4	227	90	E-40
400	53,15	25	425	21,000	4	290	120	E-40
700	5,25	35	735	37,000	4	330	140	E-40
1,000	7,50	47	1,074	52,000	4	410	165	E-40

Tensión de alimentación 220 V, eficiencia luminosa de 36 a 52 Lm/W  
Periodo de arranque 4 minutos, temperatura de color de 4,000 °K

### II.B.5.a. Aplicaciones.

Cuando la discriminación de colores no es de gran interés, pueden aplicarse estas lámparas ya que su elevado rendimiento luminoso y su insensibilidad a las fluctuaciones de tensión las hacen muy apropiadas para ciertos casos, por ejemplo:

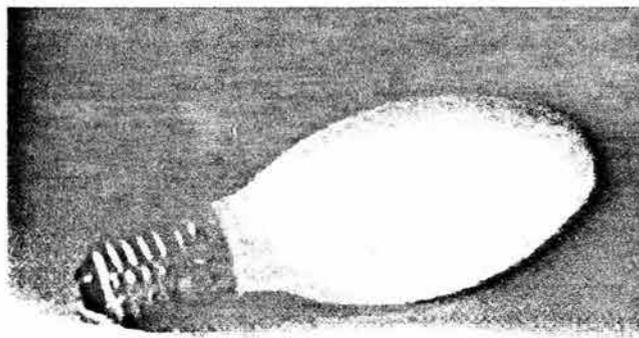
- Alumbrado en vías públicas.
- Alumbrado de grandes naves industriales y,
- Alumbrado por proyectores.

Por el contrario en aquellos sitios en que se aprecie una luz lo más parecida posible a la luz natural, la lámpara de vapor de mercurio resulta inadecuada por su color blanco azulado, y sobre todo, a la carencia total de radiaciones rojas cuya consecuencia obligada es la deformación de los colores de los objetos iluminados.

### II.B.5.b. Lámparas de vapor de mercurio modernas

Las presiones elevadas, conseguidas en las lámparas de mercurio modernas, no pueden obtenerse más que aumentando la temperatura del arco, puesto que, en este caso, el tubo conduce una intensidad mucho mayor. La consecuencia obligada es que el vidrio del tubo ha de tener un elevado punto de fusión; o lo que es preferible, construir de cuarzo las paredes del tubo, procedimiento empleado en todas las lámparas modernas.

En estas lámparas pueden conseguirse rendimientos luminosos de 50 a 60 lúmenes por vatio para presiones comprendidas entre los 1,000 mm de columna de mercurio (lámpara de media presión), y a los 10,000 mm de columna de mercurio (lámparas a muy alta presión).



**Figura II.17:** Lámpara de vapor de mercurio

### II.B.5.c. Lámparas de vapor de mercurio de luz mixtas

Una de las tentativas realizadas para corregir la luz azulada de las lámparas de vapor de mercurio, ha dado origen a las lámparas de vapor de mercurio de luz mixta. En estas lámparas la carencia de radiaciones rojas del mercurio se suple por radiación, dentro de la misma ampolla, de un filamento incandescente.

A continuación se describirá la lámpara de vapor de mercurio de luz mixta fabricada por Metal-Mazda; dentro de la misma ampolla exterior se sitúa un tubo de descarga, fabricado de cuarzo y relleno de vapor de mercurio y argón y un filamento incandescente, conectado en serie con el tubo y rodeado a éste. Las características técnicas del filamento han sido calculadas de tal manera que su resistencia óhmica pueda estabilizar la descarga eléctrica en el tubo de descarga, de esta manera, se evita la utilización de un balastro, con lo que este tipo de lámpara puede conectarse, sin más, a la red de distribución general, siempre que la tensión sea aproximadamente, de 220 V; para tensiones inferiores (125 V, 150 V, etc.) debe instalarse un transformador o autotransformador previo, pues la tensión de encendido es de 180 V.

Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balastro ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente. Esto las hace adecuadas para sustituir las lámparas incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones.

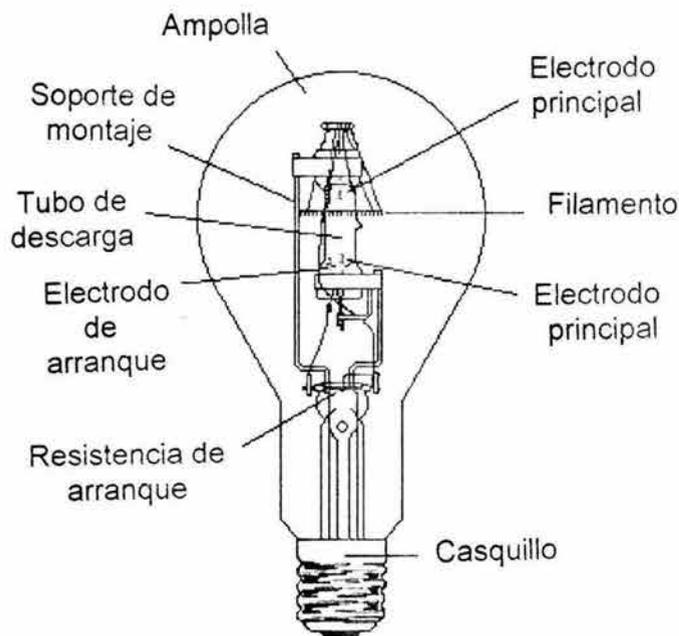


Figura II.18: Lámpara de vapor de mercurio de luz mixta

LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO DE LUZ MIXTA					
Potencia lámpara (Watts)	Eficiencia luminosa (Lumen/Watt)	Flujo luminoso (Lumen)	Dimensiones		Casquillo
			L (mm)	D (mm)	
160	19	3,100	177	75	E-27
250	106	5,600	226	90	E-40
500	130	14,000	275	120	E-40
1,000	160	32,500	315	160	E-40

Tensión de alimentación 220 V, Eficiencia luminosa de 19 a 32 lm/W.

Periodo de arranque 4 minutos.

Este tipo de lámpara tiene un bajo rendimiento debido a que la mitad de la potencia disponible se utiliza en el filamento incandescente y, la otra mitad en el arco de mercurio; además presenta los siguientes inconvenientes.

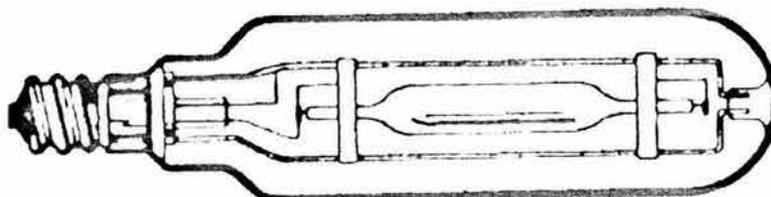
- Durante el encendido, el tubo de descarga está sometido a una tensión muy pequeña (unos 20 V). Por lo tanto la mayor parte de la tensión de alimentación, se aplica al filamento incandescente que, por esta razón, queda sometido a una sobre tensión.
- Durante el régimen normal de funcionamiento, el filamento incandescente está sometido a variaciones de tensión más importante que el de una lámpara normal de incandescencia. En caso de una sobre tensión en el circuito de alimentación, la tensión de la lámpara disminuye, a causa de su característica negativa y, por lo tanto, el filamento incandescente sufre no solamente toda la sobre tensión exterior, sino también la variación de tensión de la descarga de mercurio.

De esta manera, en una lámpara de luz mixta prevista para 220 V, el filamento tiene, en régimen una tensión aproximada de 150 V. Una sobre tensión exterior de 7 % (o sea 15.4 V), significa para el filamento unos 17 voltios o sea un 11%. Para esta misma sobre tensión exterior, la reducción de una vida útil de una lámpara de incandescencia sería de 56% y para el filamento de una lámpara de luz mixta, de 72%.

#### II.B.5.d. Lámparas de mercurio con halogenuros

La constitución de las lámparas de halogenuros metálicos es similar a la de las de vapor de mercurio, de las que se diferencia en que, además de mercurio, contienen halogenuros de tierras raras, tales como disprosio, talio, indio, holmio o tulio, con lo que se obtienen mayores rendimientos luminosos y sobre todo una mejor reproducción cromática.

El tubo de descarga es de cuarzo con un electrodo de wolframio en cada extremo, recubierto de un material emisor de electrones. El bulbo exterior es de vidrio duro y sirve para el equilibrio térmico del tubo de descarga y para su aislamiento.



**Figura II.19:** Lámparas de mercurio con halógenos

LAMPARAS DE MERCURIO CON HALOGENUROS							
Potencia lámpara (Watts)	Intensidad de servicio (A)	Potencias		Flujo luminoso (Lumen)	Dimensiones		Casquillo
		Balasto (Watts)	Total (Watts)		L (mm)	D (mm)	
250	3	25	275	19,000	220	46	E-40
360	3,5	25	385	25,000	285	46	E-40
1,000	9,5	50	1,050	90,000	340	76	E-40
2,000	10,3	80	2,080	170,000	430	100	E-40
3,500	18	150	3,650	300,000	430	100	E-40

Tensión de alimentación 220 V. Eficiencia luminosa 76 a 86 lm/W.

Temperatura de color 5,400 a 6,000° K. Periodo de arranque 3 a 5 minutos.

Aunque las condiciones de funcionamiento son similares a las de las lámparas de vapor de mercurio, la adición de halógenos hace necesaria una tensión de encendido muy superior a la de una red de alimentación, 200/380 V, por lo que necesita un arrancador que proporcione tensiones de pico del orden de 1,5 a 5 kV.

El período de arranque es de 3 a 5 minutos, hasta que la lámpara da el flujo luminoso previsto y el reencendido de 10 a 20 minutos, dependiendo del tipo de luminaria y de la potencia de la lámpara. La tensión entre sus extremos, necesaria para mantener la descarga, es del orden de 100 a 200 V., depende de la potencia.

Dado que estas lámparas no emiten radiaciones ultravioleta, eliminan la necesidad de la capa fluorescente, por lo que se suelen construir en ampollas cilíndricas y transparentes.

Los tipos de lámparas existentes en el mercado son muy diversos y dependen principalmente del tipo de halógeno introducido. Tanto la temperatura de color proporcionada, como la eficacia luminosa obtenida dependen de este concepto.

Ya se dijo, que la principal cualidad de estas lámparas es la reproducción cromática, por lo que la hacen especialmente indicada en aquellos casos en los que la reproducción cromática sea fundamental, como por ejemplo en aplicaciones televisivas.

El campo de utilización de estas lámparas, así como sus características especiales no están definidas totalmente, ya que se encuentran en pleno desarrollo. De hecho, en la actualidad, estas lámparas están siendo investigadas a profundidad, por lo que se desconoce el alcance real al que puedan llegar.

Tampoco podemos concretar nada sobre la vida media de estas lámparas cuyo valor puede decirse que se encuentra entre 2,000 y 8,000 horas, dependiendo muy directamente del tipo y del fabricante.

#### **II.B.5.d.i. Sus limitaciones**

A continuación se hace mención de las limitaciones de este tipo de lámpara.

- a).- Una escasa duración si se compara con otras lámparas de descarga alternativas.
- b).- Una descarga inestable, que se traduce en distintas apariencias de color a largo de la vida de la lámpara y en reducciones sensibles de su flujo luminoso; éste fenómeno se agudiza con las variaciones de tensión de la alimentación.
- c).- El precio es elevado, que la convierte en la fuente de luz más cara para efectos de coste de instalación y limita su empleo a aquellas aplicaciones en que la producción cromática es prioritaria.

#### **II.B.6. Lámparas de vapor de sodio**

Este grupo de fuentes luminosas de descarga en gas es muy amplio comprende las lámparas de vapor de sodio a baja y alta presión, el principio de funcionamiento, el tipo de luz que emiten, así como el campo de aplicación, varía notablemente de tipo a tipo de lámpara, lo que tienen en común es el paso de la corriente eléctrica en el gas.

Las lámparas de vapor de sodio así como las de vapor de mercurio y las fluorescentes necesitan de otros dispositivos para su encendido y estabilización de la descarga, el bajo factor de potencia y la necesidad de eliminar el efecto estroboscópico (parpadeo).

##### **II.B.6.a. Lámparas de vapor de sodio baja presión**

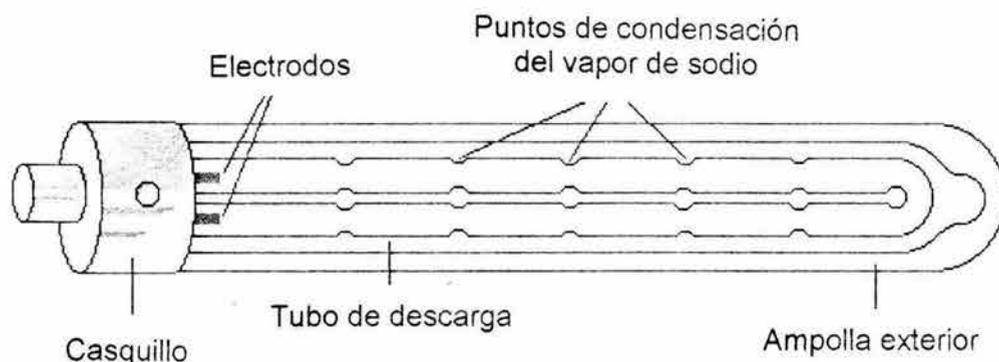
Las lámparas de vapor de sodio, funcionan produciendo descargas eléctricas dentro de una atmósfera de vapor de sodio a baja presión. En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes 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 tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo de 270° C.

Las lámparas de vapor de sodio están provistas de electrodos que se calientan por sí mismos, constituidos por un filamento doble o triple espiralado de tungsteto, que en cuya superficie se deposita un material emisor de electrones (generalmente, óxidos de torio o de tierras raras). Con objeto de favorecer el encendido de la lámpara, el tubo de descarga está relleno de un gas noble, casi siempre neón.

La tensión de la lámpara es según los tipos, de 340 400 V; como la tensión de alimentación es normalmente de 220 V; esta lámpara precisa de aparato de alimentación provisto de un autotransformador para elevar la tensión de la red hasta el valor de tensión de encendido



**Figura II.20:** Lámparas de vapor de sodio a baja presión

CARACTERISTICAS DE LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESIÓN						
Potencia lámpara (Watts)	Eficiencia (lumen/ Watt)	Luminancia medida (Candelas/cm <sup>2</sup> )	Flujo luminoso (Lumen)	Dimensiones		Casquillo
				L (mm)	D (mm)	
<b>BULBO TUBULAR CLARO</b>						
35	86	10	4,800	310	54	B-22
55	105	10	8,00	425	54	B-22
90	116	10	13,500	528	68	B-22
135	128	10	22,500	775	68	B-22
180	150	10	33,000	1,120	68	B-22

Tensión de alimentación 220 V. Eficiencia luminosa 137 a 183 Lm/W.

Periodo de arranque 5 a 15 minutos.

El período de encendido de la lámpara de vapor de sodio oscila entre 5 y 15 minutos, según los tipos, durante este periodo, se inicia la descarga en el gas neón que rellena el tubo y la lámpara adquiere la luminescencia rojiza característica de dicho gas; debido al calor generado por el paso de la corriente en el tubo de descarga, el sodio se volatiliza, convirtiéndose en vapor e iniciando así la descarga en arco de vapor de sodio.

Paulatinamente, la lámpara va adquiriendo el tono amarillo característico del sodio hasta que, hacia el final del periodo de arranque, la luz amarilla del sodio domina completamente el inicial tono rojizo producido por el neón

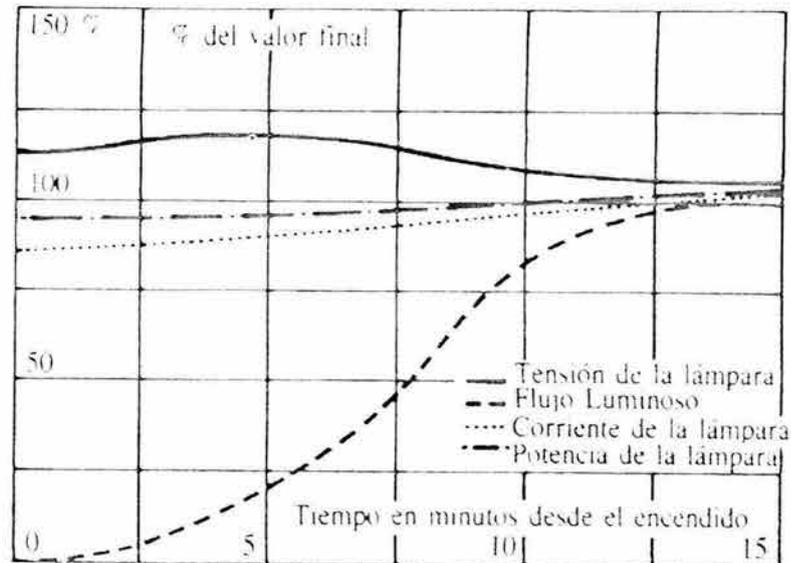


Figura II.21: Características de encendido

La descarga de vapor de sodio de baja presión es muy similar a la de mercurio de baja presión, con la diferencia de que la temperatura en el tubo de descarga es más elevada ( $260^{\circ}\text{C}$ ) para asegurar la vaporización del sodio.

La curva de distribución espectral es monocromática, de color amarillo, situado en la zona donde la sensibilidad del ojo humano es de un 75% con respecto a la máxima. Por tal motivo estas lámparas resultan adecuadas en aquellos lugares en donde la reproducción de los colores es secundaria como, por ejemplo:

- Alumbrado público.- Autopistas, carreteras puentes, túneles, nudos ferroviarios, instalaciones portuarias, canales.
- Alumbrado industrial.- Fundiciones, parques de carbón, cantera, fábricas de cemento, depósitos de material.
- Aplicaciones diversas.- Fachadas de edificios, monumentos, castillos, iglesias.

### II.B.6.b. Lámparas de vapor de sodio alta presión

Las lámparas de sodio a baja presión tienen una inmejorable eficacia luminosa, pero su reproducción cromática es muy deficiente. Para mejorar este tipo de lámparas hay que hacerles una serie de modificaciones, tales como aumentar la presión del vapor de sodio, a costa de trabajar a temperaturas más elevadas, y agregar además del gas inerte, xenón, una pequeña cantidad de mercurio que ayude a mejorar el espectro.

Para que estas dos modificaciones se puedan hacer realidad hay que vencer una seria dificultad, dado que el sodio a alta presión y la temperatura, atacan seriamente al vidrio y al cuarzo, materiales utilizados hasta ahora para estos cometidos.

Otra solución para mejorar el tono del color de las lámparas de vapor de sodio, consiste en utilizar mayores presiones, con temperaturas de funcionamiento de varios miles de grados. El problema está en encontrar una ampolla de descarga que pueda resistir estas altas temperaturas y que sea resistente al sodio; normalmente se emplea una cerámica de óxido de aluminio, denominada comercialmente lucalox.

En esencia, una lámpara de vapor de sodio a alta presión consta de un tubo o ampolla de descarga, encerrado en un recipiente de vidrio resistente a la intemperie; la ampolla de descarga es translúcida con una transmisión total de luz en la zona visible de más del 90%. Un tubo de metal, en el extremo de la estructura, sirve como medio de descarga y dosifica la ampolla con una amalgama de sodio y mercurio, este tubo está cerrado mediante tapones de corindón sintético, en los que se soportan los electrodos

Para el encendido de esta lámpara se emplea se emplea generalmente xenón, como gas de arranque para elevar la temperatura del sodio y del mercurio a una presión de vapor que produzca la excitación de los átomos de sodio, la tensión de arranque es de 1,800 V

Debe emplearse un ballastro especial, que incluye un arrancador que proporciona un impulso de tensión de unos 3,000 V y un condensador que de 50 microfaradios para compensar el factor de potencia propio de la lámpara, que es de 0,5 hasta 0,85.

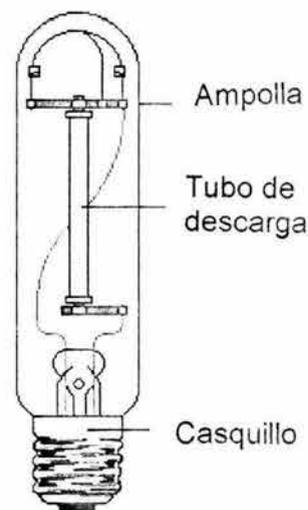


Figura II.22: Lámpara de vapor de sodio alta presión

CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS DE VAPOR SODIO A ALTA PRESION					
Potencia lámpara (Watts)	Eficiencia (lumen/ Watt)	Luminancia medida (Candelas/cm <sup>2</sup> )	Flujo luminoso (Lumen)	Dimensiones	
				L (mm)	D (mm)
LÁMPARAS DE BULBO ELIPSIODAL DIFUNDENTE					
70	66	8	5,800	156	70
150	84	10	14,000	226	90
250	90	19	25,000	226	90
400	107	24	47,000	290	120
10,000	110	36	120,000	400	165
LÁMPARA DE BULBO ELIPSIODAL CON SISTEMA DE ENCENDIDO					
210	82	15	19,000	230	82
350	91	22	34,000	290	91
LÁMPARAS CON BULBO TUBULAR CLARO					
150	87	300	14,500	230	48
250	92	360	25,500	260	48
400	109	550	48,000	285	48
1,000	119	650	130,000	400	66
LÁMPARA BULBO TUBULAR DE CUAZO CON DOS PATAS					
250	92	400	25,500	250	23
400	109	550	48,000	250	23

Tensión de alimentación 220 V.  
Temperatura de color 2,200° K.

El periodo de arranque es de 3 a 4 minutos, según el tipo de lámpara, con un tiempo de enfriamiento de 2 a 3 minutos, la temperatura de color es de 2,000 – 2, 200° K (cálida).

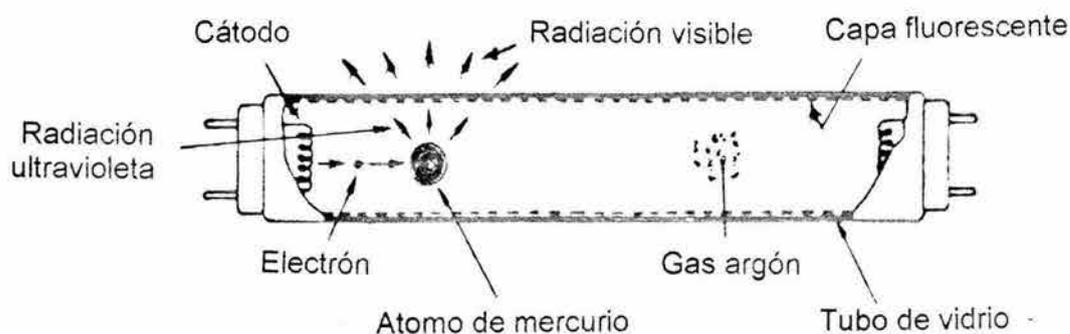
Si se eleva la presión del vapor de sodio, una gran proporción de la radiación total es emitida por los dos extremos del tubo de cerámica; como consecuencia, la luz obtenida es de color blanco dorado, con gran cantidad de rojo, por lo tanto mucho más agradable a la vista que la luz emitida por las lámparas de vapor de sodio a baja presión.

### II.B.7. Fluorescencia

Fluorescencia.- Conversión de radiación ultravioleta en visible (lámparas fluorescentes).

En la lámpara fluorescente, el interior del tubo de vidrio está cubierto de una capa de sales que se tornan incandescentes por la luz ultravioleta producida dentro del tubo por un gas (vapor de sodio, vapor de mercurio), activado por el paso de la corriente eléctrica.

Los electrones así obtenidos, en su recorrido de un extremo a otro del tubo, chocan con los átomos de mercurio y la energía desprendida en el choque se transforma en radiaciones ultravioleta y por lo tanto invisibles, pero capaces de excitar la capa fluorescente que recubre el interior del tubo, con lo que se transforman en luz visible



**Figura II.23:** Se muestra el efecto de fluorescencia

Caso particular de fotoluminiscencia, es la propiedad que tienen algunos minerales y otras sustancias de absorber rayos ultravioleta (luz invisible), y emitirla luego como luz visible de un color específico.

#### II.B.7.a. Tubos fluorescentes

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, y 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 38 y 91 lm/W dependiendo de las características de cada lámpara.

Una lámpara o tubo fluorescente es una fuente de descarga eléctrica en una atmósfera de vapor de mercurio entre electrodos caldeados a baja presión.

Las radiaciones ultravioletas producidas excitan la sustancia fluorescente de la pared interior del tubo de vidrio haciendo que se genere la luz visible, las paredes interiores del tubo están cubiertas 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.

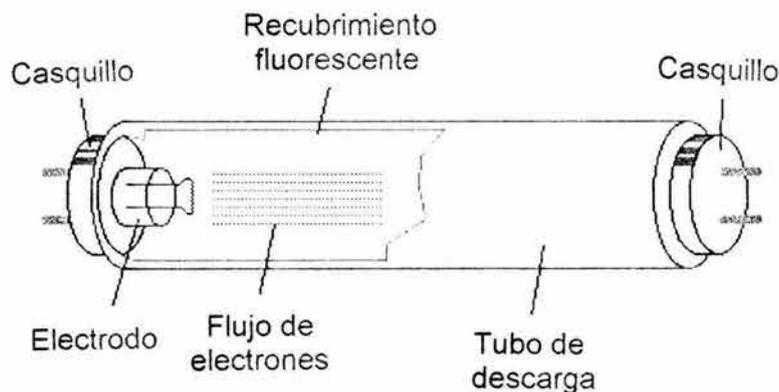
LÁMPARAS FLUORESCENTES								
Potencia lámpara (Watts)	Tono de luz	Inten. de servicio (A)	Potencias balastro total (Watts)		Flujo luminoso (Lumen)	Dimensiones (mm)		Casquillo
			(Watts)	(Watts)		L	D	
18	Luz día	0,37	12	30	1,000	590	26	Biclavillo
	Blanco Frío				1,150			
	Blanco Universal				1,050			
	Blanco Cálido				1,150			
36	Luz día	0,43	10	46	2,500	1,200	26	Biclavillo
	Blanco Frío				3,000			
	Blanco Universal				2,500			
	Blanco Cálido				3,000			
58	Luz día	0,67	13	71	4,000	1,500	26	Biclavillo
	Blanco Frío				4,800			
	Blanco Universal				4,000			
	Blanco Cálido				4,800			

Tensión de alimentación 220 V  
 Eficiencia Luminosa de 55 a 82 lumen/Watt

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.

Las lámparas fluorescentes se caracterizan por carecer de ampolla exterior. Están formadas por un tubo de diámetro normalizado, normalmente 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.



**Figura II.24:** Lámpara fluorescente

Las longitudes de tubo más favorables para las lámparas de fluorescentes de baja presión oscilan entre 40 y 120 cm, para diámetros de 25 a 40 mm; la potencia en los tubos es de 10 a 40 W

Existen tubos fluorescentes en las tres tonalidades básicas, si bien las denominaciones cambian con relación a las generales (cálida, intermedia, fría). Los términos utilizados y algunos valores típicos de temperatura de color son los siguientes:

DESIGNACIÓN	TEMPERATURA DE COLOR (K)
Blanco cálido	2,700 – 3,000
Blanco	4,000 – 5,000
Luz día	5,300 – 6,500

### II.B.7.b. Las manchas en los tubos

El buen funcionamiento de una instalación de alumbrado fluorescente resulta, en todos los casos, más difícil que si se trata de un alumbrado con lámparas incandescentes. Esto es debido a la mayor complejidad de los elementos que constituyen el alumbrado fluorescente, por ejemplo, si una lámpara incandescente no se enciende al aplicarle la tensión adecuada podemos deducir inmediatamente que la lámpara es defectuosa o que se ha fundido el filamento, pero en el caso de una lámpara fluorescente no resulta tan fácil llegar a una conclusión acertada.

Una lámpara bien construida, puede funcionar defectuosamente o no funcionar en absoluto si alguno de los elementos auxiliares (cebador, reactancia, etc.) son defectuosos o inapropiados. A veces, incluso, la lámpara y los elementos auxiliares están en buenas condiciones de funcionamiento y, sin embargo, no funcionan debidamente a causas exteriores tales como la falta o el exceso de tensión en la línea de alimentación o las corrientes de aire que enfrían la lámpara.

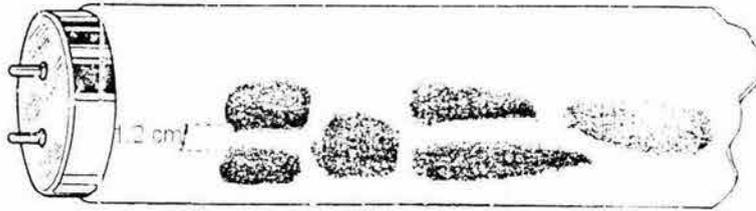
A continuación se hace mención de algunas posibles averías en las lámparas fluorescentes:

a). Ennegrecimiento paulatino en ambos extremos.- Es debido al envejecimiento del mismo y lo provocan las partículas del cátodo, empieza a partir de una de las bases, hasta una distancia de 5 a 7 cm. Para evitar el ennegrecimiento se coloca delante de ellos, filamentos y coronas, que retienen y recogen las partículas desprendidas. Un ennegrecimiento prematuro indica que los electrodos están sometidos a una carga demasiado elevada.



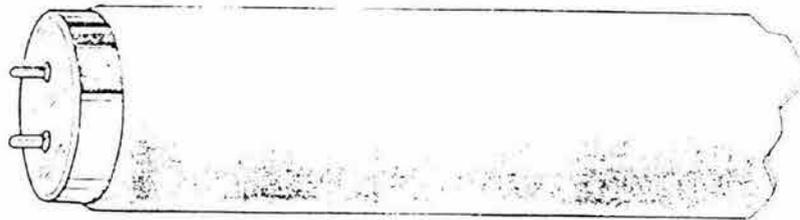
Figura II 25: Ennegrecimiento en ambos extremos

b). Anillos en uno o ambos extremos (rojo castaño).- Es debido al desgaste y arranque inadecuados, en estos casos la anchura del anillo es de unos 2 cm y aparece a uno 5 cm de la base correspondiente. Conviene en estos casos, comprobar si el circuito del cebador, y este mismo, estén en buenas condiciones de funcionamiento.



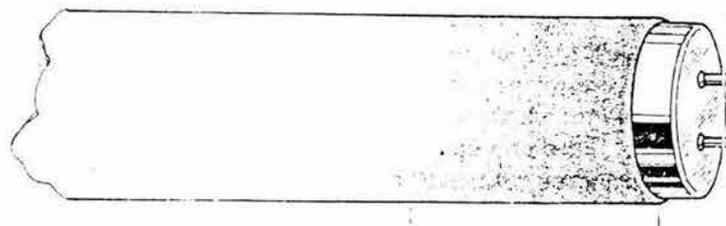
**Figura II.26:** Anillos coloreados en los extremos

c). Raya oscura longitudinal.- Es debida a glóbulos de mercurio condensados, Estas rayas casi siempre aparecen en la parte inferior del tubo que es la parte fría del mismo, y están formadas generalmente por la fría temperatura del ambiente exterior. Este problema se puede solucionar girando el tubo.



**Figura II.27:** Rayas longitudinales de color oscuro

d).- Manchas densas en los extremos: Formadas por puntitos oscuros aproximadamente de 1.2 cm de anchura, que comienzan a unos 2.5 cm de la base, y se extienden sobre media circunferencia, cuando la lámpara lleva bastante tiempo funcionando, estas manchas no tienen mucha importancia, pero cuando la lámpara está recién montada, la aparición de las manchas significa una corriente excesiva de arranque o de funcionamiento, debido a que el ballast no es el adecuado.



**Figura II.28:** Manchas densas en los extremos

Los fabricantes alemanes calculan una vida mayor de 3,000 horas para 1,000 encendidos, es decir, a cada encendido le corresponde un tiempo de trabajo de unas 3 horas (ciclo de trabajo).

Según las normas americanas, para un ciclo de trabajo de 3 horas se obtiene una vida de 2,500 horas (correspondientes a 830 encendidos); para un ciclo de 6 horas, 4,000 horas (unos 670 encendidos) y para un ciclo de 12 horas, 6,000 horas (500 encendidos).

Al final de su vida, la lámpara fluorescente da todavía un flujo luminoso del 70 al 75% del inicial, y el color permanece prácticamente invariable.

Las principales formas en que se presenta el funcionamiento defectuoso de las lámparas fluorescentes, son las siguientes:

- La lámpara parpadea y no enciende.
- La lámpara no da señales de encenderse o tarda en hacerlo.
- Solamente los extremos de la lámpara permanecen encendidos.
- La lámpara parpadea.

### II.B.7.c. Lámparas fluorescentes compactas

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 40 lumen/Watt, su vida media es de unas 6,000 horas y la temperatura de color de 2,700° K. La depreciación del flujo luminoso para su vida media es del 20%.

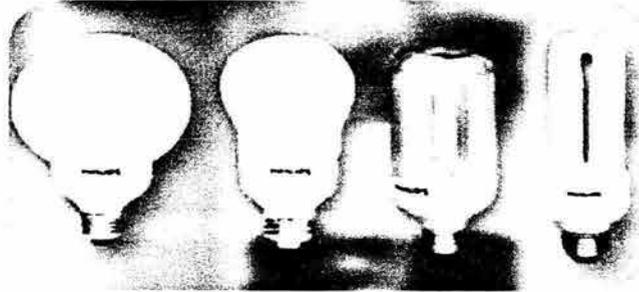
Se fabrican en cuatro potencias 5 W, 7 W, 9 W y 11 W, y tienen la particularidad de que el cebador va incorporado en la base de la lámpara. La balastro es común para las cuatro lámparas y su conexión es, naturalmente, en serie.

LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS							
Modelo (Watts)	Potencia lámpara (Watts)	Intensidad de servicio (A)	Potencias		Flujo luminoso (Lumen)	Dimensiones	
			Balasto (Watts)	Total (Watts)		l <sub>1</sub> (mm)	l <sub>2</sub> (mm)
5	5,5	0,180	4,5	10	250	82	105
7	6,9	0,175	4,3	11,2	400	112	135
9	8,7	0,170	4,1	12,8	600	144	167
11	11,4	0,155	3,4	14,8	900	212	235

Tensión de alimentación 220 V. Eficiencia Luminosa 45 a 75 lumen/Watt.  
Temperatura de color 2,700

También se pueden conectar dos lámparas en serie con una sola balastro, a excepción de la de 11W, que no es posible debido a su elevada tensión de lámpara.

Las características expuestas dotan a estas lámparas de buenas razones para sustituir a las de incandescencia en aquellos lugares de elevada utilización, como hoteles, restaurantes, locales de venta, etc.



**Figura II.29:** Lámparas fluorescentes compactas

# CAPÍTULO III

## EQUIPOS

## ELÉCTRICOS

---

Las luminarias presentan características mixtas que permiten obtener simultáneamente los aspectos fotométricos, estéticos, eléctricos y mecánicos, que condicionan su uso en función del ambiente por alumbrar.

### III.A. LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS EN LAS LUMINARIAS

Las lámparas de descarga requieren de equipos eléctricos auxiliares para limitar la corriente y así tener un nivel correcto de operación, estos equipos proporcionan el voltaje de arranque apropiado para iniciar y mantener el arco.

A continuación se hace mención de algunos tipos de equipos eléctricos, como son las balastras y el arrancador (cebador):

- a) La balastro tipo reactor.- Es la que conecta una bobina (reactor) en serie con la línea de alimentación a la lámpara; esta balastro se utiliza cuando el voltaje de suministro satisface los requerimientos de voltaje de arranque de una lámpara. En algunos casos, se agrega un capacitor para mejorar el factor de potencia.
- b) Balastro tipo autotransformador de alta reactancia.- Es aquella que usa dos bobinas (primaria y secundaria) para regular tanto el voltaje como la corriente, se usa cuando el voltaje de alimentación no satisface los requerimientos de la lámpara.
- c) Balastro tipo autotransformador de watts constantes.- Es una balastro tipo autotransformador de alta capacitancia, con un capacitor agregado al circuito. El capacitor mejora el factor de potencia; este tipo de balastro es la más comúnmente usada.
- d) Balastro de dos devanados de watts-constantes.- Es aquella que usa un transformador que proporciona aislamiento entre los dos circuitos primario y secundario; tiene una excelente resolución de watts.



**Figura III.1:** Balastro

Equipo eléctrico (reactor).- Constituido por núcleo magnético y bobinas, que adecua los voltajes y corrientes a las condiciones particulares de cada bombilla de alta intensidad de descarga (Mercurio - Sodio - Metal Halide).

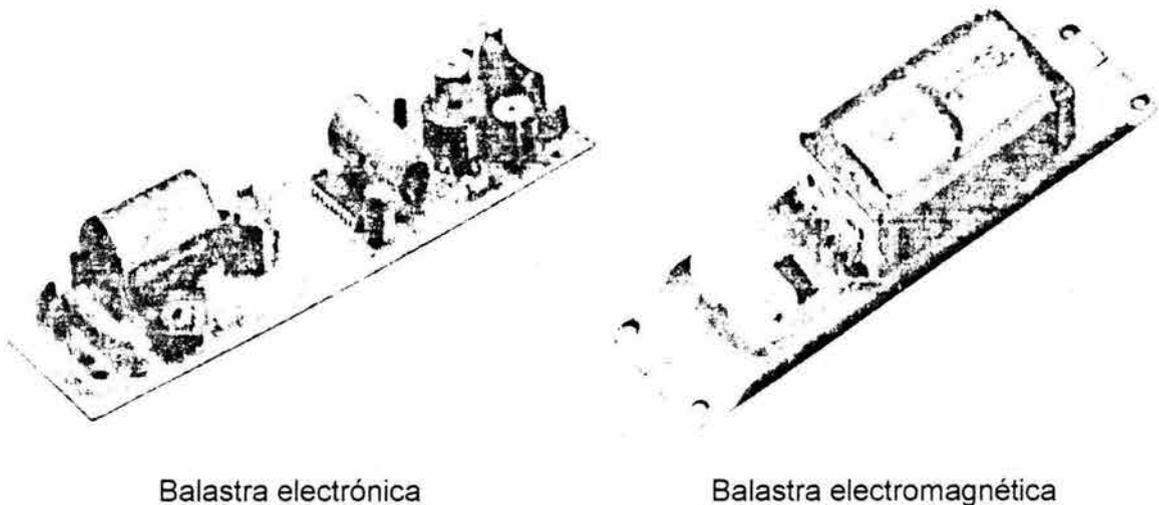


**Figura III.2:** Reactor

### III.A.1. Equipo para lámparas fluorescentes compactas

En este tipo de lámparas como su nombre lo indica, son lámparas que funcionan bajo el principio de generación de luz fluorescente y que requieren de un equipo adicional, estos equipos son la balastras electrónica y balastro electromagnética.

En un principio las balastras electromagnéticas habían sido la única forma de operar lámparas fluorescentes, sin embargo la era de la electrónica ha dado grandes avances a la tecnología de las balastras, así la introducción de nuevas balastras electrónicas está cambiando el diseño y especificación de los sistemas de iluminación fluorescentes.



Balastro electrónica

Balastro electromagnética

**Figura III.3:** Balastras utilizadas para lámparas fluorescentes compactas

El paso de las balastras electrónicas representa una gran ventaja sobre las balastras convencionales. Esto se debe principalmente a que:

- Los componentes electrónicos son más ligeros que los componentes electromagnéticos.

- Los componentes de la balastro electrónica están cubiertos con una resina protectora a la humedad que además provee una reducción de sonido; mientras que una balastro electromagnética está completamente encapsulada con un compuesto asfáltico denso.

El sonido o zumbido que se asocia a las balastros de lámparas fluorescentes proviene de la vibración de las laminillas de acero del transformador de la balastro electromagnética.

El zumbido puede provocar molestias en lugares donde el ambiente puede ser sumamente silencioso. Las balastros electrónicas satisfacen esta necesidad ya que los componentes magnéticos de la balastro convencional son sustituidos por elementos electrónicos eliminando el zumbido

### III.A.2. Equipo para lámparas fluorescentes

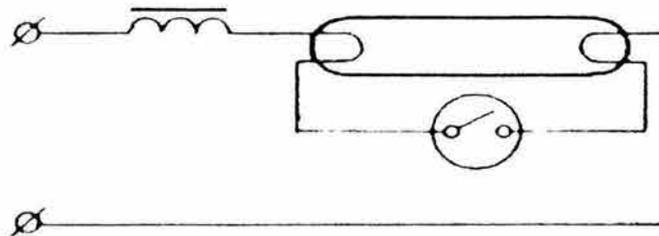
Las lámparas fluorescentes, como todas las de descarga presentan una resistencia al paso de la corriente que disminuye a medida que esta se incrementa. Este efecto las llevaría a la autodestrucción si no se le coloca algún elemento que controle la intensidad que circula por ellas; este elemento es una reactancia cuyo nombre específico para este caso es "balastro".

La balastro está formada por una bobina de hilo de cobre esmaltado con su correspondiente núcleo magnético. Este conjunto va introducido dentro de un contenedor metálico y, todo ello impregnado al vacío con resinas capaces de penetrar hasta el interior de los más pequeños huecos existentes entre espiras; con ello se consigue un considerable aumento de la rigidez dieléctrica de la bobina, una mejor disipación del calor formado y, una total eliminación de las posibles vibraciones del núcleo magnético.

Las funciones que debe cumplir una balastro, en el orden en que se realizan al poner en funcionamiento un tubo fluorescente, son:

- Proporcionar la corriente de arranque o precalentamiento de los filamentos para conseguir de éstos la emisión inicial de electrones,
- Suministrar la tensión de salida en vacío suficiente para hacer saltar el arco en el interior de la lámpara,
- Limitar la corriente en la lámpara a los valores adecuados para un correcto funcionamiento.

En la siguiente figura se muestra el circuito fundamental de funcionamiento de una lámpara fluorescente con su balastro y su interruptor de puesta en marcha (cebador).



**Figura III.4:** Circuito de lámpara fluorescente

Si se aplica tensión al circuito, no circulará corriente por el mismo, ya que no puede establecerse la descarga, por falta de electrones. Si ahora se cierra momentáneamente el interruptor, el circuito se cierra a través de la balastro y de los filamentos del tubo, los cuales iniciarán la emisión de electrones.

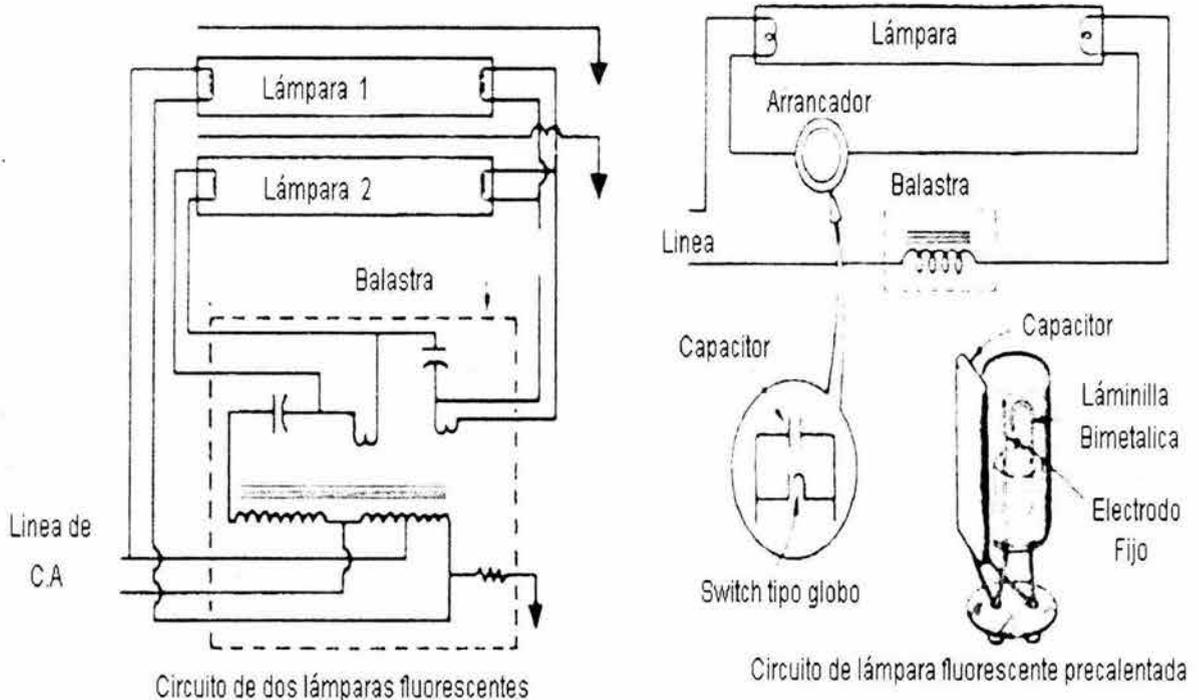
Si se abre el interruptor, se crea una sobretensión como consecuencia de la autoinducción de la bobina de la balastro y, encontrándose el tubo fuertemente ionizado como consecuencia de la emisión de electrones, se iniciará la descarga en el seno del gas de relleno y posteriormente en el vapor de mercurio. Así cebado el tubo, quien ahora limita la corriente es la balastro y en los bordes de la lámpara quedará la tensión de arco necesaria para mantenerlo. Esta tensión de mantenimiento del arco depende principalmente de la longitud del tubo y suele estar comprendida entre 40 y 100 V.

Todas las lámparas fluorescentes están proyectadas para uno de los tres tipos generales de funcionamiento: precalentamiento, arranque rápido y arranque instantáneo. A continuación se hace mención de cada uno de estos tipos de funcionamiento:

- a) Lámparas de precalentamiento.- Estas lámparas necesitan para su encendido de un interruptor, que permite el paso de una corriente de calentamiento a través del electrodo que hay en cada extremo de la lámpara durante unos segundos, una lámpara de este tipo tarda siempre un poco en encenderse pues necesitan de un interruptor automático llamado cebador de tamaño muy reducido.



**Figura III.5:** Balastro con arrancador



**Figura III.6:** Circuito de lámpara fluorescente con precalentamiento

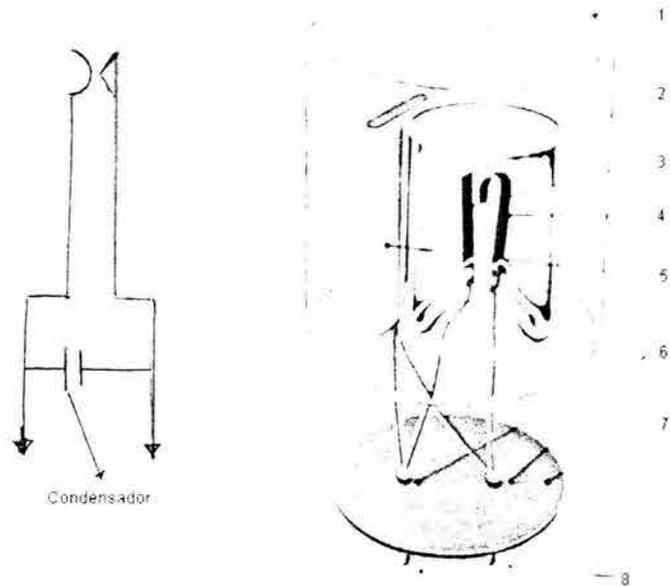
Lo mencionado sobre el funcionamiento de la lámpara es válido, a excepción del interruptor manual de puesta en funcionamiento, que deberá ser sustituido por un interruptor automático conocido como "cebador". El cebador puede ser de tipo térmico o de destello, siendo este último el normalmente utilizado hoy en día.

El arrancador de destello consta de dos electrodos, uno de los cuales es una cinta bimetalica encerrada en una pequeña ampolla de vidrio, llena de gas inerte (neón o argón). Cuando se aplica la tensión, una pequeña corriente fluye a través del circuito como resultado de una descarga eléctrica entre los dos electrodos. El efecto calorífico de la corriente dilata el elemento bimetalico y establece contacto con los dos electrodos, este contacto interrumpe la descarga, pero permite el paso de la corriente para el calentamiento de los electrodos del tubo fluorescente durante un corto periodo de tiempo, con el contacto cerrado, si no hay descarga, el gas del cebador se enfría y el elemento bimetalico se retrae; abre el contacto y produce en conjunto con la balastro, un impulso de alta tensión en los electrodos del tubo fluorescente.

Después de establecer la descarga luminiscente en la lámpara, el cebador no actúa, a pesar de haber tensión en sus electrodos, ya que la corriente circula más fácilmente por la lámpara y el potencial eléctrico no es suficiente para disparar el cebador

El cebador esta normalmente equipado dentro de la misma cápsula con un condensador para limitar las interferencias de radio.

- 1.- Envoltura metálica de protección.
- 2.- Ampolla de vidrio.
- 3.- Electrodo fijo.
- 4.- Cinta bimetálica.
- 5.- Condensador.
- 6.- Conexiones a los contactos.
- 7.- Placa aislante.
- 8.- Contactos.

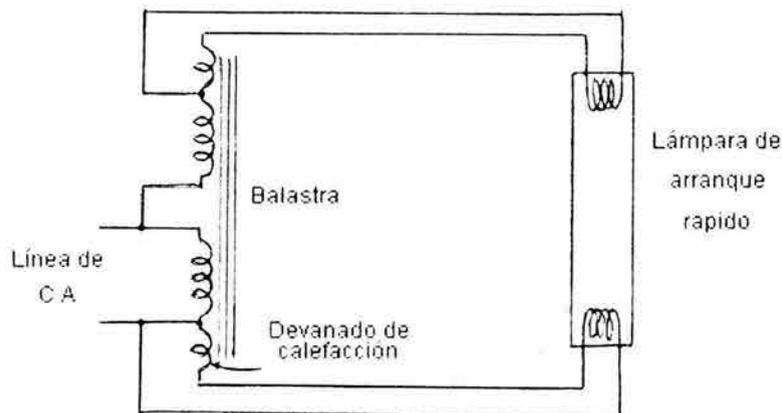


**Figura III.7:** Arrancador (starter) del tipo cebador de destello

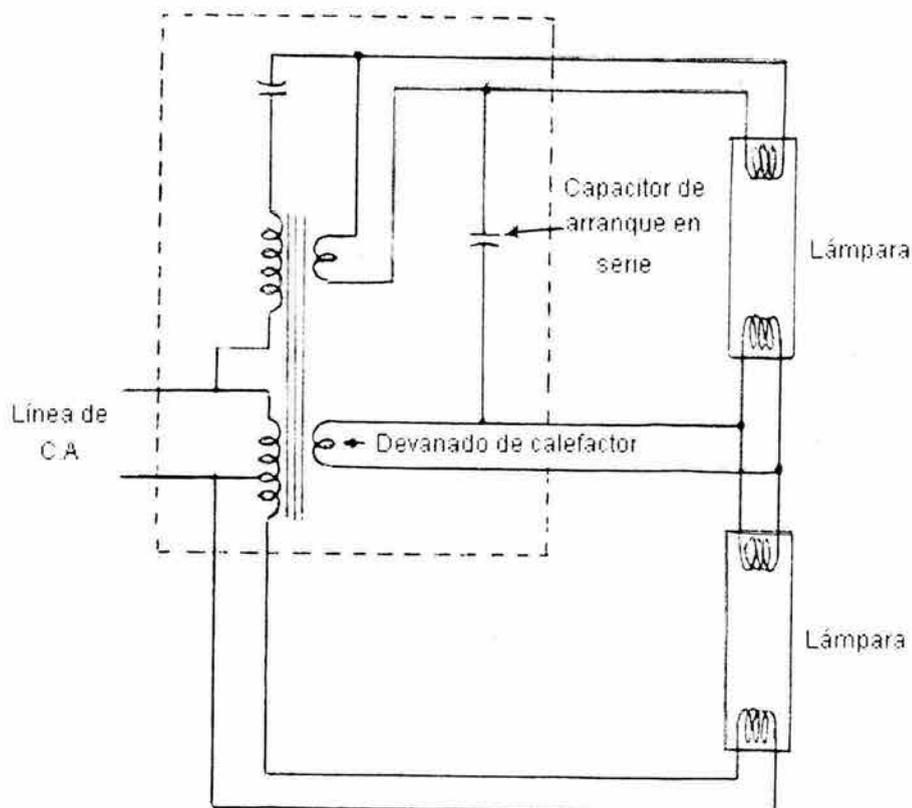
- b) Lámpara de arranque rápido.- Este tipo de lámpara difiere del de precalentamiento donde su tensión de calefacción es suministrada por un devanado especial en la balastra y no requiere de ningún interruptor automático para abrir el circuito cuando el arco ha salido. Por medio de dicho devanado circula una pequeña corriente de calentamiento de los electrodos continuamente mientras la lámpara está en servicio.

Para asegurar el arranque en cualquier circunstancia, toda lámpara de arranque rápido debe montarse muy cerca de una tira metálica (el mismo soporte o porta lámpara) puesta a tierra y situada a todo lo largo de la lámpara.

En la siguiente figura se muestra el circuito para una y dos lámparas de arranque rápido.



**Figura III.8:** Circuito típico de una lámparas de arranque rápido



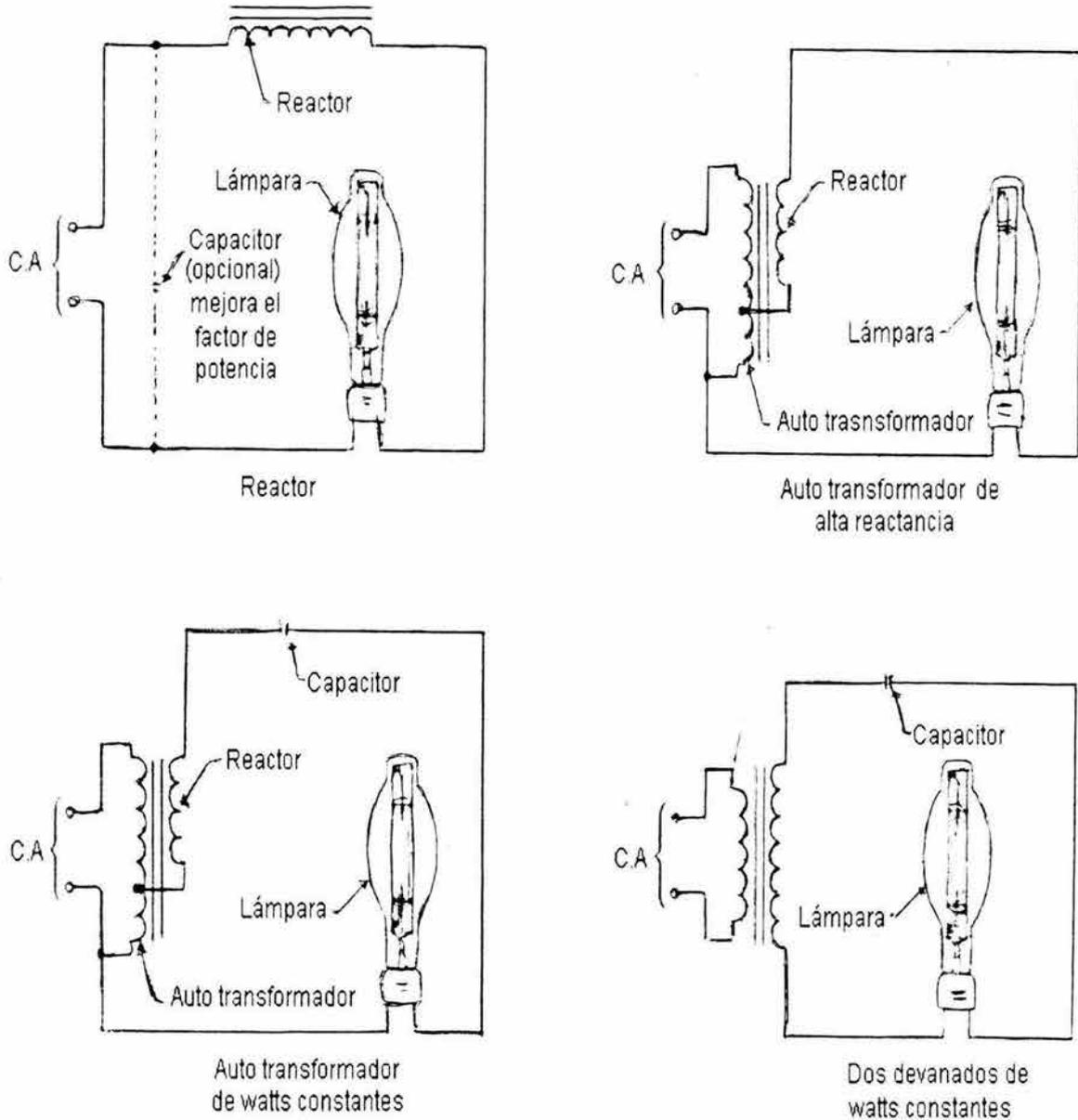
**Figura III.9:** Circuito típico de dos lámparas de arranque rápido en serie, con capacitor de arranque rápido

### III.A.3. Equipo eléctrico para lámparas de vapor de mercurio de alta presión

Este tipo de lámpara requieren de un voltaje más elevado cuando arrancan a bajas temperaturas, esto se debe a que en tales casos existe menos mercurio vaporizado en el tubo para provocar la ionización. Por ejemplo, una lámpara de mercurio de 400 watts requiere de 150 volts para arrancar a una temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  ( $50^{\circ}\text{F}$ ) y de 225 volts para arrancar a una temperatura de  $-29^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{F}$ ).

Por esto es necesario de un equipo eléctrico externo que ayude a proporcionar el voltaje necesario para el arranque de las lámparas de alta intensidad de descarga; este equipo son las balastras que están diseñadas para regular el flujo de la corriente a través del arco de la lámpara

Las balastras de una lámpara de vapor de mercurio incluyen un reactor, un autotransformador de alta reactancia o un autotransformador de watts constantes y, una balastra de dos devanados y watts constantes



**Figura III.10:** Tipos de balastros para lámparas de vapor de mercurio

Algunas lámparas, especialmente las de mercurio, operan a cierto voltaje cuando se instalan en posición vertical y otras en posición horizontal. Esto puede originar cambios en los vatios de la lámpara. Para esto es necesario consultar los manuales editados por el fabricante respectivo.

Las balastros solo deben conectarse a circuitos con el voltaje y la frecuencia para la que fueron fabricadas, de lo contrario la lámpara operará con valores diferentes a los nominales; además, esto podría dañar a la balastro.

A continuación se muestran algunos circuitos de balastras de lámpara de vapor de mercurio.

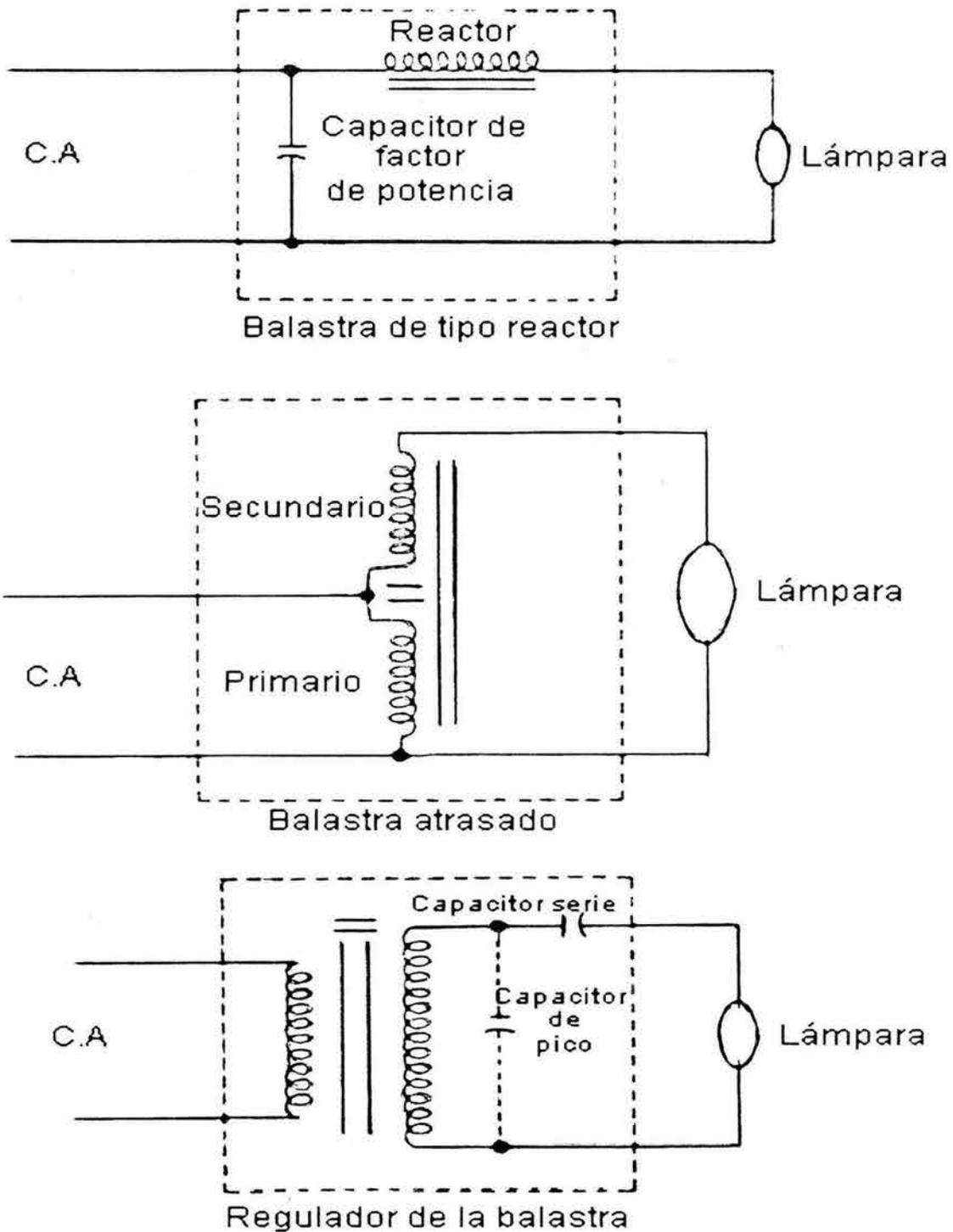


Figura III.11: Circuitos de balastras de lámparas de vapor de mercurio

### III.A.4. Lámparas de vapor de sodio de alta presión

Una lámpara de sodio de alta presión es una lámpara de descarga de alta intensidad que produce luz cuando la corriente circula a través del vapor de sodio bajo alta presión y una alta temperatura.

Una balastra para lámpara de sodio de alta presión, no tiene electrodo de arranque, la balastra contiene un circuito especial de arranque que ioniza al xenon por medio de impulsos de voltaje suficiente como para arrancar y mantener el arco. Este pulso de voltaje debe ser de 4,000 a 6,000 V para lámparas de 1,000 W y de 2,500 a 4,000 V para lámparas menores; el arrancador es un dispositivo dentro de la balastra que produce el voltaje de arranque rápido.

Este tipo de lámpara produce luz cuando la corriente circula a través del vapor de sodio bajo alta presión y alta temperatura, es más eficiente que una lámpara de vapor de mercurio o una lámpara de metal halide (haluro), la luz producida por una lámpara de sodio de alta presión aparece como una luz de oro blanquecina.

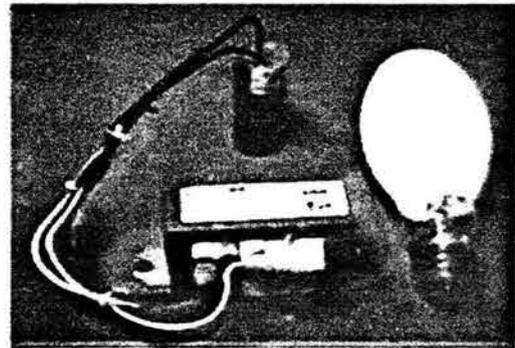


Figura III.12: Lámpara de vapor de sodio a alta presión

En las fuentes de luz de sodio de alta presión, el aumento del voltaje es un factor determinante de la vida útil. A medida que estas lámparas se desgastan, el voltaje aumenta hasta que la balastra ya no puede mantenerlo, en este momento es cuando termina la vida útil de la lámpara y esta empieza a apagarse y a encenderse intermitentemente.

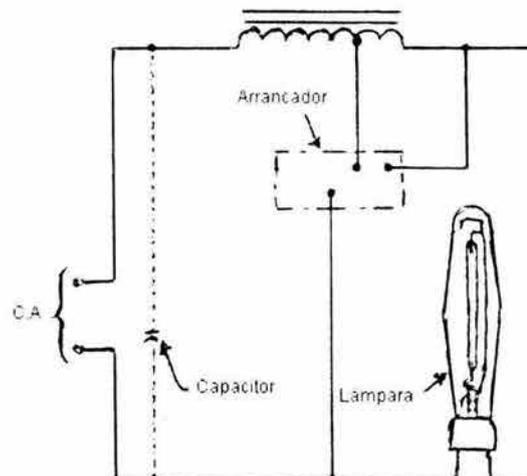
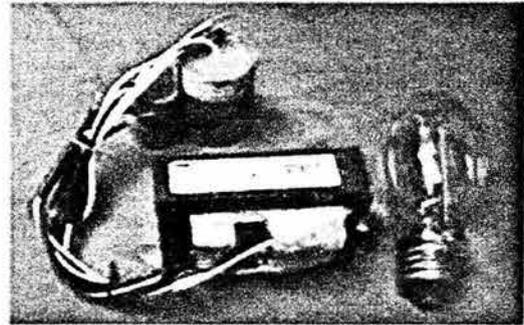


Figura III.13: Circuito de una lámpara de sodio de alta presión

### III.A.5. Lámparas de vapor de sodio baja presión

Para este tipo de lámpara la tensión que se requiere para su encendido es de 480 o 660 V, según los modelos y como la tensión en la línea de alimentación eléctrica suele ser 120 o 220 V, se necesita por lo tanto del empleo de una balastra tipo autotransformador que eleve la tensión a un voltaje necesario para su encendido, son lámparas que van de los 35 watts a los 80 watts.

Por ejemplo para una lámpara de vapor de sodio de baja presión de 18 watts que requiere de una tensión mucho menor solo necesita de una balastra conectada en serie.



**Figura III.14:** Lámpara de vapor de sodio a baja presión

En la siguiente figura III.15 se muestra el circuito de conexión de la lámpara de vapor de sodio a baja presión

D1.- Balastra.

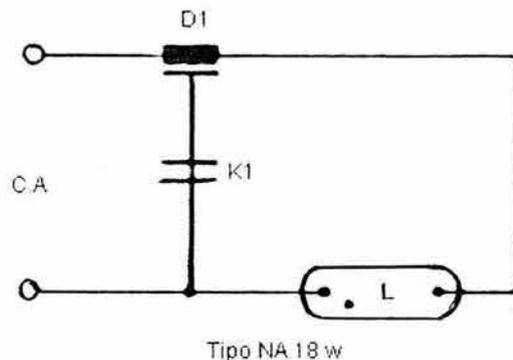
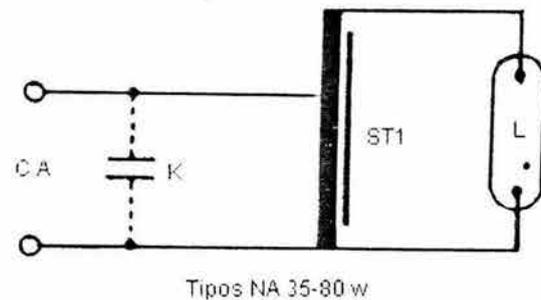
K1.- Condensador de compresión y arranque.

K.- Condensador de compensación.

L.- Lámpara.

ST1.- Transformador de campo de dispersión.

C.A.- Tensión de red.



**Figura III.15:** Circuito de lámpara de vapor de sodio a baja presión

### III.A.6. Equipos de maniobra y control

La instalación de controles eficientes de iluminación constituye una de las formas más simples de reducir los costos de energía para iluminación. Cuando las luces se dejan encendidas de manera innecesaria o algunas áreas se iluminan en forma excesiva, se incrementan los costos de energía.

En muchos hogares, las lámparas de seguridad de exteriores, que a menudo se dejan encendidas sin necesidad alguna, representan gran parte de los costos generales de energía para iluminación. Cada hora que una lámpara opera innecesariamente genera, en consecuencia, costos.

#### III.A.6.a. Controles de iluminación

Los controles descritos a continuación pueden ayudar a reducir el uso innecesario de la iluminación:

- **Sensores de ocupación.**- Los sensores de ocupación son un tipo ideal de control para la iluminación de interiores, en particular para áreas de uso intermitente. Perciben el movimiento o el calor y se apagan cuando el ocupante sale de ese cuarto.
- **Sensores de movimiento.**- Los sensores de movimiento implican una buena opción para la iluminación de seguridad de exteriores. Un sensor de movimiento enciende las lámparas sólo cuando detecta un movimiento. Una vez que no se detecta ningún movimiento (el lapso es ajustable), el detector apaga las lámparas, lo que resulta especialmente apropiado para espacios que se usan sólo por cortos intervalos de tiempo, tales como pasillos, escaleras o baños. Además el sensor se puede aplicar también a fines de seguridad. Por ejemplo, si se detectan movimientos después de la hora de cierre, se transmite el correspondiente mensaje al display de información, al monitor de visualización del personal de guardia o a los teléfonos programados.
- **Fotoceldas.**- Las fotoceldas perciben la luz existente y encienden las luces eléctricas cuando los niveles de luz natural son bajos y las apagan cuando los niveles de luz son elevados. Se recomiendan especialmente a fin de controlar el área exterior o la iluminación decorativa, lo que permite que el sistema de iluminación de exteriores se ajuste a los cambios de temporada. Si la iluminación de exteriores se requiere sólo durante una parte de la noche, pueden utilizarse fotoceldas para encender la iluminación y apagarla mediante un sincronizador. Algunas fotoceldas cuentan con mecanismos de demora destinados a evitar que las luces se enciendan cuando una nube temporal cubre esa área.

### **III.B. ALUMBRADO DE INTERIORES**

Para tener una buena visibilidad se requiere una buena iluminación, en los interiores donde se realiza un trabajo, la función básica de la iluminación es proporcionar un confort para el desarrollo de las tareas visuales que se realicen, no obstante existen áreas o zonas de circulación, estancias o lugares de descanso en donde el criterio de la capacidad visual no es muy importante y, se da mayor importancia en estos casos al confort visual y la estética.

#### **III.B.1.El ambiente visual**

Para desarrollar trabajos en espacios o áreas interiores, la influencia de la iluminación en la realización de un trabajo es muy importante y la iluminación puede influir en el potencial para la realización de alguna labor, efectivamente, se sabe que el factor fisiológico es muy importante y que no es necesario emplear grandes potencias luminosas para ambientar una habitación

##### **III.B.1.a. Factores que influyen en la visión**

El nivel de iluminación que se toma en consideración es el disponible sobre el lugar de trabajo, para el diseño de la iluminación de lugares tanto de interiores como de exteriores se tiene que tomar en cuenta diversos factores de iluminación.

Para obtener un alumbrado adecuado para el confort visual, cabe actuar desde una iluminación sensiblemente uniforme de la superficie del local, o bien iluminar de una forma individual y especial el lugar de estudio según un criterio localizado. También se da el caso, de que, para determinadas tareas, aun teniendo un alumbrado general satisfactorio, sea necesaria una exigencia mayor en determinados puntos, a los que se les suplementará la iluminación, para adaptarlos a ciertos valores específicos en lugares donde se realizan importantes trabajos visuales.

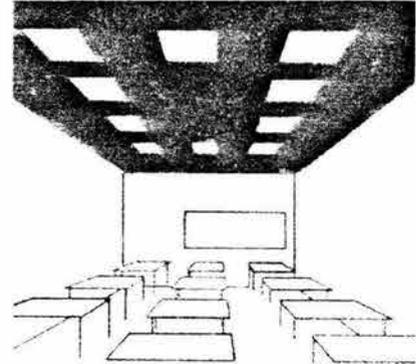
Estos tipos de alumbrado se denominan: general, localizado y suplementario. La denominación de suplementario indica que no se utilizará de forma única, sino cualquiera de los dos sistemas anteriores.

El alumbrado general se aplicará con ventaja en los casos de locales que se hallen densamente ocupados o de lugares sujetos a frecuentes modificaciones. El de tipo localizado quedará restringido en lugares de trabajo que exijan niveles de alumbrado muy elevado y variable.

En general ni el alumbrado local ni el suplementario deberán emplearse nunca solos, sino combinarse con el general. El problema radica en evitar una relación de contrastes excesivos y violentos entre el punto de estudio y sus alrededores. Para que el ojo humano no detecte diferencias de iluminación, es deseable una uniformidad de repartición de luminarias superior al 60%; por ello, los niveles de alumbrado general y local deberán ser proporcionales entre sí.

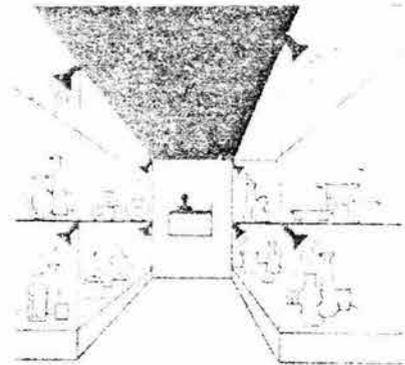
A continuación se muestran algunos ejemplos típicos de alumbrado en interiores:

Iluminación general.- Este tipo de iluminación se encuentra en oficinas, aulas escolares, comercios grandes. Las lámparas se colocan de tal manera que se obtenga un nivel de iluminación uniforme en cualquier punto del lugar a iluminar.



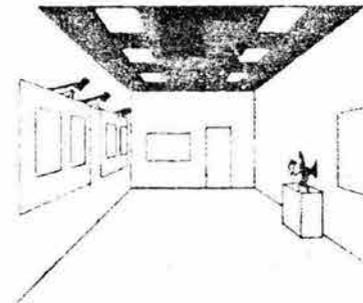
**Figura III.16:** Iluminación general

Iluminación localizada.- Este tipo de iluminación se encuentra en áreas limitadas como: vitrinas, aparadores, etc. Las lámparas se localizan en la proximidad de los puntos que se necesita iluminar



**Figura III.17:** Iluminación localizada

Iluminación suplementaria.- Ejemplos de este tipo de iluminación los podemos percibir en mesas de dibujo, escritorios, cuadros en salas de exposición etc. Estas lámparas se colocan en la cercanía de los lugares de trabajo y se integran a la iluminación en general.

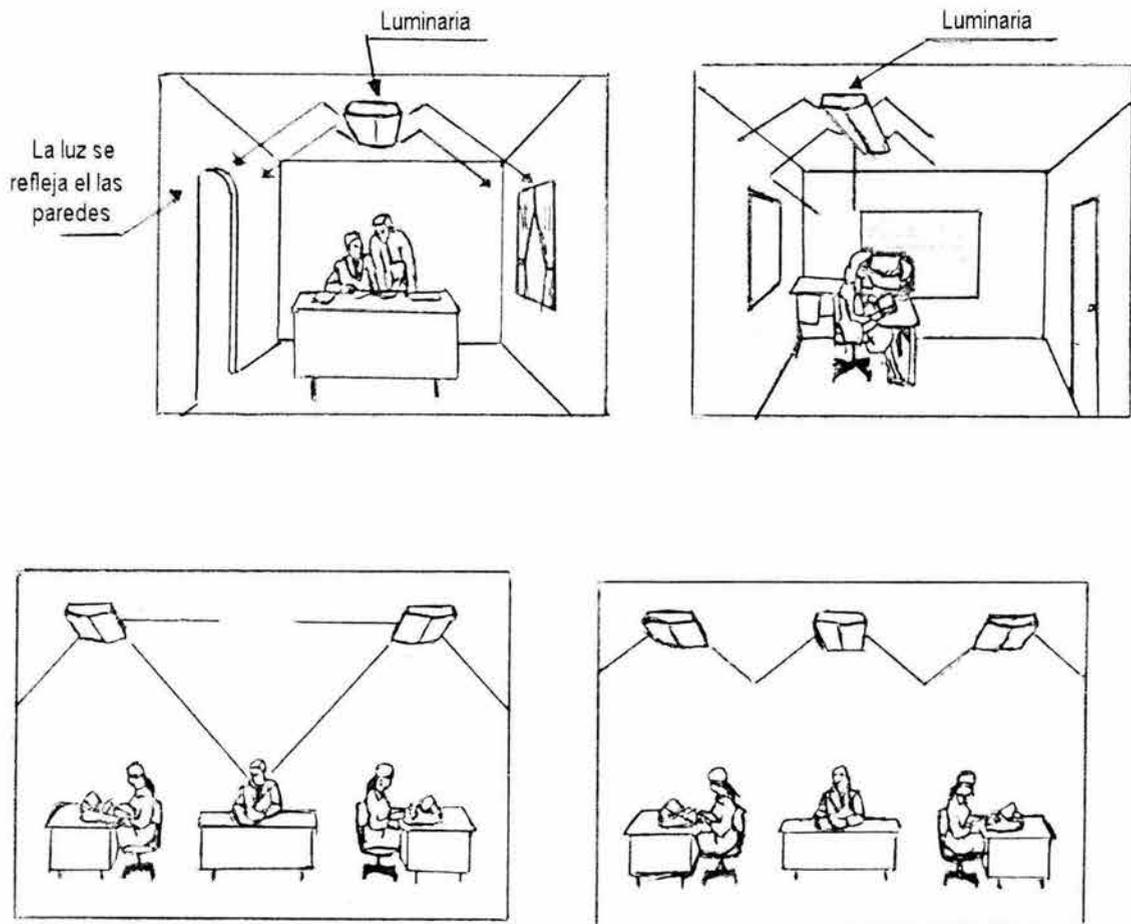


**Figura III.18:** Iluminación suplementaria

### III.B.1.b. Deslumbramiento

Uno de los aspectos del proyecto de iluminación que requiere de mayor atención es el deslumbramiento ya que es uno de los fenómenos más penalizados en un proyecto y tiene que ver mucho con la correcta e incorrecta localización de las luminarias respecto al área de trabajo.

En el caso de los lugares de trabajo como de las oficinas, escuelas, laboratorios, etc., se evitan colocar las fuentes de iluminación de manera que produzcan sombras sobre el lugar de trabajo, así como un exceso de iluminación que provoquen un brillo en los lugares de trabajo.



**Figura III.19:** Colocación de las luminarias

### III.B.2. Iluminación comercial decorativa

La luz es uno de los elementos más importantes en cualquier actividad comercial, pues ayuda a atraer la atención hacia la tienda y hacia las mercancías del escaparate, hace que sea más atractiva desde el exterior de manera que la gente se sienta invitada a entrar a ella.

La mayor parte de los centros comerciales tienen algún sistema de alumbrado básico para proporcionar iluminación a las zonas de circulación o el alumbrado de base a la iluminación suplementaria de las áreas de ventas o bien para suministrar el alumbrado de ambas zonas.

La luz es uno de los medios más efectivos para adquirir la atención hacia las mercancías. El principio fundamental del alumbrado en centros comerciales consiste en hacer el producto más brillante que en otras zonas del campo de visión, para ello la luz debe dirigirse hacia los mostradores, escaparates, vitrinas y lugares de exposición más que hacia zonas de circulación, los brillos de luminarias, techos, columnas y, otros elementos arquitectónicos deberán limitarse a valores realmente bajos, los brillos altos en las paredes son útiles para atraer a los clientes hacia la zona del perímetro de la tienda.

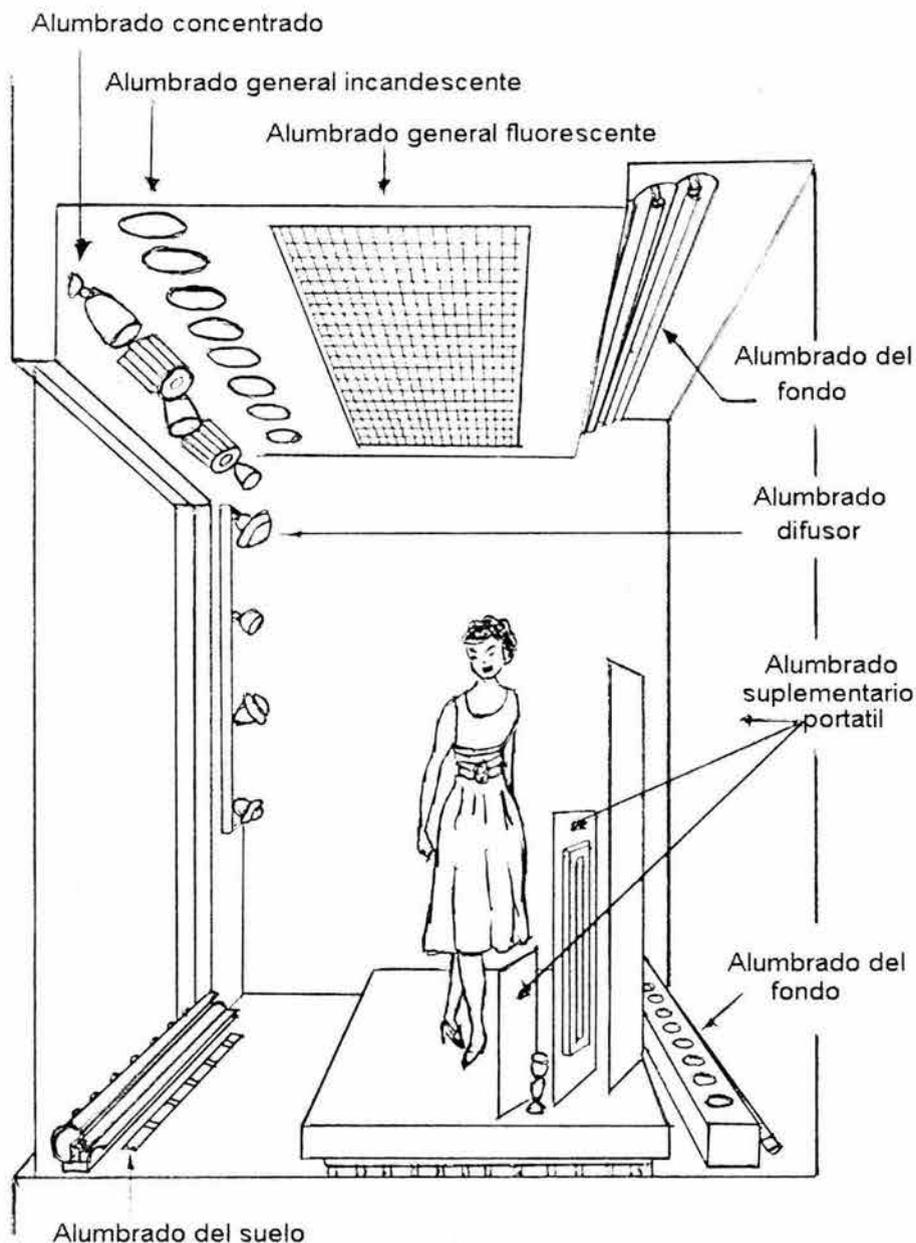
En algunas ocasiones se utiliza el deslumbramiento directo como un método para impactar la atención de las personas, sin embargo, su efecto es muy discutible, teniendo como resultado, en general, el alejamiento del cliente por el simple echo de la búsqueda del confort visual.

Suele ser frecuente el deslumbramiento reflejado (vitrinas, expositores, etc.) incluso, se utiliza en ocasiones para resaltar la calidad de un producto determinado, como suele ser en la joyería

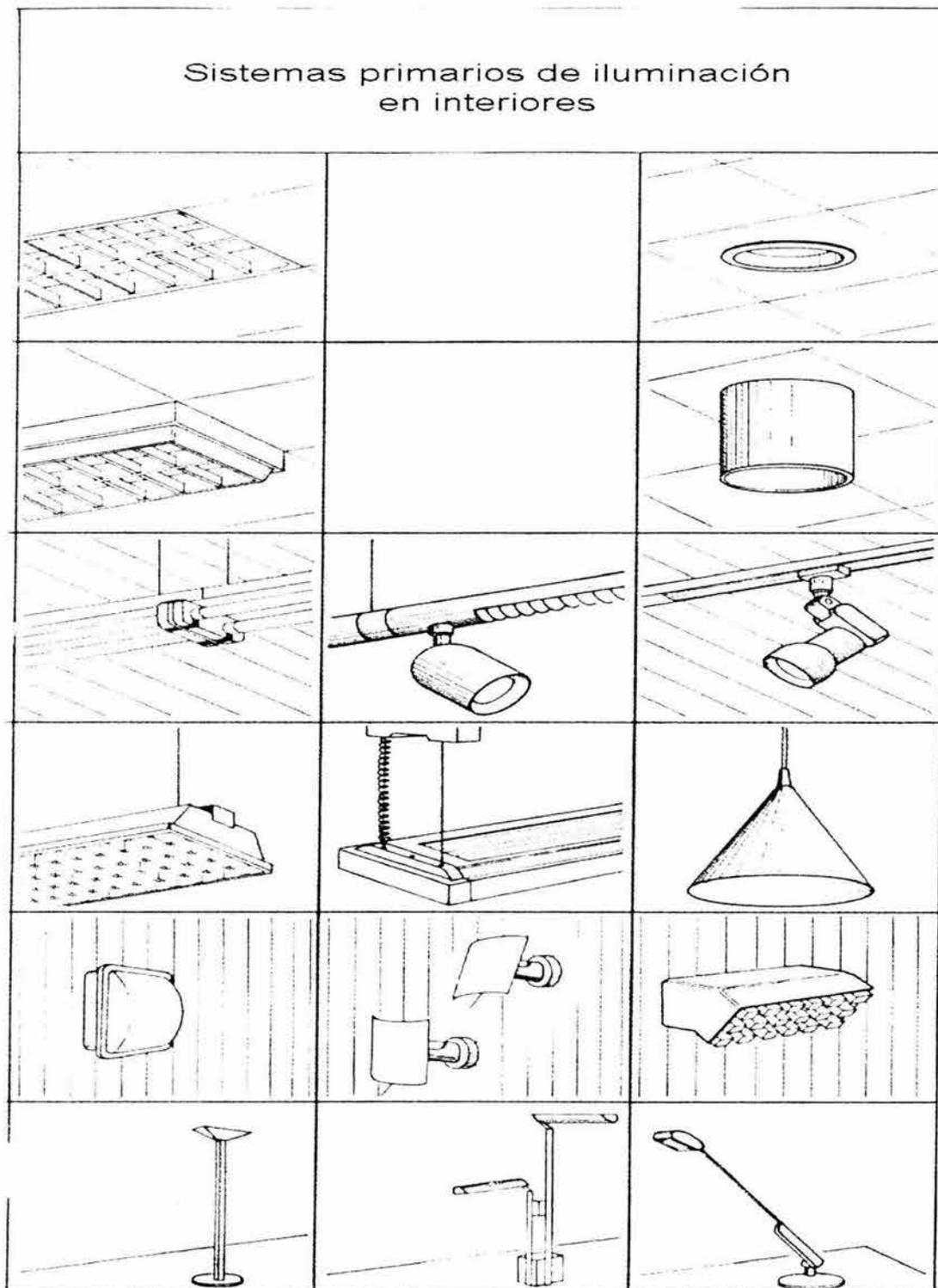
A continuación se hace mención de los tipos de alumbrado utilizados en un centro comercial:

- a) Alumbrado directo.- En tiendas de artículos varios, supermercados, tiendas de amplia fachada, proporcionan un alumbrado general y hay poca variación, excepto para resaltar ciertas exposiciones de mercancías y zonas de gran actividad, tales tiendas confían en su iluminación enteramente al alumbrado directo, requiriéndose en general de 1,000 a 2,000 lux. En los almacenes y otros departamentos no dedicados principalmente a la venta, se utilizan frecuentemente niveles más bajos de alumbrado de la zona de ventas y exposición.
- b) Alumbrado indirecto.- En algunos centros comerciales se utilizan luminarias indirectas para el alumbrado general, en estos casos la cantidad de iluminación difieren de los de un sistema directo, los niveles altos de alumbramiento indirecto son en general poco satisfactorios debido al efecto monótono y poco interesante que origina y, por ello nunca debe usarse solamente un alumbrado indirecto.

El nivel de alumbrado indirecto en tiendas normalmente bajas, raramente excede los trescientos lux, pues la idea es de hacer el ambiente más agradable, los niveles altos de alumbrado indirecto son en general poco satisfactorios debido al afecto monótono y poco interesante que origina, es por ello que nunca debe utilizarse un sistema indirecto.



**Figura III.19:** Iluminación en centro comercial



**Figura III.20:** Sistemas primarios de iluminación en interiores

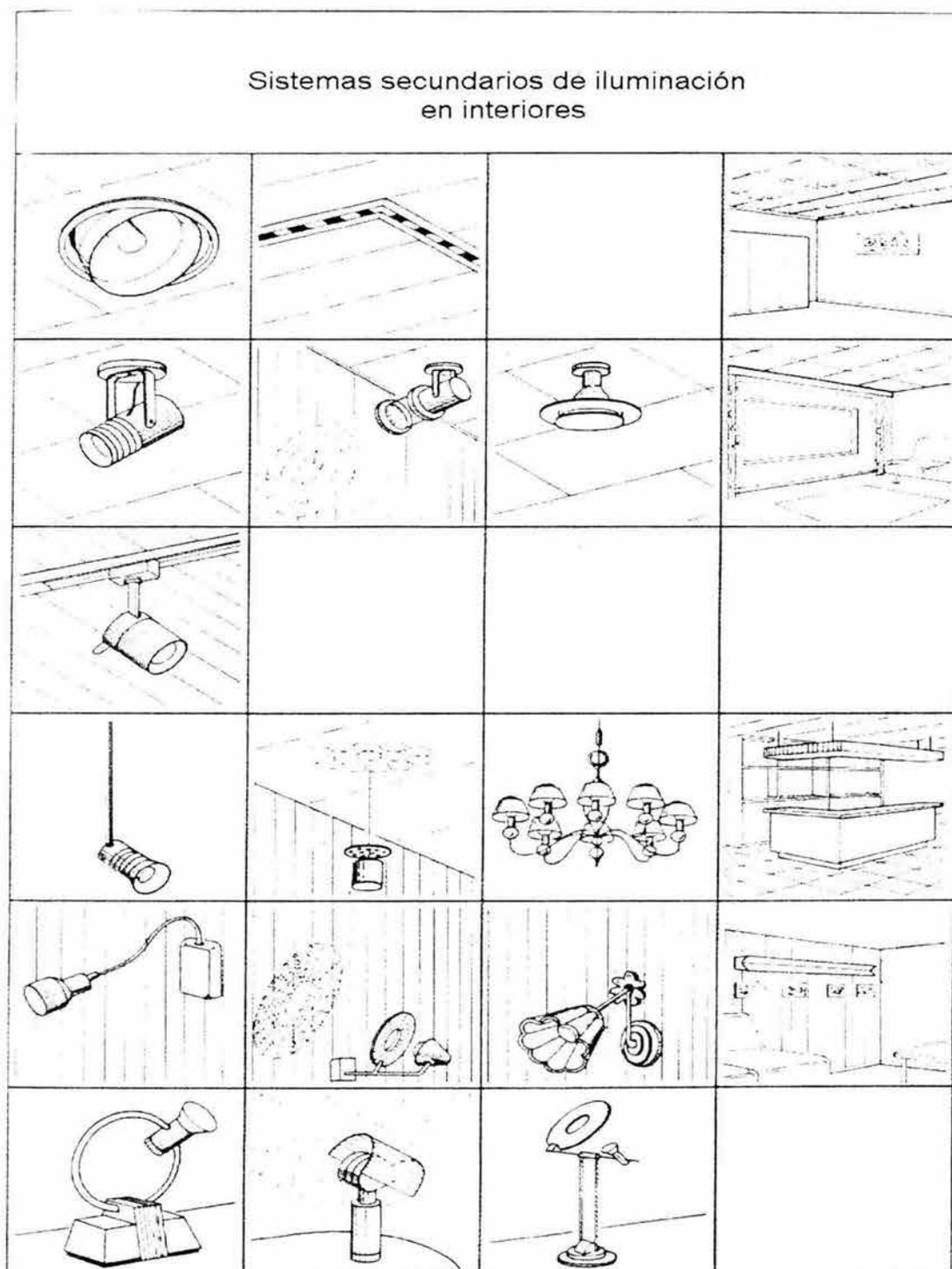


Figura III.21: Sistemas secundarios de iluminación en interiores

### III.C. ALUMBRADO EXTERIOR

Es un sistema de iluminación ubicado en el exterior de inmuebles y que tiene como finalidad principal resaltar en su entorno durante la noche, la textura o la forma del área, estructura o monumento, para favorecer las condiciones de seguridad, estética y comerciales de un sitio.

Los sistemas de iluminación requeridos para vialidades, estacionamientos públicos exteriores o abiertos y todo tipo áreas exteriores, se conocen genéricamente como: Iluminación de exteriores.

#### III.C.1. Iluminación de alumbrado público

La finalidad del alumbrado público o viario es el de permitir a los usuarios, disponer de vialidad necesaria para un desenvolvimiento fácil y seguro en la circulación; así como el conductor tenga la visibilidad necesaria para distinguir los obstáculos y el trazado de la carretera con el tiempo preciso para efectuarlas maniobras que garanticen su seguridad, además de brindar un confort visual mientras se conduce.

Los proyectos y las instalaciones que se realicen deberán cumplir con los siguientes condicionantes técnicos en cuanto a iluminación de fachadas, monumentos, rótulos, proyectores públicos y privados:

- a) El flujo luminoso se dirigirá siempre que sea posible de arriba hacia abajo, procurando que los rayos luminosos estén dirigidos exclusivamente a la superficie a iluminar.
- b) Se colocarán preferentemente proyectores asimétricos
- c) Para evitar que el flujo luminoso escape hacia el cielo y se deslumbre a los vecinos, peatones o vehículos, se colocarán en los proyectores sistemas de rejillas o paralúmenes frontales o laterales si fuera necesario.
- d) Los rótulos luminosos y vallas publicitarias se atenderán a las normas de reducción de la contaminación luminosa nocturna, utilizando lámparas de bajo consumo y de luz roja en rótulos publicitarios y en escaparates.

Para llevar acabo una verdadera y buena instalación de alumbrado público es esencial considerar los siguientes puntos:

- La clasificación de la calle o carretera en función del tránsito.
- El nivel adecuado de iluminación correspondiente al tipo de carretera.
- La elección de las lámparas con relación a la distribución luminosa requerida.
- El montaje adecuado de las lámparas (altura de montaje, distancia de separación entre ellos, tipo de soporte, etc.).

Debido a que las luminarias son los aparatos destinados a distribuir el flujo que emiten las lámparas, con el propósito de dirigirlo sobre la superficie para iluminar es importante que éstas luminarias cumplan con ciertos requisitos de luminotecnia, eléctricos y mecánicos.

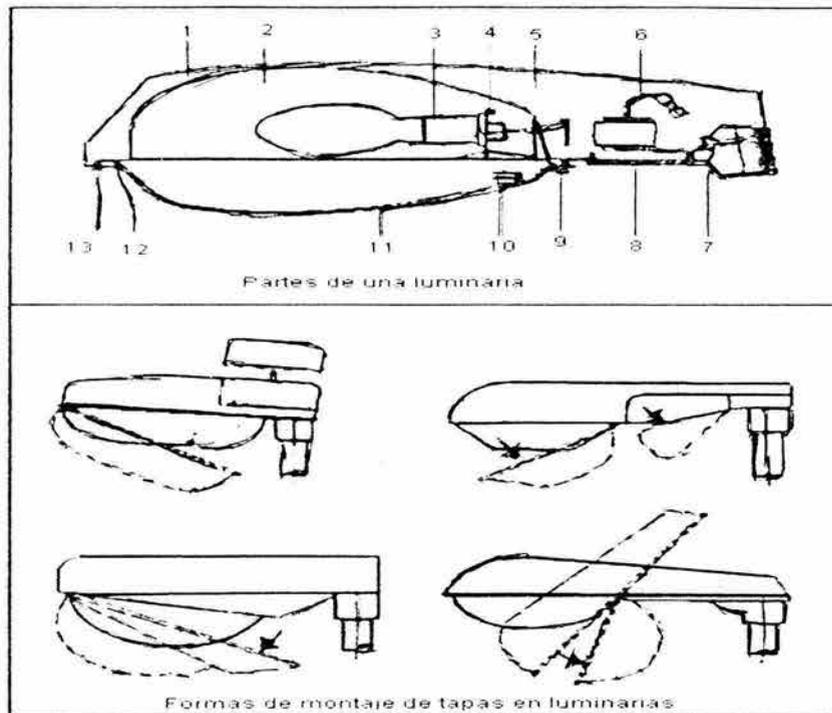
Estructuralmente las luminarias deben de estar construidas de tal forma que estén protegidas contra la acción nociva de los agentes atmosféricos (polvo, agua, etc.), no solo las luminarias, sino también las lámparas y todos los auxiliares eléctricos.

La elección de la luminaria y la fuente de luz para un sistema de alumbrado de cualquier carretera o calle incluye la consideración de las clasificaciones de zona y la carretera, las condiciones de tráfico vial, la experiencia en casos de delincuencia, estas consideraciones fijan la exigencia de cantidad y calidad de la iluminación y, determinan su aspecto estético.

Dos consideraciones son fundamentales en la determinación de la altura óptima de montaje de las luminarias: primero reducir al mínimo el deslumbramiento directo y la distribución razonablemente uniforme de la iluminación sobre la superficie de la calle o carretera; cuanto más alta este montada la luminaria, más alejada esta de la línea normal de visión y menor es el deslumbramiento que puede producir, y segundo desde el punto de vista de iluminación, las luminarias consideran los siguientes elementos:

- a) Reflectores.- Estos tienen la función de distribuir la luz emitida por la fuente luminosa, se fabrican de aluminio brillantado y anodizado, con vidrio metalizado o bien, con lámina esmaltada.
- b) Refractores.- Se construyen en forma de copa, de globo o de media pera, se fabrican de vidrio o materiales de plásticos con acabados prismatisados, de manera que dirijan los rayos de luz en dirección preestablecida.
- c) Difusores.- Tiene la función principal de disminuir la iluminación de la lámpara, están contruidos de algunos tipos de vidrio o de material plástico opalino que atenúa el deslumbramiento, pero reduce el rendimiento de la luminaria; estos difusores se usan en cierto modo para alumbrado decorativo en la iluminación de jardines, parques y calles en donde se debe cumplir con ciertas exigencias estéticas.

A continuación en la siguiente figura (**Figura III.23**) se muestra una luminaria para calles, la forma puede diferir de fabricante a fabricante y tener variantes para facilitar el montaje y mantenimiento.



**Figura III.23:** Esquema de una luminaria de alumbrado público

Donde se muestra cada una de las partes que compone este tipo de luminaria.

- 1.- Cubierta de lámina de acero delgada o material plástico.
- 2.- Grupo óptico en aluminio brillantado.
- 3.- Portalámpara.
- 4.- Soporte del portalámpara.
- 5.- Espacio para alojar los aparatos auxiliares.
- 6.- Cable para conexión a la línea de alimentación.
- 7.- Tornillo para la fijación del poste o soporte de la lámpara.
- 8.- Lámina de acero para conexión a tierra cuando es necesario.
- 9.- Tornillo o medio de fijación de la tapa.
- 10.- Filtro que permite evitar el paso de partículas contaminantes del exterior.
- 11.- Tapa de vidrio o metal plástico, puede ser lisa o prismatizada.
- 12.- Fijación.
- 13.- Bloqueo de la tapa.

### III.C.2. Selección de las lámparas

Las fuentes luminosas empleadas para alumbrado público son las incandescentes, vapor de mercurio, vapor de sodio, fluorescentes, etc. Cualquiera de ellas proporciona resultados excelentes si se utiliza en forma adecuada.

El tiempo total de utilización de una instalación de alumbrado público que preste servicio desde la puesta del sol hasta su salida puede estimarse en unas 4,000 horas al año, de aquí la conveniencia de utilizar lámparas de larga duración, con el fin de evitar continuos reemplazos.

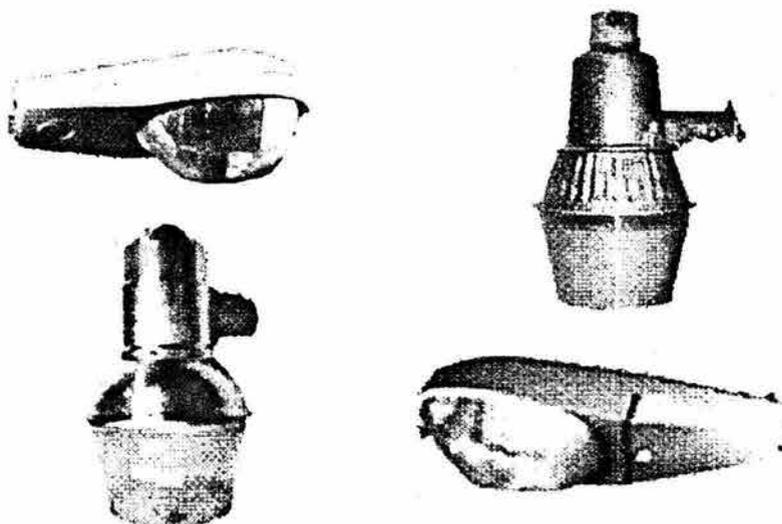


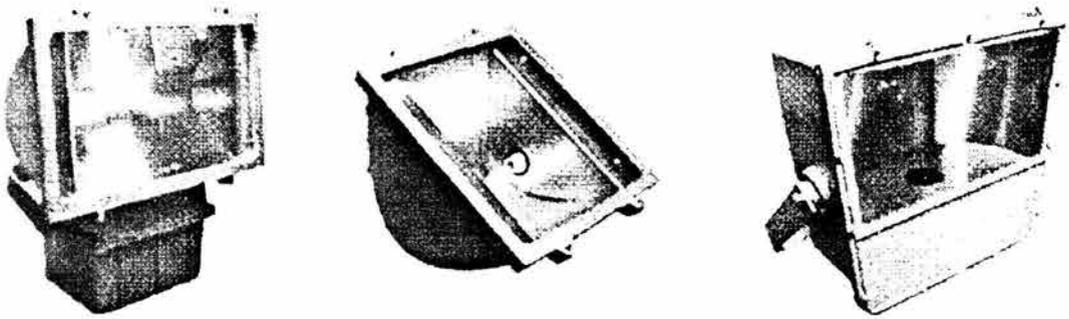
Figura III.24: Lámparas utilizadas en alumbrado público

### III.C.3. Alumbrado por proyectores

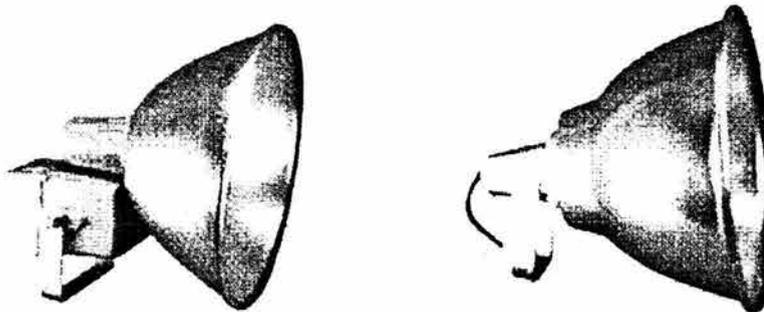
El alumbrado por proyectores tiene un especial significado en la iluminación decorativa, publicitaria y deportiva, delimitando un importante apartado en el campo de la iluminación moderna.

El Comité Internacional de Iluminación (C.I.E) define al proyector como una luminaria que normalmente se emplea en el alumbrado viario en la cual la luz es concentrada en un determinado ángulo sólido, mediante un sistema óptico, bien de espejos o bien de lentes, con el fin de obtener una intensidad luminosa elevada.

El cálculo de un alumbrado por proyectores suele presentar mayores dificultades que un alumbrado viario, debido principalmente a que los proyectores suelen utilizarse con ángulos de orientación variables, según los casos, dando lugar a factores de utilización muy dispares y de difícil determinación. Esto elimina la posibilidad de representar los coeficientes de utilización de un proyector, por medio de tablas o gráficos de aplicación sencilla y rápida, como se hace para el alumbrado de interiores y para el viario.



**Figura III.25:**   Proyectores rectangulares



**Figura III.26:**   Proyectores circulares

Al colocar cualquier sistema de alumbrado por proyectores, es importante que la luz se controle convenientemente, ya que una luz fuerte dirigida paralelamente a una carretera o cualquier otra ruta vial puede ser una peligrosa fuente de deslumbramiento para el tráfico.

Para determinar el número de proyectores necesarios para un proyecto de iluminación es necesario, conocer la cantidad de lúmenes del proyector y el porcentaje de los mismos que incide sobre la zona a iluminar; éstos datos se obtiene por medio de catálogos de los fabricantes.

La eficiencia del alumbrado resulta gravemente perjudicada por la degradación de las lámparas y por la suciedad sobre la superficies reflectoras, esto ocasiona pérdida en la emisión luminosa de la lámpara a lo largo de su vida.

### III.C. 4. Postes columnas y brazos

Para un alumbrado exterior, en sus distintas modalidades, ya sea en calles y avenidas, de jardines y parque recreativos, de industrias, edificios públicos, glorietas, áreas de esparcimiento, etc., uno de los elementos complementarios en algunos casos para luminarias, son los postes, llamados también elementos de montaje que deben cumplir con ciertos puntos mecánicos, como son la carga que representa el viento, la carga por el hielo o nieve (en lugares donde existe); además deben de resistir la acción corrosiva de los agentes atmosféricos y también poco pesados para facilitar el transporte; su instalación o su sustitución no deben requerir demasiado mantenimiento y satisfacer los aspectos estéticos.

Pueden tener distintas formas de acuerdo a su aplicación y, desde el punto de vista del material pueden estar contruidos de:

- Acero.- Son muy usados por sus propiedades mecánicas, cuando se emplean en ambientes corrosivos, deben ser debidamente tratados (galvanizados y/o con pintura anticorrosiva), tienen la ventaja de tener un peso inferior a los postes de cemento.
- Cemento armado.- Estos postes también son muy usados, sobre todo en algunas áreas corrosivas, presenta la ventaja de tener una larga duración sin requerir prácticamente de mantenimiento, tiene la desventaja de que su peso es elevado y que se refleja sobre los costos de montaje e instalación.
- Aluminio.- Su peso es mucho menor, esto reduce la dificultad constructiva, prácticamente no requiere de mantenimiento, puesto que no son atacados por el medio ambiente. La desventaja de estos postes es su costos que generalmente es superior a los de acero o de concreto armado.
- Material plástico.- Tiene un peso relativamente bajo, lo que facilita el transporte y montaje, tiene una buena resistencia a la corrosión. Su costo es relativamente elevado.

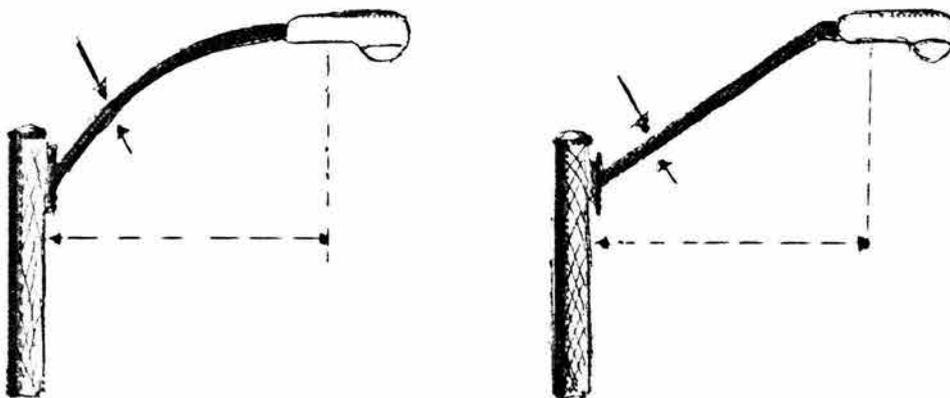


Figura III.27: Postes con dos tipos de brazos

La altura de suspensión de las luminarias para alumbrado público, ha de ser lo bastante grandes para poder distanciar las lámparas y, obtener simultáneamente un buen coeficiente de uniformidad.

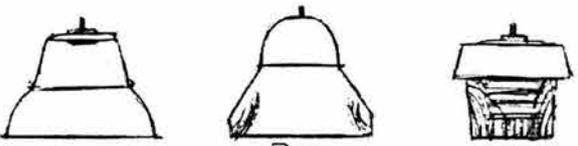
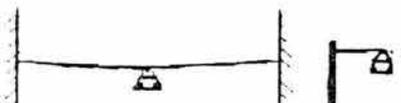
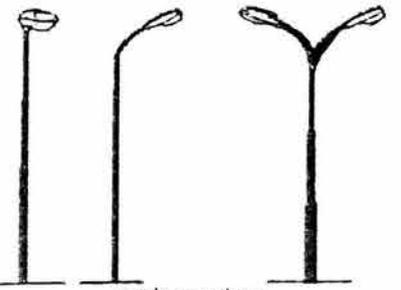
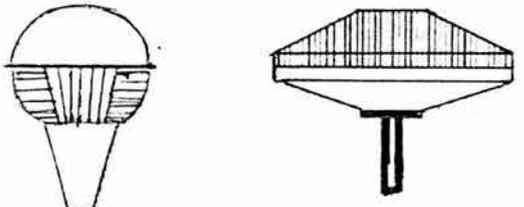
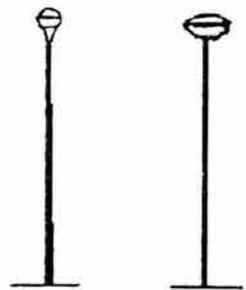
Algunas luminarias con sus respectivos postes	
Forma externa	Ejemplos de instalación
<p>Reflectores para montaje colgante</p>  <p>Material acrilico      Para disiminución del flujo luminoso      Con defractor</p>	 <p>Colgante      poste</p>
<p>Reflectores para montaje sobre poste</p>  <p>Con difusor (tapa) transparente      Don difusor (tapa) de doble prisma</p>	 <p>cabesales</p>
<p>Reflectores para montaje en candelabro</p>  <p>Con reflecto y difusor      Con tapa difusora</p>	 <p>Montaje en candelabro</p>

Figura III.28: Tipos de luminarias con sus formas de montajes

Las distancias entre las luminarias dependen de las características y potencia de los focos y, también de su altura de suspensión.

A continuación se muestra la siguiente tabla en la que se hace mención los tipos de montaje de las luminarias, dependiendo de la zona a iluminar.

CLASE DE INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN	ANCHO DE LA CALLE (m)	DISPOSICIÓN DE LAS LÁMPARAS	ALTURA DE MONTAJE (m)
Autopistas y calles con intenso tráfico de vehículos y poca circulación de peatones	Entre 8 y 10 m, o más de 10 m	Unilaterales bilaterales con centros alternos	10 a 12 m
	Más de 10 m	Bilaterales con centros alternados o doble central	Más de 12 m
Calles foráneas con tráfico medio	Menores de 10 m	Unilateral	10 m o mayor
	Mayor de 10 m	Bilateral con centros alternados	Entre 10 y 12 m
Calles urbanas con intenso tráfico motorizado y con tráfico de peatones intenso (calles y plazas de importancia)	Menor de 8 m	Unilateral	Mayor o igual a 8 m
	Entre 8 y 10 m	Unilateral o bilateral con centros alternos	Entre 8 y 10 m
		Bilateral con centros alternos	
		Bilateral con centros opuestos	10 m o mayor de 10 m
Calles con poco tráfico de vehículos y poca circulación de peatones	8 m o menor de 8 m	Unilateral	Mayor de 7.5 m
	Mayor de 8 m	Unilateral	De 8 a 9 m
Calles en pequeñas poblaciones con poco tráfico de vehículos. Sin circulación de vehículos		Unilateral	De 7.5 a 9.0 m

**Tabla III.1:** Altura de montaje recomendado para luminarias

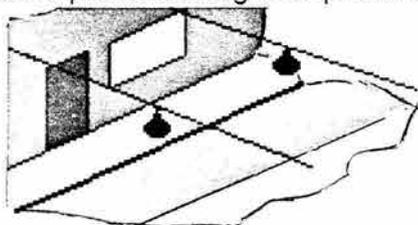
CLASE DE ALIMENTACIÓN DE ALUMBRADO	LÁMPARA		ALTURA DE MONTAJE (m)
	Tipo	Potencia (watts)	
Calles de alto tráfico de vehículos o de medio tráfico con poca circulación de peatones	Sodio de alta presión	400	12 m o mayor
	Yoduro metálico	400	12 m o mayor
	Vapor de mercurio o sodio a alta presión	250	Entre 9 y 12 m
	Sodio a baja presión	90-135	Entre 9 y 12 m
Calles externas de bajo tráfico	Sodio a baja presión	90-135	Entre 9 y 12 m
Calles de tipo secundario con poco tráfico de vehículos y peatones	Vapor de mercurio o fluorescente	89-125	De 8 a 10 m
		50	Mayor de 6 m

**Tabla III.2:** Alturas de montaje recomendadas para luminarias en función de la potencia

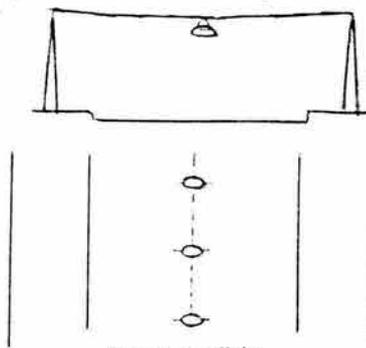
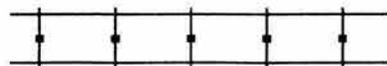
Desde el punto de vista constructivo y de alumbrado, considerando también la importancia y características de la calle por iluminar, existen distintas posibilidades de disposición de las luminarias, las más comunes se muestran a continuación:

- Unilateral con dos postes.- Con esta posición se busca por lo general adaptar los requerimientos de iluminación con los económicos, se debe tener especial cuidado en la iluminación de las curvas de las calles, esta posición se adopta por lo general en calles que no son anchas.
- Bilateral con centros alternados.- esta posición puede presentar una mejor visibilidad en la calle en comparación con la posición unilateral, pero requiere un costo superior ya que requiere de una doble línea de alimentación.
- Disposición bilateral con postes con centros opuestos.- Esta posición es preferible a la disposición bilateral con centros alternado, solo se recomienda en calles largas y anchas que tienen dos sentidos de circulación, esta posición también requiere de dos líneas de alimentación.

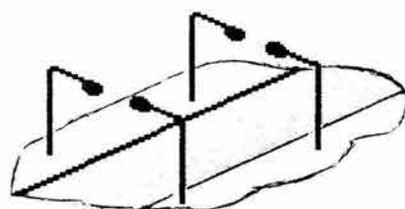
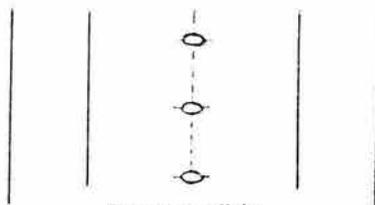
Seguidamente se presentan algunas posiciones de postes con sus respectivas luminarias



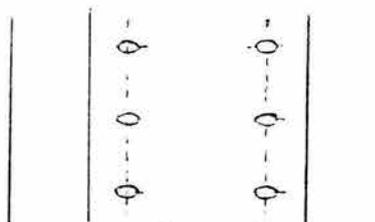
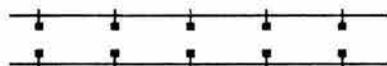
Suspendida transversal



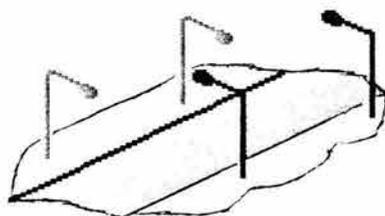
Suspendida transversal



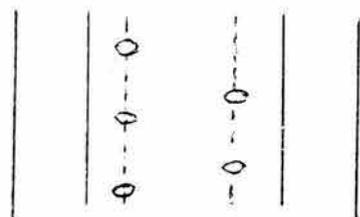
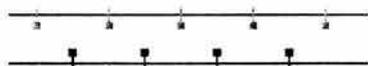
Pareada



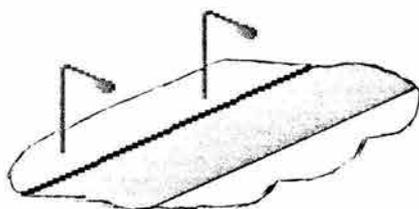
Pareada



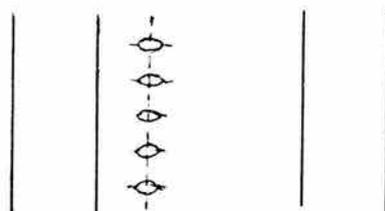
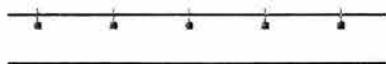
Tresbolillo



Tresbolillo



Unilateral



Unilateral

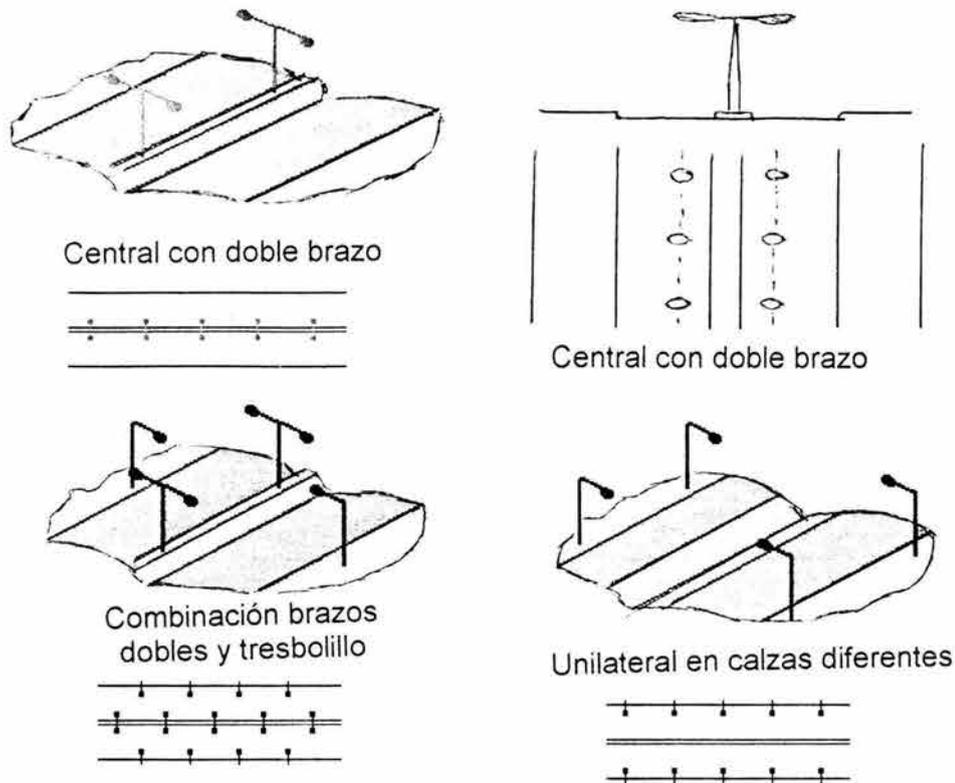


Figura III.29: Posición de luminarias en vía publica

III.C.5. Posición de luminarias en tramos de curvas

En tramos curvos las reglas a seguir son 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 se considerará como un tramo recto. Si es pequeña 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

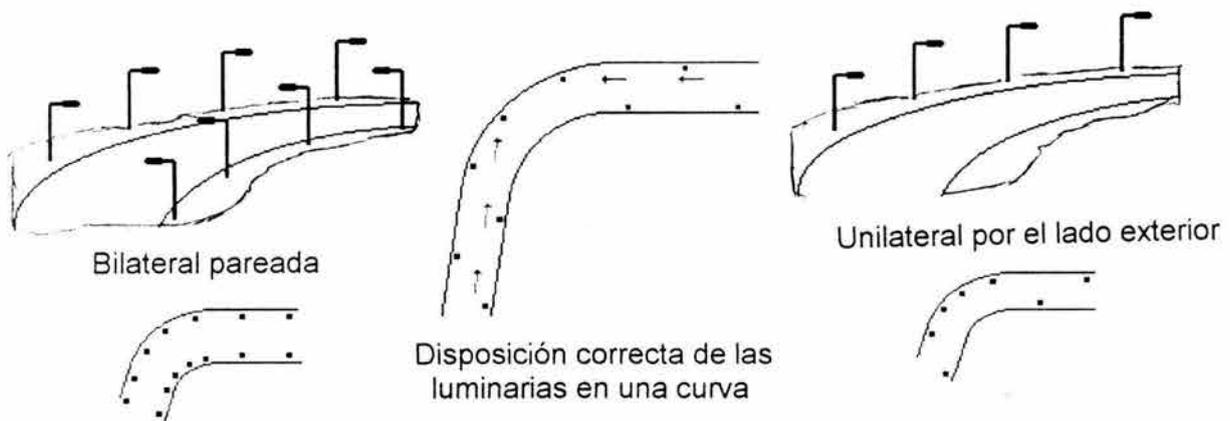


Figura III.30: Posición de luminarias en curvas

### III.C.5.a. Posición de luminarias glorietas

En las plazas y 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.

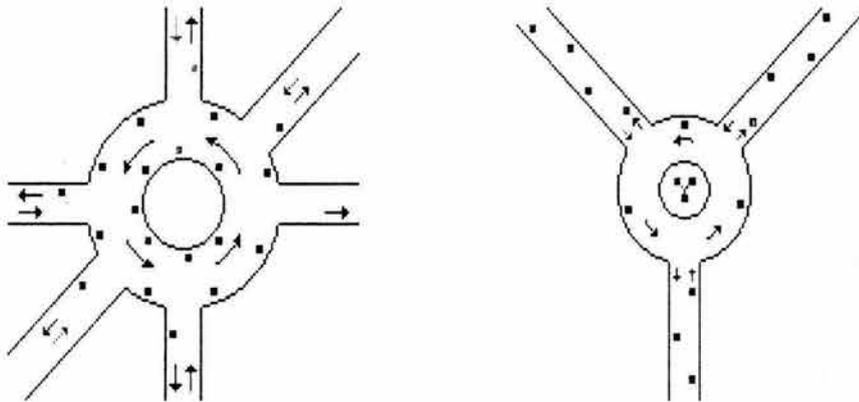


Figura III.31: Luminarias en plazas y glorietas

### III.C.5.b. Posición de luminarias en cruces

En los 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 farolas 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 las salidas de autopistas conviene colocar luces de distinto color al de la vía principal para destacarlas, en cruces y bifurcaciones 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.

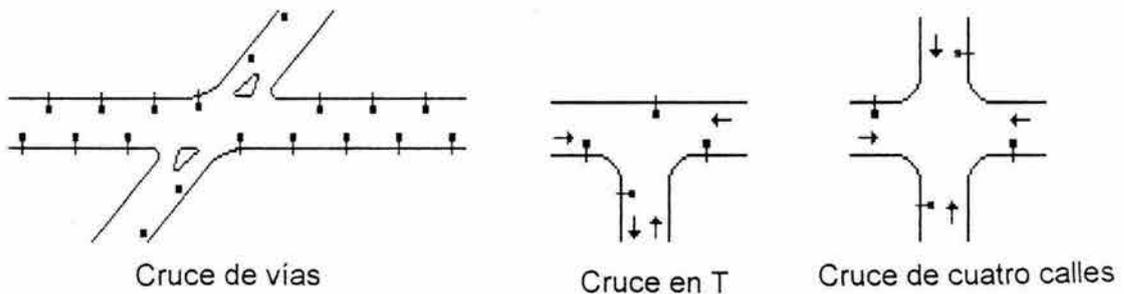


Figura III.32: Luminarias en los cruces

### III.C.5.c. Posición de luminarias entre los arboles

También 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 las farolas usadas serán más altas que estos, de 12 a 15 m de altura. En ambos casos es recomendable una poda periódica de los árboles.

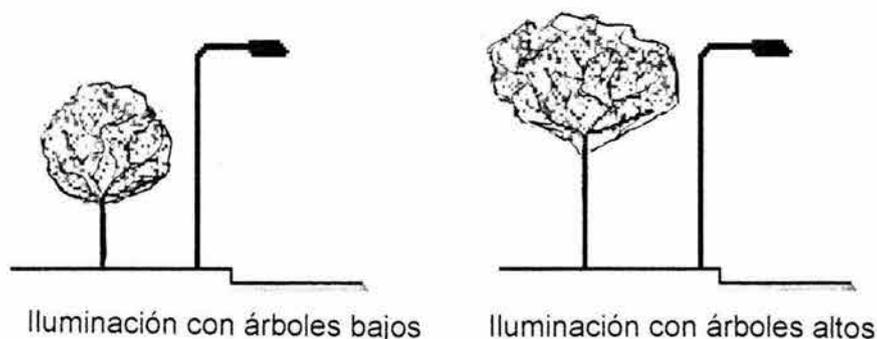


Figura III.33: Luminarias entre arboles

### III.C.5.d. Posición de luminarias en cruce de peatones

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

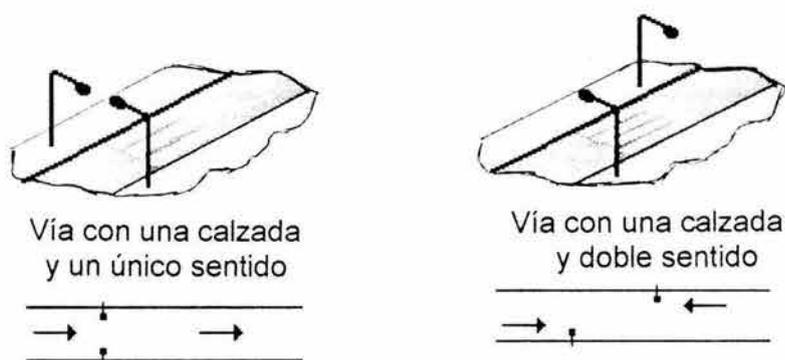


Figura III.34: Luminarias en cruce de peatones

Como en el caso de la iluminación interior, existen distintas posibilidades de sistemas de iluminación en función de las lámparas y luminarias usadas, un resumen comparativo de las características más importantes a considerar se da en la siguiente tabla.

## Selección del tipo de lámparas a utilizar

TIPO DE LÁMPARA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Yodo-Cuarzo	No modifica el tono de color. Es compacta y permite un buen control del haz luminoso. Buen rendimiento en mantenimiento (el flujo luminoso permanece constante a lo largo de su vida).	Bajo rendimiento en flujo luminoso (lumen/watt), por ser una fuente tubular limita el control del haz. Vida media (2,000-4,000 hrs). Alto costo de operación.
Vapor de mercurio	Larga vida (24,000 hrs), elevado rendimiento luminoso (lumen/watt).  Bajo costo de operación.	Alto costo inicial. Con bulbo claro los colores se modifican radicalmente, por ser una fuente de gran tamaño tiene un limitado control del haz luminoso (especialmente con lámparas con revestimiento de fósforo). No enciende inmediatamente después de una interrupción de energía.
Aditivos Metálicos	Vida útil moderada (7,400 hrs). Muy elevado rendimiento luminoso (lumen/watt). Permite ver los colores de forma natural.  Bajo costo de operación.	Alto costo inicial. Por su forma y longitud, no permite un control eficaz del haz luminoso, su rendimiento luminoso varía mucho con la temperatura ambiente
Vapor de sodio de alta presión	Larga vida útil (24,000 hrs). Esta lámpara es la de mayor rendimiento luminoso. Bajo costo de operación. Su luz de color amarillo pálido, permite lograr efectos especiales en fachadas.	Alto costo inicial, su luz monocromática modifica los colores.

**Tabla III.3:** Recomendaciones para la selección del tipo de lámpara a utilizar en el alumbrado exterior

### III.C.6. Alumbrado en áreas deportivas

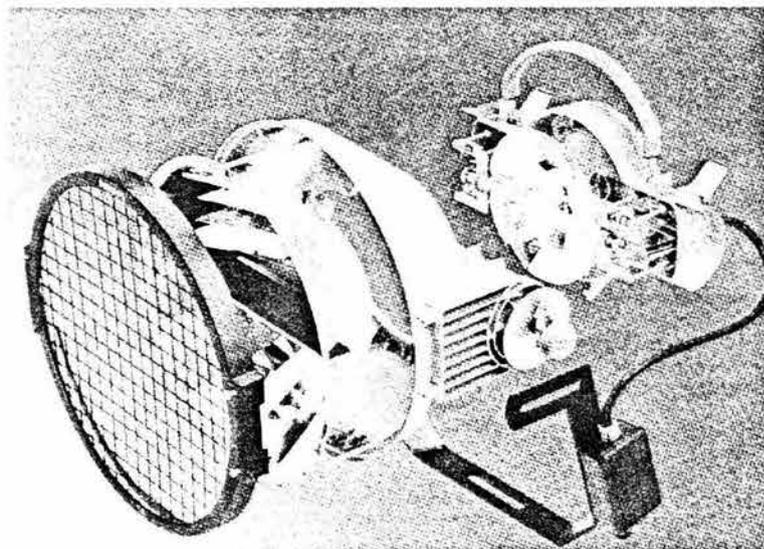
El objetivo de iluminar instalaciones deportivas ya sean interiores o exteriores es ofrecer un ambiente adecuado para practicar y disfrutar de actividades deportivas por parte de jugadores y público. Las exigencias variarán según el tipo de instalación (recreativas, entrenamiento o competición) y el nivel de actividad (amateur, profesional o retransmisión por televisión).

Iluminar este tipo de instalaciones no es fácil, pues hay que asegurarse de que los jugadores y demás objetos en movimiento sean perfectamente visibles independientemente de su tamaño, posición en el campo, velocidad y trayectoria. Por ello es importante tanto el valor de la iluminancia horizontal como la vertical, aunque en la práctica esta última sólo se tiene en cuenta en las retransmisiones televisivas donde es necesario un buen modelado que destaque las formas de los cuerpos.

El nivel de iluminación requerido para una determinada instalación de alumbrado deportivo depende de muchos factores, entre los que se cuentan generalmente de la velocidad de acción, la habilidad de los jugadores, y el número de espectadores y su distancia al campo de juego.

Cuanto mayor sea la distancia desde el campo de juego a los asistentes más alejados, mayor será la iluminación requerida para que los espectadores puedan seguir las acciones del juego, en algunos casos la iluminación requerida para los espectadores es mucho mayor que para los jugadores.

Para un alumbrado deportivo se pueden utilizar proyectores cerrados o abiertos, aunque los cerrados se recomiendan preferentemente. Si se trata de instalaciones de alumbrado de alta calidad como para campeonatos, transmisiones de televisión, etc. La elección usual se centra en las lámparas de halogenuros metálicos.

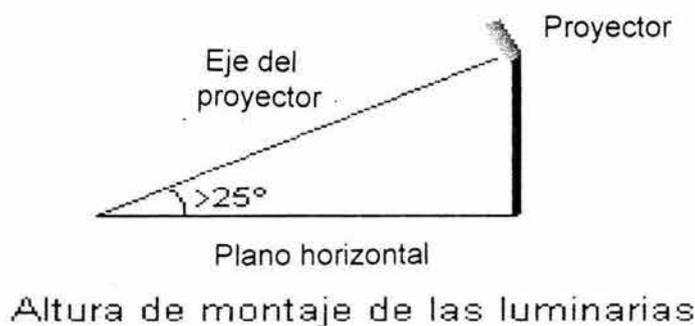


**Figura III.35:** Lámpara utilizada para alumbrado de alta calidad

Para instalaciones de recreo o entrenamiento se utilizan de lámparas halógenas, si se desea un coste de instalación relativamente bajo, en muchas ocasiones resulta decisivo el precio y se inclina por las lámparas de mercurio y sodio de alta presión. En ciertas instalaciones deportivas en las que el alumbrado se usa menos de 500 horas al año, es económico usar lámparas de vida corta o bien lámpara de filamentos normales a tensiones superiores a la nominal, con lo que se reduce coste de energía y el número de proyectores.

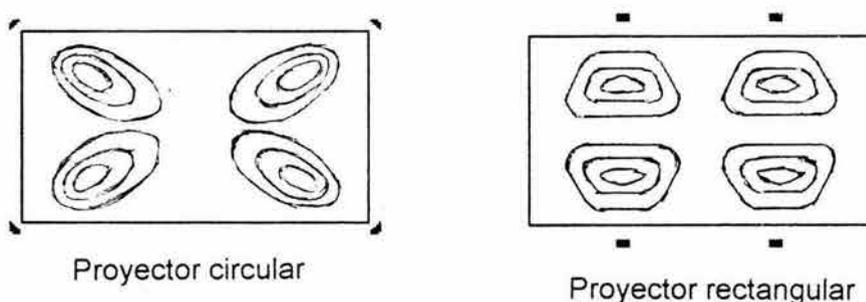
En todos los casos las fuentes de luz se incorporan en proyectores, con distribuciones simétricas o asimétricas, estos proyectores deben de instalarse y dirigirse de tal manera que causen el menor deslumbramiento posible a jugadores y espectadores.

Para evitar problemas de deslumbramiento que dificulten el normal desarrollo del juego, especialmente en deportes donde hay que mirar hacia arriba, conviene tomar medidas como instalar luminarias apantalladas, reducir el número de puntos de luz agrupando los proyectores o evitar colocarlos perpendicularmente a la línea de visión principal. Es conveniente montar las fuentes de luz a una altura adecuada; para el caso de instalaciones exteriores y visto desde el centro del campo, el ángulo formado por el plano horizontal y el eje de cualquier proyector debe ser superior a  $25^\circ$ .



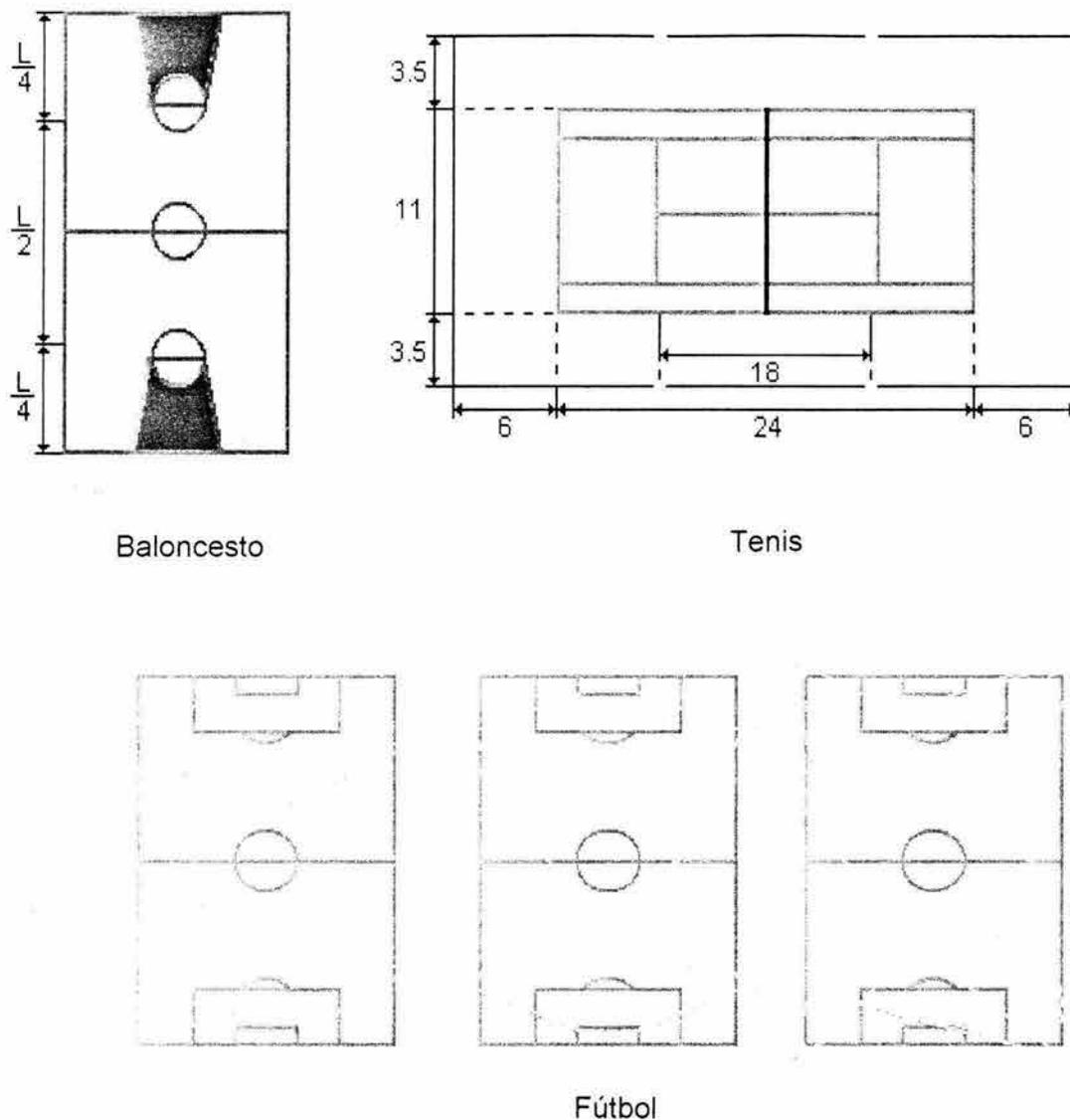
**Figura III.35:** Altura de montaje de las luminarias

Las luminarias en instalaciones exteriores, se disponen normalmente en torres colocadas en los laterales, en las esquinas del campo o en una combinación de ambas. En el primer caso se emplean proyectores rectangulares cuya proyección sobre el terreno tiene forma trapezoidal obteniendo como valor añadido un buen modelado de los cuerpos. En el segundo caso se emplean los circulares que dan una proyección en forma elíptica.



**Figura III.37:** Distribución del haz luminoso de los proyectores

A continuación se ofrecen algunos ejemplos de disposiciones típicas de proyectores en instalaciones de entrenamiento de exteriores.



**Figura III.37:** Posición de los proyectores en canchas deportivas

El número de proyectores por poste puede ser variable en función del tipo de lámpara y de nivel iluminación que se desee, es frecuente variar desde una unidad hasta 10 proyectores (en los casos de grandes campos de deporte).

En los campos de entrenamiento donde puede tolerarse un cierto deslumbramiento, las torres rara vez llegan a tener alturas superiores a 15 m, siendo unos datos habituales en todos aquellos campos de deporte que no se destinen al fútbol, tales como baloncesto, tenis, etc., cuyos valores varían de 9 a 12 m.

Se debe tener en cuenta que un proyecto de alumbrado exige en cada caso, un estudio de los espacios a iluminar así como de sus características. A continuación se hace mención de los niveles recomendados en lux como mínimo en cualquier momento:

Canchas de tenis	150.....500 lux
Frontones	300.....500 lux
Pistas de entrenamiento en general	100.....200 lux
Estadios y pistas polideportivas	200.....500 lux
Piscinas al aire libre	100.....300 lux
Estadios de fútbol:	
Competición menos de 5,000 espectadores	100.....200 lux
Competición de 5,000 a 15,000 espectadores	300.....400 lux
Competición con un numero mayor de 15,000 espectadores	mayor a 600 lux
Boxeo y lucha libre:	
Campeonatos (ring)	5,000 lux
Profesional (ring)	2,000 lux
Aficionados (ring)	1,000 lux
Retransmisiones de televisión	1,400 lux como mínimo.

CAPÍTULO IV  
CASOS  
DE  
APLICACIÓN

---

Calcular en forma exacta el alumbrado de una zona o área por iluminar es un poco complicado en virtud de que interviene muchos factores, algunos de estos factores no tienen relación con el método de cálculo usado, ya que están relacionados con el cambio en las condiciones físicas, el tiempo de operación de las lámparas y la temperatura. Los factores adicionales son por ejemplo, el polvo depositado en las luminarias, en las paredes, las labores de mantenimiento empleadas, etc.

#### IV.A. NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS

A continuación se muestran los valores recomendados para algún determinado proyecto de alumbrado.

Niveles recomendados  
(mínimos en cualquier  
momento) en LUX

##### Bancos:

General. ....	500
Zonas de trabajo. ....	700
Cajas, registros. ....	1,500

##### Correos:

Vestíbulo, sobre las mesa .....	300
Clasificación, envío, etc. ....	1,000

##### Despachos, terminales y estaciones:

Salas de espera, de descanso y de fumadores. ....	300
Caseta de billetes; general, ventanilla y mostradores. ....	1,000
Facturación de equipajes. ....	500
Andenes y almacenes. ....	200
Lavabos y servicios. ....	300

##### Servicios municipales: Bomberos y Policía

##### Policía:

Ficheros de identificación. ....	1,500
Celdas y salas de interrogatorios. ....	300

## Bomberos:

Dormitorios. ....	200
Aparcamiento de coches y sala de recreo. ....	300

## Escuelas:

Lectura de textos impresos. ....	300
Lectura de textos a lápiz. ....	700
Salas de dibujo y bancos de trabajo. ....	1,000
Pizarras. ....	1,500
Costura. ....	1,500

## Galerías de arte:

General. ....	300
Sobre pinturas (suplementario). ....	300
Sobre esculturas y otras exposiciones. ....	1,000

## Hospitales.

Cuartos de anestesia y preparación. ....	300
--	-----

## Central esterilizadora:

General. ....	300
Afilado de agujas. ....	1,500

## Departamento odontológico:

General. ....	700
Vitrina de instrumental. ....	1,500
Sillón dental. ....	10,000
Laboratorio, banco. ....	1,000
Sala de recuperación. ....	50

## Sala de urgencia:

General. ....	1,000
Local. ....	20,000

## Sala de reconocimiento y tratamiento:

General. ....	500
Mesa de reconocimiento. ....	1,000
Salidas (nivel luminoso en el suelo). ....	50

## Ojos, nariz, oídos y garganta:

Sala oscura (variable). ....	100
Sala de reconocimiento de ojos, oídos, nariz y garganta. ....	500

## Laboratorios:

General. ....	500
Trabajos delicados. ....	1,000

## Obstetricia:

Salas de esterilización. ....	300
Salas de consultas. ....	200
Salas de partos, general. ....	1,000
Mesa de partos. ....	25,000

## Cirugía:

Sala de instrumental y esterilización. ....	300
Sala de limpieza (instrumentos). ....	1,000
Sala de operaciones, general. ....	1,000
Mesa de operaciones. ....	25,000
Sala de recuperación. ....	300

## Rayos X:

Radiografías, fluoroscopias y cámara oscura. ....	100
Radioterapia profunda y superficial. ....	100
Sala de revelado. ....	300
Archivos, películas reveladas. ....	300
Almacén, películas sin revelar. ....	100

## Lavandería:

Lavado. ....	300
--------------	-----

---

Planchado. ....	500
Planchado mecánico. ....	700
Fabricación de piezas:	
Taladrado, remachado, fijación de tornillos. ....	700
Pinturas:	
Fabricación General. ....	300
Mezclas de comparación y normales. ....	2,000
Pintura. Talleres:	
Trabajos finos de pintura a mano y acabado. ....	1,000
Trabajos extrafinos de pintura a mano y acabado (carrocerías de automóviles).. ....	3,000
Soldadura Iluminación general. ....	500
Soldadura de arco manual de precisión. ....	10,000
Soldadura:	
Iluminación en general. ....	500
Soldadura de arco manual de precisión. ....	10,000
Fabricación de papel:	
Área en general. ....	500
Rollos de papel, inspección y laboratorios. ....	1,000
Corte a mano, máquinas de humedecer el papel. ....	700
Encuadernación de libros:	
Plegado, apilado, etc. ....	700
Corte, cosido, punzado. ....	700
Inspección. ....	2,000
Corte y confección:	
Corte y planchado. ....	3,000
Cosido. ....	5,000
Inspección de telas. ....	20,000

---

## Industria del acero:

Producción y laminación del acero. ....	150 - 300
Fabricación de tubos y perfiles. ....	200 - 400
Sala de máquinas. ....	150 - 300
Tablero de mando. ....	300 - 600
Control de iluminación. ....	400 - 800

## Altos hornos:

Depósito de mineral, carbón, calcio. ....	50 - 100
Área de carga y transporte. ....	100 - 200

## Almacenes:

En general. ....	100 - 200
------------------	-----------

## Talleres mecánicos en general:

Áreas generales de trabajo. ....	200 - 400
Bancos de trabajo. ....	300 - 600
Áreas de lubricación, lavado, etc. ....	150 - 300

## Trabajo mecánico:

Maquinado grueso. ....	150 - 300
Maquinado de precisión. ....	200 - 400
Maquinado de alta precisión. ....	400 - 800

## Fábrica de llantas:

Mezcla y vulcanización. ....	150 - 300
Procesamiento en máquina. ....	200 - 400
Colado y moldeado. ....	150 - 300
Control de fallas. ....	500 - 800

#### IV.A.1. Método de Lumen aplicado para el cálculo de interiores

Un método de cálculo en particular puede ser mejor que otro, pero a condición de que se cumplan ciertos requisitos, a continuación se explica el método más común para el cálculo de interiores

Para la aplicación de este método, se deben conocer o en su caso determinar los siguientes elementos:

E = Nivel medio de iluminación que se pretende realizar (en lux).

$\Phi$  = Flujo luminoso total emitido por la lámpara para obtener el nivel de iluminación deseado (en lumen).

S = superficie total del lugar por iluminar en metros cuadrados.

$\mu$  = Factor de utilización, depende del sistema de iluminación, de las características de la luminaria, del índice del local (K) del factor de reflexión del techo y de las paredes del lugar (dado en tablas o en catálogos de fabricante).

K = Índice del local, toma en consideración en ancho y largo del local, así como la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo, los valores se expresan en metros.

Para distribución con luz directa, semidirecta y mixta, el índice de local se calcula con la expresión

$$K = \frac{A \times B}{H(A + B)}$$

Para distribución con luz semi-indirecta o indirecta el índice de local se calcula con la expresión

$$K = \frac{3 \times A \times B}{2 \times h(A + B)}$$

Donde :

A = Ancho del lugar en metros.

B = Largo del lugar en metros.

H = Altura de las luminarias sobre el plano de trabajo en metros.

h = distancia del techo al plano de trabajo

M = Factor de mantenimiento, varía según las condiciones ambientales de instalación y de cómo se efectúa el mantenimiento.

$\phi T$  = Flujo total

$$\phi T = \frac{E \times S}{\mu \times M}$$

$\phi L$  = Flujo luminoso que produce cada lámpara (en lumen).

Numero de lámparas = Se designa por el cociente del flujo total y el flujo luminoso de cada lámpara.

$$\text{Numero de lámparas} = \frac{\phi T}{\phi L}$$

El procedimiento de cálculo por el método del flujo total se describe a continuación:

1. Se obtienen las características del lugar por iluminar, como son: las actividades que se desarrollan en el mismo, disposición y altura de los objetos por iluminar (plano de trabajo).
2. Obtener de tablas de recomendaciones, el nivel de iluminación (E) en lux.
3. Determinar la superficie del lugar (S) m<sup>2</sup>.
4. Calcular el índice del lugar (K).
5. Obtener de tablas el coeficiente de reflexión del techo y paredes.
6. Definir el tipo de lámpara (potencial) y tonalidad (color).
7. Seleccionar el tipo de lámpara.
8. Obtener el factor de utilización ( $\mu$ ).

9. Indicar el tipo mantenimiento.
10. Calcular el flujo total ( $\Phi_T$ ).
11. Calcular el número de lámpara requerido.
12. Calcular la potencia total requerida por la instalación.

#### IV.A.2. Coeficiente de utilización

Al cociente entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo (flujo útil) y, el flujo total emitido por las lámparas instaladas, es lo que se llama "Coeficiente de utilización" ( $\mu$ ).

Este coeficiente depende de diversas variables tales como la eficacia de las luminarias, la reflectancia de las paredes y, las dimensiones del local.

La luminaria, aparato utilizado para soportar, alojar y distribuir el flujo luminoso de las lámparas, tiene una relativa incidencia sobre el coeficiente de utilización, según se trate de un sistema de iluminación directo, semidirecto o a través de difusores. El sistema directo o semidirecto tiene escasas pérdidas, no llegan al 4%, mientras que los sistemas a través de difusor tienen unas pérdidas comprendidas entre el 10 y el 20%.

La reflexión de la luz sobre las paredes del local juega un importante papel sobre el coeficiente de utilización. De la totalidad del flujo luminoso que incide sobre las paredes, una parte se refleja, mientras que otra es absorbida y anulada, dependiendo la proporción de una y otra y, del color de las paredes.

Por ejemplo, en un local pintado de blanco, el flujo total que incide sobre las paredes se ve reflejado en un 70%, mientras que un 30% es absorbido. Por el contrario, si está pintado de un color oscuro, solamente el 10% de la luz incidente es reflejada, mientras que el 90% es absorbida.

Aunque se pueden diferenciar un gran número de colores y tonalidades, es suficiente diferenciar cuatro tonalidades diferentes, como según se indica en la tabla que se muestra a continuación.

COLOR	REFLEXIÓN
Blanco	70 %
Claro	50 %
Medio	30 %
Oscuro	10 %

**Tabla IV.1:** Indices de reflexión en paredes

Del flujo luminoso total emitido por las lámparas, solamente una parte llega directamente a la superficie de trabajo; otra parte del flujo emitido, se dirige a las paredes, donde, una fracción se absorbe y otra llega a la superficie de trabajo después de una o varias reflexiones; finalmente, otra parte del flujo luminoso se emite hacia el techo donde, también una porción se absorbe y otra llega a la superficie de trabajo.

Un lugar estrecho y alto desperdicia mucho más flujo luminoso que otro que en proporción sea más ancho y más bajo. Esto equivale a decir que la cantidad de flujo enviado al plano útil de trabajo es directamente proporcional a la superficie e inversamente proporcional a la altura.

La dependencia de las dimensiones del local a iluminar sobre el coeficiente de utilización, se determina mediante una fórmula empírica, que es:

$$K = \frac{A \times B}{H (A + B)}$$

Un ejemplo de cómo obtener el coeficiente de utilización es: un lugar de 5 m de ancho, 8 m de largo y con una altura útil, de las luminarias al plano de trabajo, de 2.2 m; el techo se halla pintado de un color claro mientras que las paredes lo están con un color medio, y utiliza luminarias de tubos fluorescentes en forma directa. Según estos datos el coeficiente espacial K, queda determinado por:

$$K = \frac{5 \times 8}{2.20 \times (5 + 8)} = \frac{40}{28.6} = 1.39 \quad \text{se toma } 1.5$$

La reflexión del techo es del 50%, mientras que las paredes la tienen del 30%.

Según estos tres datos, en la **Tabla IV.2** se busca la correspondiente a los tubos fluorescentes y se encuentra el valor del coeficiente de utilización, siendo en este caso del 39%. Esto quiere decir que del total del flujo luminoso utilizado en este local, solamente se aprovecha el 39%, es decir  $\mu = 0.39$

A continuación se muestran una serie de tablas en las que se muestran los valores del coeficiente de utilización ( $\mu$ ), correspondiente a cada tipo de lámpara con su luminaria.

Reparto luminoso	Factor de mantenimiento (M) %	Techo	70			50			30	
		Paredes	50	30	10	50	30	10	30	10
		K	Coeficiente de utilización ( $\mu$ )							
Directo  	Bueno 70	1	30	25	32	29	25	22	25	22
		1,2	38	33	30	37	33	29	32	29
		1,5	44	39	36	43	39	36	38	35
	Medio 68	2	51	46	42	49	45	41	44	41
		2,5	55	50	47	54	49	46	48	45
		3	62	57	53	60	56	52	54	52
		4	65	61	58	63	60	57	58	56
	Malo 50	6	68	65	62	66	63	60	61	59
		8	72	69	66	70	67	65	65	63
		10	74	72	69	72	78	68	68	66

**Tabla IV.2:** Lámparas fluorescentes tipo tubo con luminaria de reparto luminoso directo

Reparto luminoso	Factor de mantenimiento (M) %	Techo	70			50			30	
		Paredes	50	30	10	50	30	10	30	10
		K	Coeficiente de utilización ( $\mu$ )							
Semidirecto  	Bueno 70	1	28	23	20	27	23	20	23	20
		1,2	36	32	28	35	31	28	30	27
		1,5	43	38	34	41	37	33	36	33
	Medio 60	2	49	44	40	47	42	39	41	38
		2,5	54	49	45	51	47	44	45	42
		3	60	55	51	57	53	50	50	48
		4	64	60	56	60	57	54	54	51
	Malo 50	6	67	63	60	63	60	57	56	54
		8	70	67	64	66	63	61	60	58
		10	73	70	68	68	66	64	62	61

**Tabla IV.3:** Lámpara fluorescente tipo tubo con luminaria de reparto luminoso semidirecto

Reparto luminoso	Factor de mantenimiento (M) %	Techo	70			50			30	
		Paredes	50	30	10	50	30	10	30	10
		K	Coeficiente de utilización ( $\mu$ )							
Con difusor 	Bueno 78	1	27	22	20	26	22	19	25	22
		1,2	33	29	26	33	29	25	32	28
		1,5	38	34	30	38	33	30	37	33
	Medio 65	2	43	38	35	42	38	34	41	38
		2,5	46	42	38	46	41	38	44	41
		3	50	47	43	50	46	43	48	46
		4	53	50	47	53	49	47	51	48
	Malo 55	6	55	52	50	54	52	49	53	51
		8	59	55	53	58	55	53	56	54
		10	60	57	55	59	57	55	57	56

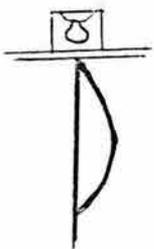
**Tabla IV.4:** Lámparas fluorescentes tipo tubo con luminaria de reparto luminoso con difusor

Reparto luminoso	Factor de mantenimiento (M) %	Techo	70			50			30	
		Paredes	50	30	10	50	30	10	30	10
		K	Coeficiente de utilización ( $\mu$ )							
Directo 	Abiertos	1	46	43	41	46	43	41	43	41
	Bueno 75	1,2	54	51	49	53	51	48	50	48
		1,5	59	56	53	58	55	53	55	53
		2	63	60	57	62	58	57	59	57
	Malo 65	2,5	65	63	60	65	62	60	62	61
		3	69	67	65	68	66	64	65	64
	Cerrados	4	71	69	67	70	68	67	68	66
	Bueno 80	6	73	71	69	72	70	68	69	68
	Medio 77	8	75	73	71	73	72	71	71	70
	Malo 73	10	76	75	73	75	73	72	72	71

**Tabla IV.5:** Lámpara de bombilla con luminaria de reparto luminoso directo

Reparto luminoso	Factor de mantenimiento (M) %	Techo	70			50			30		
		Paredes	50	30	10	50	30	10	30	10	
		K	Coeficiente de utilización ( $\mu$ )								
Semidirecto  	Bueno 70	1	41	39	37	41	39	37	39	37	
		1,2	49	46	45	47	46	44	45	44	
		1,5	54	52	51	53	52	51	52	51	
	Medio 60	2	57	54	53	57	54	53	54	53	
		2,5	59	58	54	59	56	54	56	54	
		3	63	60	59	62	61	58	59	58	
		4	64	63	60	63	62	60	62	61	
		Malo 50	6	65	64	63	64	63	62	63	62
			8	67	65	64	65	64	64	64	63
			10	72	67	65	67	65	64	65	64

**Tabla IV.6:** Lámpara de bombilla con luminaria de reparto luminoso semidirecto

Reparto luminoso	Factor de mantenimiento (M) %	Techo	70			50			30		
		Paredes	50	30	10	50	30	10	30	10	
		K	Coeficiente de utilización ( $\mu$ )								
Empotradas  	Bueno 80	1	53	51	49	53	51	49	52	51	
		1,2	56	54	53	56	54	53	56	54	
		1,5	58	56	55	58	56	55	57	56	
	Medio 75	2	60	58	57	60	58	57	60	58	
		2,5	62	60	59	61	60	59	61	59	
		3	63	62	60	63	61	60	62	61	
		4	64	63	61	63	62	61	63	62	
		Malo 70	6	65	64	63	64	63	62	63	63
			8	66	65	64	65	64	63	64	64
			10	68	66	65	66	65	64	64	64

**Tabla IV.7:** Lámpara de bombilla con luminaria de reparto luminoso empotradas

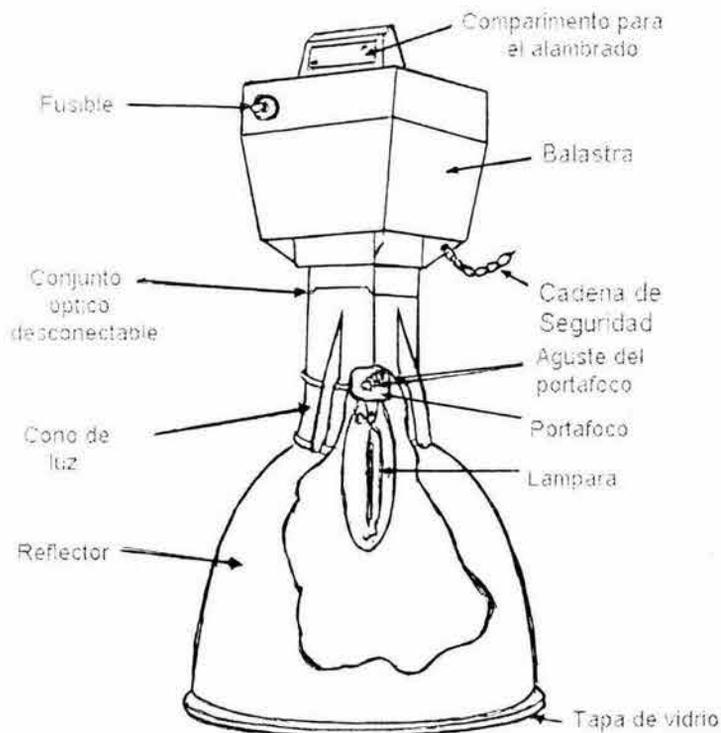
### IV.A.3. Caso práctico de un alumbrado industrial

Para una mejor comprensión de lo explicado anteriormente se explicaran los siguientes ejemplos prácticos, en donde se realizaran los cálculos correspondientes para un alumbrado industrial que cumpla con las condiciones mínimas necesarias para obtener una visibilidad de muy buena calidad.

En la industria, se realizan una gran variedad de actividades por lo que es necesario una buena iluminación ya que con ello se permite evitar accidentes de trabajo, aumentar la productividad, reducir la fatiga en la visión, etc.

Para obtener buenos resultados es necesario analizar y tomar muy en cuenta el tipo de actividades que se realicen en determinado lugar de trabajo para poder establecer la calidad del alumbrado

El tipo de luminaria para un alumbrado de tipo industrial de gran altura puede ser del tipo cerrada o abierta; las cerradas son generalmente de servicio rudo, con la tapa de vidrio para proteger el reflector y la fuente de luz de los depósitos de suciedad, estas luminarias mantienen la iluminación durante largos periodos sin necesidad de limpiezas frecuentes del reflector, por este motivo se utilizan en lugares donde la atmósfera esta sucia o llena de humo. Sin embargo la eficiencia inicial de la luminaria es más baja debido a la tapa de vidrio, y la instalación es más cara que la de tipo abierto.



**Figura IV.1:** Luminaria industrial para interiores

Se pretende alumbrar una nave industrial donde se realizan trabajos de lubricación. Las dimensiones de esta nave industrial son:

Ancho..... A = 20 metros

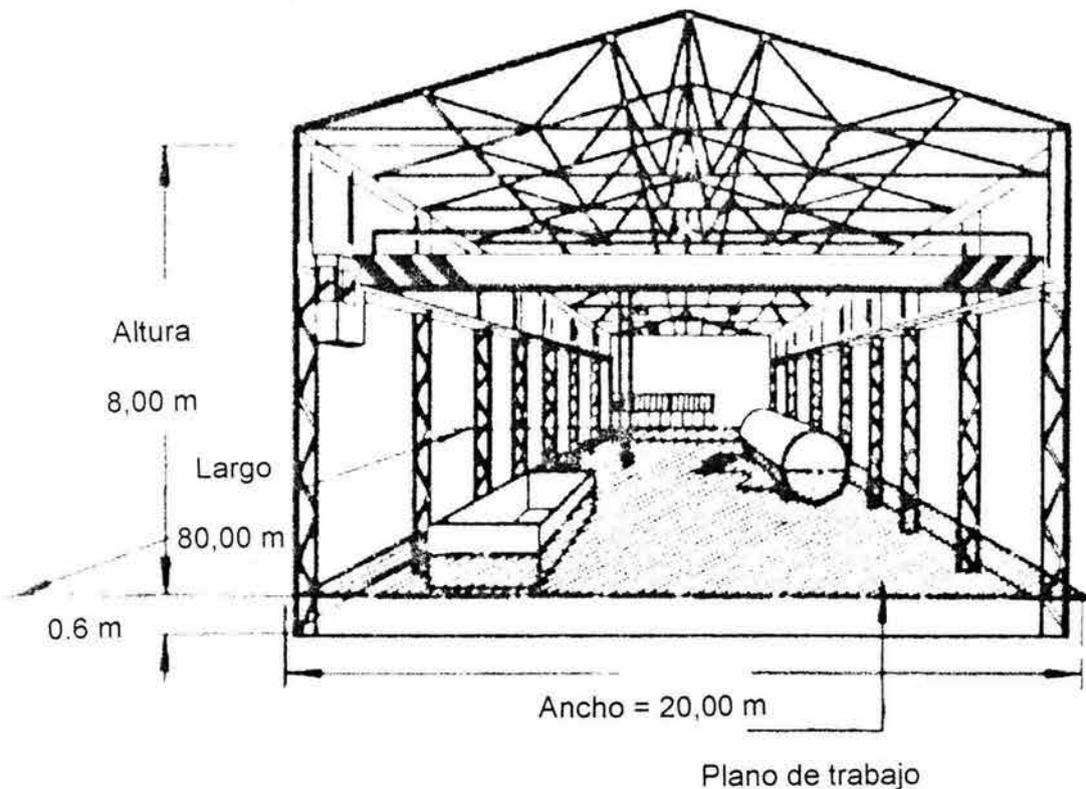
Longitud..... L = 80 metros

Altura..... H = 8 metros

El plano de trabajo para este tipo de actividad se ubica a 0.6 metros del suelo, por lo que la distancia de la lámpara al plano de trabajo es de  $80 - 0.6 = 7.4$  metros.

El techo es de color medio y las paredes de color oscuro.

Para el alumbrado de la nave se elige una lámpara de vapor de mercurio de 250 W con un reflector simétrico directo y abierto.



**Figura IV.2:** Esquema de nave industrial por iluminar

Solución:

Se recomienda para es tipo de lugares una iluminación de 150 a 300 lux como mínimo. Se tomará el valor de 200 lux.

El índice del local se calcula con la siguiente formula:

$$K = \frac{A \times B}{H \times (A + B)} = \frac{20 \times 80}{7.4 \times (20 + 80)} = \frac{1,600}{740} = 2.16$$

De acuerdo con las características del techo que tiene un color medio su coeficiente de reflexión es del 30% y las paredes de un 10% (ver en tabla IV.1). Por lo que el coeficiente de utilización se obtiene de la **tabla IV.4**, tomando en cuenta el valor obtenido en K y los coeficientes de reflexión del techo y las paredes, le corresponde el valor del 57%.

$$\mu = 0.57$$

Tomando en cuenta que el reflector es de tipo abierto, el factor de mantenimiento sera medio,  $M = 0.70$

Área total de la nave industrial es:

$$S = A \times B; \quad S = 20 \times 80 = 1,600 \quad \text{m}^2$$

A continuación se calcula el flujo luminoso total con la siguiente formula:

$$\phi T = \frac{E \times S}{\mu \times M} = \frac{200 \times 1,600}{0.57 \times 0.70} = \frac{320,000}{0.399} = 802,005 \quad \text{Lumen}$$

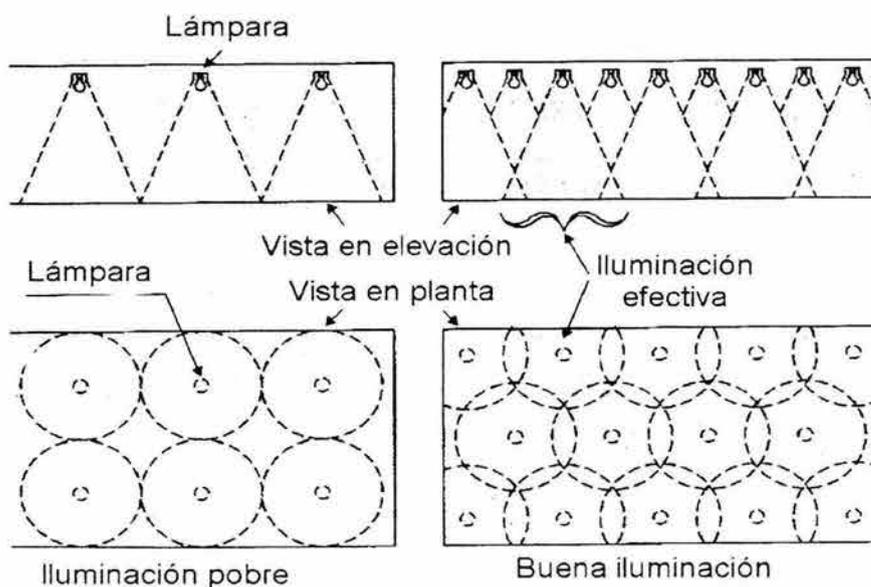
Para este alumbrado se utilizaran lámparas de vapor de mercurio de 250 w con un flujo luminoso de 12,000 lúmenes (dato obtenido del **Capítulo II, Fuentes de alumbrado, II.B.5**), por lo tanto el número de lámparas que se necesitan se obtiene de la siguiente fórmula:

$$N = \frac{\phi T}{\phi L} = \frac{802,005}{12,000} = 66.8; \quad \text{se toman } 63 \quad \text{por razones de simetria}$$

N = 63 lámparas

Estas 63 lámparas pueden colocarse sobre la superficie del techo de la nave industrial de muchas formas, en este caso se recomienda colocar las lámparas, según la longitud de la nave por lo que se pondrán en posición de tresbolillo según la disposición de 2 – 1, con un total de 63 lámparas.

Esta posición de las lámparas permite un mejor alumbrado en el interior de la nave industrial, en la siguiente (**Figura IV.3**) se muestra el nivel de flujo luminoso que se refleja en el piso.



**Figura IV.3:** Posición de lámparas

La potencia total absorbida por la instalación eléctrica es, tomando en cuenta que las lámparas de vapor de mercurio de 250 W utilizan una balasta de 16 W, teniendo un total de consumo de 266 W por lámpara, esto es:

$W = \text{Número de lámparas} \times \text{watts de la lámpara.}$

$$W = 63 \times 266 = 16,758 \text{ W}$$

La siguiente figura muestra la posición de las lámparas en la nave industrial, acotaciones en metros.

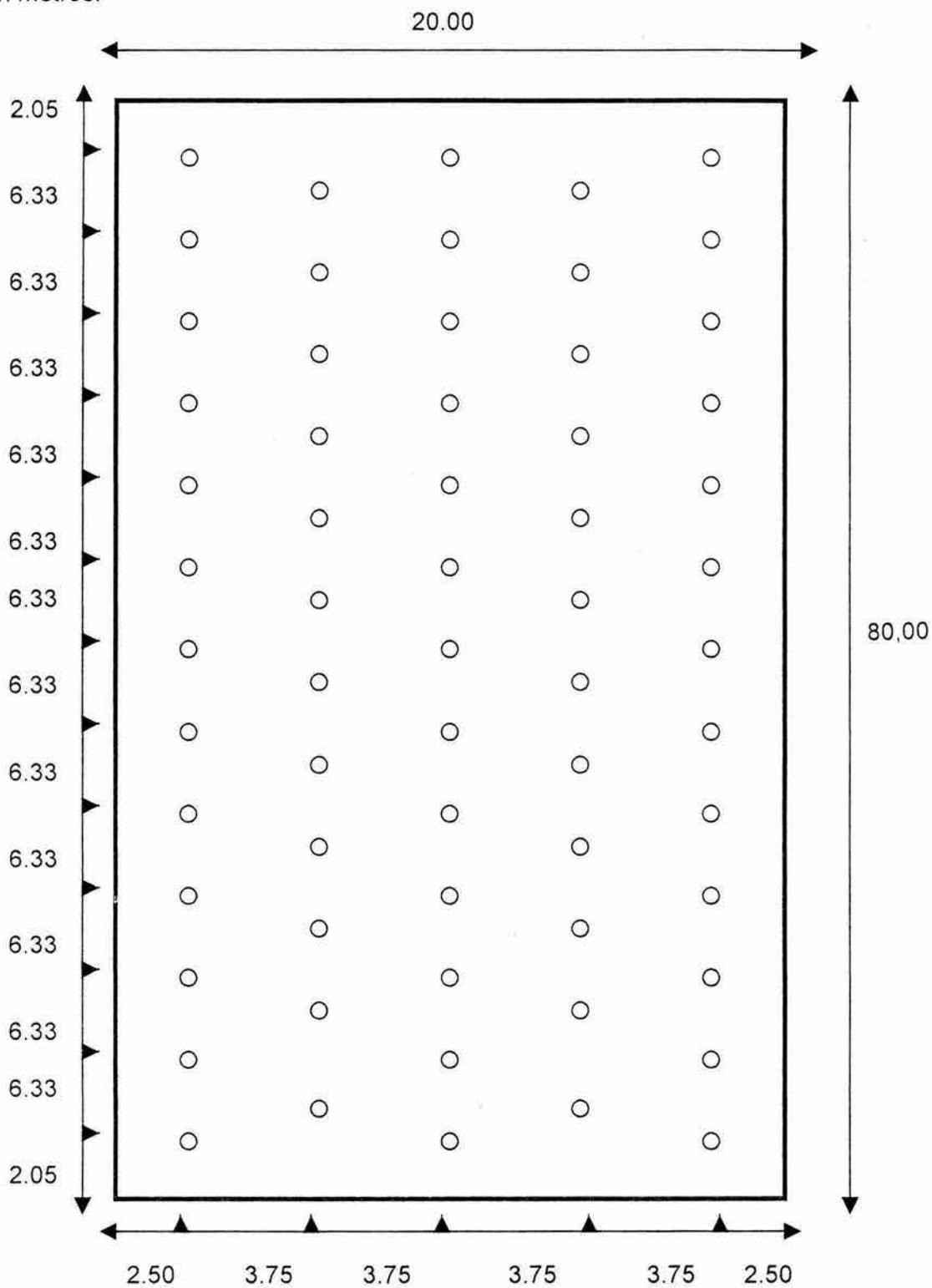


Figura IV.4: Nave industrial

#### IV.A.4. Proyecto de alumbrado para una biblioteca

En donde se requiere un elevado nivel de iluminación y de excelente calidad es precisamente este tipo de lugares para satisfacer las necesidades de una amplia diversidad de tareas visuales.

Para lograr una visión confortable y eficiente es necesario controlar el entorno total de la visión, que incluye no sólo el equipo de alumbrado, sino también el acabado de las superficies del lugar, los muebles, las máquinas de oficina, así como la tapicería y elementos decorativos.

Las bibliotecas tienen la responsabilidad de brindar un sistema de alumbrado en el que los niños, jóvenes y adultos puedan realizar sus actividades escolares sin un indebido esfuerzo o fatiga.

A continuación se expone un ejemplo práctico de un proyecto para un alumbrado de biblioteca:

Se quiere iluminar un salón utilizado como biblioteca en el que se requiere un nivel de iluminación de 700 lux, cuyas dimensiones son las siguientes:

Ancho..... A = 7 metros

Longitud..... L = 25 metros

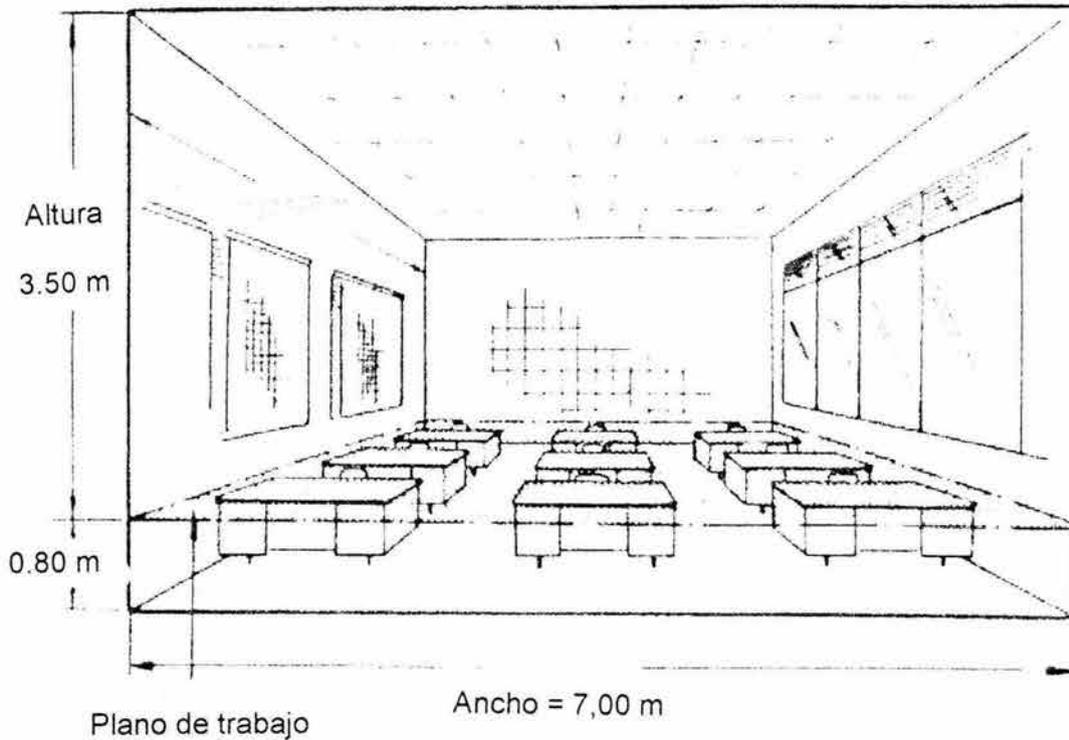
Altura..... H = 3.50 metros

El plano de trabajo se ubica a 0.80 metros del piso por lo que la distancia de trabajo es de  $(3.50 - 0.80) = 2.70$  metros.

El techo es de color blanco y las paredes están pintadas de color claro, dadas las características del lugar se prevé un buen factor de mantenimiento y una buena conservación.

Por tratarse de un salón utilizado como biblioteca resulta conveniente el uso de lámparas fluorescentes de 36 W con un tono de luz blanco cálido.

Para este tipo de lugares se recomienda una iluminación de  $E = 700$  lux.



**Figura IV.5:** Esquema de salón utilizado como biblioteca

Solución:

El índice del local se calcula con la formula

$$K = \frac{A \times B}{H(A + B)} = \frac{7 \times 25}{2.70 (7 + 25)} = \frac{175}{86.4} = 2.02$$

Se toma el valor de 2

El techo tiene un color blanco con un coeficiente de reflexión del 70%, y las paredes están pintadas de un color claro con un coeficiente de reflexión del 50%, por lo que de la **Tabla IV.1** se obtiene un coeficiente de utilización del 51%.

$$\mu = 0.51$$

El factor de mantenimiento es bueno del 70%, por lo tanto  $M = 0.70$ .

Área del lugar es:

$$S = A \times B, \quad S = 7 \times 25 = 175 \quad \text{m}^2$$

A continuación se calcula el flujo luminoso total.

$$\phi T = \frac{E \times S}{\mu \times M} = \frac{700 \times 175}{0.51 \times 0.70} = \frac{122\,500}{0.357} = 343\,137.2 \quad \text{Lúmenes}$$

Para este alumbrado se utilizarán lámparas fluorescentes de 36 w, con un flujo luminoso de 3,000 lumen (dato obtenido del **Capítulo II Fuentes de alumbrado, II.B.7.a.**).

El número de lámparas se obtiene de la siguiente fórmula:

$$N = \frac{\phi T}{\phi L} = \frac{343\,137}{3,000} = 114.7 \quad \text{se toman } 114 \text{ lámparas}$$

Utilizando 4 lámparas por luminaria.

$$\text{Número de luminarias} = \frac{114 \text{ lámparas}}{4} = 28.5 \text{ luminarias}$$

Se toman 30 luminarias por la situación de simetría.

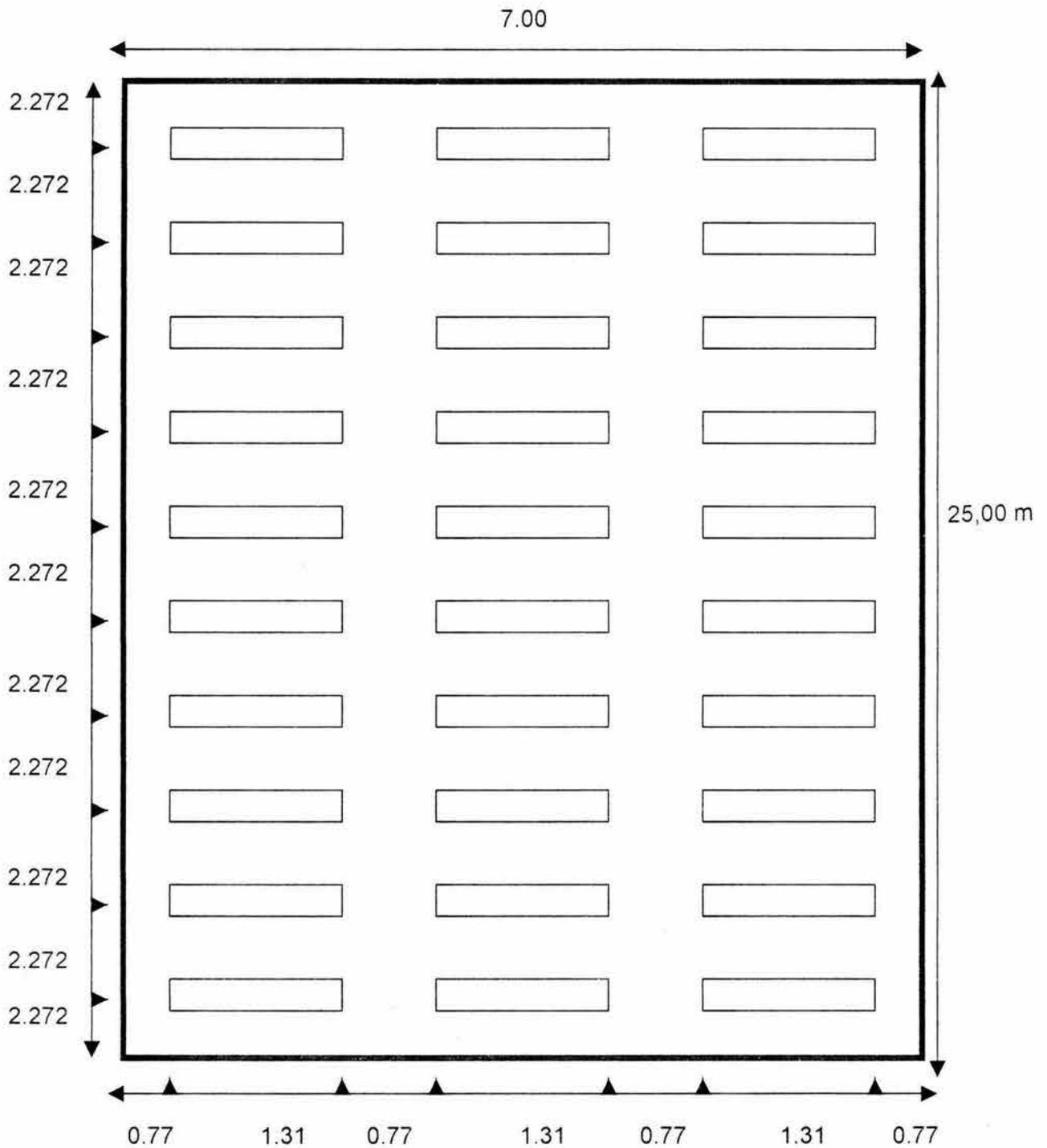
La potencia total es tomando en cuenta que se utilizan lámparas fluorescentes de 36 W

$W = \text{Numero de lámparas} \times \text{watts de la lámpara.}$

$$W = 114 \times 46 = 5244 \text{ W}$$

La posición de las luminarias se muestra en la siguiente **Figura IV.6:**

La siguiente figura muestra la posición de las lámparas en biblioteca, acotaciones en metros.



**Figura IV.6:** Alumbrado en biblioteca

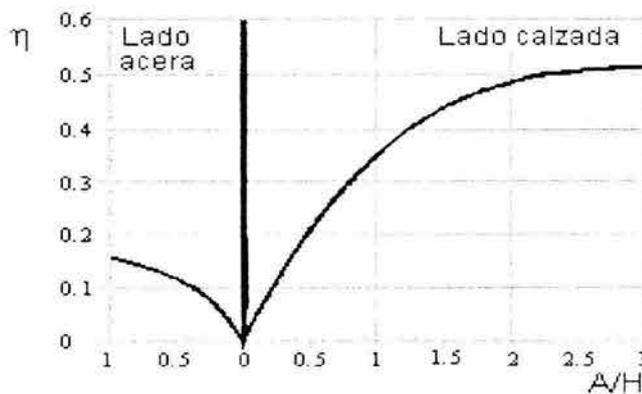
#### IV.A.5. Proyecto de alumbrado vial

Los sistemas de iluminación requeridos para zonas de vialidad, estacionamientos públicos exteriores o abiertos y todo tipo de áreas exteriores se les conoce como iluminación de exteriores, actualmente, casi la totalidad de las nuevas instalaciones se diseñan con lámparas de vapor de sodio alta presión.

A continuación se expone un caso de alumbrado en la vía pública:

Se quiere realizar un proyecto de instalación de alumbrado público para una calle de una zona urbana.

Cada acera mide 1.10 m y la calle 7 m, midiendo en total 9.20 m de ancho. El proyecto pide utilizar lámparas de vapor de sodio a alta presión de 250 W y flujo luminoso de 25,000 lumen, la luminaria es del tipo cerrado con difusor de plástico. Se cuenta con las gráficas del factor de utilización facilitadas por el fabricante.



Gráfica IV.1: Gráfica del factor de utilización

Otros datos:

Se considerará que la proyección del centro óptico de la luminaria sobre la calzada estará a 1.50 m del bordillo

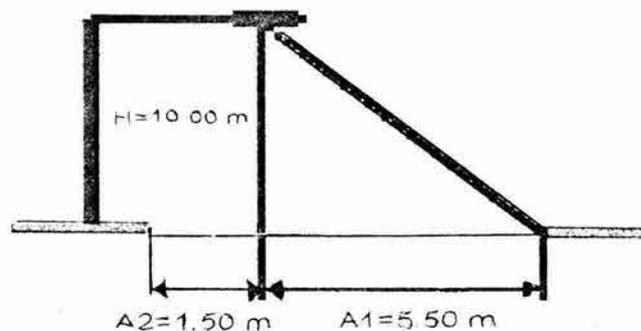


Figura IV.7: Proyección del centro óptico

Los parámetros a calcular son los siguientes

- a) La altura de montaje de las lámparas.
- b) La disposición más adecuada de las luminarias.
- c) El valor de la iluminancia media.
- d) La distancia de separación de las luminarias.
- e) La iluminancia media en la calzada en el momento de puesta en marcha de la instalación y una vez se produce la depreciación.
- f) La iluminancia media sobre cada acera.

Solución:

La información disponible es muy escasa y por lo que se tiene que determinar todos los parámetros de la instalación. Para obtener dichos parámetros se aplica el algoritmo descrito en el método de lúmenes que nos permitirá conocer todos los datos requeridos.

a.- Altura de montaje de las lámparas

La altura de montaje que se recomienda para luminarias en función de su potencia, se puede obtener del **Capítulo III Equipo Eléctrico Tabla III.2**, en la que se muestra el dato reglamentario en relación con la potencia de la lámpara que es de 25 w le corresponde una altura entre 9 y 12 metros, se tomara el valor de 10 metros

b.- Disposición de las luminarias.

$$\frac{A}{H}$$

Para conocer la disposición se tiene que calcular primero el valor de la relación entre el ancho de la calzada y la altura de las luminarias. En este caso es:

$$\frac{A}{H} = \frac{7}{10} = 0.7$$

Con este valor en la siguiente tabla se aconseja una disposición unilateral.

DISPOSICIÓN	RELACIÓN ANCHO / ALTURA
Unilateral	$\leq 1$
Tresbolillo	$1 < A / H \leq 1.5$
Pareada	$> 1.5$

**Tabla IV.8:** Disposición de las luminarias

c.- El valor de la iluminancia media

Se tiene en cuenta que la instalación está situada en una calle de tráfico escaso en una zona urbana, las necesidades luminosas serán mínimas y la asimilaremos a una vía del tipo secundario. Por tanto, le corresponderá una iluminancia media de 20 - 30 lux.

TIPO DE VÍA	NIVEL DE ILUMINACIÓN (LUX)	UNIFORMIDAD EXTREMA
Primaria (Carreteras)	30 - 40	0.4
Secundaria (urbano)	20 - 30	0.3
Terciaria (Rural)	10 - 20	0.25

**Tabla IV.9:** Niveles de iluminancia

Para el cálculo se toma el valor de 25 lux.

$$E_m = 25 \text{ lux}$$

d.- La distancia de separación entre las luminarias

Ya se tienen casi todos los datos necesarios para poder aplicar la fórmula de la iluminancia media excepto el factor de mantenimiento y el de utilización.

Para conocer el valor del factor de mantenimiento se sabe que se instalará una luminaria de tipo cerrado, de acuerdo a la siguiente tabla se obtiene determinado valor.

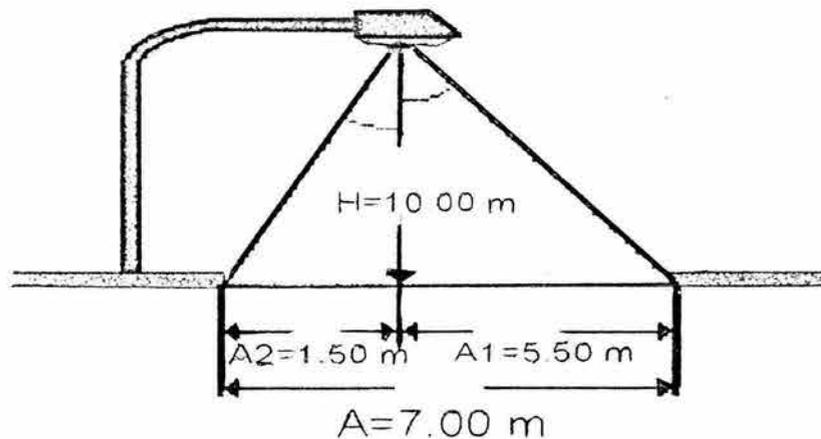
TIPO DE VÍA	LUMINARIA CERRADA	LUMINARIA ABIERTA
Limpia	0.80	0.75
Media	0.70	0.68
Sucia	0.68	0.66

**Tabla IV.10:** Factor de mantenimiento

Se tomara el valor de tipo de vía media, el cual le corresponde el factor de mantenimiento de 0.70.

Para realizar los cálculos del factor de utilización se utiliza la fórmula

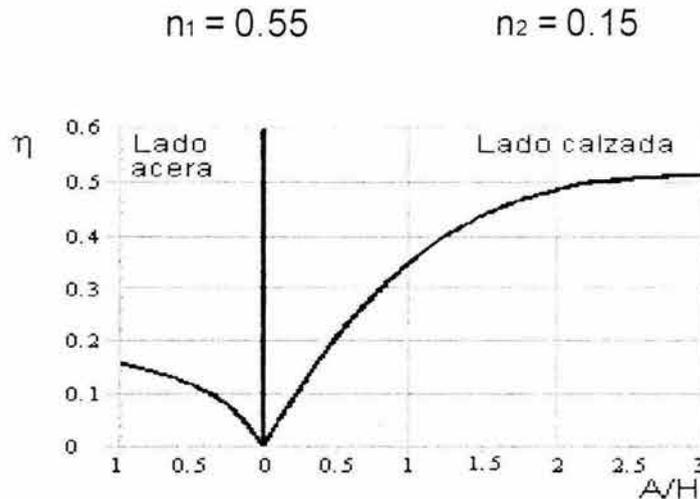
$$\text{Lado de la calzada } \frac{A_1}{H} = n_1 \quad ; \quad \text{Lado de la cebra } \frac{A_2}{H} = n_2$$



**Figura IV.8:** Poste con la altura correspondiente

$$\text{Lado de la calzada } \frac{A_1}{H} = \frac{5.5}{10} = 0.55 \quad ; \quad \text{Lado de la cebra } \frac{A_2}{H} = \frac{1.5}{10} = 0.15$$

Estos resultados se introducen en la siguiente gráfica para obtener los valores de  $n_1$



**Gráfica IV.1:** Gráfica del factor de utilización

$$n_1 = 0.55 = 0.24$$

$$n_2 = 0.15 = 0.06$$

Donde la suma que se obtenga de ambas, será el factor de utilización

$$n = n_1 + n_2$$

$$n = 0.30$$

A continuación se realizara el cálculo para obtener la distancia entre las luminarias con la siguiente fórmula:

$$E_m = \frac{n \times F_m \times \Phi L}{A \times D}$$

Donde:

$E_m$  = nivel de iluminancia.

$n$  = factor de utilización.

$F_m$  = factor de mantenimiento.

$\Phi_L$  = flujo luminoso de la lámpara

A = ancho de la calle.

D = distancia

Donde se realiza el despeje de D

$$D = \frac{n \times F_m \times \phi L}{E_m \times A} = \frac{0.30 \times 0.70 \times 25,500}{25 \times 7} = 30 \text{ metros}$$

La iluminancia media en la calzada en el momento de puesta en marcha de la instalación con el factor de mantenimiento de 1, por lo tanto:

$$E_m = \frac{n \times F_m \times \Phi L}{A \times D} = \frac{0.30 \times 1 \times 25,500}{7 \times 30} = 36.4 \text{ lux}$$

Con el paso del tiempo el flujo luminoso de la lámpara descenderá por efecto de la suciedad y la depreciación de esta. El nuevo valor de la iluminancia con el factor de mantenimiento de 0.70 será:

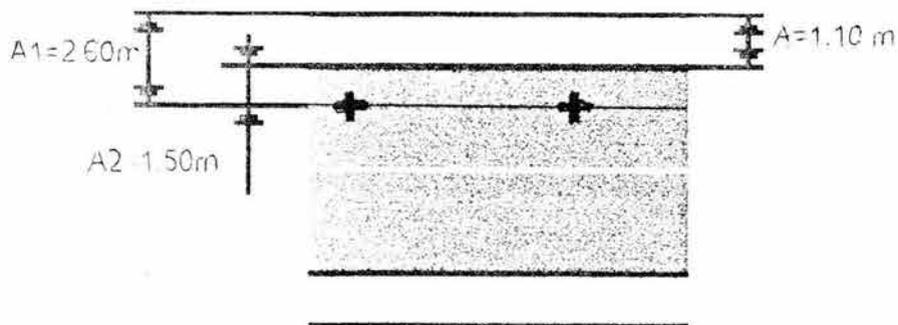
$$E_m = \frac{n \times F_m \times \Phi L}{A \times D} = \frac{0.30 \times 0.70 \times 25,500}{7 \times 30} = 25.5 \text{ lux}$$

Este resultado es similar al obtenido de la **Tabla IV.9: Niveles de iluminancia**

Para obtener la iluminancia media sobre la acera, se realizan los siguientes cálculos:

Lo primero que se tiene que realizar es, determinar los factores de utilización de cada una de las aceras.

Acera más próxima a las luminarias



**Figura IV.9:** Acera más cerca de las luminarias

$$n_1 = \frac{A_1}{H} = \frac{2.60}{10} = 0.26$$

$$n_2 = \frac{A_2}{H} = \frac{1.50}{10} = 0.15$$

Con estos resultados se obtiene de la **Gráfica IV.1:** Factor de utilización

$$n_1 = 0.26 = 0.08$$

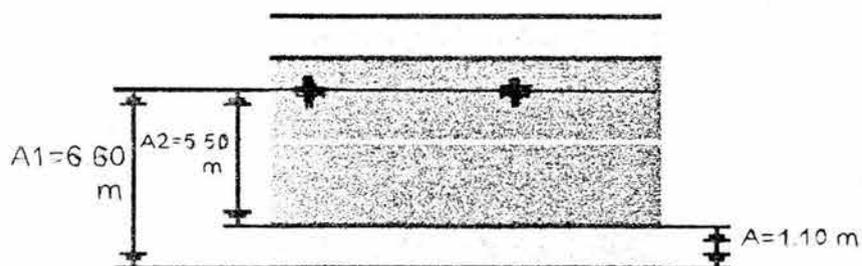
$$n_2 = 0.15 = 0.06$$

$$n_1 - n_2 = 0.02$$

En donde podemos encontrar la iluminancia más cercana a la acera

$$E_m = \frac{n \times F_m \times \Phi L}{A \times D} = \frac{0.02 \times 0.70 \times 25,500}{1.10 \times 30} = 1.08 \text{ lux}$$

Acera opuesta a las luminarias



**Figura IV.10:** Acera más alejada de las luminarias

$$n_1 = \frac{A_1}{H} = \frac{6.6}{10} = 0.66$$

$$n_2 = \frac{A_2}{H} = \frac{5.5}{10} = 0.55$$

Con estos resultados se obtiene de la **Gráfica IV.1** Factor de utilización

$$n_1 = 0.66 \quad = 0.26$$

$$n_2 = 0.55 \quad = 0.22$$

$$n_1 - n_2 = 0.04$$

En donde se tiene la iluminancia más alejada a la acera es de:

$$E_m = \frac{n \times F_m \times \Phi L}{A \times D} = \frac{0.04 \times 0.70 \times 25,500}{1.10 \times 30} = 21.63 \quad \text{luxes}$$

# CONCLUSIONES

---

A la terminación de este trabajo tendremos siempre en cuenta que el Ingeniero Mecánico Electricista es el profesional que utiliza los conocimientos de las ciencias físicas y matemáticas, así como las técnicas de la ingeniería, la economía y la administración, para transformar a la naturaleza por medio de dispositivos mecánicos y/o eléctricos, los cuales optimicen el funcionamiento de sistemas productivos formados por hombres, máquinas e insumos.

En la actualidad para realizar un proyecto de alumbrado es necesario tener conocimientos mínimos relacionados con la luminotécnica, el presente trabajo es una buena base para todas aquellas personas que quieran conocer los conceptos básicos que envuelven a la luminotécnica así como también el de realizar los cálculos para un alumbrado interior y exterior explicando lo relacionado del diseño de iluminación con la información y datos proporcionados por los diferentes fabricantes de lámparas y luminarias.

# BIBLIOGRAFÍA

---

Johannes Itten

**EL ARTE DEL COLOR**

Editorial: Limusa, S.A.. de C.V.

Aguilar Rico Mariano, Blanca Giménez Vicente

**ILUMINACIÓN Y COLOR**

Editorial: Servicio de publicaciones

Taboada J.A.

**MANUAL DE LUMINOTÉCNIA**

Editorial: Dossat, S.A.

Enríquez Harper Gilberto

**MANUAL PRÁCTICO DEL ALUMBRADO**

Editorial: Limusa, S.A.. de C.V.

Fernández Salazar Luis, De Landa Amezcua Jaime

**TECNICAS Y APLICACIONES DE LA ILUMINACIÓN**

Editorial: Magraw-Hill

Westinghouse

**MANUAL DEL ALUMBRADO**

Editorial: Dossat, S.A.

Electricidad teorico-practica

**LUMINOTÉCNIA (TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN)**

Editorial: AFHA Internacional, S.A.

P. Frier John, Gazley Frier Mary E.

**SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INDUSTRIALES**

Editorial: Limusa, S.A.. de C.V.

Ramírez Vázquez José

**INSTELACIONES ELÉCTRICAS INTERIORES**

Editorial: CEAC

Enríquez Harper Gilberto

**EL ABC DEL ALUMBRADO Y LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN**

Editorial: Limusa, S.A.. de C.V.