



75

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

“ILUMINACIÓN E INSTALACIONES ELÉCTRICAS.  
PROYECTO DE ILUMINACIÓN DE UN  
LABORATORIO DE DISEÑO GRÁFICO”.

TRABAJO DE SEMINARIO  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A :  
LUIS MIGUEL PIZANA ROSALES

ASESOR: M. EN A. I. PEDRO GUZMÁN TINAJERO



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.

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**  
**UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR**  
**DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVANZADA DE  
 MEXICO

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



DEPARTAMENTO DE  
 EXAMENES PROFESIONALES

**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
**DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN**  
**PRESENTE**

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

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

Iluminación e Instalaciones Eléctricas

Proyecto de Iluminación de un Laboratorio de Diseño Gráfico

por Método de Lumen

que presenta el pasante: Luis Miguel Pizaña Rosales

con número de cuenta: 8502954-3 para obtener el título de :

Ingeniero Mecánico Electricista

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

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 30 de Abril de 2001

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>Primer</u>	<u>Ing. Jaime Rodríguez Martínez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>Segundo</u>	<u>Ing. Ramón Osorio Galicia</u>	<u>[Firma]</u>
<u>Tercero</u>	<u>M. en A. L. Pedro Guzmán Tinajero</u>	<u>[Firma]</u>

## **GRADECIMIENTOS:**

### **MIS PADRES:**

Por todo el apoyo y ayuda en mi vida, por todo el amor incondicional que me han dado, por que a pesar de que en algunas ocasiones hubo carencias nunca dejaron de atender mis estudios, por todo aquello que me han hecho valorar, por todos sus consejos que me han ayudado a salir adelante, por que sin ellos yo hubiera podido ser lo que soy ahora, les doy muchas gracias.

### **A MI HERMANO:**

Por todo el cariño y aprecio que tengo hacia el, por que aunque somos muy diferentes yo lo quiero mucho.

### **A MIS AMIGOS:**

Por brindarme su amistad, por todas esas palabras de aliento, por todos esos momentos que han estado conmigo apoyándome, por que nunca me han dejado solo.

### **A TODA MI FAMILIA:**

Por que han sido muy buenos conmigo ayudándome y cuidándome.

### **A LA U.N.A.M. Y MIS PROFESORES:**

Por permitirme haber estudiado en sus instalaciones, por colaborar en mi formación academica y por toda la ayuda que recibí de ellos.

# ÍNDICE

Ojetivos. . . . .	2
<b>CAPÍTULO 1</b> . . . . .	3
INTRODUCCIÓN. . . . .	3
La necesidad de la iluminación artificial. . . . .	3
<b>CAPÍTULO 2</b> . . . . .	5
El proceso visual. . . . .	5
Elementos constitutivos del ojo. . . . .	7
Características de la percepción visual. . . . .	8
Sensibilidad del ojo. . . . .	10
Factores objetivos de la visión. . . . .	11
<b>CAPÍTULO 3</b> . . . . .	16
La naturaleza y propagación de la luz. . . . .	16
Teoría corpuscular. . . . .	16
Teoría ondulatoria. . . . .	16
Teoría dual. . . . .	17
El espectro electromagnético. . . . .	18
Distribución de la energía espectral de diferentes fuentes luminosas. .19	
<b>CAPÍTULO 4</b> . . . . .	22
Luminotecnia. . . . .	22
Terminología de iluminación. . . . .	22
Energía luminosa o cantidad de luz Q. . . . .	24
Flujo luminoso $\Phi$ . . . . .	25
Rendimiento luminoso: . . . . .	25
Iluminación (E) o iluminancia: Lux (lx). . . . .	26
<b>CAPÍTULO 5</b> . . . . .	27
Generación de la luz artificial. . . . .	27
Clasificación de las fuentes de luz artificial. . . . .	27
Fuentes luminosas. . . . .	28
Lámparas incandescentes. . . . .	28
Lámparas incandescentes halógenas. . . . .	30
Lámparas infrarrojas. . . . .	31
Filamentos: . . . . .	32
Lámparas fluorescentes. . . . .	33
Funcionamiento: . . . . .	37
Temperatura de color: . . . . .	38
Lámparas de vapor de mercurio. . . . .	42
Lámparas de Haluros metálicos. . . . .	46
<b>CAPÍTULO 6</b> . . . . .	50
Control de la luz (Fotometría). . . . .	50
<b>CAPÍTULO 7</b> . . . . .	54
PROYECTO DE ILUMINACIÓN. . . . .	54
<b>CONCLUSIONES</b> . . . . .	66

# PROYECTO DE ILUMINACIÓN DE UN LABORATORIO DE DISEÑO GRÁFICO POR MÉTODO DE LUMEN

## Objetivos:

- Mencionar la necesidad de la iluminación artificial.
- Dar a conocer el proceso visual.
- Dar a conocer la naturaleza y propagación de la luz.
- Dar a conocer la terminología de iluminación.
- Dar a conocer algunos tipos de lámparas y algunos tipos de luz que existen.
- Iluminar un laboratorio de diseño gráfico por método de Lumen.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### La necesidad de la iluminación artificial.

Desde hace miles de años, el hombre ha necesitado la iluminación artificial para realizar diversas actividades, principalmente trabajos nocturnos y en lugares poco iluminados. En épocas remotas como en la era primitiva, cuando el hombre era nómada y se alimentaba de la caza, la pesca y la recolección se utilizaban rústicas antorchas para hacer pinturas y dibujos rupestres en las cuevas.

Posteriormente, en las grandes civilizaciones de la antigüedad como la teotihuacana, egipcia, griega, maya, inca etc., se utilizó la iluminación artificial producida por el fuego. Los espléndidos murales interiores de los grandes templos y pirámides requirieron para su realización de considerables niveles de iluminación. Los edificios eran proyectados con espaciosos cubos y ventanales internos de manera que tuvieran buena ventilación e iluminación para poder realizar en ellos labores de gobierno y actividades religiosas durante el día. En las casas y chozas se utilizaba algún tipo de iluminación artificial, por ejemplo, los teotihuacanos usaban un espacio de candelero de barro cocido en el que colocaban una vela, que seguramente era de cera de la que producen las abejas.

En el feudalismo se acostumbraba iluminar castillos y casas con antorchas y candiles colgantes en los muros, se colocaban no donde podían dar los mejores resultados de iluminación sino donde su calor, humo y goteo causarían las menores molestias.

Con el capitalismo y la Revolución Industrial se inventó la máquina de vapor y la bombilla eléctrica y se requirió de producir satisfactores materiales y de servicio para la población. Las actividades en talleres y oficinas públicas se prolongaron hasta altas horas de la noche, por lo que se desarrollaron y perfeccionaron las instalaciones de alumbrado.

Desafortunadamente los proyectistas de las primeras instalaciones dieron por hecho que los soportes en las paredes y los candiles colgantes tenían cualidades reales de iluminación, lo que atrasó por cincuenta años la madurez arquitectónica del alumbrado artificial, ya que la mayor dificultad de la iluminación de este tipo se debía a la escasez de conocimientos sobre el proceso de visión, incluso se pensaba que para obtener mejores resultados, la luz de las fuentes luminosas debían incidir directamente sobre los ojos y no sobre los objetos. Fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando se elaboraron métodos científicos basados en el funcionamiento real del proceso en el desarrollo de la luz artificial eléctrica y en el conocimiento de la fotometría, para proyectar instalaciones en la que combinan las instalaciones de la luz artificial con la sobras para proporcionar luz diurna por medio de tragaluces, cubos y ventanales.

# CAPÍTULO

## 2

### **El proceso visual.**

El ojo es un mecanismo fisiológico que se parece en su funcionamiento al de una cámara fotográfica. Los rayos luminosos que entran a través del cristalino (lente), pasan por la pupila e inciden sobre las células fotosensibles localizadas en el fondo de la superficie interna del globo ocular llamada retina (lo que en la cámara fotográfica es la película). El párpado hace la función de obturador y el iris de diafragma que regula la entrada de luz.

Hay dos tipos de células fotosensibles en la retina: bastones y conos. La mayoría de los conos están agrupados en una pequeña área cerca del centro de la retina (fóvea-foco), donde los rayos luminosos enfocados por el cristalino forman una imagen invertida. Su agrupamiento se hace menos denso a medida que aumenta la distancia a la fóvea. Su fina disposición de mosaico permite que se forme una imagen clara y nítida, que es transmitida por el nervio óptico al cerebro que la percibe como una idea consciente. Los conos nos permiten leer e inspeccionar objetos cercanos, distinguir colores y hacer comparaciones visuales precisas.

La concentración de los conos disminuyen a medida que aumenta la distancia a la fóvea. Esto significa que fuera de la pequeña abertura del pequeño ángulo visual dominado por los conos, la claridad y agudeza visual disminuyen rápidamente. Los conos son insensibles a los niveles bajos de iluminación y su mayor concentración esta en la fóvea, zona del centro de la retina de unos 0.3 mm de diámetro.

Por su parte, los bastones desempeñan otro papel en la visión están menos densos que en los conos y se encuentran dispersos sobre toda la superficie interna del globo ocular. Son mucho más sensibles a la luz y por su escasa y torpe disposición en mosaico no producen una imagen finamente enfocada. Además, están conectados por nervios no al cerebro sino directamente a los músculos en distintas partes del cuerpo, lo cual hace posible que se

Visión foveal por los conos	Visión por los bastones
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Campo estrecho de visión</li> <li>2. Visión por esfuerzo consciente.</li> <li>3. Visión precisa.</li> <li>4. Necesidad de iluminación adecuada</li> <li>5. Sensibilidad al color.</li> <li>6. Comparaciones visuales precisas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Amplio campo de visón.</li> <li>2. Visión instintiva de rápida reacción.</li> <li>3. Visión general</li> <li>4. Visión sensible (nocturna)</li> <li>5. Poca reacción a los colores.</li> <li>6. Capta si hay equilibrio en el ambiente.</li> </ol>

**TABLA 2.1**

produzcan reflejos musculares automáticos para proteger el cuerpo y los ojos de objetos en el aire. A los bastones se debe una visión mucho más amplia y con bajos niveles de iluminación, responden poco al calor color y existen sólo fuera de la fóvea, aumentando su densidad a medida que se alejan de ésta, son muy sensibles al movimiento y a las oscilaciones luminosas. (Tabla 2.1)

- *Visión central.* Los conos de la fóvea producen en el cerebro una imagen muy nítida; gracias a ellos el ojo alcanza su máxima capacidad de resolución.
- *Visión periférica.* Por las características de los bastones y su disposición en la periferia de la retina, no se produce una visión nítida si no que los objetos aparecen como siluetas borrosas.
- *Visión escotópica.* En valore de luminancia o niveles de iluminación de interiores a 0.5 lux, la visión se denomina escotópica. Aquí los bastones son los elementos principales y la detección periférica, es por lo tanto, superior a la foveal. La visión escotópica no produce en el cerebro la sensación de color.
- *Visión fotópica.* Si el ojo esta adaptado a niveles de luminancia o iluminación mayores de 3 lux, la visión se denomina fotópica. En ella los conos son los elementos activos primordiales y es posible una captación de colores normal.
- *Visión mesópica.* Es la visión comprendida entre los niveles de luminancia de 0.05 a3 lux valore límite de la visión escotópica y fotópica, respectivamente. Al disminuir el nivel de iluminación disminuye también la capacidad del ojo para distinguir colores.

## Elementos constitutivos del ojo.

- *Párpado*. Es un pliegue de piel que protege y ayuda a regular la cantidad de luz que llega al ojo bajo condiciones demasiado brillantes. Sirve también para distribuir el líquido lagrimal sobre la córnea y mantenerla húmeda.
- *Córnea*. Es la porción transparente de la membrana exterior que rodea al ojo, sirve como protección, pues es muy resistente.
- *Humor acuoso*. Es un líquido situado entre la córnea y el cristalino, con un índice de refracción (próximo al del agua) de 1.336 e igual al del humor vítreo.
- *Cristalino*. Es el lente del ojo. Está formado por una cápsula transparente que contiene una gelatina fibrosa, dura en el centro y se hace progresivamente más blanda hacia fuera, con un índice de refracción de 1.437. El cristalino está sostenido por ligamentos que lo unen a los músculos ciliares.
- *Músculos ciliares*. Son dos pares, dos verticales y dos horizontales, que controlan la forma del cristalino para enfocar los objetos a diferentes distancias. Cuando estos músculos se fatigan sobrevienen los defectos de la visión.
- *Iris*. Está situado detrás de la córnea y delante del cristalino, en su centro hay una abertura llamada pupila.

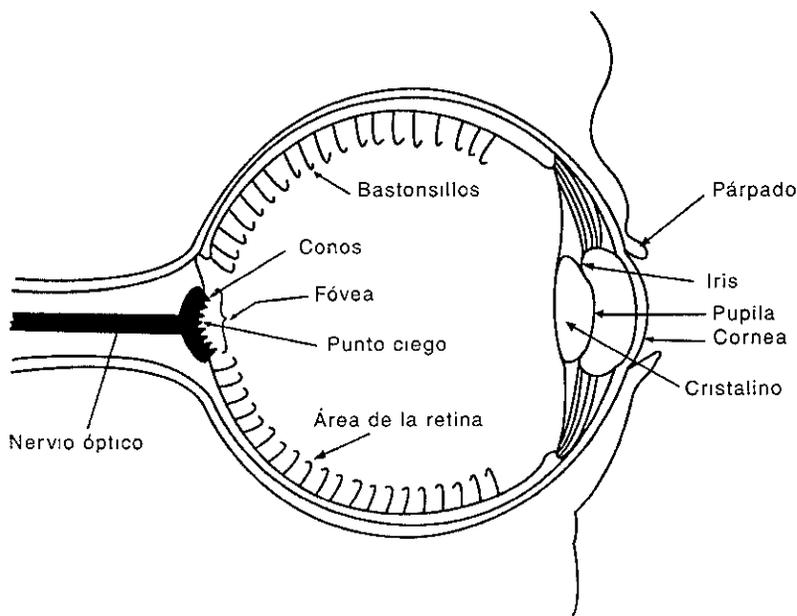


FIG. 2.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL OJO.

- *Pupila*. La función de la pupila es regular la cantidad de luz que entra en ojo. Se dilata automáticamente si la cantidad de luz del campo de visión es pequeña y se contrae si ésta aumenta.
- *Humor vítreo*. Es una gelatina ligera que contiene en su mayor parte agua. Se encuentra entre el cristalino y la retina.
- *Retina*. Es una gran parte de superficie interna del ojo, recibe las imágenes y es sensible a la luz. Está formada por una delicada película de fibras nerviosas que divergen del cono óptico y terminan en minúsculas estructuras en forma de conos y bastones. Estos, junto con el líquido azulado llamado púrpura visual que se encuentra entre ellos, reciben la imagen óptica y la transmiten por medio del nervio óptico al cerebro. Hay una ligera depresión en la retina llamada mancha amarilla o mácula. (Véase fig. 2.1).

## Características de la percepción visual.

### Adaptación:

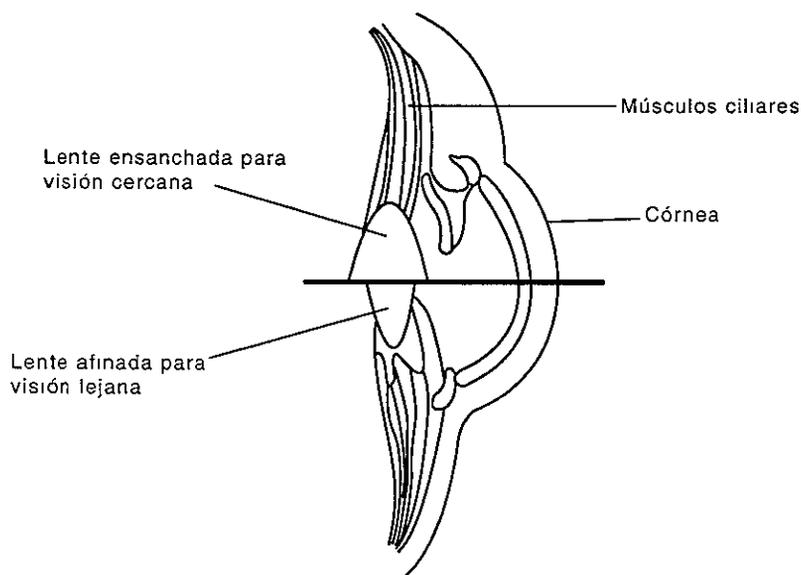
Es el proceso mediante el cual se regula la cantidad de luz que llega al ojo. Dicha función la realiza la pupila, ya que ésta se dilata si el brillo del campo es pequeño y se contrae si es excesivo. Sin embargo, mientras que el diámetro de la pupila puede hacerse 4 veces más mayor (y por consiguiente el área es 16 veces mayor), el ojo puede adaptarse a variaciones de brillo de 1 a 100 000 veces. Esta enorme variación relativa de la luz que entra en el ojo no puede ser compensada sólo por la variación del tamaño de la pupila, sino que es ayudada por la retina, que es capaz de sí misma de adaptarse a estas grandes diferencias de cantidad de luz.

El tiempo que toma el proceso de adaptación depende del estado de la luz y de la diferencia entre las intensidades de iluminación. La adaptación a un nivel más alto de iluminación se verifica más rápido que en el caso contrario, normalmente en el transcurso del primer minuto, mientras que la adaptación a la obscuridad avanza con mayor celeridad durante los primeros 30 minutos y puede transcurrir hasta una hora para adaptarse completamente. Estos hechos se deben tomar en cuenta en la iluminación de las salas cinematográficas, pasos a desnivel o túneles de tráfico.

### Acomodación:

Cuando el cristalino se encuentra en su forma mínima convexa, el ojo enfoca

sobre objetos en el infinito. Para enfocar objetos próximos el cristalino necesita aumentar su convexidad mediante la contracción de los músculos ciliares; cuando están contraídos el cristalino está enfocado sobre los objetos situados en el infinito, este proceso se denomina acomodación. Los límites del intervalo dentro del cual es posible este proceso se conoce con los nombres de punto remoto y punto próximo del ojo. La posición del punto próximo depende del grado que pueda aumentarse la curvatura del cristalino por acomodación *fig. 2.2*.



**FIG. 2.2 PROCESO DE ACOMODACIÓN DEL OJO.**

El alcance de la acomodación disminuye gradualmente con la edad, debido a que el cristalino pierde su flexibilidad. En la *tabla 2.2* se presenta la posición del punto próximo a diferentes edades.

Edad (años)	Punto próximo (cm)
10	7
20	10
30	14
40	22
50	40

**TABLA 2.2**

Al respecto puede considerarse que los efectos de la visión se deben, principalmente a fatigas crónicas en los músculos ciliares y causa del mal uso de la vista. Por ejemplo, cuando se realiza una tarea visual bajo condiciones de baja iluminación o en condiciones en que la vista tiene que esforzarse demasiado (leer en un autobús en marcha o leer tipos de letra demasiado pequeños) y no se proporciona a la vista un descanso adecuado, sobreviene la fatiga que cuando es crónica obliga a tener que ayudarse de anteojos, lo cual no es recomendable, pues los anteojos obligan al músculo ciliar fatigado, responsable del defecto visual, a quedar permanentemente invalidado.

Otras causas no menos importantes de la visión defectuosa son las deficiencias alimenticias y las tensiones emocionales, ya que los músculos, principalmente de la cara, se alteran y desequilibran a su vez a los músculos ciliares. Los defectos más comunes son:

- **Astigmatismo.** Defecto en el cual la superficie de la córnea no es esférica, de manera que no se puede enfocar al mismo tiempo líneas verticales y horizontales.
- **Miopía.** Imposibilidad de enfocar objetos lejanos. La distancia focal es corta y los rayos convergen delante de la retina.
- **Hipermetropía.** Imposibilidad enfocar objetos cercanos. La distancia focal del ojo hipermetrope es larga y los rayos convergen atrás de la retina.
- **Presbicie.** No se considera un defecto, pues la falta de la acomodación del cristalino se pierde a medida que éste se hace menos flexible con la edad.

## **Sensibilidad del ojo.**

El ojo no responde con la misma sensibilidad a las diferentes longitudes de onda de las radiaciones electromagnéticas del espectro visible, es decir, que no es igualmente sensible a todos los colores. Por ejemplo, se sabe que el color amarillo es el que con mayor intensidad impresiona a los ojos. De hecho la sensibilidad máxima del ojo reside en el amarillo-verdoso en una longitud de onda de unos 554 nm. Esto significa que el ojo humano distingue más rápidamente objetos iluminados con estos colores. De ahí el uso de los “faros de niebla” de color amarillo y la tendencia a pintar de anaranjado o amarillo las zonas o partes peligrosas en maquinaria e industria.

La curva normal de la sensibilidad del ojo se basa en la visión de conos que también se llama visión fotópica. A muy bajos niveles de iluminación del orden

unos 0.05 lux o menos, son los bastones quienes se encargan de todo el proceso visual, apareciendo entonces una nueva curva de sensibilidad del ojo igual a la normal de visión con conos, pero defasada unos 48 nm hacia el extremo azul del espectro. A este defasamiento se le conoce como efecto Purkinje por lo cual en la obscuridad el ojo se hace relativamente sensible a la energía en el extremo azul del espectro visible.

### **Factores objetivos de la visión.**

Como se indicó, los ojos trabajan por contraste, el contraste de la luz y de la sombra, lo recto y lo curvo, lo grande y pequeño, lo hondo y superficial, lo cercano y lejano; estos dos últimos contrastes en virtud de la visión estereoscópica de los ojos. Podemos considerar entonces algunos factores fundamentales que exageran o atenúan dichos contrastes, a saber:

#### *Contraste.*

La iluminación de un objeto depende de la luz que incide sobre él y de la que es capaz de reflejar. Así, los colores pueden parecer más brillantes al ojo que los oscuros, aunque estos últimos pueden parecer brillantes con una iluminación muy intensa.

Es obvia la importancia del contraste la luminancia del objeto y la del fondo para facilitar la visión. Aunque se debe guardar cierta proporción, se ha encontrado que una relación entre luminancias de 10 a 1 y hasta de 30 a 1 son recomendables.

El factor directamente en la observación es la diferencia de luminancias y/o color entre el objeto contemplado y el medio circundante. Subjetivamente, el contraste es la valoración de la diferencia de aspecto de dos partes de un campo de visión observados simultáneamente o sucesivamente. Desde el punto de vista objetivo el contraste, y en particular la luminancia, se define por una de las fórmulas:

$$L_c = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \quad \text{o} \quad L_c = \frac{L_2 - L_1}{Y_2 (L_2 + L_1)}$$

Donde L1 representa la luminancia del fondo y L2 representa la del objeto.

#### *Sensibilidad de contraste.*

Es un determinado ensayo que se mide ajustando el nivel de iluminación de manera que el contraste observado sea apenas perceptible. Por ello, la visión

Se facilita si se aumenta el contraste y el nivel de iluminación por encima del valor del umbral definido por la sensibilidad de contraste del ojo. Cuantitativamente la sensibilidad de contraste (cs) es igual valor recíproco del umbral de contraste C y a la luminancia del fondo dividida por la luminancia umbral (L), es decir:

$$CS = \frac{1}{Cu} = \frac{Lf}{Lu} = \frac{L1}{L2 - L1}$$

Por otro tanto, cuanto más bajos sean los valores umbral, mayor será la sensibilidad.

La sensibilidad de contraste, medida en condiciones de laboratorio, es generalmente una función de la luminancia del fondo. En la práctica está influenciada por el contorno, la adaptación del ojo y otros factores secundarios, tales como las fuentes de luz que pueden producir deslumbramientos dentro del campo de visión.

#### *El tamaño y la forma.*

Es común que los tipos de letra grandes de un periódico o libro sean fáciles de leer que los tipos pequeños de un diccionario. En virtud de lo recto y curvo es que se puede descifrar, el dibujo, etc; es por ello que estos factores externos deben tomarlos en cuenta el decorador o el arquitecto.

#### *Inercia visual.*

La sensación luminosa en el ojo desaparece instantáneamente, es decir una imagen queda en el ojo por espacio de algunas centésimas de segundo para que pueda ser asimilada. Esta especie de inercia visual logra que el "parpadeo" de las lámparas, producido por la alternancia de la corriente, no se note (excepto cuando se trata de frecuencias más bajas de 25 cps.). Un ejemplo lo constituye el cinematógrafo donde las imágenes se suceden a razón de 37 por segundo y que gracias a la inercia visual no percibimos. Este "parpadeo", principalmente de las lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio, debido al efecto de la frecuencia de la corriente alterna se le llama efecto estroboscopia y si no se corrige puede hacer ver al espectador múltiples imágenes de cualquier objeto en movimiento.

### *Tiempo.*

El tiempo no es un factor tan importante como se pensaba, aunque debe tomarse en consideración para algunos casos especiales como el proceso de adaptación. Decimos esto porque el ojo humano sólo necesita fracciones de segundo para poder fijar y asimilar una imagen, como es el caso del cine.

### *Agudeza visual.*

La agudeza visual o nitidez de visión puede definirse cualitativamente o cuantitativamente.

Cualitativamente es la capacidad para distinguir objetos que están muy cerca entre sí. Cuantitativamente es el valor recíproco de la separación angular (generalmente minutos de arco) de los objetos adyacentes que el ojo apenas puede distinguir que están separados. Así la agudeza visual mide el detalle más pequeño que puede percibirse y depende del nivel de iluminación.

### *Velocidad de perfección.*

La velocidad de perfección depende del nivel de iluminación y se puede definir como el valor recíproco del intervalo del tiempo transcurrido entre la presentación de un objeto y la percepción de su forma. Correspondientemente, la velocidad de percepción del contraste es el valor recíproco del intervalo de tiempo entre el instante en que el contraste aparece y se percibe.

Por otra parte es saludable para la vista recorrer el panorama visual fijarla mucho en un solo detalle, lo que obliga a tener buenos niveles de iluminación, pues con bajos niveles el ojo requerirá de más tiempo para lograr la imagen y tendrá que esforzarse más para poder ver y enfocar una imagen mal iluminada o sin contraste. Evidentemente a buenos niveles luminosos es insignificante el tiempo de exposición de una imagen en el ojo.

Se puede concluir que de los factores que el luminotécnico puede controlar están el brillo y lógicamente el contraste producido, ya que los demás factores dependen de una realidad propuesta por los decoradores y arquitectos.

### *Campo de la visión.*

Para evitar que la luz de las luminarias llegue directamente a los ojos y produzca deslumbramientos es necesario conocer el campo visual del ojo humano. Dicho se extiende unos 180° en el plano horizontal y unos 130° en el

ano vertical, 60° por encima y 70° por debajo de la horizontal. (Véase fig. 2.3)

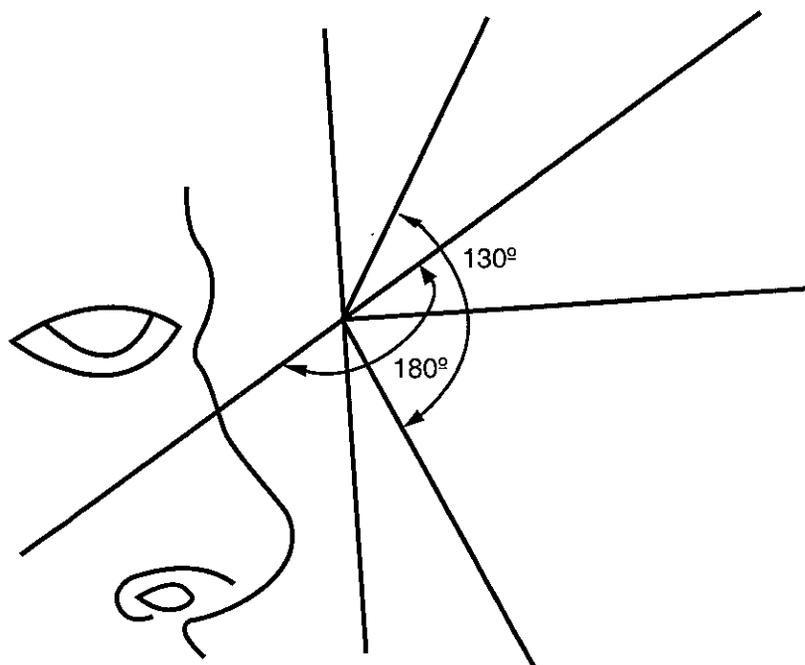


FIG. 2.3 CAMPO DE VISIÓN.

Un sistema de alumbrado debe suministrar iluminación suficiente y adecuada para la visión en detalles con los conos y además, proporcionar una relación cómoda de equilibrio entre lo brillante y lo oscuro para dar contrastes suaves en todo el campo visual en la visión con los bastones.

Un sistema de alumbrado bien proyectado proporciona iluminación suficiente para el trabajo visual que se realiza, con una visión sostenida y sin fatiga (visión con los conos), y una iluminación equilibrada de los alrededores para proporcionar una sensación de comodidad, de bienestar y aun de seguridad (visión con los bastones).

Un ejemplo extremo de un alumbrado proyectado sólo para proporcionar iluminación sobre la tarea visual, es un reflector dirigido sobre un escritorio en un cuarto oscuro. La mancha de luz producida descuida la iluminación, da un contraste desequilibrado entre lo brillante y lo oscuro para la visión de los bastones, proporciona una sensación de inseguridad, así como pérdidas de agudeza visual. Por esta razón, los arquitectos y constructores deben evitar usar como sistema básico de alumbrado la combinación de lámparas

reflectoras y acabados oscuros en techos y paredes. Es decir, evitar sistemas de alumbrado que favorecen la visión con los bastones y descuidan la visión con los conos. Tal condición ocurre, por ejemplo, cuando se tiene un techo muy luminoso y paredes y muebles demasiado claras o blancas pues el deseo instintivo de fijar la atención sobre los objetos brillantes dentro del campo de visión, provoca que los ojos tengan dificultad para concentrarse y enfocarse sobre la tarea visual que se pretenda realizar. En un ambiente así la atención vaga, los objetos pierden precisión en su forma y textura y los detalles arquitectónicos y embellecimiento tienden a ser monótonos, sin relieve y sin rasgos distintivos, ya que la vista es un sentido que trabaja por contraste.

# CAPÍTULO

## 3

La naturaleza y propagación de la luz.

### Teoría corpuscular.

En el siglo XVII se pensaba que la luz era una corriente de corpúsculos emitidos por focos luminosos como el sol o una vela. Estos corpúsculos se propagan en línea recta, penetran en las sustancias transparentes, se reflejan en las sustancias opacas y excitan el sentido de la vista al penetrar por la pupila del ojo. A esto se le conoce como Teoría corpuscular propuesta por Newton.

### Teoría ondulatoria.

En 1670 Christian Huygens demostró que las leyes de reflexión y refracción se explicaban mejor por medio de la teoría ondulatoria, basada en el fenómeno electromagnético. Esta teoría se objetaba diciendo que si la luz era un fenómeno ondulatorio, entonces no se propagaría en línea recta y que un rayo de luz podría, por ejemplo, doblar una esquina, fenómeno que no se observaba debido a que longitudes de onda de los rayos luminoso son demasiado pequeñas. Sin embargo, en 1669 Grimaldi observó la inflexión luminosa en los bordes de un objeto (véase fig.3.1), a este fenómeno se le conoce con el nombre de difracción.

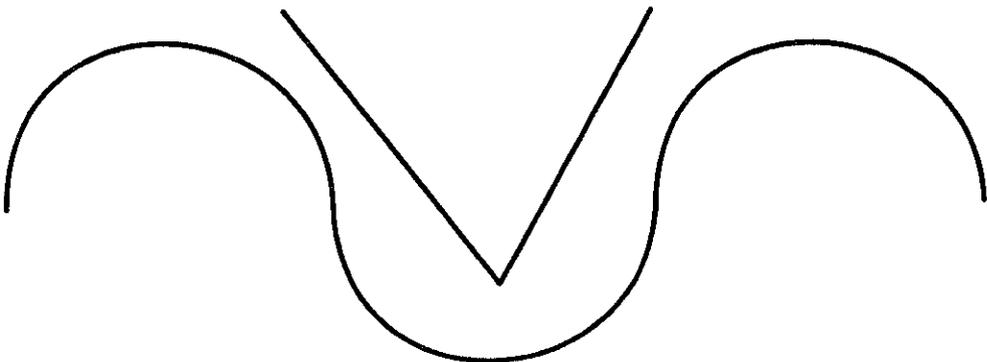


FIG. 3.1 Inflexión de una onda luminosa

En 1827 Young y Fresnel midieron la longitud de onda de la luz y demostraron su propagación rectilínea.

El físico escocés James Clerk Maxwell, demostró en 1873 que un circuito eléctrico oscilante debía radiar ondas electromagnéticas, cuya velocidad de propagación podía calcularse a partir de cantidades puramente eléctricas y resultó ser  $3 \times 10^8$  m/seg., cantidad muy similar a la calculada por Foucault.

En 1888 Heinrich Hertz, con un circuito oscilante de pequeñas dimensiones, logró producir radiaciones de corta longitud de onda (que hoy se llaman ultracortas) de indudable origen electromagnético y demostró que poseían todas las propiedades de las ondas luminosas; podían ser reflejadas, concentradas por un lente, polarizadas, etc., igual que las ondas luminosas.

Sin embargo, la teoría ondulatoria electromagnética no podía explicar el fenómeno de la emisión fotoeléctrica (efecto Edison), es decir, la expulsión de electrones de un conductor por la luz que incide sobre él (véase *fig. 3.2*).

Efecto Edison

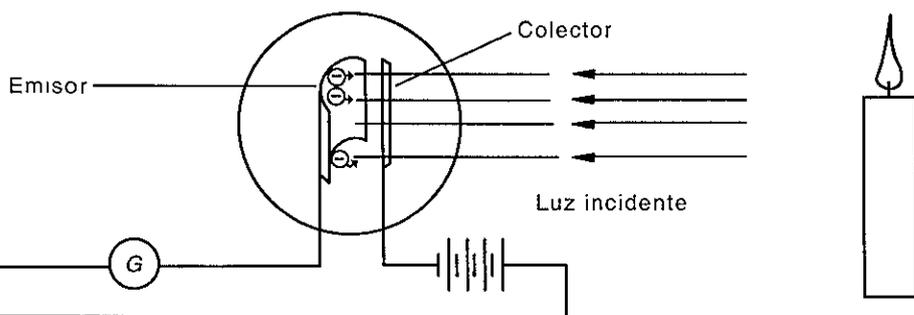


FIG. 3.2

**Teoría dual.**

En 1921 A. H. Compton logró determinar el movimiento de un solo electrón de un solo fotón y después de un choque entre ellos y demostró que tenían energía cinética y cantidad de movimiento, conservándose ambas magnitudes después del choque.

Actualmente, se acepta que la luz tiene una doble naturaleza: ondulatoria y corpuscular, es decir, electromagnética y fotónica, de manera que los fenómenos de propagación de la luz se explican dentro de la teoría electromagnética, mientras que la acción mutua entre luz y materia en los

procesos de absorción y emisión de la energía luminosa se explica por medio de la teoría corpuscular.

## El espectro electromagnético.

Queda establecido hasta ahora que la luz es un fenómeno ondulatorio electromagnético de pequeñas partículas denominadas fotones, cuya energía es proporcional a su frecuencia de vibración, Dicha frecuencia es inversamente a la longitud de onda. (véase fig. 3.3).

Como el producto de la longitud de onda por la frecuencia nos da la velocidad, que es constante, entonces:

$$L \times f = C = 300\,000 \text{ km/seg}$$

por lo cual

$$f = \frac{C}{L}$$

es decir  
la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda.

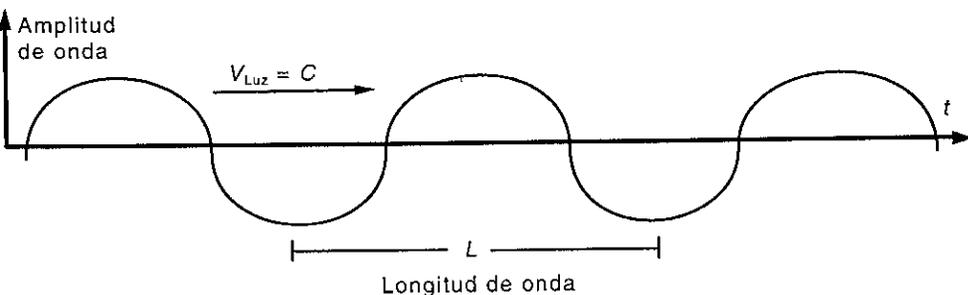


FIG.3.3

De aquí se desprende que todas las radiaciones electromagnéticas son similares en cuanto a su naturaleza y a la velocidad con que se desplazan y diferentes entre sí en cuanto a su longitud de onda, su frecuencia y su modo de manifestarse, que va desde efectos nocivos a los seres vivos como son los rayos cósmicos, rayos gamma, rayos X y ultravioleta hasta efectos útiles, como las ondas de radio para las comunicaciones, de la energía eléctrica alterna, cuya frecuencia de 60 hertz da una longitud de onda L igual a 5 000 m.

$$L = \frac{300\,000}{60} \frac{\text{km/seg}}{\text{ciclos/seg}} = 5000 \text{ km}$$

energía radiante visible está constituida por los colores a los que les corresponde una diferente longitud de onda, formándose una gama de colores que se denominan espectro visible, cuyos límites integran una banda demasiado estrecha en todo el espectro electromagnético.

El espectro visible o luz se puede descomponer en sus colores por medio de un prisma, fenómeno conocido como refracción de la luz que es lo que se observa en el arco iris. Debido a que el ángulo de refracción de la luz es diferente para cada longitud de onda, las distintas longitudes de onda presentes en la luz y correspondientes a cada color se dispersan y producen una gama de colores conocida.

La longitud de onda de las radiaciones electromagnéticas capaces de impresionar el sentido de la vista, se encuentra entre 0.000038 y 0.000076 cm. Para poderlas medir se utilizan unidades más pequeñas, por ejemplo:

- Una micra =  $1 \mu = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-4} \text{ cm}$
- Una milimicra =  $1 \text{ m} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$
- Un nanómetro =  $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$

El color púrpura o guinda existe sólo por una interacción entre los conos rojos y azules de la retina, es decir, el púrpura es un artificio visual y no un color espectral puro (véase fig. 3.4).

En la iluminación artificial lo que realmente interesa, además de un nivel luminoso apropiado, es que la energía radiante de las fuentes luminosas al incidir sobre los objetos excite al sistema visual y reproduzca en el cerebro de una manera más ampliamente posible al espectro visible. Sin embargo, no todas las fuentes luminosas logran esto, pues si algunas reproducen casi todo el espectro visible otras sólo color, como las incandescentes y las de vapor de sodio de baja presión.

### **Distribución de la energía espectral de diferentes fuentes luminosas.**

El ojo humano responde sólo a una parte del espectro electromagnético, una estrecha franja comprendida entre los rayos ultravioleta y los rayos infrarrojos, la que comúnmente se le llama espectro visible (véase fig 3.4).

Las longitudes de onda que comprenden al espectro visible van desde 380 nm que corresponden al color violeta, hasta los 760 nm que corresponden al color

FRECUENCIA EN cps

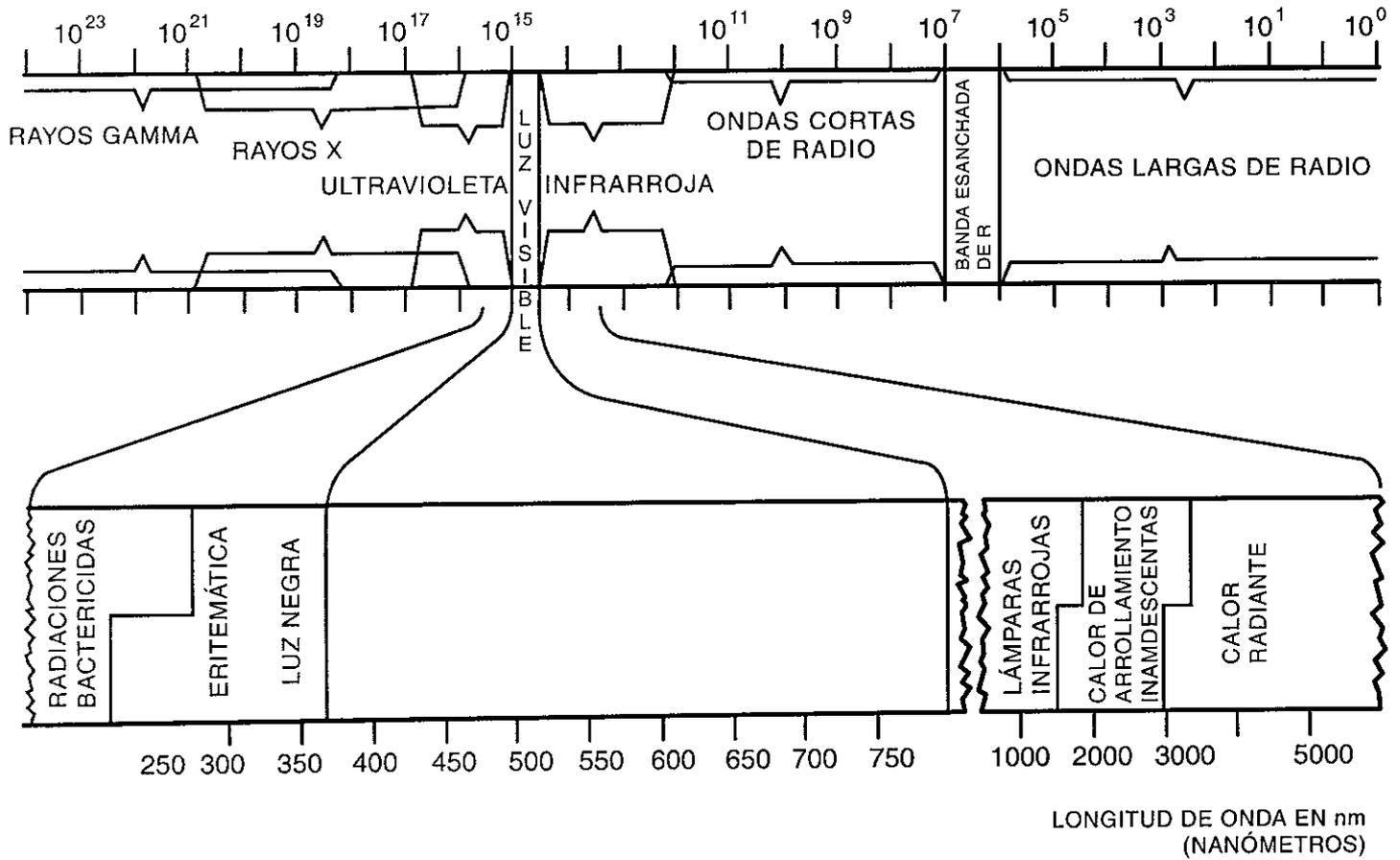


FIG.3.4 Espectro electromagnético.

jo. Por lo tanto, cada color le corresponde un rango determinado de longitud de onda (tabla 3.1).

<i>Color</i>	<i>Longitud de onda en nanómetros (nm)</i>
Púrpura	Color no espectral
Rojo	760–630
Naranja	630–590
Amarillo	590–560
Verde	560–490
Azul	490–440
Íñigo	440–420
Violeta	420–380

**TABLA 3.1**

# CAPÍTULO

## 4

### **Luminotecnia.**

Al igual que otras formas de la energía, la luminosa, que es una parte de la energía radiante  $Q_r$ , ha sido investigada a fondo determinándose diferentes conceptos matemáticos que la definen completamente. Estos conceptos se relacionan entre sí con leyes bien definidas que se derivan de dicha energía luminosa o cantidad de luz, que se simboliza con la letra  $Q$  y cuya unidad es el lumen-hora o lumen-segundo.

### **Terminología de iluminación.**

Debido a que las primeras fuentes de iluminación artificial eran relativamente reducidas (velas, lámparas de aceite, capuchones de gas), los primeros términos empleados para medir la intensidad de la luz se escogieron de acuerdo con el concepto de "fuente-punto" de luz.

Así que, una "candela" o "bujía", la unidad de intensidad luminosa, era verdaderamente una vela de un tamaño y encendido determinados. La cantidad de luz proyectada por una "candela" patrón sobre un área de un metro cuadrado de una esfera con un metro de radio, era, naturalmente, una "candela metro" o "lux", la unidad de iluminación. En el sistema inglés, esta unidad es la "candela pie" ("fotocandle"). Una "candela pie" equivale a 10.7 luxes.

Al medida que el tamaño de la esfera aumenta, forzosamente los mismos rayos divergentes cubren un área más amplia, pero con un nivel de iluminación menor. Según la *fig. 4.1* puede expresarse matemáticamente por la fórmula  $E = I/D^2$  en donde  $E$ , es la iluminación en "luxes";  $I$ , es la intensidad luminosa en "candelas" y  $D$ , es la distancia en metros de la fuente luminosa a la superficie.

En la fórmula básica de la superficie receptora es normal al rayo de luz. Si esta superficie está inclinada en "X" grados de la normal, entonces:

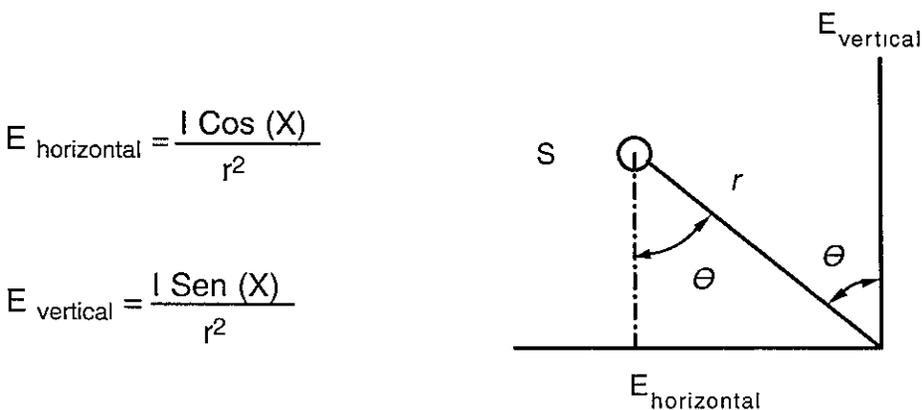
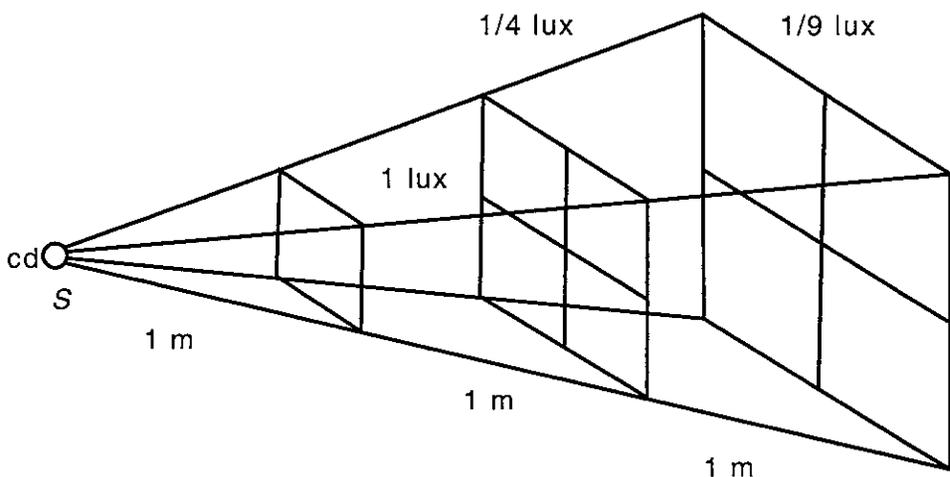


FIG. 4.1

Existen otras dos unidades: “Lumen y el Lambert”. El lumen es la cantidad total de luz emitida por una vela, un foco eléctrico, un luminario, un panel luminoso, etc. Así un foco incandescente de 100 watts emite aproximadamente 1,600 lúmenes”, y una lámpara fluorescente de 40 watts aproximadamente 3,100 lúmenes” bajo condiciones normales de operación.

El concepto de “lumen” permite calcular la iluminación promedio proveniente de múltiples fuente luminosas, aumentada por la reflexión de los alrededores: muros, pisos y techos. Esto en virtud de:

$$E \text{ (iluminación en luxes)} = \frac{\text{Lúmenes generados X C.U.}}{\text{área considerada en m}^2}$$

En esta fórmula C.U. es un coeficiente combinado relacionado en el tamaño del cuarto. Su configuración, reflectancias y la eficiencia del luminario. Los fabricantes de iluminación publican tablas con los valores de C.U.

Se ve que un "lux" no es sólo la iluminación producida por una "candela" a un metro de distancia, sino también es un "lumen" incidente sobre una superficie de un metro cuadrado, o sea un lumen por metro cuadrado.

Otra unidad necesaria es la que define la brillantez de una superficie u objeto luminoso. Desde un punto de vista visual es la más importante de todas las unidades, porque la visión es esencialmente una respuesta a las diferencias en brillantez en el campo de visión. La acción de leer, por ejemplo, depende de poder distinguir la brillantez entre la tinta y el papel en el que está escrito.

La brillantez es la luz emitida en determinada dirección por el objeto que se ve. Depende de la luz que recibe este objeto y de su poder de reflexión. Se puede expresar en candelas por centímetro cuadrado o en metro-lambert (en el sistema inglés pie-lambert).

Conociendo ya la unidad lumen podemos servirnos de ella para establecer un método de medición para la brillantez.

Así pues, si 1,000 luxes (1,000 lúmenes por metro cuadrado) representan la iluminación sobre un escritorio y éste tiene una reflectancia de 60%, su brillantez es de 600 metros lambert, o sea que se reflejan a 600/10.7 ó sean 56 pie lamberts (lúmenes por pie cuadrado). Por lo tanto tenemos: B (en metro lambert) = E (luxes) X R (factor de reflexión).

### **Energía luminosa o cantidad de luz Q.**

La energía luminosa es la parte de la energía radiante que emite un cuerpo y que es capaz de sensibilizar al ojo. Matemáticamente se define con la ecuación:

$$Q = \phi dt$$

Que es la integral del flujo luminoso con respecto al tiempo; sus unidades son:

lumen-hora, es decir, lm-h

lumen-sengudo, es decir, lm-s

## Flujo luminoso $\phi$ .

Es la cantidad derivada del flujo radiante mediante una evaluación de radiación según su efecto sobre un receptor selectivo, cuya sensibilidad espectral está definida por las eficiencias luminosas espectrales normalizadas. Su unidad es el lumen (lm), siendo el flujo radiante ( $\phi_r$ ) la potencia emitida, transferida o recibida en forma de radiación, la unidad de este flujo es el watt.

El flujo luminoso depende del ángulo sólido del cono de radiación, el cual es un conjunto de líneas que a partir de un vértice subtienden un ángulo sólido en dicho punto. Los ángulos sólidos se miden en estereorradianes. Un estereorradián es el ángulo subtendido por una sección de superficie esférica de área =  $R^2$  y de radio =  $R$  que es lo que constituye un ángulo sólido unitario.

En general, el número de estereorradianes de un ángulo sólido  $w$  estará dado por el cociente del área subtendida por el ángulo y el área de un estereorradián, es decir:

$$W = A \frac{1}{R^2}$$

Si el área es unitaria, el ángulo tendrá un estereorradián y la esfera completa tendrá:

$$W = \frac{4\pi R^2}{R^2} \quad \text{por tanto nos queda } 4\pi \text{ estereorradianes}$$

## Rendimiento luminoso:

El rendimiento luminoso es la razón del flujo luminoso al flujo radiante y se mide en lúmenes/watt; demuestra una propiedad de cierto flujo radiante, pero el mismo término se aplica también a una fuente luminosa como una lámpara incandescente o fluorescente, sólo que se le llama rendimiento luminoso total y se define como la razón del flujo luminoso que sale de la fuente a la potencia eléctrica total absorbida por ella. Por ejemplo, el rendimiento de un foco incandescente de 40 watts es de 12 lúmenes/watt y el de una lámpara fluorescente de 40 watts es de 58 lúmenes/watt. A continuación mencionamos los rendimientos luminosos de algunas fuentes típicas. (Véase tabla 4.2)

## Illuminación (E) o iluminancia: Lux (lx).

Cuando un flujo luminoso incide sobre una superficie se dice que la superficie está iluminada. Se define a la iluminación (E) como la variación del flujo con respecto del área.

Fuente luminosa	Eficiencia en lumen/watt
Vapor de mercurio y haluros metálicos	7.6
Vela de cebo de cera	0.1
Lámpara de aceite	0.3
Lámpara incandescente original	1.5
Sodio alta presión 400 watts	120.0
Lámpara de filamento de hilo de seda con carbón	4.0
Sodio baja presión 180 watts	183.0
Lámpara de filamento de tungsteno arrollado en doble espira	14.7
Lámpara fluorescente de 40 watts	58.0
Lámpara fluorescente de alta emisión	72.0
Lámpara incandescente de yodo-cuarzo	122.0
Lámparas de vapor de mercurio de 400 watts	80.0

Tabla 4.2

Es decir, la iluminación es el flujo incidente por unidad de área. Sus unidades son el lumen/m<sup>2</sup> o lux.

$$E = \frac{d\phi}{dA}, \text{ (lumen/m}^2\text{) o lux}$$

Si la iluminación es uniforme en todos los puntos de una superficie de área finita A y si  $\phi$  es el flujo total y constante que incide en ella, entonces:

$$E = \frac{\phi}{A}$$

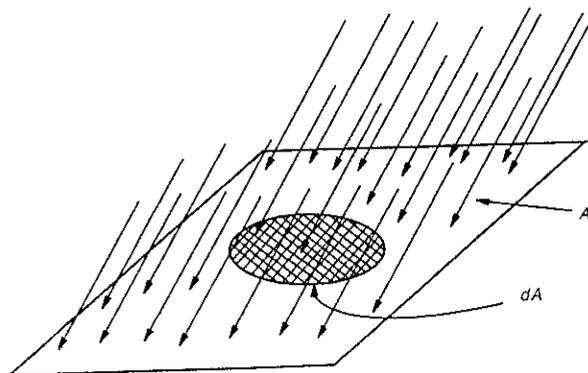


FIG. 4.2

# CAPÍTULO

## 5

**Generación de la luz artificial.**

**Clasificación de las fuentes de luz artificial.**

Desde el punto de vista de la ingeniería existen dos formas principales de producir luz artificial por medios eléctricos: por incandescencia y por descarga eléctrica o arco voltaico existiendo varias dentro de estas categorías.

• Lámparas incandescentes.

- a) Con argón o nitrógeno.
- b) Con gas halógeno o de cuarzo.

• Lámparas de descarga o arco voltaico.

- a) Descarga en aire o arco de carbón.
- b) Descarga en gas a baja presión.

- Lámparas fluorescentes.
- Lámparas de sodio de baja presión.

c) Descarga en gas a alta presión.

- Lámparas de vapor de mercurio.
- Lámparas de haluros metálicos.
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión.

El primer método consiste en la incandescencia producida por el paso de una corriente de electrones por un hilo conductor, que generalmente es de tungsteno, que se encuentra dentro del bulbo con un gas inerte como el argón para evitar la evaporación del filamento.

La energía de la radiación electromagnética emitida por unidades de tiempo dependen de la temperatura y naturaleza de la superficie del material luminoso. El flujo luminoso emitido por las lámparas incandescentes es una mezcla de radiaciones de diferente longitud de onda.

La temperatura de 800°C un cuerpo emite bastante energía radiante, visible para ser luminoso por sí mismo y parece incandescente, no obstante, la mayor parte de la energía emitida se transporta por las ondas infrarrojas. A 300°C, que es casi la temperatura del filamento de un foco incandescente, la energía radiante contiene bastantes longitudes de onda visibles de las comprendidas entre 400 nm y 700 nm, de modo que el cuerpo parece rojo-blanco y los objetos iluminados reflejan bien los colores rojos y amarillos, mientras que las lámparas fluorescentes resaltan más los colores azules y violáceos.

El segundo método consiste en la iluminación producida por la descarga de electrones en un arco entre dos electrodos, ya sea directamente o a través de una pantalla fosforescente.

Los tipos principales de producir luz artificial en forma de arco eléctrico de descarga son:

- Fluorescente
- Vapor de mercurio
- Vapor de sodio a baja presión
- Vapor de sodio a alta presión
- Haluros metálicos
- Arco de electrodos de carbón.

## **Fuentes luminosas.**

Se pueden considerar, con ciertas reservas, como fuentes de luz puntuales a la mayoría de las luminarias que se utilizan actualmente para alumbrado. A continuación describimos la constitución y el funcionamiento de las diferentes luminarias que se fabrican, así como sus ventajas, desventajas y otras características técnicas.

## **Lámparas incandescentes.**

El filamento de un foco incandescente es un fino hilo de tungsteno arrollado en forma de bobina, se encuentra en el interior de un bulbo de cristal con un gas inerte en su interior (argón o xenón) para evitar su desintegración por oxidación. El rendimiento de estas lámparas es bajo, pues el 100% de la potencia absorbida por el filamento sólo del 10 al 12% son radiaciones visibles y el resto son radiaciones infrarrojas que se manifiestan en forma de calor.

Las principales desventajas del foco incandescente son:

- Corta vida (750 a 1 000 horas).
- Baja eficiencia (alrededor de 19 lúmenes por watt).
- Gran disipación de calor.

Las principales ventajas del foco incandescente que lo hacen todavía utilizable en áreas pequeñas y de bajos niveles de iluminación son:

- Tamaño compacto.
- Bajo costo inicial flujo luminoso inalterable por la temperatura circundante.
- No utiliza accesorios de arranque o reactores.
- Luz cálida de la lámpara que resalta todos los colores, pero más los rojos anaranjados y amarillos, dando a las cosas una apariencia familiar y acogedora.
- Flujo luminoso controlable en una gran variedad de distribuciones luminosas.
- Operación en corriente continua y corriente alterna.

Las lámparas incandescentes son de diferentes formas, tamaños y tipos dependiendo del uso que se les dé. De manera general se consideran dos grandes grupos:

- a) Lámparas de uso general. Utilizadas para proporcionar niveles luminosos para una tarea visual determinada, en servicio doméstico o alumbrado general.
- b) Lámparas de usos especiales. Empleadas para proporcionar efectos especiales, por ejemplo, en alumbrado decorativo, señalización, fotografía, aparatos de proyección, etc.

Las lámparas de uso general y de servicio doméstico utilizan un bulbo tipo "A" para potencias de 200 watts o menores y de tipo cuello recto para potencias mayores utilizadas en otros sitios.

Para lámparas de mayor potencia (de 300 a 5 000 watts) se utilizan bulbos esmerilados o transparentes. Las lámparas de bulbo, proyectoras y reflectoras, forman en mismo bulbo la fuente de la luz y en reflector parabólico de alta eficiencia. El reflector consiste en un baño de aluminio o plata vaporizados y aplicados en la parte interior del bulbo. Los bulbos de estas lámparas se constituyen también de cristal refractario para usarse en la temperatura, pero sólo para lámparas menores o de 150 watts (véase fig. 5.1).

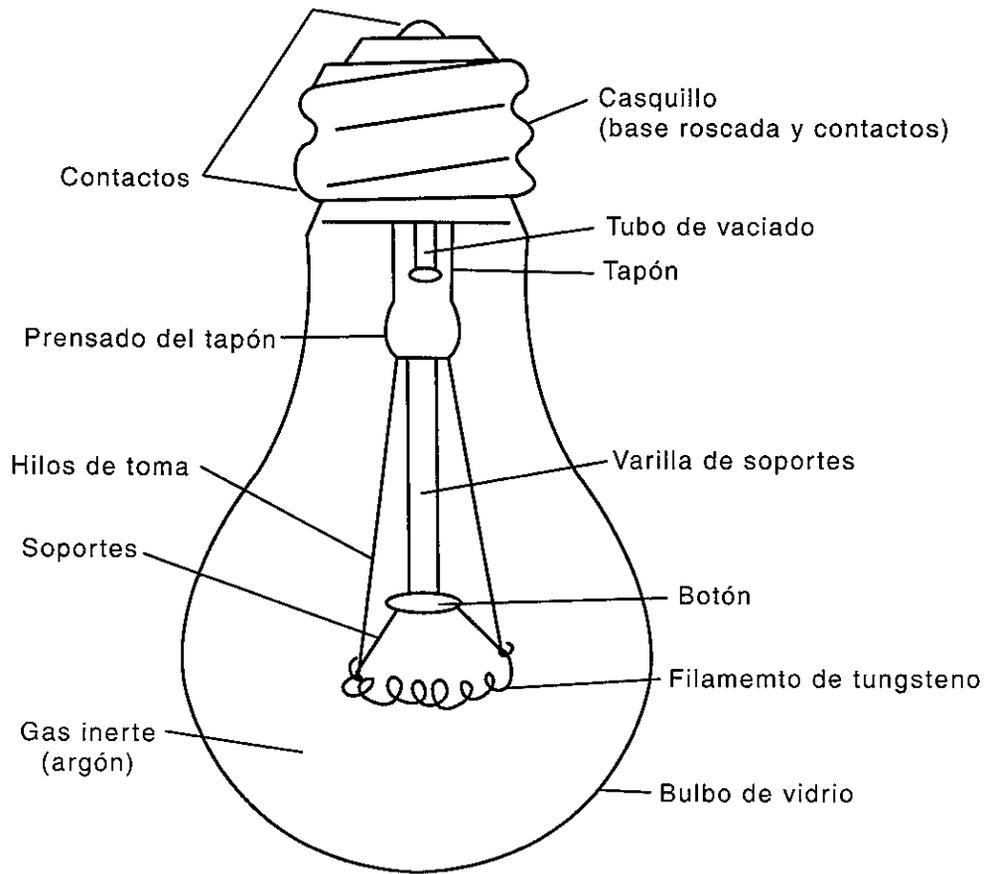


FIG. 5.1 foco tradicional.

## Lámparas incandescentes halógenas.

Otro tipo de lámparas incandescentes para uso general y especial son las halógenas o de yodo-cuarzo. En estas se emplea un bulbo de cuarzo y yodo en su interior con el fin de reproducir un ciclo químico con el filamento de tungsteno sublimado para mantener el bulbo limpio. El bulbo de cuarzo permite una constitución compacta, resistente a los cambios bruscos de temperatura, alta eficiencia y un mantenimiento casi nulo durante su vida. Las lámparas de yodo-cuarzo se constituyen en forma tubular y en diferentes longitudes, se utilizan en aviación, fotocopiadoras e iluminación con proyectores. Su eficiencia luminosa es de 122 lúmenes por watt.

Las lámparas de usos especiales son de diversos tamaños y forma dependiendo del uso al que estén destinadas. Por ejemplo, en las lámparas decorativas se utilizan bulbos coloreados aplicando una capa pigmentada al interior del bulbo transparente o fundiendo un esmalte en la superficie exterior. También se usa el revestimiento interior de sílice ligeramente coloreado en rosa para proporcionar efectos cálidos.

Existe otro tipo de bulbo con cristal de color natural que se obtiene al añadir productos químicos a los ingredientes de vidrio. Por ejemplo, las lámparas de luz de día o azul cielo que reducen la preponderancia del color rojo y amarillo de la luz de las lámparas incandescentes. En estas lámparas se absorbe un 35% de la luz generada, su costo es elevado por lo que para fines fastuosos y decorativos se prefieren las de bulbo recubierto.

Existe en el mercado un tipo de lámparas tubular en la que el filamento está a lo largo del tubo, son menos eficientes y de mayor potencia. Algunas tienen la mitad de su superficie cubierta con un baño de una sustancia reflectora y por su disposición lineal se usan en el alumbrado de escaparates.

### **Lámparas infrarrojas.**

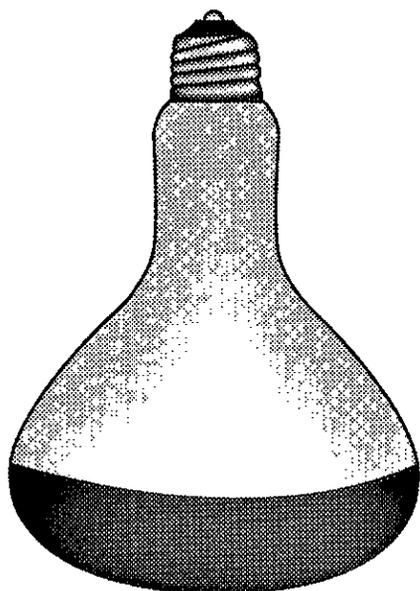
Son fuentes de energía radiante que es emitido en el rango de los 760 nm a los 1000 nm, es decir, en la zona infrarroja del espectro electromagnético. Estas lámparas son similares a las incandescentes de uso general sólo que su filamento trabaja a bajas temperaturas, lo cual trae como consecuencias una baja emisión de luminosidad (8 lúmenes/watt) pero en cambio una gran duración ( más de 5 000 horas). El tipo de bulbo de estas lámparas es el "R" con reflector interno, bulbo transparente o bulbo tubular de cuarzo (véase la *fig 5.2*).

#### *Aplicaciones:*

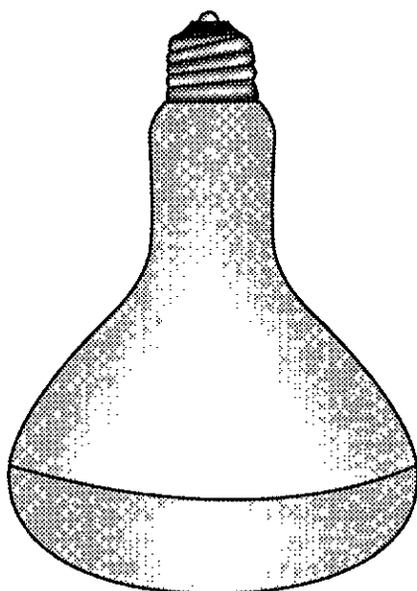
- Terapéuticas: Reumatismo, dolores musculares, lumbago, resfriados, contusiones, entumecimiento, luxaciones y masajes.
- Industriales: Hornos industriales, secado de tintas de impresiones gráficas y textiles, secado de películas y negativos.
- Pecuarias: Cría de aves, lechones, becerros y en tiendas de mascotas.

#### **Casquillos:**

Los casquillos tienen por objeto conectar y fijar la lámpara con el "socket", su forma y tamaño están en función del uso y potencia de la lámpara. Así, en



**250 W**



**250 W  
375 W**

**R127/R40**

**FIG. 5.2** foco infrarrojo.

Las lámparas incandescentes de alumbrado general mayores de 300 watts se utilizan los casquillos de tipo mogul de rosca. Los focos de menor potencia usan casquillos de rosca media, en tanto que los utilizados en señalización, canales luminosos y decoración emplean casquillos de rosca de candelabro o intermedia. Cuando se requiere una posición determinada del filamento respecto de una lente o reflector, como en fanales de autos, proyectores o instrumentos de óptica, se utilizan casquillos de bayoneta o biclavillos.

### **Filamentos:**

Los filamentos han evolucionado en gran medida desde que Tomás Alva Edison inició sus primeros experimentos en 1879. Este genial físico probablemente utilizó como filamentos conductores metálicos rectos de gran resistencia para lograr la incandescencia. Posteriormente, en 1905 introdujo el hilo de seda recubierto con polvo de carbono, el cual proporcionaba gran resistencia y elevado punto de fusión (3 700°C) y por consiguiente, una lenta oxidación dentro de la ampolla de cristal al vacío. Tiempo después se

se reemplazó el filamento de carbono por el de tungsteno, metal de alta resistividad (5.5 ohms-cm), elevado punto de fusión y otras características mecánicas ventajosas.

Al introducir un gas inerte dentro del bulbo, la presión del gas ejercida sobre el filamento retardada considerablemente la evaporación del tungsteno, lo que hizo posible el diseño de lámparas de mayor temperatura de filamento y por lo tanto de mayor potencia (ya que  $P = I^2R$ ). Posteriormente, se descubre que arrollando al filamento se obtenía mayor temperatura y mayor resistencia mecánica. En 1968 se inventa el filamento arrollado en doble espiral, lo que aumenta la eficiencia de las lámparas incandescentes a 15 lúmenes/watt. Hoy en día se acepta que el desarrollo de las lámparas incandescentes ha llegado a su máximo (véase fig. 5.3 – a y 5.3 – b).

Para determinar las dimensiones del filamento se utilizan las siguientes fórmulas:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$P = VI = I^2 R$$

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

En donde :

- V Es la tensión en volts.
- I La intensidad de la corriente en amperes.
- P La potencia en watts.
- R La resistencia en ohms.
- $\rho$  La resistencia del material.
- L La longitud del filamento en cm.
- A La sección transversal del filamento en cm<sup>2</sup>.

### **Lámparas fluorescentes.**

Por su gran eficiencia y larga vida, el alumbrado fluorescente ha llegado a ser de uso normal en la iluminación de grandes áreas a bajas temperaturas de montaje. Se utiliza en escuelas, edificios públicos y oficinas.

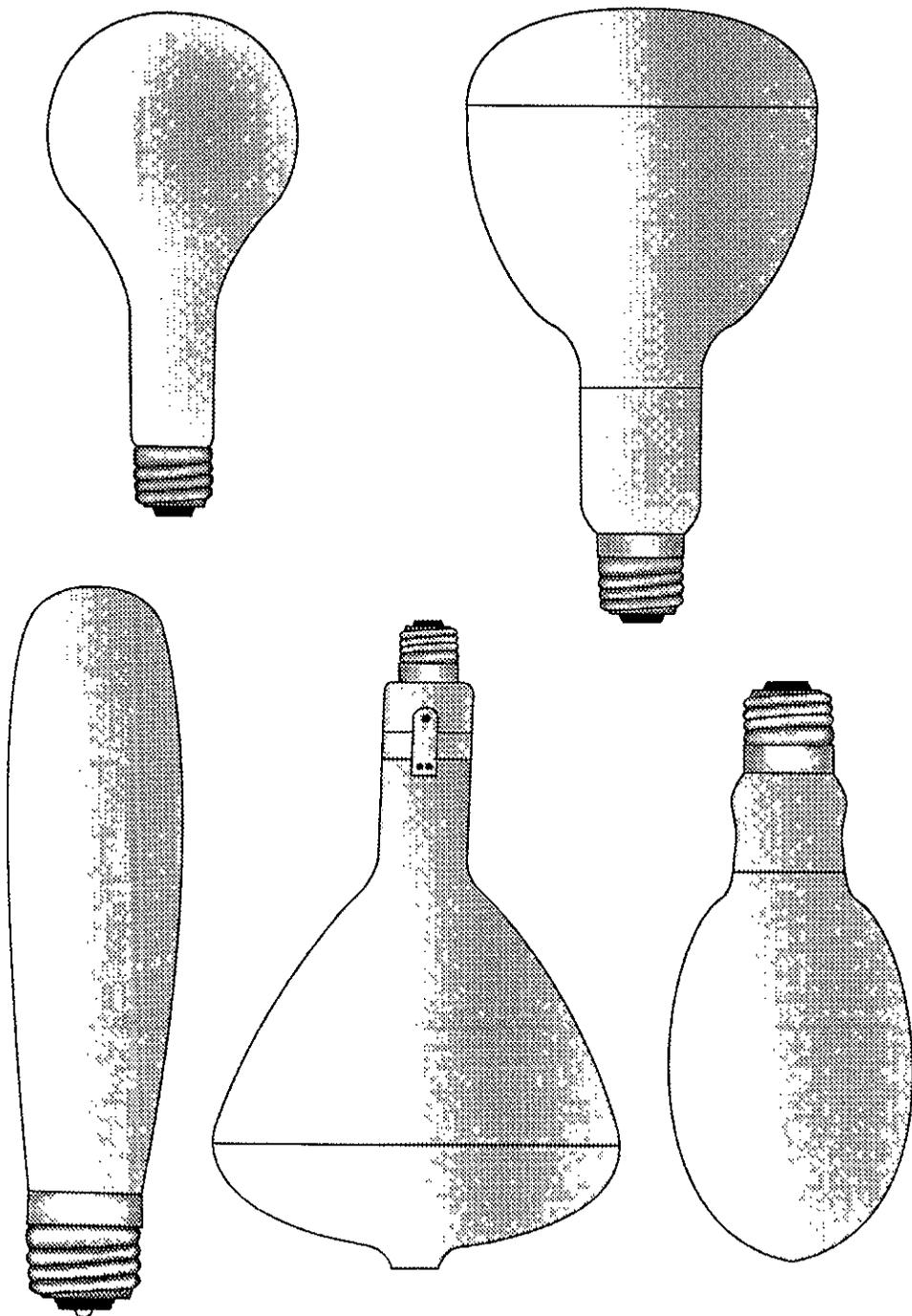


FIG. 5.3 – a tipos de bulbos

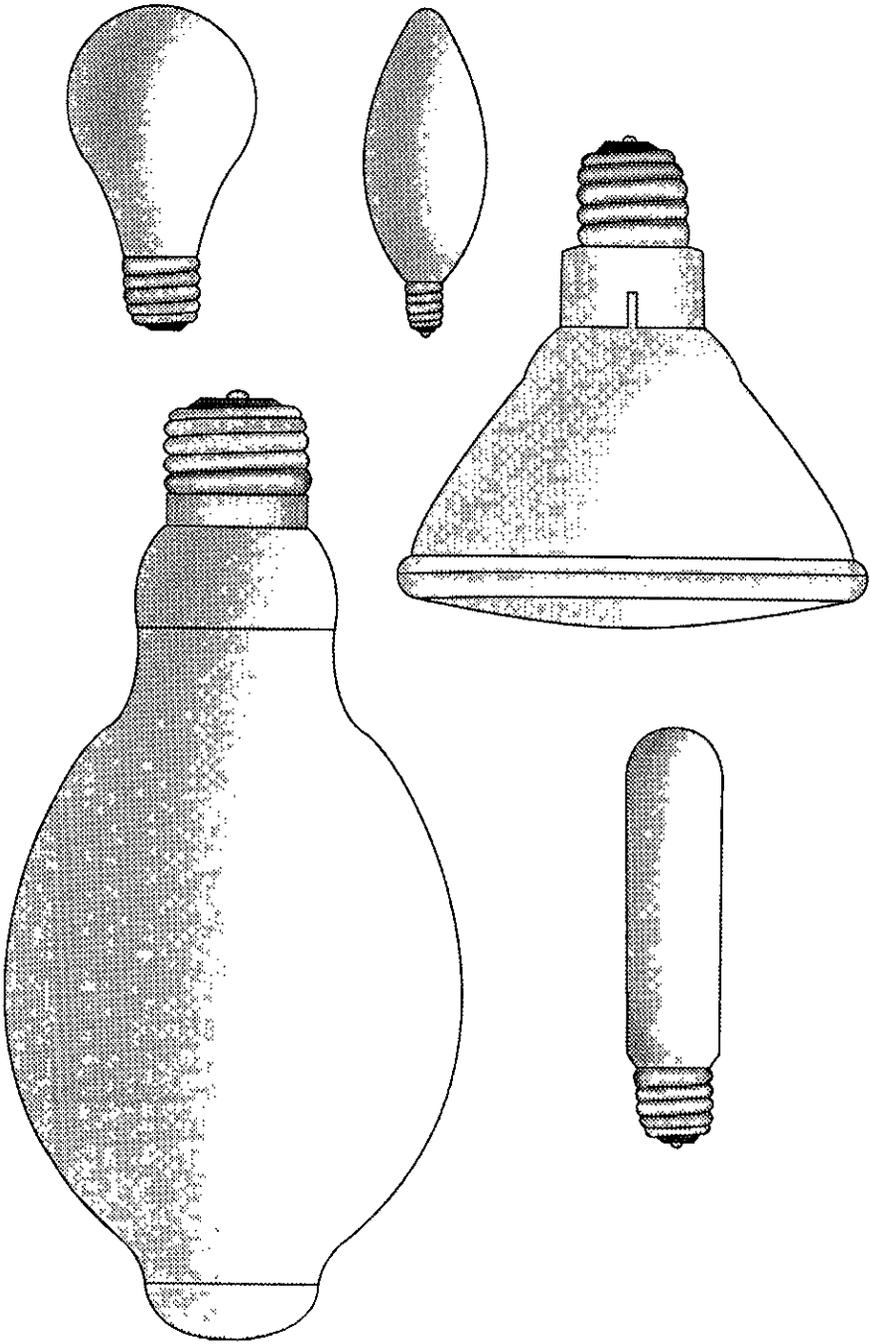


FIG. 5.3 – b tipos de bulbos

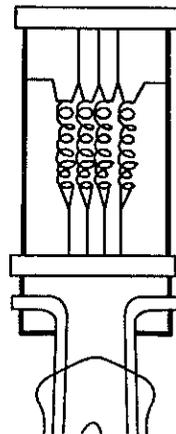
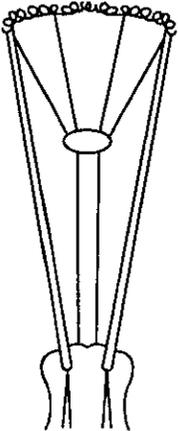
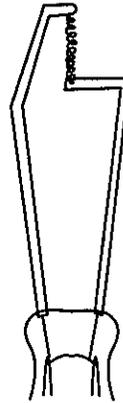
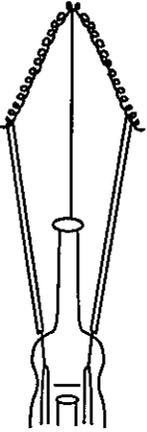
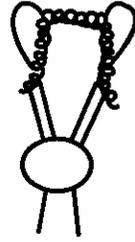


FIG. 5 tipos de filamentos

Las lámparas fluorescentes son del tipo de fuente de la luz de descarga eléctrica, en éstas la luz se produce por la fluorescencia del fósforo excitado por la energía de los rayos ultravioleta, energía que proviene del choque de las descargas de electrones con los átomos de mercurio vaporizado.

Las lámparas de este tipo están formadas por un tubo de vidrio con el electrodo de tungsteno en cada extremo, además llevan en su interior una pequeña gotita de mercurio y un gas inerte a baja presión, o una mezcla de gases para el encendido. Las paredes interiores del tubo están con una capa de fósforo de polvo.

### **Funcionamiento:**

Cuando se aplica una diferencia de potencial apropiada a los bornes de los electrodos, tiene lugar una descarga de electrones que atraviesa la mezcla de "resistencia negativa" argón-mercurio, que choca con los átomos de mercurio. Estos choques emiten sólo una pequeña cantidad de radiaciones visibles, no obstante, hay una gran emisión de radiaciones visibles ultravioleta de 2 530 Å de longitud de onda. Estos invisibles y nocivos rayos, son convertidos en luz visible e inofensiva al pasar a través de los polvos de fósforo fluorescentes colocados en la pared interna del tubo.

En una lámpara fluorescente aproximadamente el 90% de la luz se produce por la fluorescencia y el resto por las radiaciones del arco de mercurio.

### *Ventajas y desventajas.*

Las desventajas de este tipo de lámparas son:

- Su gran tamaño de relación con su potencia (una lámpara de 1.22 m consume 40 watts).
- La necesidad de un reactor o balastro que le proporcione una corriente y voltaje adecuado y una reducción del flujo a bajas temperaturas ambiente.

Sus ventajas son:

- Alta eficiencia luminosa (más de 67 lúmenes/watt).
- Realce de los colores azules, violeta, verdes y opacamiento del rojo y anaranjado, lo cual puede ser también una desventaja.
- Gran duración (12 000 horas en comparación con las 750-1 000 horas de las lámparas incandescentes).

## *Tipos:*

Las lámparas fluorescentes pueden ser clasificadas en dos grupos:

- a) Lámparas que se utilizan arrancador para su encendido, llamadas también lámparas precalentadas o de encendido con interruptor.
- b) Lámparas sin dispositivo de encendido. En este tipo de lámparas, la balastra o reactor es el único equipo auxiliar utilizado para proporcionar la tensión y la corriente adecuada para encender la lámpara. Se subdividen a su vez en los siguientes tipos:

- Lámparas “Slim Line”.
- Lámparas de encendido instantáneo.
- Lámparas de encendido rápido
- Lámparas de precalentamiento de encendido rápido.
- Lámparas de alta emisión.
- Lámparas “Power Groove”.
- Lámparas “Circ Line” (circulares).

El espectro radiante de las lámparas fluorescentes pueden ser modificados al cambiar la mezcla de fósforo usados en la capa interior del tubo. Hay varios tipos de lámparas fluorescentes de color blanco en el mercado:

- Blanco frío.
- Blanco cálido.
- Blanco.
- Blanco frío de lujo.
- Blanco cálido de lujo.
- Luz de día.

Al seleccionar el color de una lámpara fluorescente “TL” para cierta aplicación, se deben considerar las tres características siguientes: temperatura de color, lujo luminoso y rendimiento de color.

## **Temperatura de color:**

La elección de la temperatura de color más conveniente se basa en dos aspectos: primero, las lámparas van a utilizarse en combinación con luz solar o no y segundo, que clase de “ambiente” se desea crear en el espacio a iluminar.

La presencia simultánea de luz solar es un factor crítico en los lugares donde la luz artificial se utiliza como suplemento de ella. Si, por ejemplo, se emplea una lámpara incandescente —que no armoniza con la luz del día— aparece una desagradable y falsa sensación de luz. Esto debe evitarse armonizando la luz artificial con la luz solar.

“Ambiente” es un factor subjetivo íntimamente relacionado con la creación de condiciones confortables de vida y trabajo. Un apropiado color de luz fluorescente puede resaltar el mobiliario de una habitación y acentuar el ambiente deseado, ya sea de confortable, acogedor, profesional, impersonal o atractivo.

Philips ha desarrollado una gama de 9 colores para lámparas fluorescentes “TL”, con requerimientos específicos para diversas aplicaciones. A continuación se presentan las características, eficiencia, rendimiento de color, temperatura de color y aplicaciones de las lámparas.

### **Color 29/Blanco cálido.**

- Temperatura de color: 3 000 °K.
- Índice de rendimiento de color: 52.
- Rendimiento luminoso: 77 lm/W.

Debido a su elevado flujo luminoso, el color 29 es particularmente adecuado para instalaciones de alumbramiento exterior. Su relativamente bajo índice de rendimiento de color no es una desventaja en este caso ya que en muy pocas ocasiones se requiere un rendimiento de color considerable en alumbrado exterior. Su color cálido tiene una gran acogida en los países del norte, del mismo modo que en los países cálidos es más apropiado el color 33 (blanco).

### **Color 32/Blanco cálido de lujo.**

- Temperatura de color: 3000 °K.
- Índice de rendimiento de color: 87.
- Rendimiento luminoso: 49 lm/W.

Sus principales características son su color cálido, sus propiedades de buen rendimiento de color y su relativamente elevado flujo luminoso. Son muy indicadas para lugares donde se desee crear una atmósfera cálida y acogedora, combinada con un elevado nivel de iluminancia y un buen rendimiento de color.

## **Color 27/Confort de lujo.**

- Temperatura de color: 2 700 °K.
- Índice de rendimiento de color: 95.
- Rendimiento luminoso: 44 lm/W.

Este color de luz muy cálido tiene, prácticamente, la misma tonalidad y rendimiento de color de las lámparas incandescentes. Es la lámpara por excelencia para interiores donde se desee crear una atmósfera íntima, cálida y acogedora. El color 27 está esta ganando terreno en aquellos sectores que eran dominio exclusivo de las lámparas incandescentes. Su aparición ha eliminado la falsa creencia que las lámparas fluorescentes eran exclusivamente una fuente de luz industrial.

## **Color 33/Blanco de lujo.**

- Temperatura de color: 4 200 °K.
- Índice de rendimiento de color: 66.
- Rendimiento luminoso: 80 lm/W.

Debido a su muy alto rendimiento luminoso y relativamente bajo índice de rendimiento de color este color está especialmente indicado para uso en fábricas, almacenes, etc., donde no sea preciso un elevado rendimiento de color y donde la luz deba armonizar con la solar. Sin embargo, la importancia de un buen rendimiento de color se ha visto incrementada en algunos sectores de la industria; en tales casos pueden utilizarse lámparas con un índice más elevado de rendimiento de color (color 34/55), consiguiendo un buen efecto.

## **Color 34/Blanco de lujo.**

- Temperatura de color: 3 800 °K.
- Índice de rendimiento de color: 87.
- Rendimiento luminoso: 51 lm/W.

Como estas lámparas tiene buenas propiedades de rendimiento de color y elevado flujo luminoso y su luz armoniza con la luz del sol, se debe instalar en lugares donde se necesita no sólo un alto nivel de luminancia y buen rendimiento de color, sino también una atmósfera fresca y clara. Especialmente el color de los materiales naturales, como madera, textiles y piel humana, se reproducen en una forma muy natural bajo la luz de estas lámparas.

### **Color 37/Blanco especial de lujo.**

- Temperatura de color: 4 100 °K.
- Índice de rendimiento de color: 93.
- Rendimiento luminoso: 43 lm/W.

Un color de luz que produce un rendimiento de color perfecto, un factor importante es el de la ausencia casi total de radiación ultravioleta de modo que el “factor nocivo”( que puede por ejemplo causar decoloración de pigmentos) se reduce para ser prácticamente nulo. Por ello el color 37 es ideal para Museos, investigaciones y exámenes médicos.

### **Color 54/Luz de día, fría.**

- Temperatura de color: 6 500 °K.
- Índice de rendimiento de color: 77.
- Rendimiento luminoso: 65 lm/W

Sus características más importantes son: una impresión de luz del día frío, conjuntamente con un elevado flujo luminoso y un índice relativamente bajo de rendimiento de color. Puede, por lo tanto, igual que el color 33, usarse en gran número de fábricas, almacenes, etc., donde el rendimiento de color es de poca importancia, pero donde la luz debe armonizar con la luz del día y crear una impresión de luz solar fría, especialmente en lugares cálidos.

En aquellos sectores de la industria donde se considera de importancia un buen rendimiento de color se recomiendan lámparas con un índice elevado de rendimiento de color (color 55).

### **Color 55/Luz de día.**

- Temperatura de color: 6 500 °K.
- Índice de rendimiento de color: 92.
- Rendimiento luminoso: 51 lm/W.

Tiene un gran parecido a la luz solar. Debido excelentes propiedades de color y relativamente elevado flujo luminoso pueden realizar una excelente función en instalaciones donde se requieren estas cualidades, junto con una atmósfera fría de luz solar.

El color 55 se puede utilizar con buenos resultados, para comprobación e

igualación de colores, como sustituto de la luz solar pero sin sufrir la desventaja de las constantes variaciones de la luz solar.

### **Color 57/Luz de día especial.**

- Temperatura de color: 7 400 °K.
- Índice de rendimiento de color: 92.
- Rendimiento luminoso: 44 lm/W.

Esta lámpara es una fuente de luz de referencia normalizada internacionalmente, creada para necesidades de comparación de colores. El cálculo de alta presión de la composición de polvo fluorescente se ha realizado con la ayuda de computadores electrónicos.

Debido a su relativamente bajo rendimiento luminoso y a la necesidad para análisis de colores muy críticos de disponer de niveles de iluminancia, como mínimo de 1 000 lux (para comparar manchas de colores suaves), hasta 2000 lux (para comprobar colores oscuros), esta lámpara es, normalmente, instalada en capas especiales, habitaciones o como alumbrado directo detrás de pantallas de sobremesa para comparaciones de colores.

### **Lámparas de vapor de mercurio.**

En este tipo de lámparas la luz se genera directamente por el arco eléctrico que se forma en los electrodos. Tienen una emisión de luz característica azul verde, aunque se ha logrado que emitan radiaciones de los demás colores en forma limitada, por medio de polvos fluorescentes en la superficie interior del bulbo exterior de vidrio.

Por su gran luminosidad, que puede ser concentrada y su gran eficiencia (más de 80 lúmenes por watt) el alumbrado mercurial se puede usar para iluminar grandes áreas altas de montaje. Por eso son recomendables en gimnasios, aviones industriales y alumbrado público (avenidas, calles, parques, estacionamientos, etc.).

#### *Funcionamiento.*

La aplicación de una diferencia de potencial eléctrico entre electrodos colocados en el interior de un bulbo de cuarzo, permite la ionización de la mezcla de argón-vapor de mercurio que se encuentra también dentro de él. Los electrones que forman el chorro de corriente o arco de descarga se

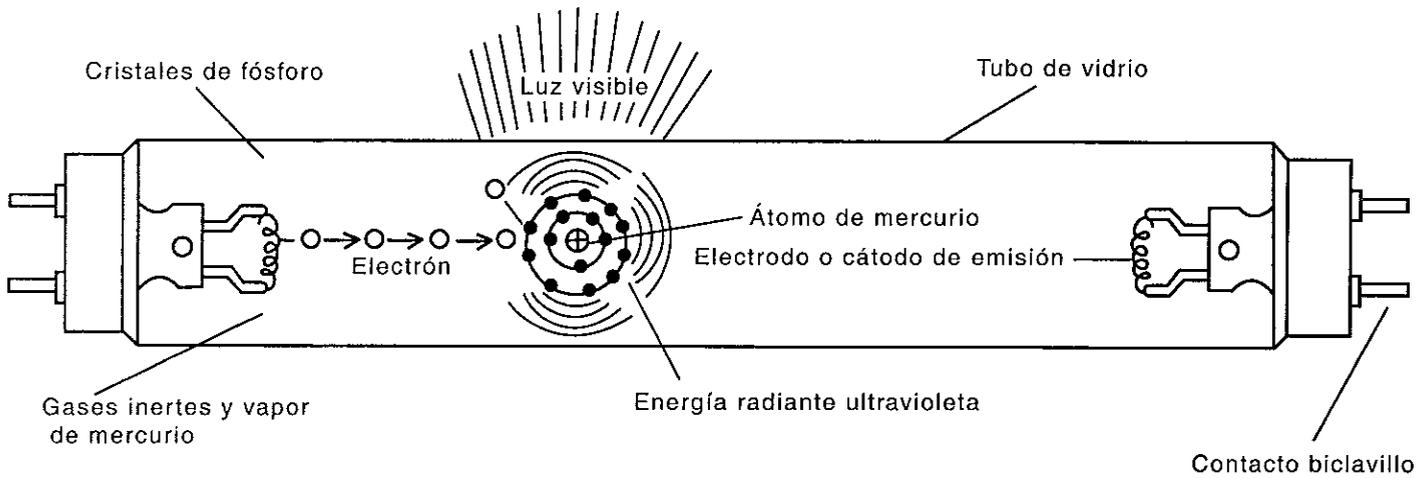


FIG. 5.4 Esquema de la lámpara fluorescente.

celeran a enormes velocidades; al chocar con los átomos del gas o del vapor, alternan momentáneamente la estructura atómica de éstos, generándose la luz por la energía desprendida cuando los átomos alterados vuelven a su estado normal. Debido a la ionización del gas, las lámparas de descarga eléctrica tienen una resistencia de característica negativa, por lo cual requiere un transformador de alta reactancia para limitar la corriente. El arco inicial se establece a través del argón ionizado; posteriormente el calor generado comienza a vaporizar el mercurio, que aumenta gradualmente la conductividad de la mezcla.

Generalmente todas las lámparas de vapor de mercurio se construyen de dos bulbos: uno interior de cuarzo en el cual se produce el arco eléctrico y otro exterior de cristal que protege el bulbo de cuarzo contra cambios de temperatura y actúa como filtro para eliminar algunas longitudes de onda de la radiación del arco. El espacio entre los dos bulbos se llena con gas inerte.

Además de los electrodos principales hay en las lámparas de vapor de Hg un electrodo de encendido. En él se establece primero un campo eléctrico, provocando una emisión termoiónica local que produce una descarga y la ionización de gas entre dicho electrodo y electrodo principalmente adyacente. A continuación salta el arco entre los electrodos principales y el mercurio se vaporiza gradualmente aumentando la conductividad del medio. En el instante en el que brinca el arco, la corriente de la lámpara es alta y la tensión baja. Durante la fase de calentamiento la corriente decrece y el voltaje sube hasta el que el arco alcanza su estabilidad de relación con la presión de vapor.

#### *Ventajas y desventajas.*

Las desventajas de las lámparas de vapor de mercurio son:

- Necesita un reactor o balastro.
- Su largo tiempo de encendido, ya que después de aplicado el voltaje son necesarios varios minutos para obtener su máxima eficiencia luminosa.
- Si se ha apagado, es necesario un enfriamiento de 3 a 5 minutos antes de tener nuevamente su total emisión, por ello sólo se utiliza en lugares donde las lámparas están en constante uso durante un tiempo determinado. Por ejemplo en fábricas o al amanecer en el alumbrado público.

Las ventajas son:

- Larga vida y baja depreciación luminosa. Más de 16 000 horas de duración.
- Flujo luminoso concentrado que facilita un control preciso de los rayos luminosos.
- Alta eficiencia luminosa (más de 80 lúmenes por watt).
- Flujo luminoso inalterable por los cambios de temperatura ambiente.
- Construcción más fuerte que las lámparas incandescentes y fluorescentes, no le afectan las variaciones o el trabajo rudo.

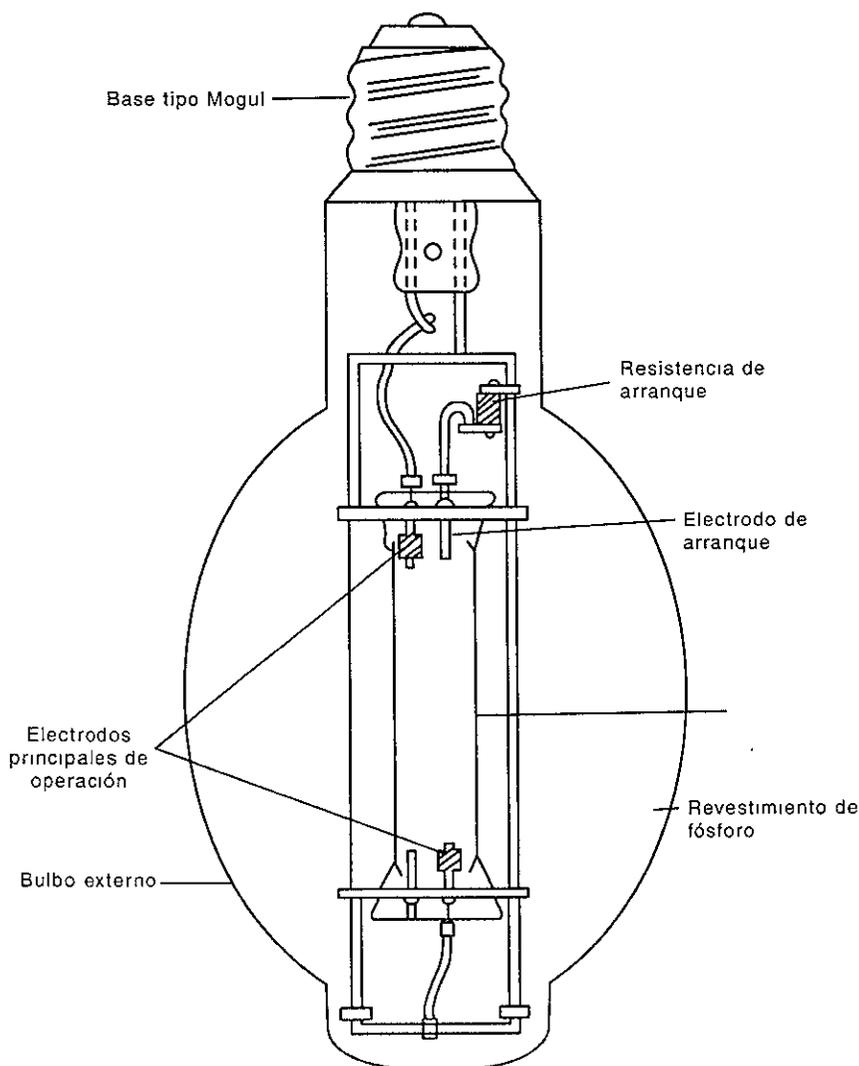


FIG.5.5 Esquema de la lámpara de vapor de mercurio

## **Lámparas de Haluros metálicos.**

En las lámparas de haluros metálicos o metalarc la descarga eléctrica también se realiza también dentro de un tubo de vidrio lleno de gas. Dicho tubo tiene la misma construcción y funciona igual que en las lámparas de vapor de mercurio. Además del mercurio, kriptón, argón y neón, las lámparas de haluros metálicos tiene en el interior del tubo de carga eléctrica sales de haluros metálicos. Dichas sales añadidas son normales sales de yodo combinadas con el sodio, escandio, talio, indio, cesio y producen los colores que le faltan a las lámparas de vapor de mercurio, como son el rojo, amarillo y el anaranjado.

El bulbo exterior envolvente no necesita la capa interior de fósforo para mejorar el espectro electromagnético visible de la lámpara, pues como se mencionó, los colores faltantes son añadidos por las sales de haluros metálicos. Sin embargo, el bulbo exterior sirve como filtro para impedir que pasen los rayos ultravioleta, que son dañinos a los seres vivos, también protege el tubo del arco, proporcionándole una temperatura constante de funcionamiento.

## **Lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) y baja presión (VSBP).**

El alumbrado a base de lámparas de vapor de sodio es también del tipo de descarga de arco. La luz la luz dorada de estas lámparas se produce por las descargas eléctrica, a través de una atmósfera de vapor de sodio.

Este tipo de lámparas son las de mayor eficiencia de todos los demás tipo, incluyendo las de vapor de mercurio. Son ideales para el alumbrado a grandes alturas de montaje y amplias áreas en donde no se requiera trabajo de detalle. Por lo tanto, son útiles en bodegas industriales, áreas generales, patios de maniobras, calles, avenidas, autopistas, parques recreativos y estadios. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado en seleccionar este tipo de alumbrado para áreas donde se requiera inspeccionar, por ejemplo, defectos en ampolletas de vidrio impide ver tales defectos. Lo anterior se comprobó en una factoría de envases para la industria médica en donde para inspeccionar los frascos y ampolletas se implementaron lugares adecuados, anexos a las máquinas de proceso y con alumbrado fluorescente localizado.

Al igual que las lámparas de mercurio, las de vapor de sodio son de larga duración, 24 000 horas de vida promedio, y de los tipos: de alta y baja presión.

as de baja presión son aún más eficientes que las de alta presión, pero más costosas y tienen menor vida útil.

as lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) utilizan un tubo de material cerámico como la alumina policristalina. Tienen una eficiencia luminosa de 120 lúmenes por watt de luz blanca con un tono amarillo-naranjado. Al igual que todas las demás lámparas de descarga requieren de un reactor o balastro especial.

ecientemente las lámparas de arco de vapor de sodio se han utilizado para alumbrado exterior a grandes alturas de montaje, como en campos deportivos, estadios e incluso en alumbrado público de calles y avenidas muy transitadas de arquitectura especial, ya que la luz producida por estas lámparas es parecida a la luz de solar.

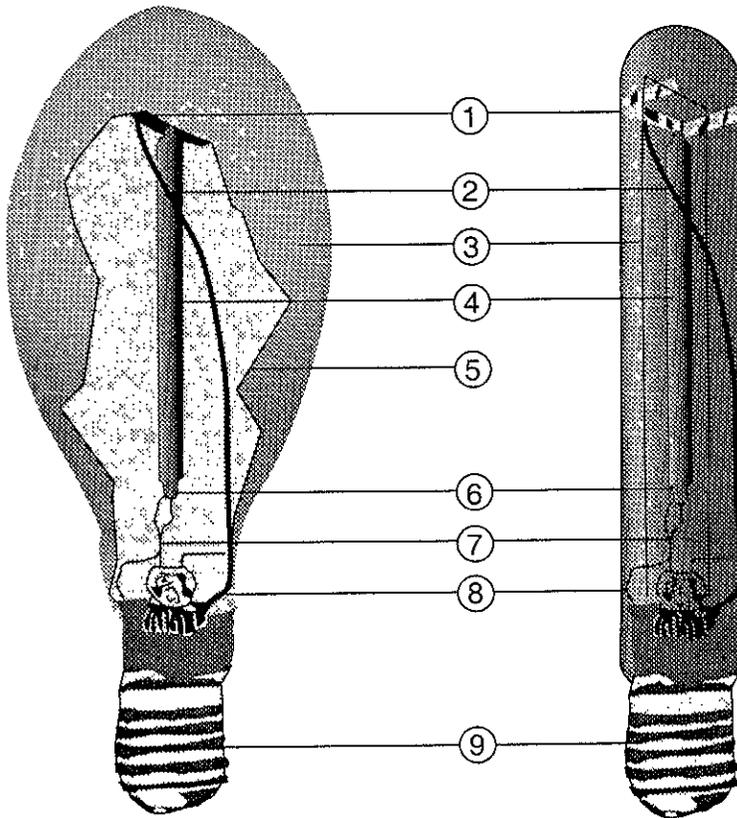
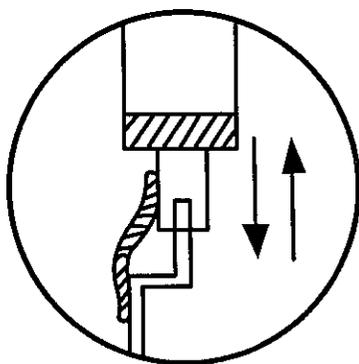


FIG.5.6 Esquema de la lámpara de (VSAP).

sta en corte de la lámpara.

1. Soporte flexible para mantener el alineamiento del tubo de descarga.
2. Alambre soporte-terminal arrollado para mejorar las características ópticas.
3. Bulbo exterior tubular u ovoidal de vidrio duro impermeable a las condiciones atmosféricas.
4. Tubo de descarga de óxido de aluminio traslúcido para optimizar el funcionamiento.
5. Capa interior de fósforo.
6. Unidad de expansión para eliminar esfuerzos por temperatura sobre las juntas y tubo de descarga.

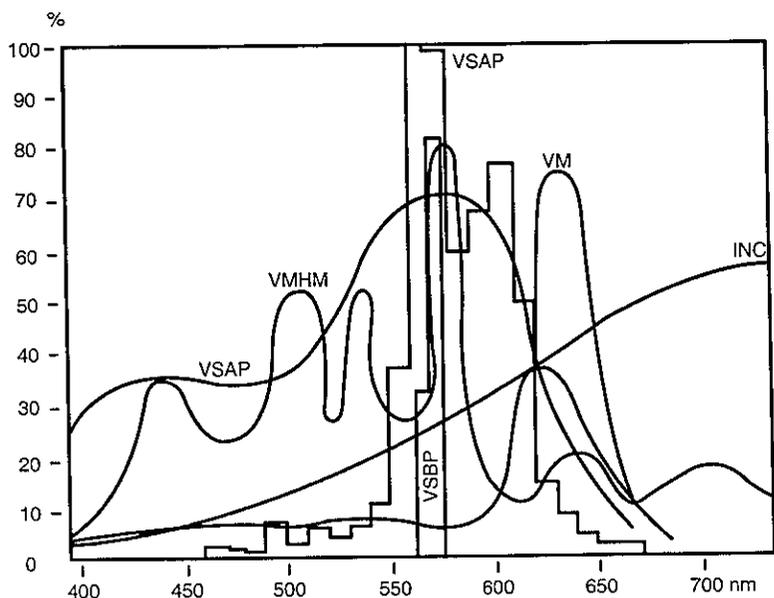


7. Soporte terminal alambre.
8. Anillos getter para mantener el alto vacío asegurando así su máxima eficiencia durante su prolongada vida.
9. Base atornillable E-40 mecánicamente colocada.

La luz producida por las lámparas de vapor de sodio de baja presión es monocromática, de color amarilla. Debido a esto el rendimiento potencial en color de la lámpara no existe y los colores con este tipo de luz aparecen a los ojos como diferentes tonos de gris y café excepto para los objetos amarillos.

El tubo de descarga de una lámpara de vapor de sodio de baja presión es de vidrio; contiene sodio que se evapora a  $98^{\circ}\text{C}$  (con una presión bajísima) y una mezcla de gases inertes (neón y argón a una presión de unos cientos de  $\text{N/m}^2$ ) para conseguir una tensión de encendido baja. El tubo de descarga está situado en el interior de una ampollita de vidrio al vacío cubierta en su interior con óxido de indio. Este revestimiento actúa como reflector infrarrojo y mantiene así la pared de tubo de descarga a la temperatura correcta de funcionamiento ( $270^{\circ}\text{C}$ ).

lámpara de sodio de baja presión se caracteriza por su radiación luminosa monocromática, alta eficiencia luminosa (que puede alcanzar 200 lúmenes/watt) y larga vida (20 000 hrs.); se utiliza cuando no es importante la reproducción correcta de colores, pero sí la percepción de contraste, por ejemplo, en autopistas, puestos y zonas de clasificación de ferrocarriles; se trabaja en potencias de 35 hasta 180 watts.



**FIG. 5.7** Esquema de las calidades cromáticas de las fuentes de luz.

lámpara de sodio de baja presión se caracteriza por su radiación luminosa si monocromática, alta eficiencia luminosa (que puede alcanzar 200 lúmenes/watt) y larga vida (20 000 hrs.); se utiliza cuando no es importante la producción correcta de colores, pero si la percepción de contraste, por ejemplo, en autopistas, puestos y zonas de clasificación de ferrocarriles; se trabaja en potencias de 35 hasta 180 watts.

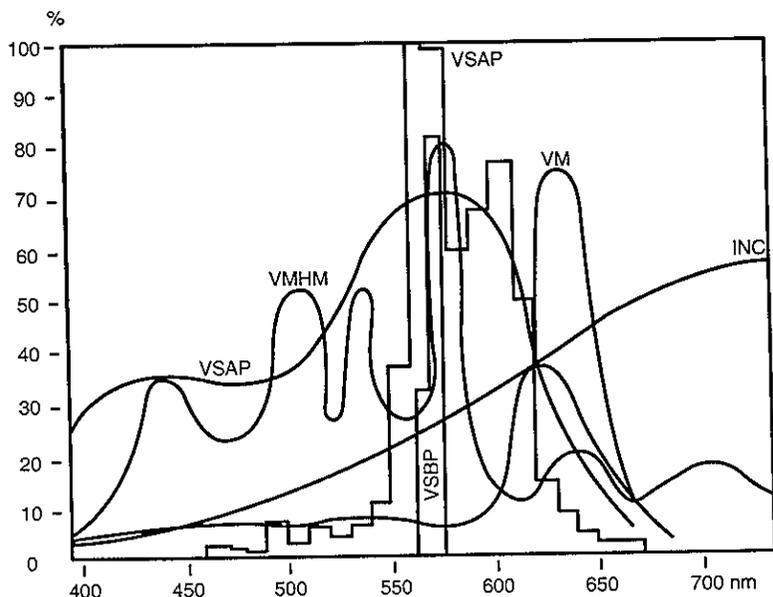


FIG. 5.7 Esquema de las calidades cromáticas de las fuentes de luz.

# CAPÍTULO

## 6

### Control de la luz (Fotometría).

Es evidente que si una oficina está iluminada con lámparas fluorescentes desnudas y una fábrica con lámparas de vapor de mercurio también desnudas, la iluminación es desagradable, incomoda y distinta de lo establecido. El control es la técnica para remodelar la distribución de la luz de la propia fuente o reproducir una iluminación más útil sobre las superficies de trabajo y reducir el deslumbramiento directo y reflejado hacia los ojos.

Es importante contestar a esta pregunta: ¿El control de iluminación puede construirse dentro de la fuente de luz? Si, pero sólo parcialmente y económicamente no es práctico, porque su reposición resulta costosa. Los elementos de control de luz están mejor incorporados en la parte permanente del luminario o del sistema que, por mantenimiento periódico, puede recuperar sus propiedades originales.

Parte de la luz emitida por la fuente va hacia arriba y puede ser dirigida hacia abajo por acción de la reflexión. Hay dos métodos básicos para reflejar la luz: especular y difuso.

Cuando un rayo de luz choca contra una superficie, como un espejo, una parte de la luz rebota como una pelota arrojada contra una pared. Si la superficie es plana, la dirección de la reflexión se muestra en la *fig. 6.1*. Especialmente, el ángulo de incidencia ( $I$ ) es igual al ángulo de reflexión ( $R$ ).

La intensidad del rayo reflejado depende del factor de reflexión de la

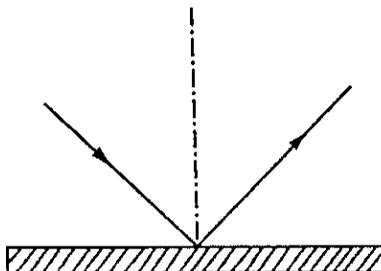


FIG. 6.1

superficie. El color del rayo reflejado también puede ser diferente del color del rayo incidente si la superficie tiene propiedades selectivas de color. Por ejemplo, un reflector amarillo impartirá un tinte amarillento a un rayo de color blanco.

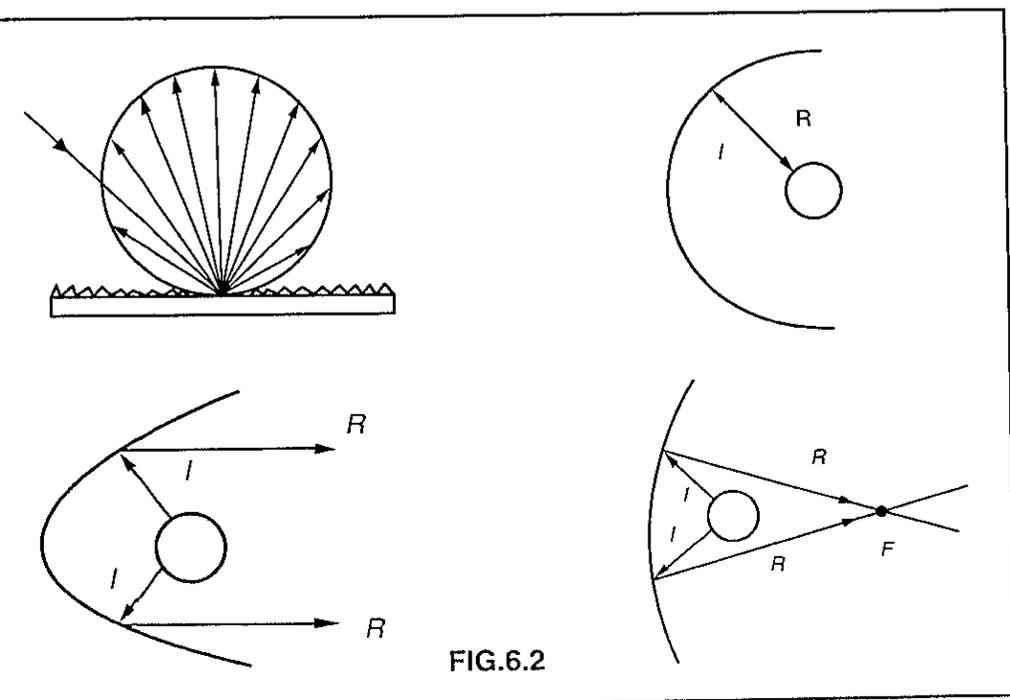
Resumiendo, las superficies de tipo espectacular alteran la intensidad y el color del rayo incidente, dependiendo de su eficiencia de reflexión y su color.

En la práctica, un reflector plano tiene muy pocos usos; se emplean superficies curvas de distintas formas para crear resultados específicos.

La fig. 6.2 muestra las propiedades reflectantes de diferentes formas geométricas.

Los efectos descritos hasta ahora están basados en los reflectores de tipo espectacular. Si esta superficie se esmerila con un abrasivo o si esta compuesta por pequeñas fibras (como un papel secante), o si tiene un acabado mate, sus propiedades reflectantes se alteran.

En lugar de un rayo reflejado bien definido, como se muestra en la fig. 6.1 la reflexión es como se muestra en la fig.6.2.



hecho la reflexión espectacular y la reflexión difusa representan límites  
 rricos; en la práctica todas las superficies reflectoras presentan un cierto  
 do de estos dos tipos.

bien sabido que el reflector más eficiente no es ninguno de los tipos  
 encionados, sino un medio óptico: prisma reflector.

la reflexión prismática un rayo entra por un cara del prisma y sale por otra  
 ra, o por otra parte de la misma cara y en dirección opuesta, con una  
 significativa pérdida de intensidad. (Ver la fig. 6.3).

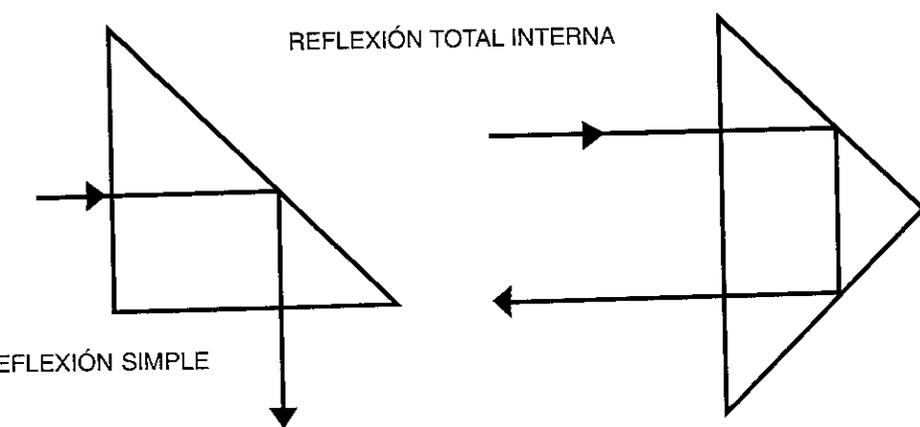


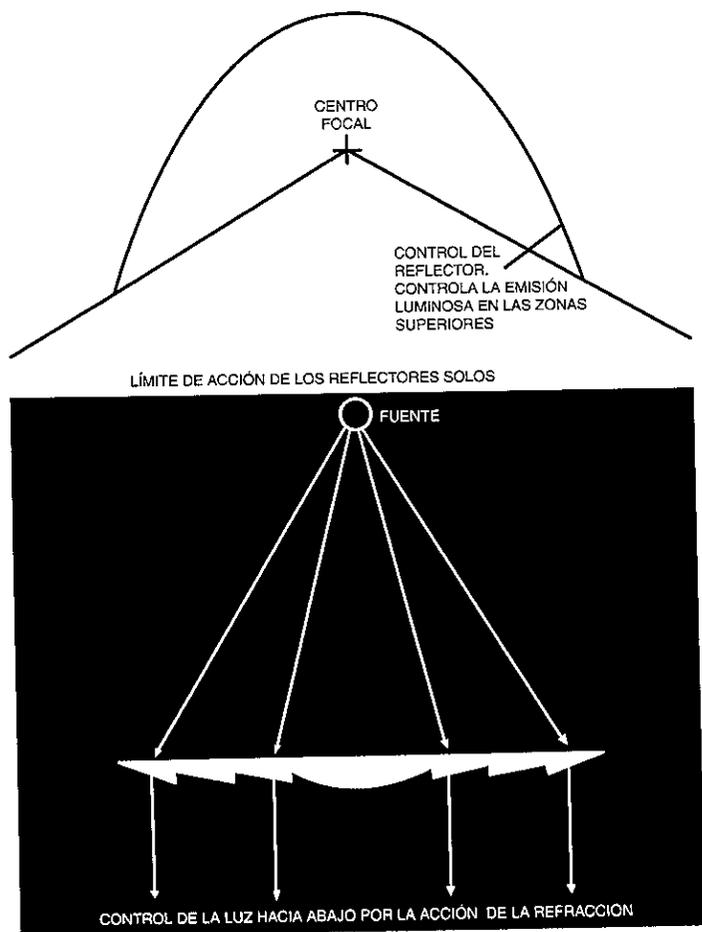
FIG. 6.3 Acción de la reflexión prismática

Esto es por que reflexión se produce en el interior del propio prisma de cristal  
 plástico transparente. De hecho, el polvo y la suciedad sobre las caras  
 posteriores del prisma no tienen efecto sobre las caras posteriores del prisma  
 o tienen efecto sobre las propiedades de reflexión porque la acción es  
 interna.

Un reflector bien diseñado, dirige los rayos luminosos de la fuente hacia abajo,  
 en una forma útil. Para un mejor control de la luz es necesario manejar los  
 rayos luminosos que no son interceptados por el reflector. La fig. 6.4 muestra  
 que en esta zona pasa casi la mitad de la luz emitida.

El control de esta luz hacia abajo se consigue mediante una pantalla reflectora  
 colocada debajo de la lámpara y del reflector. Esta pantalla o lente también  
 volverá a redirigir los rayos provenientes del reflector. Sus principales  
 propósitos son:

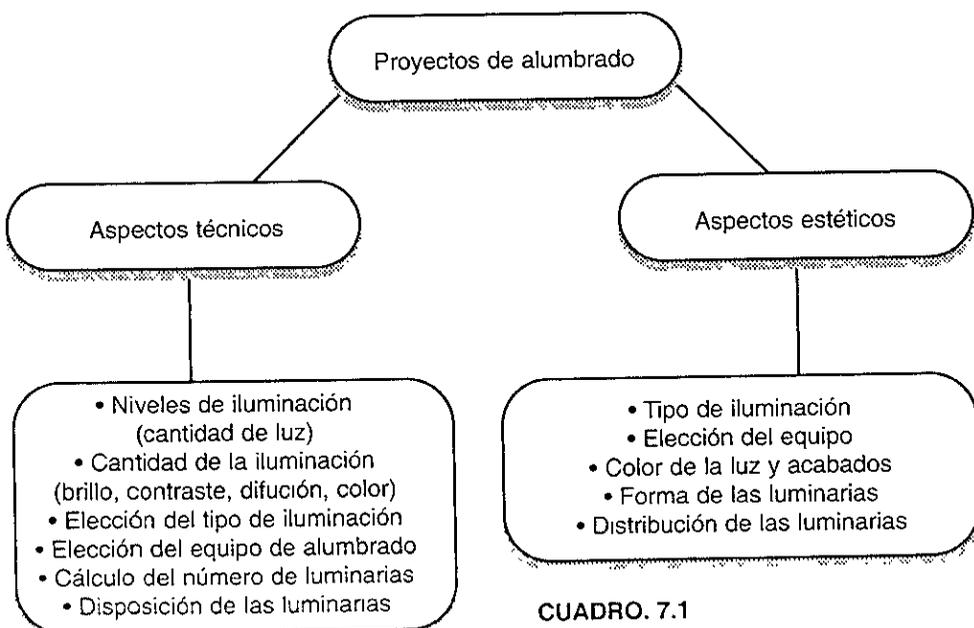
- a) Completar la acción del reflector.
- b) Impedir la visión directa de la propia fuente de luz.
- c) Distribuir o igualar la brillantes sobre la superficie de la pantalla.
- d) Crear cualquiera de una gran variedad de distribuciones fotométricas para satisfacer requerimientos de visión.



# CAPÍTULO 7

## PROYECTO DE ILUMINACIÓN.

Al diseñar una instalación de alumbrado de interiores se contemplan varios aspectos, los cuales se dividen en dos grupos: técnicos y estéticos. Los problemas estéticos solamente conciernen al arquitecto, decorador o constructor; sin embargo, el luminotécnico debe proporcionar toda la formación teórica sobre el comportamiento luminoso de su proyecto y equipo, sobre todo en lo que se refiere a calidad de luz, color y respuesta de colores, forma de las luminarias, características del alumbrado (directo, semidirecto difuso, etc.). Las cuestiones técnicas como los niveles de iluminación adecuados, cálculo de números de luminarias, disposición de ellas, dimensiones del local, coeficientes de utilización, de depreciación, de mantenimiento, proyecto de las instalaciones eléctricas, canalizaciones, etc., son del dominio del luminotécnico. En ambos casos se debe colaborar estrechamente para lograr los óptimos resultados al menor costo (*cuadro. 7.1*)



CUADRO. 7.1

## **Niveles de iluminación (cantidad de luz).**

Existe un nivel de iluminación para cada tarea visual específica. Desde tiempos primitivos se han buscado buenos niveles luminosos; con ellos se realizaron los espléndidos murales de las grandes civilizaciones de antigüedad. Otros trabajos como el dibujo de códices, seguramente se realizaban a la sombra, en el exterior o en el interior de edificios con grandes ventanales para aprovechar niveles mayores de 10 lux.

## **Niveles de iluminación recomendados.**

El concepto de iluminación o iluminancia (E) expresado en la unidad lux es una medida de la cantidad de luz que incide en el plano de trabajo.

Pruebas realizadas han demostrado que el nivel de iluminación determina la cantidad de la visión: cuando mayor es nivel de iluminación se puede ver más fácilmente y claramente. Nuestros ojos están constituidos de manera que la visión es óptima con los niveles de iluminancia proporcionados por la luz de día –no necesariamente bajo la luz directa del sol– que van desde unos miles a 100 000 luxes. Técnica y económicamente resulta imposible, o muy difícil, obtener valores de alumbrado de 10 000 a 20 000 luxes que nos permitan ver en las condiciones más favorables y con un mínimo de esfuerzo. En la práctica, tenemos que aceptar los niveles de iluminación “adecuados” técnica y económicamente, mucho más bajos que los mencionados, aprovechando gran capacidad de acomodamiento y adaptación de la vista.

En cada proyecto, el encargado de la instalación de alumbrado debe elegir el término medio correcto entre las mejores condiciones visuales y un sistema de alumbrado que sea factibles desde los puntos de vista técnico y económico.

En determinación de los niveles de iluminación óptimos para una tarea visual específica se toman en cuenta los sig. factores:

- a) La duración del trabajo con luz artificial.
- b) Si el trabajo es nocturno o diurno.
- c) Exigencias de calidad impuestas al producto que se trabaja, tamaño y contraste con los objetos.
- d) La edad de los usuarios de la instalación de alumbrado.

En los niveles de iluminación recomendados por algunos fabricantes de equipos de alumbrado y asociaciones de ingenieros, están implícitos los

primeros tres factores; sin embargo, el cuarto factor –la edad de los usuarios– afecta el nivel de iluminación seleccionado en cierto porcentaje de acuerdo con el criterio que se adopte al considerar el promedio de edad de los usuarios del sistema de alumbrado utilizado. Extensas investigaciones han demostrado que a medida que el hombre envejece es necesario una mayor iluminación para desarrollar una tarea visual con la misma eficiencia que cuando se es joven:

- 10 años: niveles recomendado.
- 20 años: aumentar un 30% el nivel recomendado.
- 30 años: aumentar un 40% el nivel recomendado.
- 40 años: aumentar un 50% el nivel recomendado.
- 50 años: aumentar un 80% el nivel recomendado.
- 60 años: aumentar un 170% el nivel recomendado.

Actualmente, se ha fijado una tabla de niveles de iluminación adecuados para cada tarea visual. Esta tabla se calculó según la teoría del Dr. H. R. Blackwell, fue publicada por el I. E. S. Lighting Handbook en 1959 y se determinó con un rendimiento visual del 99% y 5 asimilaciones por segundo (el ojo puede tener incluso 37 asimilaciones/segundo, como el cinematógrafo).

La Sociedad Mexicana de Ingeniería de Iluminación S. M. I. I. Calculó nuevos niveles de iluminación apropiados para México y sus condiciones económicas, basados en un rendimiento visual del 95% y las mismas 5 asimilaciones/segundo (al igual que el sonido responde a la sonoridad, la sensibilidad del ojo responde en forma logarítmica a la iluminación), con lo que la iluminación se baja a niveles aplicables en forma económica sin que por ello se produzca un cansancio visual o bajo rendimiento.

Para el desarrollo del siguiente proyecto se tomo como referencia únicamente la tabla de OFICINAS (véase la tabla 7.1).

## **Calidad de la iluminación.**

Este es uno de los aspectos que se deben de considerar en colaboración de los arquitectos y decoradores. La iluminación de un local debe armonizar con la decoración de techos y paredes y con la actividad que se va a desempeñar. La calidad de la iluminación depende de varios factores:

OFICINAS	Luxes I.E.S.	Luxes S.M.I.I.
Proyectos y diseño	2 000	1 100
Contabilidad, auditoría, máquinas de contabilidad	1 500	900
Trabajos ordinarios de oficina, selección de correspondencia, archivo activo o continuo	1 000	600
Archivo intermitente o discontinuado	700	400
Sala de conferencias, entrevistas, salas de receso, archivos de poco uso o sean las áreas en las cuales no exige la fijación de la vista en forma prolongada	300	200

TABLA 7.1

a) *Deslumbramiento*. Cuando la vista que tiene que desarrollar una labor en un lugar específico con una visión determinada, el iris deja de pasar sólo la cantidad de luz necesaria. Si intempestiva e inadvertida se dirige la vista dentro del ángulo de emisión a luminarias con brillos intensos, se reproduce una sensación desagradable de deslumbramiento, lo cual si es persistente puede ocasionar fatigas innecesarias.. Para corregir este efecto se debe tener en cuenta el empleo de difusores adecuados, disminuir los efectos de "caverna" o penumbra (existen luminarias que producen una componente de luz lateral dirigida hacia el techo para disminuir este efecto), colocar las luminarias fuera del ángulo de visión del ojo y pintar techos y paredes con colores claros. Otra causa de deslumbramiento es a consecuencia del reflejo de los rayos luminosos en muebles, o reflejos en la tinta y lápiz de algunos planos o tipo de papel muy brillante. En estos casos se deben seleccionar muebles en acabados mate y dirigir por medios difusores la luz hacia otros ángulos, con la finalidad de eliminar esos molestos reflejos e incluso suprimir sombras incandescentes.

b) *Contraste*. Como se indicó, el ojo trabaja por contraste de la luz y sombra, lo negro y lo blanco, lo grande y pequeño, lo recto y lo curvo. Es preciso que exista un equilibrio entre luz y sombra, es decir, entre claridad y oscuridad para proporcionar la visión en detalle con los conos de la fóvea y la sensación de seguridad que da la visión con bastones alrededor de los objetos, sin embargo, no es conveniente un brillo de fondo igual al del objeto de trabajo, pues no da al ojo posibilidades de discriminación. Un contraste de brillo de 3 a 1 se considera bueno aunque relaciones de 10 a 1 son deseables en cualquier

ugar de campo visual. La relación de brillo y sombra 30–40 a 1 se considera como un máximo admisible. Evidentemente estas condiciones se logran conjugando varios factores como son los acabados claros y mate de techos, paredes, suelos y muebles, además del tipo de luminarias empleadas.

b) *Difusión*. Se llama luz difusa a la que procede de varias direcciones, ya sea por la gran cantidad de fuentes luminosas dispersas en el techo o por el empleo de vidrios y pantallas difusoras. La difusión se mide en términos de ausencia de sombra. Una iluminación difusa es recomendable en donde se requiere realizar trabajos de precisión y buena visión, por ejemplo, en oficinas, escuelas, tiendas de maquinaria, supermercados, etc. Sin embargo, hay aplicaciones en las que es conveniente cierto tipo de iluminación dirigida donde lo que importa es realzar los detalles, por ejemplo, en escaparates, museos de arte, arqueología y artesanías incluso es recomendable imitar la incidencia de los rayos solares sobre los objetos para lograr el ambiente en que éstos fueron realizados y captar mejor las intenciones del artista.

### **Elección del tipo de iluminación.**

Los tipos de iluminación que más se recomienda por su eficiencia y economía y de hecho son los que más se utilizan, son el directo y el semidirecto. El alumbrado directo es muy usual en industrias donde se requiere una iluminación uniforme e intensa en las áreas de trabajo. El alumbrado semidirecto se emplea en escuelas, oficinas, etc. Dirige del 60% al 90% de la luz emitida por las luminarias hacia el plano de trabajo y del 10% al 40% hacia el techo y las paredes para eliminar los efectos de caverna y penumbra.

La iluminación semidirecta se emplea específicamente donde se requiere reducir al mínimo la sensación de brillo y deslumbramiento, para proporcionar un clima más íntimo y acogedor, como en vestíbulos y pasillos de hoteles, pasillos de acceso y salas de espera en general.

### **Elección del equipo de alumbrado.**

Una vez hecha la elección del tipo de iluminación que se va emplear, se procede a seleccionar el equipo de alumbrado, considerando que su curva de distribución fotométrica proporcione una distribución de luz adecuada a las necesidades del proyecto arquitectónico, a la economía que resulta de un análisis comparativo entre un equipo y otro a la eficiencia de la iluminación, altura de montaje y tipo de trabajo que se va a desarrollar.

Por ejemplo, cuando se trata de iluminar grandes áreas a baja altura de montaje y con altos niveles de iluminación, como aulas, salas de lectura y dibujo, oficinas, bancos etc. se recomienda el alumbrado fluorescente por su alta eficiencia, larga duración y relativo costo inicial.

Para grandes alturas de montaje y niveles medios y niveles altos de iluminación, como fábricas, talleres, almacenas de carga y descarga, bodegas, gimnasios y alumbrado público, se sugiere alumbrado de vapor de sodio de alta presión que ha ido sustituyendo al de vapor de mercurio.

El alumbrado incandescente se recomienda para uso residencial debido a su baja eficiencia, poca inversión inicial y al color cálido de su luz y de los objetos que ilumina; también es adecuado en aparadores, jardines, pasillos, vestíbulos y teatros. Algunas veces se emplean el alumbrado incandescente en combinación del alumbrado fluorescente o mercurial para proporcionar ambientes más reales y con colores vivos.

El alumbrado de vapor de sodio de alta presión se utiliza actualmente para iluminar grandes avenidas, parques, zonas de recreo y estadios deportivos debido a su gran eficiencia y regular rendimiento de color.

Las características de funcionamiento de los diferentes tipos de alumbrado, costo inicial y costo de operación (eficiencia), son los factores que determinan el uso adecuado de cada tipo de alumbrado para cada actividad específica.

Se desea iluminar un laboratorio de diseño gráfico con las siguientes características:

Largo: 12 m.

Ancho: 12 m.

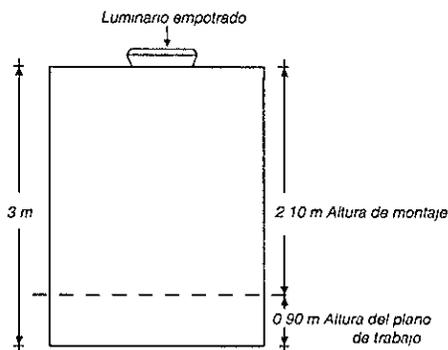
Altura: 3 m.

Altura del plano de trabajo: 0.90 m.

Cavidad de cuarto: 2.10 m

Nivel de recomendado: 1 100 Luxes.

Reflectancia del piso: 30%



Reflectancia techo: 80%

Reflectancia de pared: 50%

Ambiente Limpio.

Las lámparas que se instalarán serán fluorescente de 110 watts acabado luz  
de día (7800 lúmenes).

## MÉTODO DE LUMEN.

Una vez determinado el nivel de iluminación en lux, adecuado para la tarea  
visual específica que se va a realizar en el local, el tipo de alumbrado  
(fluorescente, incandescente, mercurial, etc.) y consecuentemente el flujo  
luminoso en lúmenes emitido por cada lámpara (dato que proporciona el  
fabricante) y con base a la fórmula de la iluminación que dice: la iluminación  
es el flujo incidente por unidad de área:

$$E = \frac{\phi}{A} = \frac{\text{lúmenes}}{\text{m}^2} \text{ o lux}$$

Se puede determinar el flujo luminoso total incidente sobre una superficie para  
producir un nivel luminoso prefijado, despejando al flujo luminoso:

$$\phi T = AE$$

El número de lámparas será igual a:

$$\text{Número de lámparas} = \frac{\phi T}{\text{lámparas}} = \frac{AE}{\phi / \text{lámparas}}$$

La fórmula anterior es afectada por diversos coeficientes, ya que no todo el  
flujo luminoso producido por las luminarias llega a el área de trabajo, dado que  
parte de los lúmenes son absorbidos por el techo, las paredes y la suciedad  
de las luminarias, debido a que la luz tiene que atravesar los polvos que se  
depositan en ellas e incluso hay pérdidas de flujo luminoso por envejecimiento  
de las lámparas y por la impedancia de la balastra. Finalmente la fórmula  
queda de la siguiente manera:

$$\text{Número de lámparas} = \frac{A \times E}{\phi / \text{lámpara} \times \text{C.U.} \times \text{F.M.} \times \text{E.B.}}$$

onde:

- A es el área de la superficie en m<sup>2</sup>.
- E es la intensidad de la iluminación en luz.
- $\phi$  / lámparas es el flujo luminoso en lúmenes por watt.
- C.U. es el coeficiente de utilización de la luminaria en particular.
- F.M. es el coeficiente de mantenimiento.
- E.B. es la eficiencia de la balastra.

### Coeficiente de utilización.

Es una relación entre el flujo luminoso  $\phi$ , que alcanza el plano de trabajo y el flujo luminoso total emitido por la lámpara. Este coeficiente depende de las dimensiones del local que se va a iluminar, ya que la luz de las fuentes luminosas sufren múltiples reflexiones en el techo y paredes y no toda la luz emitida llega al plano de trabajo (véase fig.7.2).

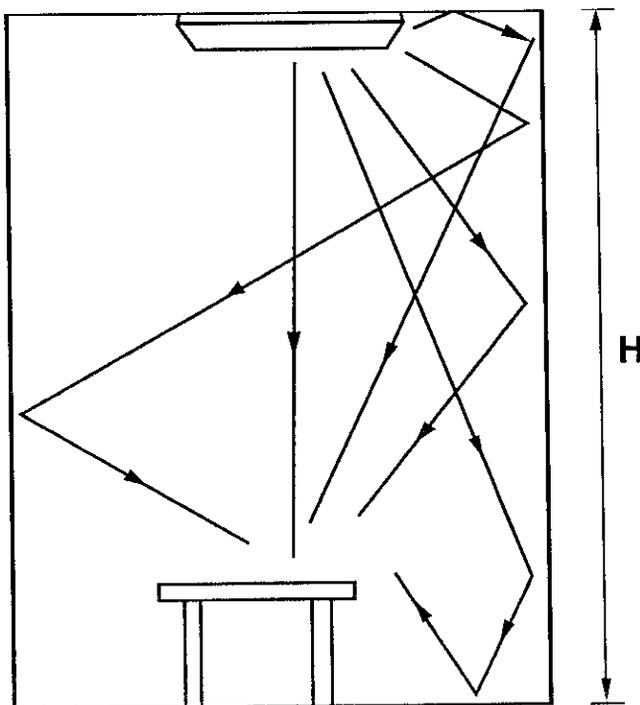


FIG. 7.2 Múltiples reflexiones de la luz.

Por ejemplo, en un cuarto demasiado alto, gran parte de el flujo emitido por la lámpara llega al plano de trabajo en forma reflejada en las paredes y parte en forma directa. Por eso, es importante relacionar las dimensiones del local (índice de cuarto), las reflectancias de paredes y techos y la curva de distribución fotométrica de la luminaria.

El índice de cuarto clasifica a los locales en 10 grados, representados por un número o una letra, de la A a la J, de acuerdo a sus dimensiones.

Índice de cuarto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Letra de código	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

se puede calcular según la fórmula:

$$\text{I.C. ó R.C.R.} = \frac{5 \times \text{Altura cavidad cuarto} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})}{\text{Área de piso}}$$

### Factor de mantenimiento.

Desde en el instante en que empieza a funcionar una instalación de alumbrado, las luminarias comienzan a acumular cierta cantidad de suciedad, polvo, y grasa, por lo cual hay pérdidas de flujo luminoso, ya que la luz tiene que atravesar la capa de suciedad depositada generalmente en la pantalla difusora y en la propia superficie de la lámpara, disminuyendo consecuentemente el nivel de iluminación. Otra causa de disminución de flujo proviene de la no reposición de lámparas fundidas. Claro está que este problema se puede disminuir al máximo si se cuenta con un programa de mantenimiento eficiente que complete la rápida reposición de balastros quemados y lámparas fundidas, así como la limpieza periódica de lámparas y difusores. Independientemente de la periodicidad del programa de mantenimiento, es necesario considerar un coeficiente de mantenimiento para prevenir una disminución en el nivel de iluminación requerido.

El factor de mantenimiento esta dado por la siguiente fórmula:

$$\text{F.M.} = \text{L.D.D. ó C.M.} \times \text{L.L.D. ó C.D.}$$

donde:

- L.D.D. ó C.M. es el factor por depreciación por suciedad.
- L.L.D. ó C.D. es el factor por depreciación por lúmenes.

### Factor de depreciación.

El flujo de las lámparas comienzan a decrecer a mediada que transcurre el tiempo; alcanza un valor estable después de un cierto número de horas. Esta depreciación luminosa de las lámparas se debe al envejecimiento y desgaste de los filamentos, así como al desgaste de la capa de fósforo que cubre las paredes internas de los bulbos en el caso de las lámparas fluorescentes y mercuriales.

### Eficiencia de la balastra.

Este coeficiente se debe a que la balastra o reactor consume cierta potencia, que afecta a las lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio en un 5%, por lo que aplicar un coeficiente de 0.95 cuando se trate de este tipo de lámparas. Según norma técnica de la SECOFI este factor debe ser de 0.80.

### CÁLCULOS:

$$F.M. = L.D.D. \text{ ó } C.M. \times L.L.D. \text{ ó } C.D.$$

$$F.M. = 0.89 \times 0.82 = 0.7298$$

$$I.C. \text{ ó } R.C.R. = \frac{5 \times 2.1 \times (12 + 12)}{12 \times 12}$$

$$I.C. \text{ ó } R.C.R. = 1.75$$

Calculando el C.U.(datos obtenidos de tablas).

$$\begin{array}{r} 1 \quad 0.71 \\ 2 \quad 0.69 \\ \hline -1 \quad 0.02 \\ -0.75 \end{array} \quad 1.75$$

$$X = \frac{0.02 (-0.75)}{-1} = 0.015$$

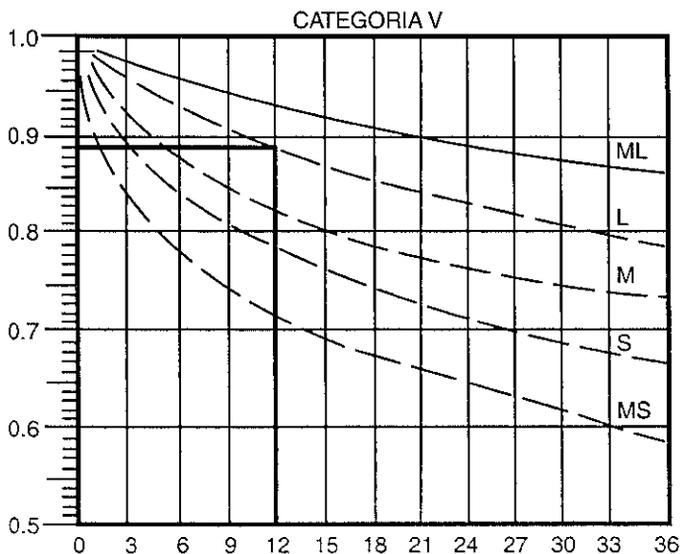
$$C.U. = 0.71 - X = 0.71 - 0.015 = 0.695$$

## COEFICIENTES DE UTILIZACIÓN

Para dos lámparas fluorescentes

Piso		30%				10%			
		80%		50%		80%		50%	
Techo		80%	50%	80%	50%	80%	50%	80%	50%
Pared		50%	30%	50%	30%	50%	30%	50%	30%
J	10	0.31	0.27	0.30	0.26	0.30	0.26	0.29	0.26
I	9	0.40	0.35	0.38	0.34	0.38	0.34	0.37	0.33
H	8	0.45	0.40	0.43	0.39	0.43	0.39	0.42	0.38
G	7	0.50	0.45	0.48	0.44	0.47	0.43	0.46	0.43
F	6	0.55	0.49	0.52	0.48	0.51	0.47	0.49	0.46
E	5	0.60	0.55	0.56	0.52	0.54	0.51	0.52	0.50
D	4	0.63	0.59	0.59	0.56	0.57	0.54	0.55	0.53
C	3	0.66	0.62	0.61	0.58	0.59	0.56	0.57	0.55
B	2	0.69	0.66	0.64	0.61	0.61	0.58	0.59	0.57
A	1	0.71	0.68	0.65	0.63	0.62	0.60	0.60	0.59

## CURVA DE DEGRADACIÓN POR SUCIEDAD EN EL LUMINARIO



$$\text{Número de lámparas} = \frac{(12 \times 12) \times 100}{7800 \times 0.695 \times 0.7298 \times 0.80}$$

$$\text{Número de lámparas} = 50.04$$

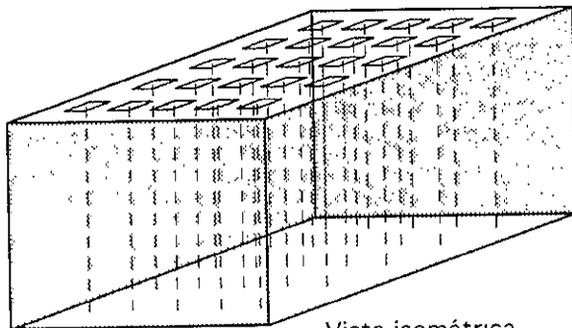
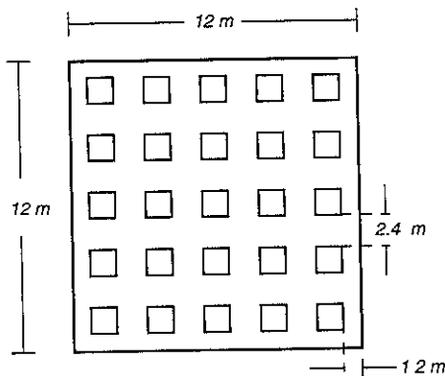
Como se colocan dos lámparas por luminaria nos quedan 25 luminarias de dos lámparas cada una.

Separación entre hileras:  $12\text{m}/5 \text{ hileras} = 2.4\text{m}$

Separación entre filas:  $12\text{m}/5 \text{ filas} = 2.4\text{m}$

Distancia entre hileras a las paredes es de  $2.4\text{m}/2 = 1.2\text{m}$

Distancia entre filas a las paredes es de  $2.4\text{m}/2 = 1.2\text{m}$



Vista isométrica del cuarto

Nota: Las dimensiones de las ilustraciones no tienen una escala definida son meramente ilustrativas

## CONCLUSIONES:

Como se vio a lo largo de la investigación nos damos cuenta de que hay varios factores que intervienen para desarrollar un proyecto de iluminación. Dichos aspectos son:

Aspectos técnicos:

- Niveles de iluminación (cantidad de luz)
- Cantidad de la iluminación (brillo, contraste, difusión, color)
- Elección del tipo de iluminación
- Elección del equipo de alumbrado
- Cálculo del número de luminarias
- Disposición de las luminarias

Aspectos estéticos:

- Tipo de iluminación
- Elección del equipo
- Color de la luz y acabados
- Forma de las luminarias
- Distribución de las luminarias

Es importante mencionar que la iluminación de un medio o un objeto no necesariamente tiene que iluminarse al máximo para decir que ese medio o ese objeto está bien iluminado ya que el exceso de flujo luminoso provoca deslumbramiento.

Por lo tanto la iluminación de cualquier medio u objeto estará dada por las necesidades muy específicas de cada uno y por las normas de iluminación.

## BIBLIOGRAFÍA.

Manual de instalaciones de  
alumbrado y fotometría.  
Jorge Chapa Carreón.  
Editorial LIMUSA, S.A. de C.V.  
Grupo Noriega Editores.

Catálogo de colores para  
Lámparas fluorescentes "TL"  
por Philips.

Principios de iluminación  
y niveles de iluminación  
en México por Holophane.

Catálogo condensado  
de luminarios por Holophane.