



84

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

OPERACION DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS DE  
EQUIPO DE ILUMINACION.

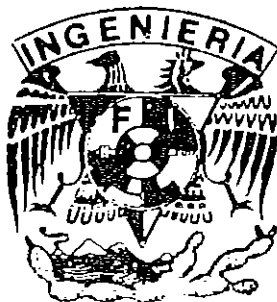
**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A

**GUSTAVO JUAN VARGAS REYES**



DIRECTOR: ING. ALEX GUILLERMO RAMIREZ RIVERO

MEXICO, D. F. A 22 DE NOVIEMBRE DE 2007

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

A MIS MAESTROS,

Loor a ti Maestro que cruzas por la vida llevando  
entre tus manos la antorcha del Saber...

A TODA MI FAMILIA,

**Un recuerdo que dejo**

Con qué he de irme??  
nada dejaré en pos de mi  
sobre la tierra??

Cómo ha de actuar mi corazón??  
acaso en vano venimos a vivir,  
a brotar sobre la tierra??

Dejemos al menos flores,  
dejemos al menos cantos.

Nezahualcóyotl

A LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA,

Amo el ceniztle ave  
de cuatrocientas voces  
Amo el color del jade  
y el enervante perfume  
de las flores

Pero amo más a mi hermano el Hombre

Nezahualcóyotl

A MI HERMANO †

**Pensamiento**

Es que en verdad se vive aquí en  
la Tierra?? No para siempre aquí!!  
un momento en la tierra,  
si es jade se hace astillas,  
si es oro se destruye,  
si es plumaje de Ketzalli se rasga...  
no para siempre aquí,  
un momento en la Tierra...

Nezahualcóyotl

## INDICE

	PAGINAS
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
1.-GENERALIDADES	
1.1. TERMINOLOGIA Y UNIDADES FOTOMETRICAS	3
1.2. FUNDAMENTOS DE FOTOMETRIA	15
1.2.1. BASES PARA LA FOTOMETRIA	18
1.2.2. FOTOMETROS	21
1.2.3. MEDICIONES DE LABORATORIO	36
1.2.3.1. MEDICIONES ELECTRICAS DE LAMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE	37
1.2.3.2. MEDICIONES ELECTRICAS DE LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA	40
1.2.3.3. MEDICIONES FOTOMETRICAS DE LAS LAMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE	46
1.2.3.4. MEDICIONES FOTOMETRICAS DE LAMPARAS DE DESCARGA ELECTRICA	50
1.2.3.9. MEDICIONES DE LUMINANCIA	67
1.3. FUENTES LUMINOSAS	68

1.3.1.	FUENTES INCANDESCENTES	70
1.3.2.	FUENTES DE DESCARGA GASEOSA	77
1.3.3.	BALASTROS	112
1.3.4.	LUMINARIOS	123
2	DESAROLLO DE LAS PRUEBAS	138
2.2	PRUEBAS A REALIZAR	138
2.2.1	PRUEBAS FOTOMETRICAS	139
2.2.2	PRUEBAS ELECTRICAS A BALASTROS	159
2.2.3	PRUEBA DE VIDA A LAMPARAS	163
2.2.4	PRUEBAS MECANICAS Y DE AMBIENTE A LUMINARIOS	168
3.	COSTO DE LAS PRUEBAS QUE SE REALIZAN EN EL LABORATORIO DE ALUMBRADO PUBLICO	187
3.2.1	LISTADO DE NORMAS	191
	BIBLIOGRAFIA	196
3.3	EQUIPO NECESARIO	199
	CONCLUSIONES	203

## INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento del fuego, las fuentes de luz evolucionaron con el tiempo pasando por la lámpara de aceite, la lámpara de gas, las velas de parafina, el petróleo destilado y finalmente la primera lámpara incandescente, la cual fue perfeccionada por Tomas A. Edison en 1879. La aparición de esta última representó un gran avance tecnológico, lo cual permitió inicialmente mejorar el alumbrado público. Gracias a la iluminación las actividades productivas y de esparcimiento del ser humano se han prolongado hasta 24 horas diarias. Esto ha permitido el acelerar la realización de proyectos, el completar construcciones en menos tiempo, también ha permitido el efectuar intervenciones quirúrgicas a cualquier hora del día o de la noche, etcétera. En la vida actual el 80% de las actividades se realizan en interiores, ya sea en escuelas, oficinas, viviendas, industrias, comercios, transportes, etc., además de que las actividades en horas nocturnas han aumentado considerablemente. Por otro lado, la necesidad de proporcionar iluminación durante las horas nocturnas a la circulación de vehículos y peatones en las vialidades de todas las poblaciones, ha incrementado en forma muy importante la cantidad de equipo de iluminación y por lo tanto el consumo de energía eléctrica. Este consumo de energía representa actualmente un 20% del consumo total, lo cual en las condiciones actuales de uso de energía obliga a hacer un uso racional de ésta. Los adelantos científicos en materia de iluminación han permitido aumentar considerablemente la eficiencia de los equipos de iluminación, abatiendo de esta forma el consumo de energía. Para poder seguir disminuyendo el consumo de energía es necesario contar con profesionistas debidamente preparados en el campo de la Ingeniería de Iluminación y desarrollar investigación, diseño, fabricación y pruebas lo cual es indispensable crear tecnología propia y no depender del extranjero. Para lograr esto, se requiere definitivamente del apoyo de un Laboratorio de Ingeniería de Iluminación, el cual proporcione los medios para comprobar la efectividad de un diseño o de un producto. El crear tecnología propia en esta rama de la ingeniería representaría para nuestro país un ahorro de divisas, ya que se dejaría de pagar por concepto de transferencia de tecnología y por uso de patentes. El propósito de este trabajo es el de elaborar un proyecto para un Laboratorio de Ingeniería de Iluminación, que previo estudio y aprobación, se instale en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México y sirva para lograr una mejor preparación de los futuros ingenieros en este campo tan importante de la Ingeniería.

GUSTAVO J. VARGAS REYES

## OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden lograr con la instalación de un Laboratorio para Pruebas de Equipo de Iluminación, son los siguientes:

1. Proponer la creación de un laboratorio de iluminación en la Facultad de Ingeniería por medio de un programa de colaboración de empresas dedicadas a este rubro.
2. Desarrollar en nuestro país tecnología propia que nos permita disminuir la dependencia del exterior.
3. Proporcionar a la industria nacional el servicio de pruebas, que le ayuden a desarrollar equipos de iluminación más eficientes y coadyuvar a un uso racional de los recursos energéticos.
4. Evitar la salida de divisas que por concepto de asesoría técnica y realización de pruebas se hace actualmente, ya que por carecer de este tipo de instalaciones en el país, se tienen que realizar en el extranjero.
5. Disponer de información fotométrica confiable, de los equipos fabricados en nuestro país, ya que de lo que se dispone actualmente, es de equipos manufacturados y probados en el extranjero y que no corresponde a los producidos en nuestro país.
6. Contemplar las pruebas fotométricas, mecánicas, eléctricas y de intemperie de luminarios en la asignatura de Iluminación de la carrera de Ing. Mecánico electricista.



## CAPÍTULO I GENERALIDADES

### 1.1 TERMINOLOGÍA Y UNIDADES FOTOMÉTRICAS

#### 1.1.1 TÉRMINOS DE ILUMINACIÓN

1.1.1.1 ENERGÍA LUMINOSA (Q): Evaluada visualmente en energía radiante viajando en la forma de ondas electromagnéticas. *La unidad es el lumen - segundo (lm.s).*

1.1.1.2 ÁNGULO SÓLIDO ( $\Omega$ ): Es la relación del área de una esfera, dividida entre el radio al cuadrado.

$$\frac{\text{Área de la esfera}}{R^2} = \frac{dA}{R^2}$$

*La unidad es el esterradian (st).*

1.1.1.3 FLUJO LUMINOSO ( $\Phi$ ): Es la cantidad de flujo de energía luminosa por unidades de tiempo. Por ejemplo, la luz emitida por una lámpara de 40 watts fluorescente son 3250 lúmenes.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

*La unidad de flujo luminoso es  $\left(\frac{\text{lm} \cdot \text{s}}{\text{s}}\right)$ , es decir el lumen (lm).*

El lumen es el flujo emitido dentro de un ángulo sólido por una fuente puntual que tenga una intensidad de una candela

$$\text{lumen} = 1 \frac{\text{candela}}{\text{esterradian}} = 1 \frac{\text{cd}}{\text{sr}}$$

1.1.1.4 INTENSIDAD LUMINOSA ( $I$ ): Es la densidad de flujo luminoso en una dirección. La intensidad luminosa es comúnmente (pero incorrectamente) conocida como potencia de candelas. La intensidad luminosa indica la habilidad de una fuente de luz para producir iluminación en una dirección dada.

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

*La unidad es un lumen/esterradian, o una candela (cd).*

1.1.1.5 LUMINANCIA (L): Es el flujo luminoso por unidad de área proyectada ( $A_0$ ), por unidad de ángulo sólido ( $d\omega$ ) saliendo de un punto en cierta dirección. A este término se acostumbra llamarle *brillantez*. Brillantez es usada para evaluar subjetivamente una superficie, mientras que luminancia (o brillo fotométrico) es usada para describir el objetivo o características medidas de una superficie.<sup>7</sup>

$$L = \frac{d^2\theta}{d\omega dA_0}$$

La unidad es el lumen /pie cuadrado, o el footlambert (fL).

Cuando la unidad de flujo luminoso es el lumen y el área proyectada esté en pies cuadrados (el ángulo sólido no tiene unidad), la unidad de luminancia es el *footlambert*. La luminancia también puede definirse como la intensidad luminosa ( $I$ ) de una superficie en una dirección dada ( $\theta$ ) por unidad de área proyectada como es vista desde esa dirección ( $A_0$ ).

ya que

$$I = \frac{d\theta}{d\omega}$$

entonces

$$L = \frac{d^2\theta}{d\omega dA_0} = \frac{I_\theta}{dA_0}$$

Cuando la intensidad luminosa está en candelas y el área está en pulgadas cuadradas, La *unidad de luminancia es candelas/pulgada cuadrada*.

$$1 \text{ fL} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{ft}^2} \times \frac{1}{\pi \frac{\text{lm}}{\text{cd}}} = \frac{1 \text{ cd}}{\pi \text{ ft}^2} = \frac{1 \text{ cd}}{144\pi \text{ in}^2}$$

La cantidad de footlamberts es igual a  $\frac{1}{144\pi}$  veces la cantidad de candelas por pulgada cuadrada.

Fórmula de conversión:

$$\left( \frac{1}{144\pi} \right) \left( \frac{cd \cdot m^2}{m^2} \right) = \frac{144\pi m^2 \times fl.}{1cd} \approx 1$$

Por ejemplo:

$$3 \frac{cd}{m^2} \times \frac{144\pi m^2 \times fl.}{1cd} = 1357 fl.$$

1.1.1.6 SUPERFICIE LAMBERTIANA (difusor perfecto): Es una superficie que actúa como un difusor perfecto. Esto es, absorbe toda la energía luminosa incidente y reemite toda la energía luminosa en la forma de una esfera tangente, de acuerdo con la ley de los cosenos de Lambert (ver fig. 1.1). La *Ley de los cosenos de Lambert* establece que la intensidad luminosa a cualquier ángulo ( $I_\theta$ ) es igual a la intensidad luminosa perpendicular ( $I_N$ , normal, por el coseno del ángulo).

$$I_\theta = I_N \cos \theta$$

Una superficie lambertiana tendrá una luminancia constante sin importar la dirección de visión.

$$L = \frac{I_\theta}{dA_\theta}$$

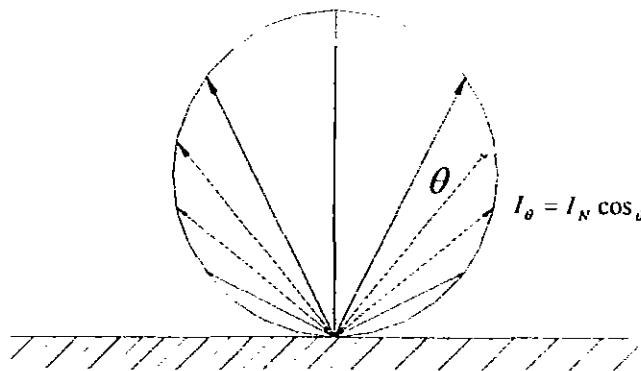
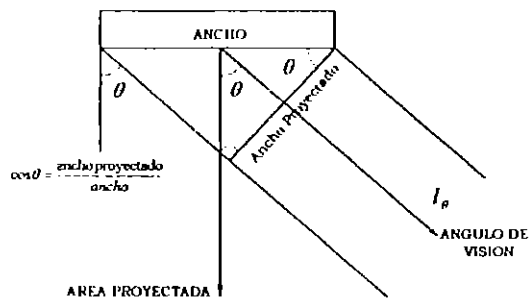


FIG. 1.1 LEY DE LOS COSENOS DE LAMBERT  
(DIFUSOR PERFECTO)

Ya que  $dA_p = A_N \cos \theta$  = Área proyectada (ver fig. 1.2), e  $I = I_N \cos \theta$  para una superficie lambertiana

$$I = \frac{I_N \cos \theta}{A_N \cos \theta} = \frac{I_N}{A_N} = \text{constante}$$



$$A_p = \text{Longitud} \times \text{ancho proyectado}$$

$$A_p = \text{Longitud} \times \text{ancho} \times \cos \theta$$

$$A_p = A_N \cos \theta$$

FIGURA. 1.2

1.1.1.7 ILUMINANCIA (E): Es el flujo luminoso incidente en una pequeña superficie por unidad de área de la superficie (ver fig. 1.3)

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

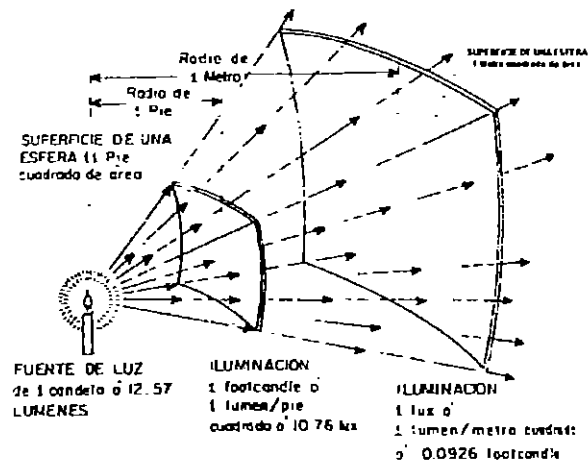


FIG. 1.3 ILUMINACIÓN

La unidad es el  $\frac{\text{lumen}}{\text{pie cuadrado}}$  o el footcandle (fc)

La ley fundamental de iluminación conocida como la *Ley de los cuadrados inversos* (ver fig. 1.4) puede ser obtenida.

ya que:

$$I = \frac{d\theta}{d\omega}$$

entonces

$$d\theta = Id\omega$$

y

$$d\omega = \frac{dA}{R^2}$$

entonces

$$dA = R^2 d\omega$$

por lo que

$$E = \frac{Id\omega}{Rd\omega} = \frac{I}{R^2} = \frac{I}{d^2}$$

(Ya que R es igual a la distancia, d, de la fuente de luz a la superficie).

1.1.1.8 REFLECTANCIA ( $\rho$ ): Es la habilidad de una superficie para reemitir energía. Esta terminología se aplica solo a una superficie lambertiana o a un difusor perfecto. La reflectancia se expresa como un porcentaje.

$$\rho = \frac{\text{total de luz reflejada (fL)}}{\text{total de luz incidente (fc)}} \times 100$$

La reflectancia se expresa como un porcentaje.

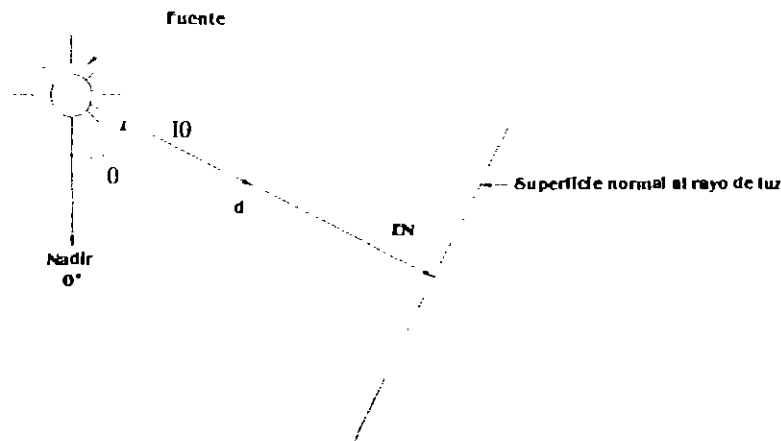


FIG. 1.4 LEY DEL CUADRADO INVERSO

1.1.1.9 FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE REFLECTANCIA BIDIRECCIONAL: (FDRB): (FDRB) Es un término que se aplica a las características de reflectancia de cualquier superficie que no es lambertiana y por lo tanto no puede ser descrita con un solo valor. El sólido (llamado indicatriz) formado por varios vectores de reflectancia, es función de tres variables,  $h$ ,  $V_o$  y  $V_s$ .  $h$  = ángulo horizontal entre el componente fijo el componente móvil.

$V_o$  = Ángulo vertical desde una perpendicular a un punto en la superficie, P, a la línea entre el observador, O, (detector, fotómetro, fotocelda), y el punto en la superficie.

$V_s$  = Ángulo vertical desde una perpendicular a un punto en la superficie, P, a la línea entre la fuente S, y el punto en la superficie.

Para medir la FDRB, el ángulo  $V_o$  se fija para una indicatriz dada y la fuente se mueve en el hemisferio superior al punto en la superficie (ver fig. 1.5).

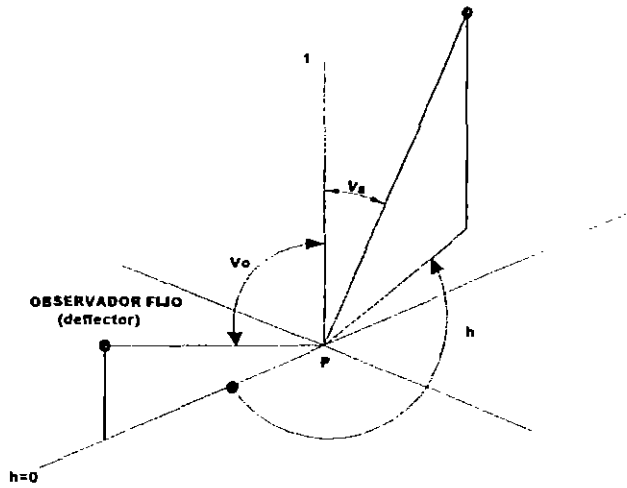


FIG. 1.5 MEDICIÓN DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE REFLECTANCIA BIDIRECCIONAL

1.1.1.10 INDICATRIZ DE LA INTENSIDAD LUMINOSA REFLEJADA: Es la intensidad luminosa reflejada por superficies no lambertianas, es un vector función de tres variables ( $h$ ,  $V_o$ ,  $V_s$ ), como se definió anteriormente. Para la indicatriz de la intensidad luminosa reflejada, el ángulo  $V_s$  se fija para una indicatriz dada y el detector se mueve en el hemisferio superior al punto en la superficie (ver. Fig. 1.6).

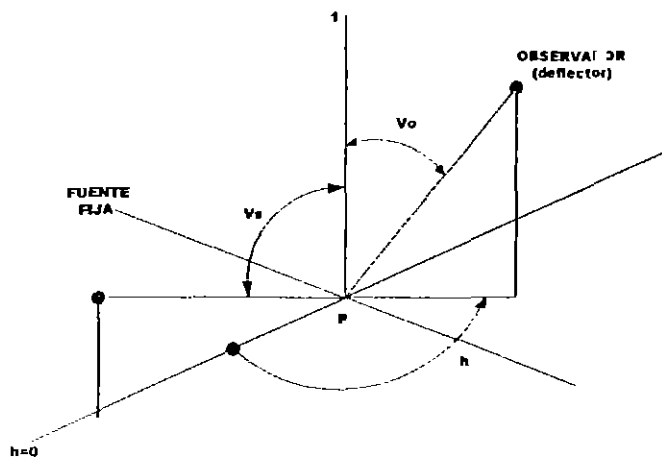


FIG. 1.6 MEDICIÓN DE LA INTENSIDAD LUMINOSA REFLEJADA

1.1.1.11 TRANSMITANCIA (  $\lambda$  ): Es una medida de la cantidad de luz transmitida a través de un material, expresada en porcentaje. Este término se aplica solo a transmisores lambertianos.

$$\lambda = \frac{\text{total de luz transmitida (ft)}}{\text{total de luz incidente (fc)}} \times 100$$

*La transmitancia se expresa como un porcentaje.*

1.1.1.12 EFICACIA (  $\xi$  ): La eficacia luminosa es una relación del total de flujo luminoso emitido por una fuente a el total de potencia de entrada a la fuente.

$$\xi = \frac{\text{total de flujo luminoso emitido}}{\text{total de potencia de entrada}}$$

La unidad es el  $\frac{\text{lumen (lm)}}{\text{watt (W)}}$

1.1.1.13 EFICIENCIA LUMINOSA ESPECTRAL: Es la relación de flujo radiante con una longitud de onda  $\lambda_m$  a otro con cualquier longitud de onda, tal que ambas longitudes de onda produzcan sensaciones visuales de igual intensidad.  $\lambda_m$  se selecciona para que el valor máximo de esta relación sea: 1. La eficiencia luminosa espectral de todas las longitudes de onda define una función que es la respuesta del sistema visual humano a la energía radiante. Los símbolos son  $V(\lambda)$  para visión fótica y  $V'(\lambda)$  para visión escótica. La función de  $V(\lambda)$  es comúnmente conocida como la curva del observador standard.

1.1.1.14 ESFERA UNITARIA: La relación entre candelas, lúmenes, sterorradianes y footcandles puede mostrarse utilizando una esfera de 1 pie de radio (esfera unitaria) como una fuente puntual uniforme de 1 candela en el centro de la esfera (ver fig. 1.7). Para una área de un pie cuadrado en la superficie, el ángulo sólido obtenido será un sterorradian (Sr).

$$\omega = \frac{dA}{R^2} = \frac{1 \text{ft}^2}{(1 \text{ft})^2} = 1 \text{sr}$$



La fuente puntual de una candela producirá un lumen en la unidad de ángulo sólido

$$d\Omega = Id\omega = 1 \text{ cd} \times 1 \text{ sr} = 1 \text{ lm}$$

La iluminación producida en la superficie interior de la esfera será 1 lm en un pie<sup>2</sup> o un footcandle.

$$E = \frac{d\Omega}{dA} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ ft}^2} = 1 \text{ fc}$$

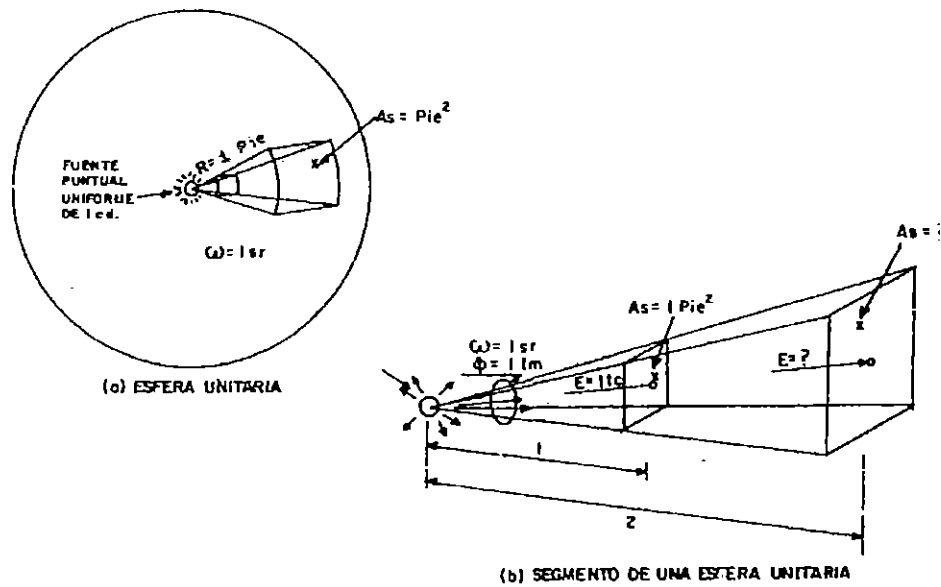


FIG. 1.7 ESFERA UNITARIA

El área total de la superficie de una esfera es  $4\pi R^2$ . Por lo tanto, el área total de la superficie de la esfera unitaria es  $4\pi \times 12.57 \text{ ft}^2$ . Si el flujo luminoso de 1- lm llega a cada pie cuadrado, la fuente puntual uniforme produce un total de 12.57 o 4 lm.

**1.1.1.15 POTENCIA LUMINOSA ESFÉRICA MEDIA:** Es la potencia luminosa promedio de una fuente de luz en todas las direcciones en el espacio. Es igual al total de flujo luminoso de la fuente de luz dividido por  $4\pi$ , lo cual es el área total de la superficie de la esfera

$$PLEM = \frac{\text{total de flujo luminoso}}{\text{área total de la esfera}} = \frac{\Phi_{total}}{4\pi}$$

**CONSIDERACIONES:** La fórmula anterior supone que la fuente de luz es uniforme en su distribución, lo cual significa que los vectores de intensidad luminosa emitida desde la fuente puntual son iguales en todas direcciones. Esta distribución sería para una indicatriz que sea una esfera perfecta, lo cual no puede existir en cualquier fuente de luz real, debido al efecto de bloqueo de la base de la lámpara. La unidad es el lumen/sterorradian, o la candela (cd).

**LÍMITE ECONÓMICO DE OPERACIÓN:** " Es el tiempo cuando la lámpara ha disminuido tanto su emisión luminosa que es más económico destruirlas y cambiarlas por nuevas, que continuar operándolas".

**1.1.2 SISTEMA MÉTRICO:** El sistema inglés de unidades tiende a desaparecer rápidamente, por lo que en un futuro próximo todos los países utilizarán el sistema métrico, mas propiamente llamado el Sistema Internacional de Unidades, cuya abreviatura es SI. Las razones primarias para adoptar el SI de unidades son:

- 1) Su extenso uso en la mayor parte de los países del mundo,
- 2) Son las unidades primarias en el campo científico y,
- 3) La necesidad de uniformizar los campos de ciencias e ingeniería.

En la Ingeniería de Iluminación sólo aquellos términos que involucran unidades de longitud o áreas serán afectados por la conversión. Las unidades de lúmenes, candelas, sterorradianes y eficacia permanecen igual. Por lo tanto solo las unidades de iluminación y luminancia serán afectadas por la conversión al SI de unidades.

Iluminación (E)

$$1fc = 1 \frac{lm}{ft^2} = 10.76 \frac{lm}{m^2} = 10.76lux$$

La unidad en el SI para iluminación es el lux; la cantidad de luz es 10.76 veces la cantidad de footcandles. La constante (10.76) es actualmente la conversión de pies cuadrados a metros cuadrados. La fórmula de conversión es:

$$\frac{1fc}{10.76lux} = 1$$

Por ejemplo:

$$30fc \times \frac{10.76lux}{1fc} = 322.8lux$$

Luminancia (L)

$$1fl = \frac{1cd}{\pi ft^2} = 3.426 \frac{cd}{m^2}$$

La unidad del SI para luminancia es candelas por metro cuadrado. La cantidad de candelas por metro cuadrado es 3.426 veces la cantidad de footlamberts.

Una candela por metro cuadrado es equivalente a una unidad nits. La constante (3.426) contiene la conversión de pies cuadrados a metros cuadrados e incluyen el factor. La fórmula de conversión es:

$$\frac{1fl}{3.426 \left( \frac{cd}{m^2} \right)} = \frac{fl \times m^2}{3.426cd} = 1$$

Por ejemplo:

$$452fl \times \frac{3.426cd}{fl \times m^2} = 1548.6 \frac{cd}{m^2}$$

1.1.3 TEMPERATURA DE COLOR: Para definir la temperatura de color el término "cuerpo negro emisor" debe definirse. Un cuerpo negro es teóricamente un emisor completo y perfecto

Un cuerpo negro emisor cambia de color conforme su temperatura aumenta, primero a rojo, luego a naranja, amarillo, blanco azulado y blanco. La temperatura de color, entonces, se usa para describir el color de una fuente de luz por comparación con el color del cuerpo negro emisor. Por ejemplo, la apariencia de color de una lámpara incandescente es similar al cuerpo negro emisor calentado a aproximadamente 3000° K. Por lo tanto, se dice que la lámpara incandescente tiene una temperatura de color de 3000° K. La temperatura de color no es una medida de la temperatura real de la lámpara. Es la temperatura del cuerpo negro emisor a la cual el color es el mismo.

Para asignar una temperatura de color a una fuente de luz, la fuente de luz debe igualar al cuerpo negro emisor en términos de cromaticidad (aparición de color), así como tener una curva de Distribución de Potencia Espectral (DPE) similar. Una lámpara incandescente tiene una curva de DPE cercana a la del cuerpo negro emisor; e igualar la cromaticidad también es posible. Por lo tanto, la temperatura de color puede asignarse apropiadamente a las fuentes incandescentes.

La mayoría de las lámparas fluorescentes blancas pueden igualarse en cromaticidad, pero no tienen una curva de DPE similar al cuerpo emisor. Por esto, a estas lámparas no se les puede asignar una temperatura de color. Las lámparas fluorescentes se describen en términos de una temperatura correlacionada de color. Una temperatura correlacionada de color implica una igualdad en cromaticidad pero no una curva de DPE igual, ya que las fuentes quedan fuera del campo del cuerpo negro emisor. Se utilizan líneas de isoterma que cruzan el campo del cuerpo negro emisor para determinar la temperatura correlacionada de color (ver fig. 1.8). Las fuentes que no igualan al cuerpo negro emisor en términos de cromaticidad o DPE no puede asignársele una temperatura de color o una temperatura correlacionada de color.

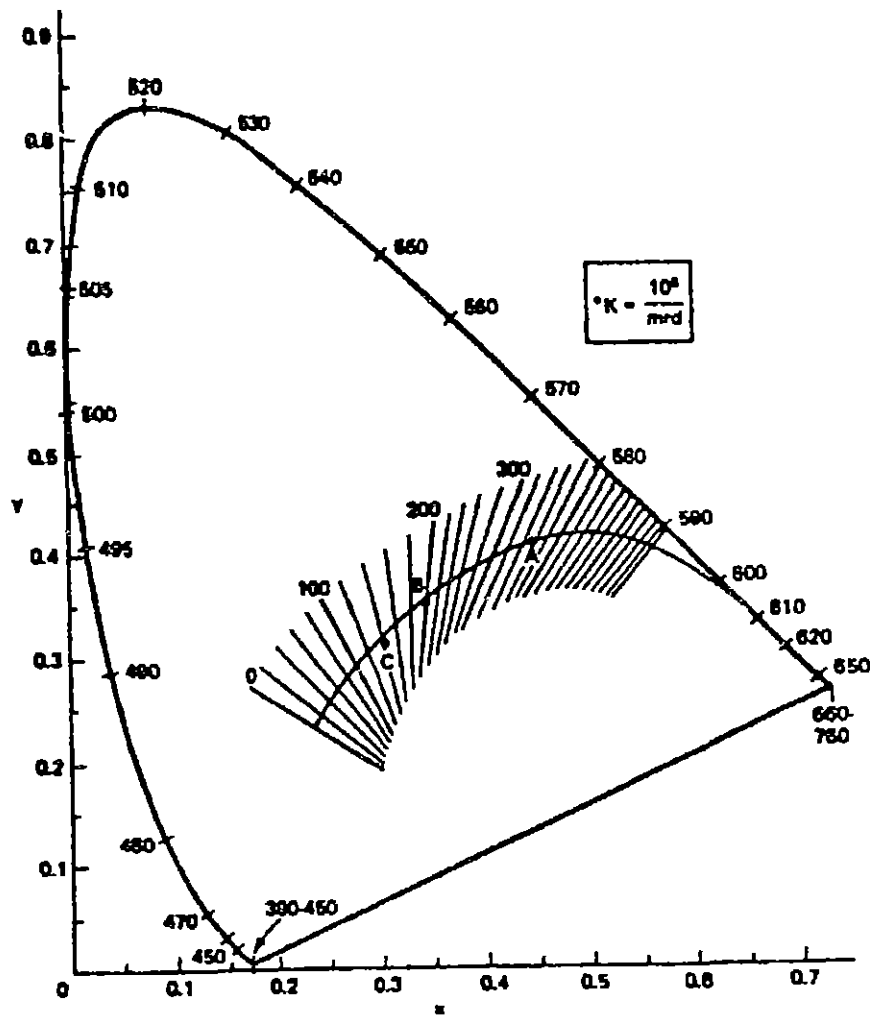


FIG. 1.8 TEMPERATURA CORRELACIONADA DE COLOR

1.2 FUNDAMENTOS DE FOTOMETRÍA. El progreso en una rama de la ciencia o la ingeniería depende, en gran parte, de la habilidad para medir las cantidades asociadas con ésta. Por lo que cada avance en las técnicas de medición significa un aumento de conocimiento.

La medición de luz es llamada fotometría, y el instrumento básico empleado se llama fotómetro. Los primeros fotómetros dependían de la apreciación visual como medio de medición. Estos se usan raramente en la actualidad, habiendo sido sustituidos por modernos fotómetros " físicos" no visuales, los cuales dan mayor precisión y facilidad de uso. Los fotómetros físicos utilizan la energía radiante incidente sobre un receptor que produce cantidades eléctricas medibles.

**CURVA DE EFICIENCIA LUMINOSA ESPECTRAL.** En general, las mediciones de luz con instrumentos físicos son útiles solo si éstas indican confiablemente cómo reaccionaría el ojo a cierto estímulo. En otras palabras, tal instrumento debe ser sensible a la distribución de potencia espectral de la luz en la misma forma que el ojo. Debido a las muy sustanciales diferencias entre los pares de ojos de individuos con respecto a lo anterior, se ha establecido la curva normalizada de respuesta del observador por la CIE (también se conoce como curva de sensibilidad del ojo) (ver fig. 1.10). Por lo tanto las características de sensibilidad de un receptor físico deben ser equivalentes a las del observador normalizado. La requerida igualación se logra usualmente, agregando filtros entre el elemento sensible a la luz y la fuente de luz.

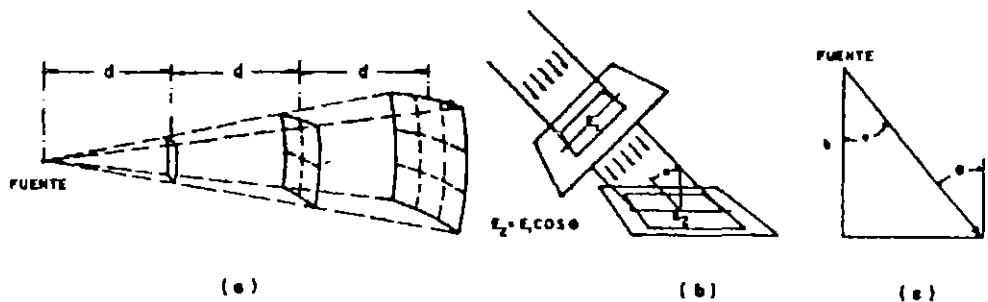


FIGURA 1.9

- a) Ilustración de la Ley del cuadrado inverso en la cual se muestra cómo el flujo de luz se distribuye en una gran área conforme la distancia de la fuente a la superficie aumenta.
- b) La *Ley del Coseno de Lambert* que muestra que la luz que incide en una superficie a ángulos diferentes a la normal se distribuye en una gran área.
- c) Explicación de la Ley del Coseno Cúbico.

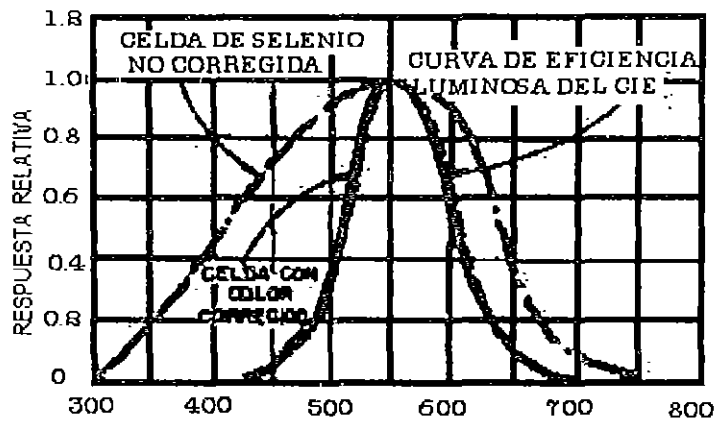


FIG. 1.10 LONGITUD DE ONDA EN NANÓMETROS

**VISIÓN FÓTICA Y ESCÓTICA:** Todas las mediciones fotométricas ordinarias se suponen hechas con el ojo del observador en el estado fótico o adaptado a la luz. Cuando la luminancia de la superficie que se va a medir es mucho menor de 0.034 candela por metro cuadrado (0.01 footlambert), el ojo no puede mantenerse adaptado a la luz. La mayoría de mediciones de materiales fosforescentes y fluorescentes se hacen en el rango escótico (adaptado a la oscuridad), o en la región entre la visión escótica y fótica. Debido al cambio en la respuesta espectral del ojo a estos bajos niveles, es necesario tomar mediciones especiales para evaluar los resultados de tales mediciones.

**CANTIDADES MEDIBLES.** Muchas características de la luz, de las fuentes de luz, de materiales para iluminación y de instalaciones de iluminación, pueden medirse.

Las mediciones de mayor interés general son:

1. Iluminancia
2. Luminancia
3. Intensidad luminosa
4. Flujo Luminoso
5. Contraste
6. Color (apariencia y rendimiento)

7. Distribución Espectral
8. Características Eléctricas
9. Energía Radiante

## 1.2.1 BASES PARA LA FOTOMETRÍA

1.2.1.1 PRINCIPIOS. Las mediciones fotométricas frecuentemente involucran una consideración de la Ley del cuadrado inverso (la cual estrictamente solo es aplicable para fuentes puntuales) y la Ley del Coseno.

LEY DEL CUADRADO INVERSO.- La ley del cuadrado inverso (ver fig. 1.9a) establece que la iluminación ( $E$ ) en un punto de una superficie, varía directamente con la potencia en candelas ( $I$ ) de la fuente e inversamente con el cuadrado de la distancia ( $d$ ) entre la fuente y el punto. Si la superficie en ese punto es normal a la dirección de la luz incidente, la ley puede ser expresada de la siguiente manera:

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

Esta ecuación es cierta dentro de un 0.5% cuando  $d$  es al menos 5 veces la máxima dimensión de la fuente (o luminario) como se ve desde el punto en la superficie.

LEY DEL COSENO.- La ley del coseno de Lambert (ver fig. 1.9b) establece que la iluminancia de cualquier superficie varía con el coseno del ángulo de incidencia. El ángulo de incidencia  $\theta$  es el ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de la luz incidente. La ley del cuadrado inverso y la ley del coseno pueden ser combinadas como a continuación:

LEY DEL COSENO CÚBICO.- Una extensión útil de la ley del coseno es la ecuación del "coseno cúbico" (ver fig. 1.9c). Sustituyendo  $h/\cos \theta$  por  $d$ , la ecuación de arriba puede escribirse:

$$E = \frac{I \cos^3}{h^2}$$



1.2.1.2 PATRONES. Los patrones de intensidad luminosa, flujo luminoso y color son establecidos por los Laboratorios Nacionales de Física. Se pueden usar varios tipos de patrones en Laboratorios Fotométricos.

PATRONES PRIMARIOS.- Un patrón primario, reproducido de especificaciones, usualmente se encuentra solo en un Laboratorio Nacional de Física.

PATRONES SECUNDARIOS.- Los patrones secundarios usualmente se obtienen directamente de patrones primarios. Un patrón secundario debe ser preparado utilizando equipo eléctrico y fotométrico muy preciso, y usualmente este patrón se conserva en un Laboratorio Nacional de Física.

Estos patrones se utilizan en Laboratorios Fotométricos de la Industria.

El conservar los valores de estos patrones es de primordial importancia; por lo tanto, un patrón se debe usar lo menos posible. Un patrón se usa, maneja y guarda con el mayor de los cuidados. Estas lámparas se encontrarán donde quiera que la exactitud fotométrica garantice la más alta precisión alcanzable.

PATRONES DE REFERENCIA.- Patrón de referencia es un término alterno para un patrón secundario.

PATRONES DE TRABAJO.- Los patrones de trabajo pueden prepararse para el uso diario, debido al costo de los patrones de referencia. Un laboratorio prepara sus propios patrones de trabajo para usarse en calibrar un fotómetro. Aún así un patrón de trabajo no debe usarse durante la realización de una prueba, excepto donde se requiera hacer una comparación directa.

1.2.1.3 MÉTODOS GENERALES. Las mediciones fotométricas, en general, hacen uso de las leyes básicas de fotometría mencionadas con anterioridad, aplicadas a las lecturas de instrumentos de comparación visual fotométrica o instrumentos fotoeléctricos. Véase a continuación varios tipos de procedimientos que han sido diseñados:

FOTOMETRÍA DIRECTA.- La fotometría directa consiste en la comparación simultánea, de una lámpara patrón y una fuente de luz desconocida.

FOTOMETRÍA POR SUSTITUCIÓN.- La fotometría por sustitución consiste de una evaluación secuencial de las características fotométricas deseadas de una lámpara patrón y una fuente de luz desconocida en términos de una referencia arbitraria.

FOTOMETRÍA RELATIVA.- Para evitar el uso de lámparas patrón, se aplica generalmente el método relativo. La fotometría relativa consiste en la evaluación de las características fotométricas deseadas, basada en una supuesta emisión de lúmenes de la lámpara de prueba. Alternamente se puede hacer la medición de una fuente de luz no calibrada en términos de otra.

FOTOMETRÍA DE FUENTES NO ESTABLES.- Algunas veces es necesario el medir la emisión luminica de fuentes que no están estables o están ciclando, en este caso se debe tener extremo cuidado al hacer la medición.

MEDIOS DE ATENUACIÓN.- Al hacer mediciones fotométricas, a veces se hace necesario el reducir la intensidad luminosa de una fuente, en una relación conocida, para que esté en el rango del instrumento de medición. Uno de los medios para hacer esto, es un disco con sectores, giratorio, con una o más aperturas angulares. Si tal disco es colocado entre una fuente y una superficie, y girado a tal velocidad que el ojo no perciba parpadeo, la luminancia efectiva de la superficie se reduce en la relación del tiempo de exposición al tiempo total (Ley de Talbot). La reducción es por el factor  $\theta/360^\circ$ , donde  $\theta$  es la apertura angular total en grados. El disco con sectores tiene ventajas sobre muchos otros filtros. No es afectado por un cambio de características durante un periodo de tiempo. Reduce el flujo luminoso sin cambiar su composición espectral. Los discos con sectores no deben usarse con fuentes de luz que tengan variaciones cíclicas en su salida.

También se usan para atenuar varios tipos de filtros neutros de transmitancia conocida. Los filtros de metal perforado o de malla son perfectamente neutros, pero tienen un rango limitado.

Los espejos parcialmente plateados tienen alta reflectancia, y la luz reflejada debe controlarse para evitar errores en el fotómetro. Cuando este tipo de filtro es perpendicular al eje fotómetro-fuente de luz, se pueden provocar serios errores debido a las múltiples reflexiones entre las superficies del filtro y del receptor. Estas pueden evitarse montando el filtro a un pequeño ángulo (no más de  $3^\circ$ ) de la perpendicular, y a una distancia suficiente del receptor para que las reflexiones se deriven del eje fotométrico. En esta posición inclinada, se debe tener cuidado de no reflejar luz de las superficies adyacentes al receptor. También es difícil el asegurar una transmisión uniforme completa, en todas las partes de la superficie.

LOS FILTROS DE VIDRIO TAMBIÉN LLAMADOS "NEUTROS" rara vez son neutros y sus características de transmisión deben ser revisadas antes de usarlos. En general, estos tienen una característica de alta transmitancia en la región del rojo, y baja en la del azul, y pueden requerirse filtros para corrección espectral. Sin embargo, este tipo de filtro varía en transmitancia con la temperatura ambiente, como otros muchos filtros ópticos.

LOS FILTROS DE GELATINA "NEUTROS" son completamente satisfactorios, a pesar de que no son completamente neutros. Algunos tienen un pequeño efecto de maduración, perdiendo neutralidad durante un periodo de tiempo. Deben protegerse por medio de pegarlos entre dos piezas de vidrio y revisarse cuidadosamente que no haya pérdida de contacto entre el vidrio y la gelatina. Los filtros no deben ser guardados juntos, a menos que estén pegados entre vidrios, debido a errores que pueden crearse por la interferencia entre superficies.

Con técnicas modernas de medición, se pueden efectuar alteraciones electrónicas para mantener la salida de una combinación receptor-amplificador en el rango de linealidad.

**1.2.2. FOTÓMETROS.** Un fotómetro es un dispositivo para medir energía radiante del espectro visible. Varios tipos de instrumentos físicos consisten de un elemento sensible a la energía radiante y de un equipo apropiado para medir la energía radiante infrarroja y ultravioleta. Cuando se usan con un filtro para corregir su respuesta a la del observador patrón de la CIE, miden luz visible y usualmente son llamados fotómetros físicos.

En general, los fotómetros pueden ser divididos en dos clasificaciones: 1) fotómetros de laboratorio, los cuales usualmente tienen una posición fija y proporcionan resultados de gran exactitud, y 2) fotómetros portátiles de menor exactitud, para hacer mediciones fotométricas en el campo o fuera del laboratorio. Estos también pueden agruparse de acuerdo a su función, tales como: fotómetros para medir intensidad luminosa (potencia de candelas), flujo luminoso, iluminancia, luminancia, distribución de luz, reflectancia y transmitancia de luz, color, distribución espectral y visibilidad.

**1.2.2.1. FOTÓMETROS DE ILUMINANCIA.** En años recientes los métodos fotométricos visuales han sido suplantados comercialmente por métodos físicos; sin embargo, los métodos visuales, debido a su simplicidad, aún se usan en laboratorios educacionales para mostrar los principios fotométricos y los tipos menos habituales de mediciones fotométricas.

Los fotómetros fotoeléctricos pueden dividirse en dos clases: Los que emplean dispositivos de estados sólido tales como celdas fotovoltaicas y celdas fotoconductoras; y aquellos que emplean tubos fotoemisivos, los cuales requieren considerable equipo adicional para su operación.

**MEDIDORES DE CELDA FOTOVOLTAICA.-** Una celda fotovoltaica es aquella que convierte directamente la energía radiante en energía eléctrica. No solo proporciona una pequeña corriente, aproximadamente proporcional a la iluminación incidente, sino que también produce una pequeña fuerza electromotriz capaz de hacer circular esta corriente por un circuito de baja resistencia. Las celdas fotovoltaicas proporcionan mucho mayores corrientes que las celdas fotoemisivas, y pueden operar directamente un instrumento sensible, tal como un galvanómetro o un microampérmetro, sin embargo, la respuesta de las celdas fotovoltaicas a altos niveles de iluminación incidente, deja de ser lineal cuando la resistencia del circuito al cual están conectadas aumenta; por lo que, para obtener resultados precisos, el circuito externo y el medidor deben de permitir tener una impedancia cercana a cero a través de la fotocelda.

Algunos de los medidores de iluminancia portátiles usados hoy en día consisten de una celda fotovoltaica, o celda conectadas a un medidor calibrado directamente en lux o footcandles.

Sin embargo, con los modernos dispositivos electrónicos de estado sólido, los amplificadores operacionales se han utilizado exitosamente para amplificar la salida de celdas fotovoltaicas, obteniéndose así la condición que produce la más favorable linealidad entre la salida de la celda y la luz incidente, esto se obtiene, reduciendo la diferencia a través de la celda a cero. Los requerimientos de energía del amplificador son mínimos, y fácilmente pueden ser suministrados por baterías pequeñas. Además, se pueden usar instrumentos digitales para eliminar las ambigüedades inherentes de los instrumentos de aguja.

**RESPUESTA ESPECTRAL:** La respuesta espectral de las celdas fotovoltaicas es algo diferente a la del ojo humano por lo que usualmente se emplean filtros para corregir el color. Como un ejemplo en la (fig. 1.10), se muestra el grado en que se aproxima una celda fotovoltaica comercial de selenio corregida, como la que comúnmente se usa en medidores de iluminancia, a la curva patrón de eficiencia luminosa espectral de la CIE. Las celdas de un tipo dado varían considerablemente a este respecto, y para precisión en la fotometría de laboratorio cada celda debe corregirse individualmente.

**EFFECTOS TRANSITORIOS:** La salida de celdas fotovoltaicas, cuando están expuestas a iluminación constante, requerirán de un pequeño tiempo de rizo para alcanzar una salida estable y después puede decrecer ligeramente durante un periodo de tiempo debido a fatiga. Los tiempos del rizo para celdas de silicón son menores que para celdas de selenio.

**EFFECTOS DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA (efecto coseno).**- Parte de la luz que llega a una celda fotovoltaica a grandes ángulos de incidencia es reflejada por la superficie de la celda y por la cubierta de vidrio, y algo puede ser obstruida por el anillo de la caja de la celda. El error resultante se incrementa con el ángulo de incidencia, y en medición de iluminancia donde una porción apreciable del flujo llega a grandes ángulos, un medidor no corregido puede dar una lectura de hasta 25% abajo del valor verdadero. Las celdas usadas en la mayoría de los medidores de iluminancia actualmente cuentan con cubiertas difusoras o algunos otros medios de corregir la superficie sensible a la luz para aproximar la respuesta coseno verdadera. La componente de iluminancia proporcionada por fuentes individuales a grandes ángulos de incidencia, puede determinarse orientando la celda perpendicularmente a la dirección de la luz, y multiplicando la lectura obtenida por el coseno del ángulo de incidencia. Otros métodos han sido propuestos.

La posibilidad de error de coseno debe tomarse en consideración en algunas aplicaciones de laboratorio de celdas fotovoltaicas. Una solución satisfactoria al problema, consiste en colocar un disco difusor opalino de plástico acrílico con una superficie mate sobre la celda. A grandes ángulos de incidencia, sin embargo, éste refleja la luz especularmente, por lo que las lecturas son muy bajas. Esto puede ser compensado permitiendo a la luz alcanzar la celda a través de las orillas del plástico. Las lecturas a ángulos muy grandes serán entonces muy grandes pero pueden ser corregidas usando un arillo pantalla.

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA.-** Las grandes variaciones de temperatura ya sean arriba o abajo, afectan el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas, particularmente donde la resistencia externa del circuito es alta. La prolongada exposición a temperatura arriba de 50°C (120°F) dañarían permanentemente las celdas de selenio. Las celdas de silicón son considerablemente menos afectadas por la temperatura. Las mediciones a altas temperaturas y a altos niveles de iluminancia deben, por lo tanto, ser hechas rápidamente para evitar el sobrecalentamiento de la celda. Las celdas selladas herméticamente proporcionan mayor protección de los efectos de la temperatura y humedad. Cuando se usan celdas fotovoltaicas a temperaturas diferentes de la calibrada, se pueden usar factores de conversión, o medios para mantener la temperatura de la celda en la vecindad de 25°C (77°F).

**EFFECTO DE LA VARIACIÓN CÍCLICA DE LA LUZ.-** Cuando las fuentes de descarga eléctrica son operadas como fuentes de alimentación de corriente alterna, se deben tomar precauciones con respecto al efecto de la frecuencia en la respuesta de la fotocelda. En algunos casos estas fuentes de luz pueden ser moduladas a varios miles de Hertz. Se debe considerar si la respuesta de la celda es exactamente equivalente a la ley de respuesta de Talbot del ojo por luz variando cíclicamente. Debido a la capacitancia interna de la celda, no siempre se puede suponer que la respuesta dinámica corresponde exactamente al valor medio de la iluminancia. Se ha encontrado que un circuito de baja resistencia o cero resistencia, es el más satisfactorio para determinar la intensidad promedio de fuentes de luz en estado modulado o estable, con las cuales los instrumentos de celda fotovoltaica son generalmente calibrados. Aunque un microampérmetro o galvanómetro parece registrar la corriente de una fotocelda estable, éste puede no recibir tal corriente, y puede realmente recibir una corriente pulsante la cual integra ya que su periodo de oscilación es largo comparado con los pulsos.

Hay medidores los cuales promedian sobre un periodo de tiempo, con lo que se elimina el efecto de la variación cíclica.

**FOTÓMETRO ZEROING.**- Es importante el revisar el fotómetro Zeroing antes de tomar mediciones. Si se usa un medidor analógico, se requiere ajustar la aguja al cero. Para cualquier tipo de equipo que use un amplificador, puede ser necesario ajustar a cero tanto el amplificador como las corrientes extrañas. Cuando sea posible, se debe verificar que el medidor permanezca correctamente ajustado en cero cuando la escala del fotómetro sea cambiada.

Como una alternativa, cualquier desviación de cero bajo condiciones de corrientes extrañas, puede medirse y restarse de las lecturas de luz.

**INTERFERENCIA ELÉCTRICA.**- Con la instrumentación electrónica moderna de hoy en día, se debe tener extremo cuidado en eliminar la interferencia inducida en los cables entre la celda y el instrumento. Esto puede lograrse con filtros, pantalla, aterrizado o combinaciones de lo anterior.

**MEDIDOR DE TUBO FOTOMULTIPLICADOR.**- Los tubos fotoeléctricos producen corriente cuando se recibe energía radiante en una superficie fotoemisiva, y es amplificada por un fenómeno conocido como emisión secundaria. Esto requiere un alto voltaje para operar (2000 a 5000 volts) y requerirá un amplificador para proporcionar una señal medible. La corriente resultante puede ser medida por un medidor de deflexión, un oscilógrafo o un dispositivo de salida digital. La "corriente extraña", o corriente que fluye a través del dispositivo mientras éste está en oscuridad absoluta, debe compensarse en el circuito o restarse de la emisión del tubo iluminado. Los medidores que emplean este dispositivo son usualmente extremadamente sensibles.

Debido a la construcción de tales medidores, estos son sensibles a los golpes y campos magnéticos fuertes. Los golpes pueden dañar el tubo fotomultiplicador y los campos magnéticos alteran la calibración del instrumento, también este dispositivo es sensible a la temperatura y se recomienda operarlo abajo o a la temperatura ambiente del local. Como con otros dispositivos fotoeléctricos, la curva de respuesta del fotomultiplicador espectral no es igual a la del ojo humano, por lo tanto se requieren filtros para corregir el color.

Debido al gran número de tipos de fotomultiplicadores disponibles, el fabricante debe suministrar el filtro óptico apropiado para el fotomultiplicador de interés.

Cuando el tubo (fotomultiplicador) se usa junto con un sistema de lentes ópticos, se puede construir un medidor de luminancia de alta sensibilidad y amplio rango. Están disponibles un gran número de tales medidores.

**1.2.2.2. FOTÓMETROS DE LUMINANCIA.** Los principios básicos discutidos anteriormente, relacionados con los fotómetros para la medición de iluminancia, se aplican igualmente para los de medición de luminancia. Los medidores de luminancia consisten esencialmente de un fotoreceptor enfrente del cual se coloca un medio de enfocar la imagen de un objeto de interés en el fotoreceptor. Por medio de óptica adecuada, por lo tanto, la luminancia de un cierto tamaño de mancha de luz cuando llega al receptor generará una señal eléctrica, la cual depende de la luminancia del objeto. Esta señal puede ser medida, y considerando que se ha efectuado la calibración necesaria, la lectura producida es la medición directa de la luminancia. Usualmente se proporciona un ocular tal que el usuario es capaz de ver el campo general de visión a través del instrumento.

Intercambiando el sistema de lentes en el frente del fotoreceptor, se pueden obtener diferentes campos de visión, y por lo tanto diferentes tamaños de área de medición. Esto puede variar desde áreas contenidas en un arco de pocos minutos hasta de varios grados.

Los fotorreceptores pueden ser de selenio, pero típicamente en los instrumentos modernos son celdas de silicón o fotomultiplicadores. La lectura del medidor puede ser analógica o digital y puede estar contenida en el medidor mismo o en forma remota. Usualmente se proporcionan controles del amplificador para ajustar el cero y para cambiar de escala, como pueden ser filtros ópticos para trabajar con colores o selección de escala por medio de filtros de densidad neutra.

**MEDIDOR DE BRILLANTEZ FREUD PARA ÁREAS PEQUEÑAS.-** Este es un fotómetro fotoeléctrico para medir luminancia de áreas pequeñas. Los modelos existentes cubren un campo de visión de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  o 1 grado. Un partidor de haz permite a una parte de la luz del lente objetivo alcanzar una retícula vista por el ocular.



La luz restante es reflejada hacia el campo operativo en frente del tubo fotomultiplicador, y la salida del tubo después de la amplificación se lee en un microamperímetro con una escala calibrada en candelas por metro cuadrado o footlamberts.

Uno de los filtros proporcionado con el instrumento, corrige aproximadamente la respuesta del fotomultiplicador a la curva patrón de eficiencia luminosa espectral. La deflexión completa se produce por  $10^{-1}$  a  $10^7$  candelas por metro cuadrado o  $10^{-2}$  a  $10^6$  footlamberts.

**FOTÓMETRO PRITCHARD.**- Este es un fotómetro fotomultiplicador de alta sensibilidad y alta precisión, con apertura de campo intercambiables que cubren campos de 2 minutos de arco a  $3^\circ$  en diámetro. Los rangos de sensibilidad a escala total son de  $10^{-4}$  a  $10^8$  candelas por metro cuadrado o  $10^{-5}$  a  $10^7$  footlamberts. Las lecturas de la luz medidas están libres de los efectos de polarización ya que no hay reflexiones internas del haz. La respuesta espectral de cada fotómetro es medida individualmente y se determinan e insertan los filtros que más se semejan a la curva patrón de eficiencia luminosa espectral. También se incluyen filtros para permitir la evaluación de factores de polarización y color.

**1.2.2.3 FOTÓMETROS ESI.** La iluminación esférica equivalente (ESI) puede medirse tanto visualmente como físicamente. Las mediciones visuales se hacen por comparaciones visuales entre el plano de trabajo u objeto visto en el ambiente medido (actual), y el plano de trabajo u objeto visto en una esfera luminosa, usando un evaluador visual del objeto. Las mediciones físicas de ESI están basadas en los algoritmos descritos en el manual de iluminación de la IES. Los únicos parámetros que deben ser medidos en el sitio son  $L_b$  y  $L_t$ . Todos los dispositivos físicos ESI miden en una u otra forma  $L_b$  y  $L_t$ . Los dispositivos de medición discutidos aquí son presentados en orden cronológico de desarrollo.

**FOTÓMETRO DE TAREA VISUAL (VTP).**- Este fotómetro es el instrumento básico de referencia contra el cual son comparados los otros. La ESI no se mide directamente; primero se mide  $L_b$  y  $L_t$  y después se calcula la ESI. El objeto que va a ser evaluado se monta en una base móvil de objetivo y se apunta un telefotómetro a éste, desde el ángulo de visión deseado. El objeto y el telefotómetro (usualmente montado en una carreta) son posicionados para que el objeto esté en el lugar donde va a ser medido, y el telefotómetro apuntado a la adecuada dirección de visión.

El cuerpo sombra patrón (anexo al telefotómetro) proporciona una sombra al objeto en forma similar a la de un observador. Se mide  $L_b$ . Después se mueve la base para que el objeto esté a la vista del telefotómetro y se mide  $L_t$ .

**MEDIDOR VISUAL ESI.**- El medidor visual ESI consiste de un sistema óptico, un velo luminoso variable, un transportador de objetivo, una esfera luminosa, un medidor de iluminancia (dentro de la esfera) y un cuerpo sombra.

Se coloca un objeto en el transportador de objetivo y se ve a través del sistema óptico. El contraste de la tarea se reduce al umbral, ajustando un velo luminoso variable. La luminancia del campo se mantiene automáticamente constante, para no alterar la adaptación a la luminancia del ojo del observador. Luego se introduce a la esfera el objeto y se ajusta el sistema óptico hasta que el objetivo esta otra vez en el umbral; la visibilidad del objeto es igual dentro de la esfera que afuera. La iluminancia de la esfera se mide para determinar directamente la ESI;

**MEDIDORES FÍSICOS DE ESI.**- Existen dos dispositivos que no dependen de la presencia de un objeto para su precisión. En vez de éste, estos usan datos numéricos los cuales representan las características de reflectancia del objeto como funciones de distribución de reflectancia bidireccional (FDRB'S).

Un medidor utiliza cilindros que representan una analogía óptica del fotómetro de tarea visual (VTP), en este medidor se usan dos cilindros por medición, uno que representa un objeto  $L_b$ , llamado el cilindro de fondo, y uno que representa  $L_b-L_t$ , llamado el cilindro de diferencia. Estos dos parámetros pueden ser usados para calcular la ESI en lugar de solo  $L_b$  y  $L_t$ . Cada cilindro tiene su propio cuerpo sombra. Se coloca una sonda de iluminancia corregida por coseno en el lugar donde se desea la medición. El cilindro de fondo es colocado encima de la sonda y orientado en la dirección apropiada de visión. Entonces se anota la iluminancia del fondo. El cilindro de fondo se cambia por el cilindro de diferencia, orientado en la misma dirección, y se anota la diferencia de iluminancia. La ESI se calcula de las lecturas de iluminancia de fondo y de diferencia.

En otro medidor, un medidor registrador de luminancia, consiste de una sonda de luminancia de campo angosto anexa a un aparato motorizado registrador y a una minicomputadora para controlar al registrador, almacenar datos de funciones de distribución de reflectancia bidireccional (FDRB) y hacer cálculos. Para usar este instrumento para medir la ESI, la sonda se coloca en la posición deseada y la minicomputadora se programa para comenzar a registrar. Las luminancias son multiplicadas por sus apropiadas FDRB'S para determinar  $L_b$  y  $L_t$ . La minicomputadora entonces calcula directamente la ESI. El medidor registrador de luminancia tiene la capacidad de girar el objeto a cualquier dirección de visión, y de determinar la ESI en diferentes objetos con solo un grupo de mediciones registradas.

**FOTOMETRÍA DE TAREAS VISUALES.**- Las funciones de distribución de reflectancia bidireccional usadas con los medidores físicos, son obtenidas iluminando una tarea visual desde una particular dirección y viendo la tarea desde alguna otra dirección única. Se usa un fotómetro de tarea visual para ejecutar estas mediciones. El fotómetro utilizado es el mismo que se utiliza para las mediciones ESI excepto que se incluye una fuente de luz alineada, la cual puede ser posicionada en cualquier parte de una hemiesfera sobre la tarea visual. De este modo la tarea visual es iluminada de cada azimut y ángulo de declinación (usualmente en incrementos de cinco grados) y se mide la reflectancia en cada ángulo. La recopilación de los datos de reflectancia bidireccional para la tarea visual y su fondo forman la función de distribución de reflectancia bidireccional (FDRB).

**1.2.2.4 REFLECTÓMETROS.** Los reflectómetros son fotómetros utilizados para medir la reflectancia de materiales o superficies en forma especializada. Miden la reflectancia difusa, la especular y/o la reflectancia total. Los que están diseñados para determinar la reflectancia especular son conocidos como medidores de brillo (brillómetro). Un reflectómetro de tipo popular usa un haz alineado y una celda fotovoltaica. La fuente del haz y la celda están montadas en una relación fija en el mismo compartimiento. El compartimiento tiene una abertura a través de la cual viaja el haz. Esta cabeza o sensor se fija en un patrón de reflectancia de referencia con la apertura contra el patrón. El haz alineado choca con el patrón a un ángulo de  $45^\circ$ . La celda fotovoltaica se construye para que mida la luz reflejada a  $0^\circ$  del patrón. El instrumento se ajusta entonces para leer el valor establecido en el patrón. Luego se coloca el sensor en la superficie a ser medida y se anota la lectura. Se recomiendan dos precauciones.

El patrón usado debe ser del rango del valor esperado de la superficie a ser medida. También, si el área a ser considerada es grande, se deben tomar varias mediciones y promediarse para obtener un valor representativo. Otro tipo de instrumento, el reflectómetro de Baumgartner, mide tanto la reflectancia total como la transmitancia difusa. Consiste en dos esferas, dos fuentes de luz y dos celdas fotovoltaicas. La esfera superior se usa solo para la medición de reflectancia. La muestra a ser medida se coloca sobre una abertura en el fondo de la esfera, un haz alineado de luz se dirige a éste a alrededor de 30 grados de la normal, y la luz total reflejada, integrada por la esfera, se mide por dos celdas montadas en la pared de la esfera. El tubo que contiene la fuente de luz y los lentes de alineación se gira para que la luz incida en la pared de la esfera, y se toma una segunda lectura.

La muestra de prueba se conserva en su lugar durante ambas mediciones para que el efecto en ambas lecturas del pequeño espacio que ocupa de la superficie de la esfera sea el mismo.

La relación de la primera lectura a la segunda es la reflectancia de la muestra para las condiciones de la prueba. Las muestras de prueba de materiales traslúcidos deben tener un fondo de material difuso no reflector.

La transmitancia para luz difusa incidente se mide usando la fuente de luz en la esfera inferior, y tomando lecturas con y sin la muestra en la abertura entre las dos esferas. La introducción de la muestra cambiará las características de la esfera superior. Se debe hacer la corrección para compensar el error así introducido.

Hay varios instrumentos para medir las propiedades de reflectancia especular y características de brillo de materiales. Por ejemplo, se puede usar un instrumento similar al descrito anteriormente para la medición de la reflectancia difusa, excepto que la celda se fija a  $45^\circ$  en el lado opuesto de la muestra a la fuente de luz, midiendo así el haz especular reflejado. El ángulo entre la fotocelda y la muestra afectará la lectura obtenida.

**1.2.2.5 RADIÓMETROS.** Los radiómetros (algunas veces llamados fotómetros radiométricos) son usados para medir la potencia radiante en un amplio rango de longitudes de onda las cuales incluyen las regiones espectrales ultravioleta, visible a infrarroja.

Pueden emplear detectores los cuales sean no selectivos en respuesta a la longitud de onda, o los cuales den una respuesta adecuada en la banda deseada de longitud de onda. Los detectores no selectivos, por ejemplo, son aquellos en los cuales su respuesta varía poco con la longitud de onda, son termoacoplados, bolómetros y detectores piroeléctricos. Una clase de detectores selectivos de longitud de onda son de naturaleza fotoeléctrica e incluyen fotoconductores, tubos fotoemisivos, celdas fotovoltaicas y sensores de estado sólido, tales como fotodiodos, fototransistores y otros dispositivos unión.

La respuesta total de tales detectores puede ser modificada usando filtros apropiados para aproximarlos a alguna función deseada. Por ejemplo, pueden ser de color corregido por medio de un filtro, para duplicar la curva patrón de eficiencia luminosa en la región visible, o nivelar la respuesta de un detector a la energía radiante sobre alguna banda de longitudes de onda. Las correcciones deben compensarse para cualquier selectividad en la respuesta espectral del sistema óptico. Se debe tener especial cuidado en eliminar una respuesta a la radiación que esté fuera del rango deseado de interés.

Cuando se usa un monocromador para dispensar la radiación entrante, uno puede determinar la energía radiante en una banda muy pequeña de longitudes de onda. A este instrumento se le llama Espectroradiómetro y se usa para determinar la distribución de energía espectral (DEE), por ejemplo, la energía radiante por unidad de longitud de onda como una función de la longitud de onda de la radiación en cuestión. La DEE es fundamental: de ésta uno puede determinar en forma absoluta las propiedades radiométricas, fotométricas y colorimétricas de la radiación. La llegada del procedimiento digital ha facilitado tanto la medición como el uso de la DEE.

El rango de respuesta espectral generalmente depende de la naturaleza del detector. Los tubos fotomultiplicadores se extienden desde 125 a 1100 nanómetros. Varios tipos de fotodiodos de silicón cubren el rango de 200 a 1200 nanómetros. La respuesta de detectores no selectivos se extiende desde cerca del ultravioleta a 30 micrómetros y más allá.

La salida eléctrica de detectores (de voltaje o de corriente) es muy pequeña, por lo que a veces se requieren precauciones especiales para obtener niveles aceptables de señal, relaciones señal o ruido, y tiempos de respuesta (para señales que varíen muy rápidamente)

Se usan técnicas de conteo de fotones para niveles de radiación extremadamente bajos. En todo el trabajo radiométrico es de extrema importancia el evitar la radiación perdida, y se debe tener gran cuidado en asegurar que se ha excluido. Esto es difícil, porque tal radiación perdida no es visible al ojo, y una superficie aparentemente negra al ojo, puede realmente ser un excelente reflector de energía radiante fuera del espectro visible. Algunas veces la indeseable radiación puede ser absorbida por un filtro apropiado. Algunas veces un flujo tan alto de energía calienta el filtro hasta el punto en que se rompe o hasta que su transmitancia para otras longitudes de onda deseadas es alterada. En estos casos uno debe usar filtros no absorbentes de interferencia.

Ya que el flujo radiado de algunas longitudes de onda se dispersa o absorbe por una capa de aire entre el radiador y el detector, se debe considerar la localización de la fuente, el detector y el medio que los rodea.

**1.2.2.6 ESPECTRÓMETROS.** Fotometría es la medición de energía en el espectro visible, evaluada de acuerdo con la curva de respuesta visual del ojo; sin embargo cuando la energía es medida como una función de la longitud de onda, la medición es conocida como espectrofotometría. Sus aplicaciones van desde los análisis químicos cuantitativos precisos, a la determinación exacta de las propiedades físicas de la materia. En Ingeniería de Iluminación, la espectrofotometría es importante en la determinación de la transmitancia espectral y la reflectancia espectral. También se aplica a la medición de la emitancia espectral de lámparas, en cuyo caso se conoce como espectoradiometría. Esta forma de medición comúnmente cubrirá no sólo la proporción visible del espectro, también la ultravioleta y longitudes de onda cercanas al infrarrojo.

Los instrumentos usados para ejecutar las mediciones mencionadas anteriormente son llamados espectrofotómetros y espectoradiómetros, respectivamente. Estos instrumentos consisten básicamente de un dispositivo llamado monocromador, el cual separa o dispersa las diferentes longitudes de onda del espectro por medio de prismas, y un receptor adecuado, el cual mide la energía contenida dentro de un cierto rango de longitud de onda de la luz dispersa. Si el espectro se analiza visualmente más que por medio de un fotorreceptor, el instrumento se conoce como espectroscopio.

En el espectro visible, el único medio fundamental de examinar un color por análisis, normalización y especificación es por medio de la espectrofotometría.

Además es el único medio de normalización de color que es independiente del patrón del color del material (siempre de permanencia cuestionable), e independiente de las anomalías de visión del color existentes entre los aún así llamados observadores normales.

Los datos colorimétricos pueden ser calculados por la espectrofotometría por medio de los métodos de medición y especificación de color en la publicación de la CIE observador patrón y sistema coordinado para colorimetría. El desarrollo comercial de los espectrofotómetros ha servido para extender el rango de longitud de onda de alrededor de 200 a 2500 nanómetros, para hacer las lecturas automáticamente y para aumentar un integrador.

#### 1.2.2.7 TIPOS BÁSICOS DE EQUIPO

**FOTÓMETROS DE BANCO ÓPTICO.**- Los fotómetros de banco óptico se usan para la calibración de instrumentos para mediciones de iluminación. Proporcionan medios para montar fuentes y fotoceldas con adecuada alineación y un medio para determinar fácilmente las distancias entre estos equipos. Si se conoce la potencia en candelas se usa la ley del cuadrado inverso para calcular la iluminación.

**FOTÓMETRO DE DISTRIBUCIÓN.**- Las mediciones de intensidad luminosa (potencia en candelas) se hacen en un fotómetro de distribución el cual puede ser de uno de los siguientes tipos:

1. Goniómetro y celda sencilla
2. Celda múltiple fija
3. Celda móvil
4. Espejo móvil

Todos los tipos de fotómetros tienen ventajas y desventajas. El significado relacionado con cada ventaja o desventaja es muy dependiente de otros factores, tales como espacio disponible y facilidades, requerimientos de polarización, consideraciones económicas, etcétera.

**GONIÓMETRO Y CELDA SENCILLA.**- La fuente de luz se monta en un goniómetro el cual permite a la fuente girar alrededor del eje horizontal y del vertical. Las candelas se miden por medio de una celda fija sencilla.

Hay varias versiones de goniómetros. Cada uno está relacionado al tipo de luminario que va ser fotomedido y las instalaciones en las cuales éste es localizado. Con el uso de computadoras el sistema coordinado de un sistema de goniómetro puede ser fácilmente cambiado a otro sistema de coordenadas, haciendo así que la universalidad de los reportes de datos sea más práctica. En la fig. 1.11 se muestran dos tipos de sistema de goniómetro, conocidos como tipo A y tipo B.

**FOTÓMETRO DE CELDA MÚLTIPLE FIJA.-** Este tipo de fotómetro consiste de varias fotoceldas individuales montadas a varios ángulos alrededor de la fuente de luz bajo prueba. Las lecturas se toman en cada fotocelda para determinar la distribución de candelas (ver fig. 1.12).

**FOTÓMETRO DE CELDA MÓVIL.-** Este dispositivo consiste en una fotocelda la cual viaja en un aguilón rotatorio o riel con forma de arco, donde la fuente de luz se centra en el arco trazado por la celda. Las lecturas son tomadas con la celda posicionada en los ajustes angulares deseados. Algunas veces se coloca un espejo en un riel para aumentar la distancia de pruebas, (ver fig. 1.13).

**FOTÓMETRO DE ESPEJO MÓVIL.-** En este tipo de fotómetro el espejo gira alrededor de la fuente de luz reflejando las candelas a una celda sencilla. Las lecturas se toman a cada ángulo que se desea, moviendo el espejo a ese lugar (ver fig. 1.14).

**FOTÓMETRO ESFERA INTEGRADORA.-** El flujo luminoso total de una fuente (lámpara o luminario) se mide por medio de un integrador, el más común en uso es la esfera de Ulbricht. Algunas otras formas geométricas también se usan. La teoría de la esfera integradora considera una esfera vacía, la cual tiene su superficie interna con un acabado perfectamente difuso y de reflectancia uniforme no-selectiva. Cada punto en la superficie interna refleja a cualquier otro punto, y por lo tanto la iluminancia en cualquier punto, se compone de dos partes: el flujo proveniente directamente de la fuente, y el reflejado por otras partes de la pared de la esfera. Con estas consideraciones, se establece que la luminancia y por lo tanto la iluminancia, de cualquier parte de la pared, debida a la luz reflejada, solo es proporcional al flujo total de la fuente, sin importar su distribución. La luminancia de una pequeña área de la pared, o la luminancia de la superficie externa de una ventana transmisora difusa en la pared, cuidadosamente apantallada de la luz directa de la fuente, pero que reciba luz de otras porciones de la esfera, es por lo tanto una medida relativa del flujo de la fuente.



La presencia de una fuente finita, su soporte, las conexiones eléctricas, la pantalla y la ventana son aspectos que se aportan de las consideraciones básicas de la teoría de la esfera integradora. La gran cantidad de elementos que entran en las consideraciones de una esfera, como un integrador, hacen generalmente indeseable el usar una esfera para la medición absoluta de flujo, pero no desmerece cuando se utiliza un método de sustitución.

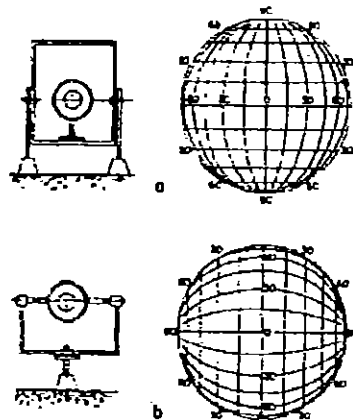


FIG (a) GONIOMETRO TIPO A  
(b) GONIOMETRO TIPO B

FIGURA. 1.11

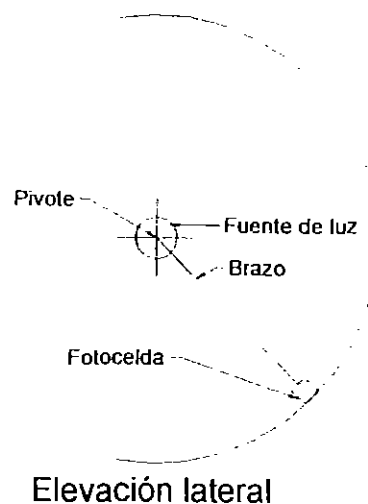


FIG. 1.12 ESQUEMÁTICO DE LA ELEVACION LATERAL DEL FOTÓMETRO DE CELDA MÚLTIPLE FIJA

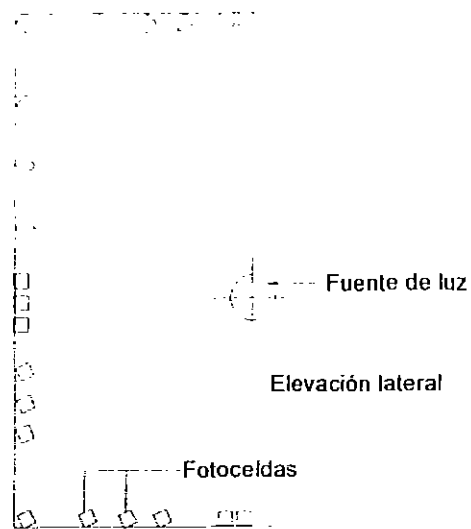


FIG. 1.13 ESQUEMÁTICO D E LA ELEVACIÓN LATERAL DEL FOTÓMETRO DE CELDA MÚLTIPLE FIJA

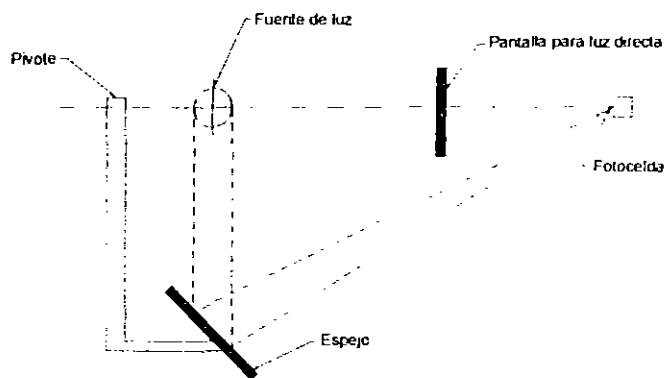


FIG. 1.14 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL MOVIMIENTO LATERAL DEL FOTÓMETRO DE CELDA MÓVIL

1.2.3 MEDICIONES DE LABORATORIO. La precisión y exactitud de las mediciones de laboratorio son resultado solo de una combinación de varios elementos: quizá el más importante es el personal entrenado adecuadamente. Otros son el control del suministro eléctrico, buenos instrumentos para medir electricidad y luz, estabilidad eléctrica de las lámparas en prueba y un cuidado meticuloso para evitar fuentes de error. Los errores más frecuentes se deben a un montaje

inadecuado del luminario: luz de otras partes; revisiones poco frecuentes de los aparatos de medición, celdas y patrones; inadecuada estabilización de las lámparas y balastos de descarga, y fallas al no fijarse en la asimetría de fuentes y luminarios.

A veces se tienen problemas para contar con un local adecuado a la distancia de prueba ya que a veces se requieren distancias grandes para medir proyectores y lámparas para proyector. Puede ayudar considerablemente el uso de espejos para disminuir la distancia de prueba

El contar con controles de aire y de la temperatura son requerimientos serios para la fotometría de lámparas de descarga. La limpieza, suministro adecuado de energía eléctrica y espacio para almacenar lámparas, luminarios e instrumentos delicados, son requerimientos que apenas es necesario mencionar.

Las técnicas especiales y procedimientos comunes están descritos en las guías de la IES y algunas otras guías de mediciones y pruebas.

**1.2.3.1 MEDICIONES ELÉCTRICAS DE LAMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE.** Algunas veces es deseable el determinar las características eléctricas de las fuentes de luz al mismo tiempo que se hacen las mediciones fotométricas.

Es indispensable que las lámparas de prueba estén eléctricamente estables antes de intentar cualquier medición eléctrica exacta. Para cumplir con lo anterior es necesario "envejecer" la lámpara de acuerdo con los procedimientos establecidos.

Cualquier tipo de instrumento eléctrico analógico utilizado, debe seleccionarse con escalas de corriente y tensión correspondientes a las condiciones del circuito, de tal forma que las lecturas se tomen entre la mitad y el final de las escalas. El utilizar estos instrumentos con lecturas en menos de la mitad de la escala hace que las mediciones sean dudosas. Deben tomarse en cuenta correcciones por caída en los instrumentos de corriente o tensión ya que la emisión luminica de las lámparas incandescentes es una función exponencial de la corriente y de la tensión. Los instrumentos deben seleccionarse con una precisión de 0.25% o más, del total de la escala para obtener una alta precisión y exactitud.

**INSTRUMENTACIÓN.- Circuitos de corriente directa.**

**CORRIENTE.-** Cuando la corriente de la fuente de luz es medida por medio de un ampermetro, toda la corriente demandada por la fuente debe pasar a través del ampermetro. Cuando se incluye en la lectura del ampermetro la corriente tomada por algún voltmetro, se debe efectuar la corrección para obtener la corriente real de la lámpara.

**VOLTAJE.-** El voltaje aplicado a la fuente de luz se mide por medio de un voltmetro. Para evitar la corrección por caída de tensión en el ampermetro, el voltmetro generalmente se conecta directamente a la carga. A veces se conectan puntas directamente a la base de la lámpara, por medio de un portalámpara especial, para evitar la caída de tensión resultante de la conexión lámpara-portalámpara.

**MÉTODO PRECISO.-** Para la medición de corriente y voltaje de directa el potenciómetro de deflexión, equipado con multiplicadores y divisores adecuados, proporciona un método rápido y exacto de medición. El ajuste de una perilla proporciona un balance aproximado del valor desconocido contra una celda estándar. El desbalance residual se lee con la deflexión de un milivoltmetro sensible, el cual reemplaza al galvanómetro del potenciómetro nulo.

El costo inicial de un potenciómetro de deflexión es considerablemente mayor que un voltmetro y un ampermetro; pero la velocidad de operación, y el aumento de exactitud, a veces justifican el gasto.

Una alta precisión también puede obtenerse con los modernos voltímetros digitales, los cuales tienen exactitudes de 0.01% y mayores. Estos instrumentos consumen muy poca potencia del circuito medido, comparados con los instrumentos de elemento móvil.

**POTENCIA.-** La potencia puede ser determinada multiplicando la corriente y tensión medidas.

**INSTRUMENTACIÓN.- Circuitos de corriente alterna.**

**CORRIENTE** - Los ampérmetros para utilizarse en circuitos de corriente alterna pueden ser adaptados para utilizarse con transformadores de corriente, con el objeto de seleccionar el rango de corriente del aparato al valor de la corriente de la lámpara.

**VOLTAJE**.- Los voltímetros para utilizarse en circuitos de corriente alterna pueden ser adaptados para utilizarse ya sea con un multiplicador o con un transformador de potencial. Con el voltímetro conectado directamente a la carga, la corriente demandada por el voltímetro está incluida en la lectura del ampérmetro, y la potencia demandada por el voltímetro está incluida en la lectura de cualquier wáttmetro. Como en el caso de las mediciones en corriente directa, la corriente del voltímetro se calcula dividiendo la lectura del voltímetro en volts entre la impedancia del voltímetro en ohms. La potencia demandada por el voltímetro es calculada de la misma forma, en el circuito de potencial del wáttmetro, y se hace la corrección a la lectura del wáttmetro.

Se debe tener cuidado al seleccionar los instrumentos de corriente alterna para que sean compatibles con la forma de onda de corriente alterna. Las ondas no senoidales de corriente alterna pueden requerir instrumentos de medición rmc para mayor exactitud. Todos los instrumentos de corriente alterna deben ser adecuados para la frecuencia de la línea de alimentación a la lámpara o ser calibrados para la frecuencia que interese. Algunos instrumentos, sensan corrientes promedio, pero son calibrados en valores rmc considerando que se utilizan con ondas senoidales.

**POTENCIA**.- En circuitos de corriente alterna la potencia se determina mejor, utilizando un wáttmetro. Si se utiliza uno, la bobina de corriente del wáttmetro se conecta a la línea en forma similar a la de un ampérmetro y el circuito de potencial del wáttmetro se conecta directamente a la carga, como un voltímetro. Bajo esta condición, la lectura del wáttmetro incluirá la potencia tomada por el circuito de potencial y debe hacerse la corrección. La corrección se determina por cálculo y es igual al cuadrado del voltaje de la carga (lámpara) dividido entre la resistencia del circuito de potencial del wáttmetro. Algunos wáttmetros son diseñados para compensar automáticamente la potencia demandada por la bobina de potencial. En tales casos el wáttmetro es conocido como wáttmetro compensado y cuando se utiliza este tipo de aparato, no necesita hacerse ninguna corrección.

**MÉTODO PRECISO.**- Se puede obtener una alta precisión en circuitos de corriente alterna utilizando voltímetros digitales que tengan precisión de 0.01% de la lectura o mejor. Estos aparatos deben dar lecturas en valores rmc y consumir una potencia muy pequeña del circuito que se esté midiendo

**1.2.3.2 MEDICIONES ELÉCTRICAS DE CIRCUITOS Y LAMPARAS DE DESCARGA ELÉCTRICA.** Todas las lámparas de descarga eléctrica tienen características de volt-amperes negativos y deben por lo tanto ser operadas con dispositivos limitadores de corriente internos o externos, tales como resistencias o balastos. Generalmente todas las lámparas de descarga son medidas en circuitos de C.A. usando aparatos rmc.

La medición de circuitos de lámparas de descarga eléctrica puede involucrar lámparas o balastos, pero en muchos casos los dos son inseparables y la operación combinada debe ser considerada. Los balastos usados comercialmente, debido a tolerancias normales de fabricación, alimentan a las lámparas con algunas variaciones en las características de la tensión y la corriente, lo cual afecta la alimentación eléctrica y la emisión luminica de las lámparas. Para promover la uniformidad en pruebas, La Comisión Internacional Electrotécnica (CIE), trabajando a través del Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI), La Asociación Canadiense de Normas (CSA) y Cuerpos Nacionales de Normalización similares en todo el mundo, tiene o está estableciendo procedimientos de prueba normalizados, para determinar las características eléctricas de la mayoría de las lámparas comunes de descarga. Donde no se han establecido normas internacionales, se utilizan normas nacionales.

**PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA PARA LÁMPARAS DE DESCARGA.**- Los parámetros de la lámpara están influenciados por varios factores y los procedimientos detallados de prueba aceptados, están descritos en las guías apropiadas de la IES. Algunas de las condiciones más importantes que afectan las pruebas de lámparas y balastos se discuten a continuación.

- A. **TEMPERATURA AMBIENTE.**- Si una lámpara es operada dentro de un gabinete, tal como una esfera de Ulbricht, la temperatura del aire dentro del gabinete es la temperatura ambiente. Una temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  debe mantenerse para lámparas fluorescentes

Las lámparas de descarga de alta intensidad son menos sensitivas a la temperatura y para ellas  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  es satisfactorio

- B. **CORRIENTES DE AIRE.**- Se debe tener mucho cuidado en reducir el movimiento de aire sobre la superficie de las lámparas, especialmente para las fluorescentes y en menor grado para las lámparas de descarga de alta intensidad.
- C. **POSICIÓN DE LA LÁMPARA.**- A menos que las pruebas sean diseñadas para obtener condiciones especiales, las lámparas fluorescentes deben ser probadas en posición horizontal. Las lámparas de descarga de alta intensidad pueden ser probadas en cualquier posición a menos que sean diseñadas específicamente para cierta posición, en cuyo caso deben probarse en esa posición.
- D. **CONEXIONES DE LA LÁMPARA.**- Las lámparas fluorescentes del tipo de 2 alfileres y cátodo caliente deben operarse con los mismos 2 alfileres conectados al circuito de operación para todas las condiciones durante las pruebas. El contacto central del circuito de conexión de la lámpara de descarga de alta intensidad siempre debe conectarse al lado de alto voltaje de la línea de alimentación.
- E. **ESTABILIZACIÓN DE LA LÁMPARA.**- Antes de que se tome cualquier medición, la lámpara debe operarse hasta que las características de funcionamiento sean estables. Si la naturaleza de la prueba requiere de lámparas "envejecidas", se recomienda operarlas un mínimo de 100 horas. Si las lámparas son precalentadas con un balastro y luego cambiadas a otro para la medición, se requiere de un periodo adicional de encendido en el circuito de medición para que la lámpara esté en equilibrio. No se deben utilizar lámparas que presenten funcionamiento anormal para propósitos de medición.
- F. **SUMINISTRO DE ENERGÍA.** La forma de onda de C.A. debe ser tal, que la suma rmc de las componentes armónicas no debe exceder de 3% de la fundamental. La impedancia de entrada, vista desde la lámpara y el balastro hacia la fuente, no debe exceder de 10% de la impedancia del balastro. A menos que se cuente con una regulación automática de la tensión dentro de 0.1% se necesita una constante revisión y reajuste.

Si se utiliza un estabilizador de voltaje de tipo estático, es particularmente importante el revisar la forma de onda.

- A. BALASTROS.- Las pruebas de los valores de las lámparas deben hacerse con la lámpara operando en serie con el balastro patrón correspondiente a un reactor lineal variable. Si no hay información del balastro patrón que se debe utilizar para la lámpara bajo prueba, entonces se debe utilizar un reactor que cumpla con los requerimientos generales de la lámpara. Se pueden hacer pruebas especiales con balastros diferentes a los balastros patrón especificados. Los resultados de estas pruebas no son directamente comparables con los obtenidos con un balastro patrón.
  
- B. MEDICIONES DE LÁMPARAS FLUORESCENTES CON ELECTRODOS CALENTADOS CONTINUAMENTE.- Las lámparas que utilizan el principio del encendido rápido son diseñadas para ser operadas con calentamiento continuo de los cátodos por devanados separados del balastro. Debido a la complejidad de las condiciones del circuito, las mediciones de estas lámparas, operadas con balastro serie, no representan exactamente los valores cuando la lámpara es operada por un balastro de encendido rápido.
  
- C. CIRCUITOS DE PRUEBA.- Un circuito típico de medición se muestra en la fig. 1.15, ya que el voltaje de línea puede ser insuficiente para el encendido de la lámpara o su operación, es necesario un transformador variable como se muestra en la figura. En el caso de lámparas fluorescentes, se muestra una lámpara de precalentamiento; eliminando el circuito de arranque se tiene el circuito de encendido instantáneo. El procedimiento para probar lámparas diseñadas para operación con electrodos calentados continuamente requiere atención especial. Los interruptores se muestran para eliminar instrumentos del circuito. Los que se utilicen para puentear bobinas de corriente, deben tener una resistencia muy baja y deben mantenerse para cumplir con este requerimiento. El balastro patrón o reactor y el resistor variable pueden ajustarse en factor de potencia e impedancia, con o sin las bobinas de corriente del ampérmetro y wáttmetro incluidas. Cualquier procedimiento es satisfactorio, pero las correcciones a instrumentos deben determinarse según el método utilizado.



D. INSTRUMENTACIÓN.- El voltaje en una lámpara de descarga eléctrica tiene una forma de onda distorsionada, por lo que los instrumentos usados deben ser del tipo cuya deflexión indica valores rmc. La impedancia combinada de los instrumentos conectados en paralelo con la lámpara, no debe demandar más del 3% de la corriente normal de la lámpara. La caída de tensión acumulada de los instrumentos conectados en serie con la lámpara debe ser menor al 2% del voltaje nominal de la lámpara. Cuando sea necesario, se deben hacer correcciones a las lecturas de voltaje y corriente de la lámpara.

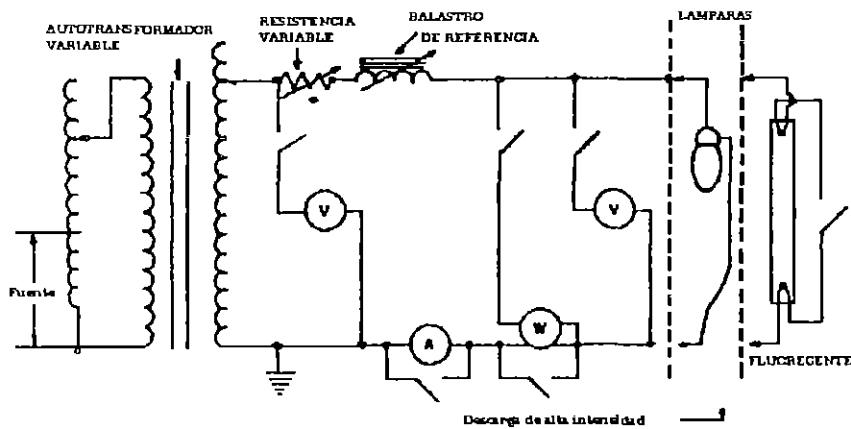


FIG 1-15 CIRCUITO BASICO DE MEDICION PARA LAMPARAS Y BALASTROS DE DESCARGA ELECTRICA

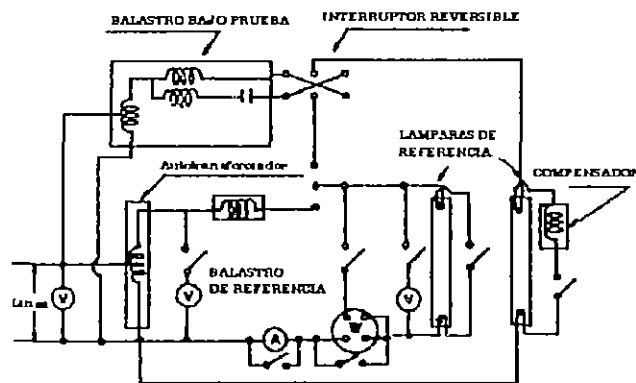


FIG 1-16 CIRCUITO PARA COMPARA EL FUNCIONAMIENTO DE LAMPARAS FLUORESCENTES CON DOS BALASTROS DIFERENTES

Se puede obtener una alta precisión utilizando voltímetros digitales modernos con precisión de 0.01% de la lectura o mejor. Estos dispositivos deben leer valores rmc. Cuando se utilizan estos instrumentos se demanda muy poca potencia del circuito de medición.

Debido a los voltajes transitorios (del orden de 1500 a 4500 volts) que se presentan cuando se encienden o apagan estas lámparas, se debe proporcionar una protección adecuada.

PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA - BALASTROS.- Los parámetros de los balastros están influenciados por varios factores y los procedimientos de prueba detallados se describen en las normas ANSI. Algunas de las condiciones más importantes que afectan las pruebas de balastros se discuten a continuación.

RANGO DE VOLTAJE.- Para la mayoría de las pruebas, los balastros deben ser operados a su voltaje nominal primario. Si son especificados para un rango, el voltaje debe ser el del centro del rango; el centro para un rango de 100-125 debe ser 118 volts.

- a. LÁMPARAS PATRÓN.- Algunas pruebas de balastros especifican que el balastro debe estar operando una lámpara patrón. Estas son lámparas envejecidas las cuales cuando operan bajo condiciones establecidas con balastro patrón, funcionan con valores de volts de lámpara, amperes y watts cada uno dentro de  $\pm 2.5\%$  de los valores establecidos por la especificación existente o propuesta.
- b. VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO.- Los balastros fluorescentes de secuencia serie están diseñados para operar dos lámparas en serie. El voltaje de circuito abierto de cada una de las posiciones de las lámparas debe ser medido con una lámpara en la otra posición. Esta medición solo es necesaria para balastros que contengan un transformador. Los balastros fluorescentes para lámparas con cátodos calentados continuamente tienen cuatro terminales las cuales se conectan a las lámparas. El voltaje de circuito abierto se debe medir entre el par que proporcione el voltaje mayor, con todos los devanados de calentamiento de cátodos, cargados con la apropiada carga sustituta de resistencias. El voltaje de circuito abierto para lámparas de sodio alta presión debe ser medido con el ignitor fuera de servicio.

- c. **VOLTAJE DE CALENTAMIENTO DE ELECTRODO.** En balastos para usarse con lámparas que tengan electrodos calentados continuamente, los voltajes de calentamiento de los electrodos son medidos con los devanados de los electrodos cargados con la carga sustituta especificada.
- d. **CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO (balastos de descarga de alta intensidad).**- Se inserta un ampérmetro en el circuito en lugar de la lámpara, y se mide la corriente de corto circuito del balastro.
- e. **CORRIENTE DE ENCENDIDO. BALASTROS FLUORESCENTES DE ENCENDIDO INSTANTÁNEO.**- Se utiliza una resistencia y un ampérmetro en serie, con una resistencia total equivalente al valor especificado en la norma apropiada, en lugar de la lámpara.
- **BALASTROS FLUORESCENTES DE ENCENDIDO INSTANTÁNEO.**- Se utiliza una resistencia y un ampérmetro en serie, con una resistencia total equivalente al valor especificado en la norma apropiada, en lugar de la lámpara.
  - **BALASTROS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD.**- El circuito secundario debe ser cortocircuitado.
- f. **CORRIENTE DE PRECALENTAMIENTO DE ELECTRODOS (balastos fluorescentes de precalentamiento).**- Esta medición se hace con un ampérmetro conectado en serie con los electrodos de la lámpara, mientras la lámpara se mantiene en la condición de precalentamiento.
- g. **SALIDA DE BALASTROS FLUORESCENTES**
- **PRECALENTAMIENTO Y ENCENDIDO RÁPIDO.**- Las especificaciones están en términos de la potencia suministrada a una lámpara patrón, operada por el balastro bajo prueba, comparada con la potencia suministrada a la misma lámpara por un balastro patrón. El circuito general para comparar el funcionamiento de lámparas fluorescentes en balastos comerciales y patrón se muestra en la fig. 1.16.
  - **ELECTRODOS CALENTADOS CONTINUAMENTE.**- Las especificaciones están en términos de la emisión luminica de una lámpara patrón, operada por el balastro bajo prueba, comparada con la emisión luminica de la misma lámpara patrón, cuando es operada por el balastro patrón apropiado.

g. REGULACIÓN DE BALASTROS FLUORESCENTES.- Estas mediciones involucran la potencia de entrada relativa a la lámpara y emisión luminica al 90% y 110% del voltaje nominal de entrada al balastro.

h. CORRIENTE DE LÁMPARAS FLUORESCENTES

- LÁMPARAS PATRÓN.- La corriente de una lámpara patrón debe ser medida tanto con el balastro bajo prueba, como con el balastro patrón.
- LÁMPARAS CON CALENTAMIENTO CONTINUO DE LOS ELECTRODOS. A menos que las conexiones internas de los balastros estén accesibles, la medición de la corriente de la lámpara, requiere instrumentación especial para proporcionar la suma vectorial de corrientes en los dos conductores de los electrodos.

**1.2.3.3. MEDICIONES FOTOMÉTRICAS DE LAS LAMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE.** Las características fotométricas de las lámparas de filamento incandescente desnudas, usualmente se determinan en conjunto con las mediciones eléctricas. Los procedimientos de prueba de la lámpara, los circuitos y la instrumentación, son similares, y durante la fotometría se deben tener las mismas precauciones generales que se tienen al hacer mediciones eléctricas. Estas lámparas (excepto las tipo serie) se miden usualmente a voltaje nominal. A las lámparas patrón se les establecen valores de lúmenes a corriente o voltaje un poco menos de su nominal, para mejorar el tiempo de operación sin cambio importante en los valores asignados. Se debe tener cuidado en mantener la temperatura de color correcta y/o la temperatura de la lámpara. En estas lámparas patrón se usan normalmente bases plateadas con níquel para reducir la corrosión y los problemas de alta resistencia durante su larga vida.

Las lámparas patrón de trabajo usualmente se hacen por comparación con las lámparas patrón de referencia. Estas deben tener los anillos de los soportes de los filamentos apretados firmemente alrededor del filamento, para evitar la posibilidad de que se cortocircuite una porción del filamento por un anillo doblado. También deben ser envejecidas adecuadamente y seleccionadas por comparaciones sucesivas con las lámparas patrón de referencia, para estabilidad.

Todas las lámparas patrón deben manejarse cuidadosamente para evitar exponerlas a daño mecánico. El exponerlas a corriente o voltaje arriba de los valores normalizados puede alterar los valores de la lámpara. Las lámparas pueden ser medidas en un fotómetro óptico de banco, si se desean obtener las candelas en una dirección dada o las candelas horizontales medidas. Las lámparas normalizadas para mediciones unidireccionales se marcan usualmente para indicar la orientación. Una práctica común es el marcar un círculo y una línea vertical en lados opuestos del bulbo. La dirección normalizada es del círculo a la línea, cuando están centradas ambas, viendo hacia el receptor.

La mayoría de las mediciones fotométricas de lámparas incandescentes requieren la salida total de luz y son hechas en una esfera. Se debe seleccionar una lámpara patrón de parecido tamaño físico, emisión lumínica y temperatura de color, al de la lámpara bajo prueba. La lámpara desconocida debe medirse en la esfera en la misma posición de la lámpara patrón. Si se van a tomar lecturas fotométricas durante la vida de la lámpara, se deben observar algunas precauciones especiales. Las lecturas para determinar la depreciación de la lámpara usualmente se toman al 70% de la vida nominal de la lámpara. En este tiempo puede haber ocurrido que exista algún ennegrecimiento del bulbo, por lo tanto, una lámpara ennegrecida y desconocida sustituye a una lámpara patrón clara en la esfera, violando la sustitución estricta. Los errores que esto puede introducir pueden evitarse usando una tercera lámpara con una pantalla que evita que la luz llegue directamente al dispositivo de medición y a las lámparas bajo prueba. Esta tercera lámpara, comúnmente llamada "lámpara de absorción", "comparación" o "sub-patrón", es encendida, y se hacen las mediciones con las lámparas de prueba y patrón en la posición de prueba, pero no en operación.

La diferencia entre las dos lecturas indica la cantidad de luz absorbida por la lámpara ennegrecida bajo prueba. El mismo procedimiento general puede seguirse en la mayoría de los casos donde las características del integrador se alteran durante la prueba, debido a la introducción de elementos que absorben luz.

**1.2.3.4 MEDICIONES FOTOMÉTRICAS DE LAMPARAS DE DESCARGA ELÉCTRICA.** Las características fotométricas de las lámparas de descarga eléctrica, usualmente se determinan en conjunto con las mediciones eléctricas.

Los procedimientos de prueba de la lámpara, los circuitos y la instrumentación, son similares a los de las mediciones eléctricas y se deben observar las mismas precauciones durante la fotometría. El método de sustitución se emplea normalmente para mediciones fotométricas. Los detalles concernientes a mediciones fotométricas se encuentran en las guías apropiadas de la IES.

## EQUIPO FOTOMÉTRICO

A. BALASTROS.- Cuando la fotometría de una lámpara se efectúa con el propósito de obtener sus valores nominales, ésta debe operarse con un balastro patrón apropiado, sino existe norma, el balastro utilizado debe cumplir con los requerimientos generales de la lámpara.

Las mediciones fotométricas de las lámparas fluorescentes, operadas con balastros comerciales, deben hacerse con el balastro operando al voltaje nominal de entrada, y las mediciones de lámparas de descarga de alta intensidad se deben hacer con la lámpara operando al voltaje nominal. El balastro debe ser operado por un tiempo suficiente para alcanzar su equilibrio térmico. El uso de balastros comerciales debe hacerse conforme a los procedimientos dados en las normas apropiadas.

B. DETECTORES.- Los detectores que se utilicen deben seleccionarse con linealidad y ausencia de fatiga. La respuesta espectral debe corregirse físicamente, por medio de filtros o instrumentación especial, de acuerdo con la curva normalizada de eficiencia luminosa espectral (ver fig. 1.10). Los datos para la calibración espectral también pueden aplicarse a los datos de la medición.

C. LÁMPARAS PATRÓN.- Estas deben tener características similares a la lámpara bajo prueba con respecto a su emisión lumínica, tamaño físico, forma y distribución espectral.

D. FOTÓMETRO ESFERA INTEGRADORA.- El diámetro de la esfera debe ser al menos 1.2 veces la longitud de la lámpara, para lámparas rectas; el área de la fuente de luz no debe exceder de 2% la superficie interior de la esfera, a menos que se empleen métodos de sustitución estricta, se debe tener precaución de que los soportes no absorban luz o afecten la temperatura de la lámpara. No debe haber absorción espectral selectiva por la esfera, la ventana de la esfera o los soportes internos.

La lámpara debe colocarse en el centro de la esfera, pero no debe tenerse mucho tiempo para evitar que se eleve la temperatura. El dispositivo medidor de luz no debe recibir luz directa de la lámpara.

Ha habido avances en la formulación de sustancias para recubrir los interiores de las esferas y son de gran importancia tanto una alta reflectancia difusa como una sustancial reflectancia uniforme.

E. FOTÓMETRO DE DISTRIBUCIÓN DE CANDELAS.- La lámpara se monta en un espacio abierto, con una distancia entre el receptor y la lámpara de al menos 5 veces la longitud de la lámpara, o 3 metros para fuentes compactas. Excepto como se estipula más adelante, la lámpara debe permanecer estacionaria durante la medición ya que cualquier movimiento puede causar resultados erróneos de la prueba. La salida total de luz puede ser calculada si se conoce la relación lúmenes-candelas, o si se practica una sustitución estricta. Las candelas de una lámpara se establecen multiplicando las lecturas de la prueba por la constante de calibración fotométrica. La salida total de luz de una lámpara se establece con la sumatoria de los productos de valores de candelas por las constantes apropiadas de zona de lúmenes. Se debe tener cuidado de evitar luz extraña, controlar la temperatura ambiente y las corrientes de aire, y reducir los efectos de materiales que absorben o reflejen la luz. Para mediciones de lámparas fluorescentes, la lámpara se monta en posición horizontal y las mediciones se toman normales al eje de la lámpara. Para obtener la máxima exactitud estas mediciones se deben tomar en varios puntos alrededor del eje de la lámpara, rotándola sobre su eje entre cada grupo de mediciones. Para mediciones de lámparas de descarga de alta intensidad, especialmente para lámparas de Aditivos metálicos, la lámpara debe ser colocada en su posición de diseño. Si esta posición es vertical, las mediciones pueden hacerse mientras la lámpara es rotada lentamente sobre su eje longitudinal. Mantener la lámpara estacionaria es más deseable para obtener exactitud. Si la lámpara va a ser operada en cualquier otra posición, ésta debe mantenerse estacionaria durante la medición ya que la distribución de la luz de una lámpara de descarga de alta intensidad es función de la posición del tubo de arco.

1.2.3.5 MEDICIONES FOTOMÉTRICAS DE LÁMPARAS TIPO REFLECTOR. Para propósitos de identificación, una lámpara tipo reflector se define como una lámpara que tiene un recubrimiento reflejante, aplicado a la parte reflectora del bulbo, el reflector es especialmente diseñado para el control de la distribución luminosa. Están incluidas las lámparas sopladas y prensadas tales como las PAR y ER así como otras lámparas con reflectores conformados ópticamente. Se excluyen: las lámparas con forma de bulbo estándar a las cuales se les adiciona un reflector integral, tales como las lámparas con concavidad plateada y con cuello plateado; lámparas para aplicaciones especiales, tales como faros automotivos y lámparas para proyección, para las cuales se han establecido procedimientos especiales de prueba; lámparas que tengan recubrimientos translúcidos, tales como lámparas de vapor de mercurio con recubrimiento de fósforo parcial, y lámparas fluorescentes reflectoras.

DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDAD.- Se pueden utilizar varios métodos diferentes para efectuar mediciones de la distribución de intensidad, dependiendo del tipo de lámpara y del propósito de la prueba. El centro fotométrico de la lámpara, normalmente debe tomarse como el centro de la cara del bulbo, sin importar cualquier protuberancia o hendidura en el centro de la cara, y la distancia de prueba debe ser lo suficientemente grande para que se pueda aplicar la ley del cuadrado inverso. Generalmente, por convención, el receptor debe cubrir un ángulo de un grado cuadrado.

La distribución de intensidad de un haz circular normal, comúnmente se representa por una curva promedio en el plano del eje del haz (definido como el eje alrededor del cual la distribución promedio es sustancialmente simétrica, el eje del haz y el eje fotométrico se ajustan para que coincidan). La curva se obtiene ya sea tomando mediciones con la lámpara rotando sobre el eje del haz, o promediando un número de curvas (al menos tres) tomadas en planos espaciados igualmente alrededor del eje.

La distribución de intensidad de una lámpara cuyo haz es nominalmente ovalado o rectangular en su sección transversal no es adecuada si se presenta por una sola curva promedio. Para algunas lámparas, con las curvas a través del eje del haz, una en el plano de cada eje de simetría, se puede suministrar suficiente información.



El número necesario de planos, su distribución dentro del haz y los intervalos entre individuales, varían considerablemente con el tipo de lámpara; se deben hacer mediciones suficientes para describir adecuadamente el patrón de distribución promedio

Cuando las lámparas tipo reflector son consideradas para una aplicación específica, los resultados de la prueba deben ser comparados en la misma forma que para equipo usado para la misma aplicación. Por ejemplo, cuando se desea comparar directamente el funcionamiento de una lámpara reflector con luminarios tipo proyector, la lámpara debe probarse de acuerdo al procedimiento aprobado para prueba de proyectores. Lo mismo es cierto para luminarios de aplicación interior. Aunque desaprobados por convención, los patrones de haz que revelan no uniformidad, son algunas veces de particular interés.

**MEDICIONES DE FLUJO TOTAL.**- El flujo total puede ser obtenido por medición directa en una esfera integradora o por cálculo de los datos de distribución de intensidad. Debido a la concentración de alta intensidad producida por la mayoría de las lámparas tipo reflector, se deben tomar precauciones especiales cuando se usa una esfera integradora. Una posible posición para la prueba de la lámpara en la esfera, es con su base cerca de la pared de la esfera y el haz enfocado al centro de la esfera, distribuyendo de esta manera el flujo, sobre una área de la esfera tan grande como sea posible. Se debe colocar una pantalla apropiada entre la lámpara y el receptor.

Cuando haya disponibles lámparas patrón tipo reflector, la calibración de la esfera se hace con el usual procedimiento de sustitución, y para una máxima exactitud, la lámpara patrón debe ser del mismo tipo del de la lámpara que se va a probar.

**FLUJO DEL HAZ Y FLUJO DEL CAMPO.**- El flujo del haz y el del campo pueden ser calculados de una curva de distribución de intensidad promedio o de un diagrama isocandela. Es de particular interés el flujo contenido dentro de los límites de 50% y 10% respectivamente de la máxima intensidad. El ángulo del haz se designa como la apertura angular total del cono que cruza el 50% de la máxima intensidad. El ángulo del campo se designa como la apertura angular total del cono que cruza el 10% de la máxima intensidad.

1.2.3.6 PRUEBA DE VIDA DE LÁMPARAS. La prueba de vida se hace a una porción muy pequeña del producto bajo consideración. Bajo tales condiciones la planeación del programa de prueba, las técnicas de muestreo, y la evaluación de los datos, se hacen especialmente importantes.

Está reconocido que no es práctico el probar lámparas bajo toda la cantidad de variables que pueden ocurrir en servicio, de aquí que se deben incluir procedimientos reproducibles específicos en el plan experimental de prueba.

PRUEBA DE VIDA DE LA LÁMPARA INCANDESCENTE.- Las pruebas de vida de lámparas de filamento incandescente pueden ser divididas en dos clases, prueba de voltaje- nominal y prueba de sobrevoltaje.

- a. VOLTAJE NOMINAL.- Las lámparas se operan en su posición de operación especificada, al voltaje o corriente marcada y mantenida a  $\pm 0.25\%$  de su valor nominal. Los portalámpara deben ser diseñados para asegurar un buen contacto con la base de la lámpara y los paneles de prueba no deben estar sujetos a golpes o vibraciones excesivas. Si las lámparas se retiran para hacer pruebas fotométricas intermedias, se debe tener mucho cuidado en evitar que se rompa accidentalmente el filamento. Los portalámparas deben lubricarse ligeramente ya que la vibración producida al aflojar o apretar una lámpara, puede ser suficiente para romper un filamento, el cual se ha hecho quebradizo debido al funcionamiento.
- b. PRUEBA DE SOBREVOLTAJE.- La vida de la lámpara se acorta por la aplicación de un voltaje en exceso del nominal. Por medio de la prueba de vida con sobrevoltaje extremo, algunas veces llamada "Prueba forzada", la vida de la lámpara puede ser acortada para que una evaluación de 1000 horas se pueda obtener en un turno de 8 horas. Los factores son empíricos y requieren de muchas pruebas de comparación a voltajes nominales para poder determinarse. Este tipo de prueba acelerada introduce indeterminaciones adicionales, las cuales pueden causar errores apreciables; de aquí que, los resultados son solo aproximados.

**PRUEBA DE VIDA DE LAS LÁMPARAS DE DESCARGA ELÉCTRICA.**- Las pruebas deben hacerse con C A . excepto cuando la lámpara está diseñada para C.D., y la fuente de alimentación debe tener una forma de onda de voltaje en la cual el contenido de armónicas no exceda de 3% de la fundamental. El voltaje de línea puede fluctuar  $\pm 5\%$  de la tensión nominal de alimentación al balastro, sin ningún efecto apreciable en la vida de la lámpara de descarga. Por ésta y otras razones no se conoce un método para acelerar la prueba de vida. Como resultado de lo anterior, y debido a su larga vida nominal, normalmente se requieren de 18 a 60 meses para evaluar su vida.

Existen varios factores, los cuales hacen difícil la evaluación de las características de vida.

- A. **AUXILIARES.**- Ya que la lámpara de descarga eléctrica debe ser operada con auxiliares, los cuales a veces afectan la vida de la lámpara, estos deben ser seleccionados para cumplir con los requerimientos de las guías apropiadas, los métodos de prueba y las especificaciones.
- B. **CICLOS DE PRUEBA.**- Un ciclo de encendido-apagado se emplea normalmente para simular condiciones del campo. Los ciclos comúnmente aceptados son de 3 horas de encendido y 20 minutos de apagado para lámparas fluorescentes y de 11 horas de encendido y 1 hora de apagado para lámparas de descarga de alta intensidad, aunque también se usan otros ciclos. Se sabe que al aumentar la rapidez de estos ciclos ( por ejemplo encender la lámpara por un periodo de tiempo más corto entre cada apagado) materialmente se acortará la vida de la lámpara, pero la correlación con el ciclo estándar no es suficientemente exacta para predecir la vida en el ciclo estándar.
- C. **AMBIENTE.**- Los efectos de vibraciones, golpes, temperatura del local, etc., son extremadamente variables, y a menos que sean bien controlados, se puede tener una gran desviación en los resultados de la prueba.

**1.2.3.7. FOTOMETRÍA DE LUMINARIOS.** El propósito de la fotometría de un luminario es el determinar y reportar con precisión , la distribución de luz y características del luminario, que describan más adecuadamente su funcionamiento. Las características tales como: Distribución de candelas, lúmenes por zona, eficiencia, luminancias, ancho y tipo de haz, son necesarias para diseñar, especificar y seleccionar el equipo de iluminación.

Los datos fotométricos son esenciales para derivar y desarrollar información adicional para aplicación

La información que se da a continuación solo sirve como una guía rudimentaria para esbozar la fotometría de luminarios. Las guías y prácticas específicas para fotometría se dan en las referencias y deben consultarse para obtener el procedimiento de prueba detallado para cada tipo de luminario. Las publicaciones "Guía General para Fotometría de la IES" y "Guía Práctica para Fotometría de la IES", proporcionan información, que cubre las prácticas generales de fotometría, equipo e información relacionada. Cada tipo específico de luminario, por ejemplo, para iluminación de interiores, iluminación del plano de trabajo, proyectores, alumbrado público, etc., requieren diferentes procedimientos de prueba, sin embargo, hay varios requerimientos generales que deben cumplirse en todas las pruebas. El luminario que va a ser probado debe: 1) ser una unidad típica que representa al que va a ser probado, 2) estar limpia y sin defectos (a menos que el propósito de la prueba sea determinar los efectos de tales condiciones); 3) equipado con lámparas del tamaño y tipo recomendado para usarse en servicio; y 4) equipado con la fuente de luz en la posición recomendada para servicio. Si la localización de la fuente en un luminario es ajustable, ésta debe posicionarse en el lugar con el cual se obtenga el haz deseado en servicio.

Para proporcionar una descripción adecuada de las características de los materiales usados en la fabricación de un luminario, se deben hacer mediciones de las reflectancias de las superficies reflectoras donde sea aplicable.

Los luminarios deben ser probados en un ambiente controlado y bajo condiciones controladas. La temperatura del laboratorio fotométrico debe mantenerse estable. Típicamente, para la fotometría de lámparas fluorescentes, donde las lámparas son sensibles a las variaciones de temperatura, la temperatura del local debe mantenerse a  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Las fuentes de alimentación deben ser reguladas y libres de distorsión para minimizar cualquier efecto de variación de voltaje en la línea. Los locales de prueba deben pintarse de color negro, y/o proporcionarse suficientes barreras para minimizar o eliminar la luz extraña o reflejada durante la prueba. Para mediciones precisas, la distancia entre el luminario y el sensor de luz debe ser lo suficientemente grande para que la ley del cuadrado inverso se pueda aplicar. La distancia mínima se establece de acuerdo a las dimensiones del luminario.

Esta distancia no debe ser menor a tres metros (10 pies), y al menos cinco veces la dimensión máxima del área luminosa del luminario. Para una máxima precisión, la distancia de prueba debe medirse desde el centro de la fuente aparente, a la superficie del sensor de luz. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, las siguientes reglas deben seguirse: 1) para luminarios empotrados, la distancia de prueba debe ser medida al plano luminoso (plano del plafón); 2) para luminarios con laterales luminosos la distancia de prueba debe ser medida al centro geométrico de las lámparas; 3) para luminarios suspendidos o colgantes a) si el centro de luz de la (s) lámpara (s) está dentro de los límites del reflector y no hay refractor, la distancia de prueba debe medirse al plano de la abertura del luminario, b) si el centro de luz de la (s) lámpara (s) no está dentro de los límites del reflector, la distancia de prueba debe medirse al centro de luz de la (s) lámpara (s), y c) si el refractor está integrado al luminario, entonces la distancia de prueba debe medirse al centro geométrico del refractor.

LUMINARIOS PARA ALUMBRADO GENERAL (distribución de candelas). Para información específica sobre prueba de luminarios para alumbrado general, se deben consultar las siguientes guías de la IES: Prueba fotométrica de luminarios fluorescentes (Photometric testing of fluorescent luminaires), Prueba Fotométrica de Luminarios con Lámpara de Filamento, para Servicio de Alumbrado General (Photometric testing of filament type luminaires for general lighting service), método aprobado para prueba fotométrica de luminarios uso interior con lámparas de descarga de alta intensidad (Approved method for photometric testing of indoor luminaires using high intensity discharge lamps) y reporte de datos de ingeniería para equipo de alumbrado general (Reporting general lighting equipment engineering data).

La medición básica hecha en una prueba fotométrica de un luminario, es la intensidad luminosa especificando planos y ángulos. La distribución resultante de candelas se usa para determinar los lúmenes por zona, la eficiencia y las luminancias promedio. Por lo tanto es esencial que se tomen datos suficientes para describir adecuadamente la distribución de candelas y la emisión total de luz de los luminarios.

Los luminarios que tienen una distribución simétrica puede hacerse su fotometría en cinco o doce planos espaciados igualmente y luego promediar estos planos.

La mayoría de los luminarios fluorescentes son medidos fotométricamente en cinco planos por cuadrante; en cuadrantes diagonalmente opuestos y los resultados de los dos cuadrantes son promediados para obtener los datos de los cinco planos. Para describir adecuadamente un luminario muy asimétrico puede ser necesario hacer la fotometría en planos de intervalos de diez grados o menos.

La distribución en cada plano vertical se determina tomando lecturas a intervalos de diez grados o menos. Para facilitar el cálculo de los lúmenes por zonas, las mediciones de candelas usualmente se hacen a ángulos de la mita de cada zona: por ejemplo: 5°, 15°, 25°, etc., para intervalos de diez grados. Si el luminario es del tipo que forma un haz, las mediciones de candelas deben hacerse a intervalos más pequeños en el área donde se forma el haz. Si se van a hacer cálculos de la probabilidad de comodidad visual o de iluminación esférica equivalente (ESI), se recomienda que las mediciones de candelas se hagan al menos cada cinco grados en el plano vertical, y preferentemente cada 2 ½ grados.

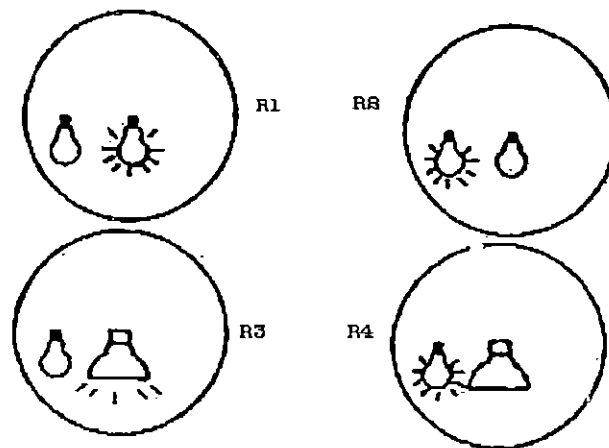
La mayoría de las fotometrías de luminarios se hacen utilizando el método relativo. En este método las lámparas se miden fotométricamente como si fueran un luminario. De estas lecturas se puede calcular un valor total de quasi-lumen, utilizando el método de lumen zonal. El rango de lúmenes de la lámpara se divide entre este valor para obtener una constante o factor para la lámpara en ese fotómetro. Las lecturas tomadas en el luminario pueden convertirse a ese punto si la lámpara suministra sus lúmenes nominales, multiplicando por la constante.

Los datos de distribución de candelas generalmente se presentan en forma tubular en la hoja del reporte de la prueba. Los datos para un controlente o luminario tipo interior se dan en cinco planos. Usualmente se presentan tres distribuciones en forma gráfica o curvas de distribución polar, estos tres planos verticales son: paralelo a las lámparas, a 45° de la paralela y perpendicular a las lámparas.

LUMINARIOS PARA ALUMBRADO GENERAL (luminancia).- Ya sea antes o después de la prueba fotométrica, mientras las lámparas son instaladas y estabilizadas, la luminancia máxima del luminario debe medirse a los ángulos especificados en la guía apropiada y a los ángulos de blindaje.

Las mediciones pueden ser en candelas por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), candelas por pulgadas cuadrada o footlamberts. Las lecturas deben tomarse tanto transversalmente como longitudinalmente en el caso de luminarios fluorescentes o luminarios con distribución asimétrica. El área proyectada del campo de medición debe ser circular y de 6.45 centímetros cuadrados (una área de una pulgada cuadrada). Se debe tener cuidado que las mediciones de luminancia estén relacionadas a la emisión de lúmenes de las lámparas, y por lo tanto el instrumento de medición de luminancia debe calibrarse contra la lámpara de prueba, empleando los fundamentos de las técnicas descritas anteriormente. Si se desean los valores de luminancia promedio, estos pueden calcularse utilizando las mediciones de candelas obtenidas de los datos de prueba. Por definición, luminancia es la intensidad luminosa (candelas) de cualquier superficie en una dirección dada, por unidad de área proyectada de la superficie vista desde esa dirección.

LUMINARIOS PARA ALUMBRADO GENERAL (emisión total de lúmenes). La emisión total de luz del luminario, necesaria para establecer su eficiencia, en términos de la emisión de lúmenes de las lámparas con las cuales está equipado, puede determinarse en un fotómetro integrador esférico o por cálculos con los datos de distribución de candelas.



**FIG 1-17 POSICIONES DE LAMPARAS Y LUMINARIO DENTRO DE UNA ESFERA INTEGRADORA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE UN LUMINARIO POR EL METODO RELATIVO. EL DIAMETRO DE LA ESFERA DEBE SER AL MENOS DOS VECES MAYOR QUE LA DIMENSION MAXIMA DEL LUMINARIO QUE VA A SER EVALUADO**

DEBE SER AL MENOS DOS VECES MAYOR QUE LA DIMENSIÓN MÁXIMA DEL LUMINARIO QUE VA A SER EVALUADO.

ZONA DE 1 GRADO		ZONA DE 2 GRADOS		ZONA DE 5 GRADOS		ZONA DE 10 GRADOS	
LÍMITES DE ZONA (GRADOS)	CONSTANTE DE ZONA	LÍMITES DE ZONA (GRADOS)	CONSTANTE DE ZONA	LÍMITES DE ZONA (GRADOS)	CONSTANTE DE ZONA	LÍMITES DE ZONA (GRADOS)	CONSTANTE DE ZONA
0-1	0 0009	0-2	0 0038	0-5	0.0239	0-10	0.095
1-2	0029	2-4	0115	5-10	0715	10-20	283
2-3	0048	4-6	0191	10-15	1186	20-30	463
3-4	0067	6-8	0267	15-20	1649	30-40	628
4-5	0086	8-10	0343	20-25	2097	40-50	774
5-6	0105	10-12	0418	25-30	2531	50-60	897
6-7	0124	12-14	0493	30-35	2946	60-70	993
7-8	0143	14-16	0568	35-40	3337	70-80	993
8-9	0162	16-18	0641	40-45	3703	70-80	1 058
9-10	0181	18-20	0714	45-50	4041	80-90	1 091
				50-55	4349		
				55-60	4623		
				60-65	4860		
				65-70	5064		
				70-75	5228		
				75-80	5351		
				80-85	5434		
				85-90	5476		

FIG. 1. 18 CONSTANTES PARA USARSE EN EL MÉTODO ZONAL PARA CALCULAR EL FLUJO LUMINOSO DE LOS DATOS DE CANDELAS ZONAS DE 1,2,5 Y 10 GRADOS.

Si se mide en una esfera, la eficiencia puede determinarse por el método relativo (ver fig. 1 17). primero las lámparas se montan en el centro de la esfera y se toma una lectura. Después se toma otra lectura con la lámpara montada en algún otro punto de la esfera



Posteriormente el luminario se monta en el centro de la esfera y se toma una lectura en el luminario. A continuación se toma otra lectura en la otra lámpara montada en la esfera. Entonces se calcula la eficiencia:

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{R_3 \times R_2}{R_1 R_4} \times 100$$

donde

- R<sub>1</sub> = Lectura de la(s) lámparas(s) en el centro de la esfera.
- R<sub>2</sub> = Lectura de la lámpara auxiliar.
- R<sub>3</sub> = Lectura del luminario.
- R<sub>4</sub> = Lectura con el luminario y lámpara auxiliar en la esfera.

Se entiende que mientras se toma una lectura, la otra lámpara debe apagarse. El método de la esfera no se considera normalmente tan exacto como el método que utiliza los datos de distribución de candelas, descrito a continuación.

Los datos de distribución de candelas se usan para calcular el flujo luminoso en cualquier zona angular desde el nadir hasta 180°. El producto de las candelas de la zona media y la constante de zona, da los lúmenes zonales. La suma de los lúmenes zonales multiplicados por 100 y divididos por los lúmenes nominales de la lámpara da el % de eficiencia.

**LUMINARIOS TIPO PROYECTOR.**- Lo siguiente se aplica a proyectores que tengan una apertura total de haz (divergencia) demás de 10 grados. Para información específica sobre prueba de este tipo de equipo, consulte el "Método aprobado por la IES para Prueba Fotométrica de proyectores que usen lámparas incandescentes o de descarga" (IES Approved method for photometric testing of floodlights using incandescent filament or discharge lamps). Para equipo de alumbrado que tenga una apertura del haz menor de 10 grados, vea la "guía de la IES para prueba fotométrica de proyectores" ( IES Guide for photometric testing of searchlights ).

La clasificación de proyectores se basa en el ancho del haz del proyector, en los ejes horizontal y vertical. La clasificación se designa por número NEMA. Para haces simétricos, el tipo de proyector define como el promedio de las aperturas horizontal y vertical del haz. Para proyectores con haz asimétrico el tipo se designa por las aperturas del haz horizontal y vertical en este orden, por ejemplo: Un proyector con una apertura horizontal del haz de  $75^\circ$  (tipo 5) y una apertura del haz vertical de  $35^\circ$  (tipo 3) será designado como proyector tipo 5x3.

La luz perdida puede definirse, como la luz emitida por el proyector, la cual está fuera del haz del proyector según la definición de clasificación del haz. En algunos casos la luz perdida puede ser útil para iluminar, o perjudicial a la vista, dependiendo de su magnitud y dirección. Cuando se desea determinar la cantidad y dirección de la luz perdida, es necesario el hacer mediciones tanto horizontalmente como verticalmente hasta que las lecturas tengan un valor significativo, en relación con el sistema de medición.

Si el centro de luz de la lámpara de prueba (si es más de una lámpara, el centro geométrico de los centros de luz de las lámparas) no está encerrado por el reflector, el proyector debe montarse en el goniómetro para que el centro de luz de la lámpara esté en el centro del goniómetro. Si el centro de luz de la lámpara está dentro del reflector, el proyector debe posicionarse para que el centro de la abertura del reflector coincida con el centro del goniómetro.

Se puede usar ya sea el método de fotometría directo o el relativo para proyectores, pero el método relativo se presta particularmente bien, ya que se pueden reducir los errores acumulativos, y no son necesarios el mantenimiento de patrón es de intensidad luminosa y flujo. En el último método, las lecturas relativas de candelas de la lámpara de prueba sola hechas en un fotómetro de distribución, y de la combinación lámpara proyector hechas en el fotómetro de proyector, se toman con la lámpara operando bajo condiciones eléctricas idénticas en ambas pruebas. Los haces producidos por luminarios tipo proyector, los cuales utilizan reflectores especulares y lámpara de filamento, son casi siempre de intensidad no uniforme. Para obtener los promedios de tales variaciones en los haces, se debe usar un dispositivo integrador el cual integrará la iluminación en un grado cuadrado [524 milímetros por 524 milímetros a 30 metros de distancia de prueba (20.94 pulgadas por 20.94 pulgadas a 100 pies de distancia de prueba) o en un grado circular a una distancia de 30 metros (100 pies) ].

El método para tomar lecturas de candelas, es hacerlo transversalmente al haz, con espaciamientos angulares que den aproximadamente 100 estaciones de lectura, uniformemente espaciadas a través del haz. Por medio de interpolaciones entre estas lecturas se puede trazar un diagrama isocandela en coordenadas rectangulares. La información que normalmente se reporta para proyectores, incluye lo siguiente: tipo NEMA, curvas de distribución horizontal y vertical del haz, intensidad luminosa máxima promedio del haz, apertura del haz tanto en el plano horizontal como en el plano vertical, flujo del haz, eficiencia del haz, flujo total del proyector y eficiencia total. Además el reporte debe indicar si los datos fueron obtenidos en un goniómetro tipo A o tipo B.

LUMINARIO PARA ALUMBRADO PÚBLICO.- Se ha preparado una guía que proporciona los procedimientos de prueba y métodos para reportar los datos, con el objeto de promover la evaluación uniforme del funcionamiento óptico de los luminarios de alumbrado público, que usen lámparas de filamento incandescente y lámparas de descarga de alta densidad. El número de planos explorados durante las mediciones fotométricas debe determinarse por la simetría o irregularidad de la distribución y por los resultados finales deseados de la prueba. El número de ángulos verticales a los cuales se toman lecturas, dependerá de cómo se van a utilizar las lecturas. Si se va a trazar un diagrama isocandela, las lecturas pueden ser tomadas a intervalos cercanos, especialmente si los valores están cambiando rápidamente. El incremento en el uso de computadoras para proporcionar la evaluación completa de luminarios y para diseño de iluminación, requiere que las lecturas se tomen a intervalos de ángulos verticales a través de la sección del haz que no excedan de  $2 \frac{1}{2}$  grados. Para luminarios que tienen una distribución simétrica con respecto al eje vertical del haz (IES tipo V), las lecturas pueden tomarse en un plano vertical mientras todo el luminario se gira a una velocidad de 60 r.p.m. o menos. La lámpara puede girarse dentro de un ensamble óptico estacionario y las lecturas se toman en no menos de diez planos verticales y se promedian. El funcionamiento de las lámparas de aditivos metálicos puede afectarse al girarlas, por lo que se debe considerar el hacer la fotometría de estas lámparas sin girarlas. Si no se giran ni la lámpara ni el luminario, el promedio de las lecturas tomadas en diez planos verticales espaciados igualmente debe ser suficiente. Para luminarios que tienen una distribución simétrica en un solo plano vertical (IES tipos II, III, IV y II cuatro vías). Las lecturas pueden tomarse en planos verticales espaciados 10 grados.

Debido al método usado en el procesamiento de datos, puede ser ventajoso dividir lateralmente en zonas de 10 grados y medir en el ángulo de la zona media. Se pueden obtener promedios de las lecturas tomadas en ángulos correspondientes a los lados opuestos del plano de simetría. Cualquier cálculo que se vaya a efectuar puede hacerse en un lado del plano de simetría, usando los datos promedio. Para luminarios que tengan una distribución simétrica con respecto a dos planos verticales (IES Tipo I), las lecturas pueden tomarse como se mencionó en el párrafo anterior, pero los cálculos pueden ser efectuados en un cuadrante de la esfera. Para luminarios que tengan una distribución simétrica con respecto a 4 planos verticales (IES tipo I cuatro vías), las lecturas pueden tomarse como en el párrafo anterior, pero los cálculos pueden ser efectuados en un octante de la esfera. Para luminarios que tienen un tipo de distribución asimétrica, las lecturas pueden tomarse en planos verticales a intervalos de 10 grados. Debido a que no hay simetría, cualquier cálculo debe hacerse sin promediar. Se deben obtener suficientes datos que permitan la clasificación de la distribución de luz de acuerdo con la práctica recomendada, así como el proporcionar un diagrama isolux, la eficiencia de utilización, la eficiencia de los 4 cuadrantes y el total.

FACTOR DE OPERACIÓN DE LUMINARIO-LÁMPARA-BALASTRO.- Comúnmente se supone que un balastro operado a su voltaje nominal, suministra la potencia nominal a la lámpara, y que la lámpara operada a su potencia nominal suministra su emisión de lúmenes nominal. Muchas veces éste no es el caso. Por lo tanto, se ha desarrollado un procedimiento para proporcionar un factor, el cual se aplique a los datos fotométricos de luminarios de descarga de alta intensidad, para ajustarlos a la combinación específica del luminario, tipo de lámpara y balastro usado en un sistema. Por pruebas repetitivas, este procedimiento puede ser usado para determinar las variaciones del funcionamiento del sistema exclusivamente debidas a variaciones de la lámpara. Tal factor puede ser aplicado específicamente a los lúmenes, candelas, y lux en las hojas de datos fotométricos. Se reconocen dos posibilidades; la primera ( $LLB_1$ ), en la cual la lámpara se usa en la posición de operación para la cual fue diseñada; la segunda ( $LLB_2$ ), en la cual la lámpara se opera en una posición diferente para la que fue diseñada. Los factores determinados relacionan el factor de operación del equipo (combinación de luminario, lámpara y balastro) bajo condiciones iniciales, a menos que se especifique otra cosa.

Los procedimientos esencialmente involucran una medición de la emisión de luz relativa, usando la lámpara seleccionada con el luminario de prueba, y el balastro de prueba operado a su voltaje de alimentación nominal, después de que las condiciones de operación se han estabilizado, y una medición de la emisión de luz relativa con la lámpara cambiada a un balastro patrón sin haber sido apagada, con el voltaje nominal de alimentación especificado para el balastro patrón. El factor de operación del equipo es la relación de las mediciones de emisión de luz hecha en la primera medición a la efectuada en la segunda.

**1.2.3.8 FOTOMETRÍA DE PROYECTORES.** La iluminancia de proyectores, reflectores, o de otros luminarios con haz muy concentrado, se mide a distancias mayores que un cierto mínimo, obedece la ley del cuadrado inverso. Esta distancia mínima es función de la longitud focal del reflector, el diámetro de la abertura del reflector y el diámetro del elemento más pequeño de la fuente de luz (tubo de arco o filamento). Este punto de distancia mínima es llamado punto de cruce del haz, y es el punto donde hay la máxima concentración de luz. Solo a distancias mayores que ésta, se aplica la ley del cuadrado inverso. La distancia mínima puede calcularse utilizando la siguiente fórmula general:

$$L_o = \frac{ad}{Ks}$$

donde (ver Fig. 1.20)

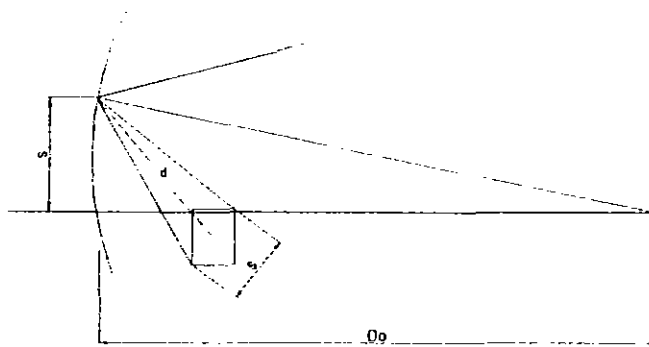


FIG 1-20 DIAGRAMA QUE MUESTRA LAS DISTANCIAS Y DIMENSIONES UTILIZADAS PARA DETERMINAR LA DISTANCIA MÍNIMA PARA APLICAR LA LEY DEL CUADRADO INVERSO

$L_0$  = Distancia mínima para la óptica bajo consideración.

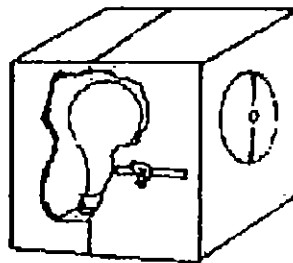
$a$  = Distancia del eje óptico al punto de destello más lejano cuando éste es visto desde un punto distante sobre el eje óptico.

$d$  = Distancia del centro de la fuente de luz al mismo punto de destello más lejano utilizado para obtener  $a$ .

$s$  = Diámetro del elemento más pequeño de la fuente de luz. Por ejemplo, el ancho del tubo de arco de una fuente de arco a una bobina de una lámpara de filamento.

$K$  = Constante igual a 500 cuando  $a$ ,  $d$ , y  $s$  están en milímetros y  $L_0$  está en metros; y 6 cuando  $a$ ,  $d$  y  $s$  están en pulgadas y  $L_0$  en pies.

El cálculo anterior determina la distancia mínima del cuadrado inverso, basado en fuentes ideales de luz y mediciones axiales, y por lo tanto debe considerarse aproximado.



**FIG 1-81 FUENTE AJUSTABLE DE LUMINANCIA. UTIL CUANDO SE CALIBRAN DISPOSITIVOS DE MEDICION DE LUMINANCIA QUE TENGAN ABERTURAS DE DIFERENTES FORMAS. D ES DE ALDREDEDOR DE 76mm (3").**

En la práctica, el rango usado debe ser mucho mayor a la distancia calculada para estar seguro. Se han ideado métodos para usar rangos menores y "fotometría de longitud cero", sin embargo el rango de longitud completa es preferible para mayor exactitud

**GONIÓMETROS.-** El método usual para medir ángulos en mediciones de distribución de candelas, es el montar el equipo de prueba en un goniómetro, manteniendo el equipo fotométrico fijo. Básicamente los goniómetros proporcionan medios para montar el equipo, para girarlo alrededor de dos ejes (horizontal y vertical) y para medir los ángulos de rotación (ver fig. 1.11).

Cuando un reflector es de un tamaño y peso poco usual, puede ser necesario el utilizar sus propios accesorios de montaje y accesorios goniométricos para el trabajo fotométrico o fijarlo y atravesar el haz por medio de mover el receptor fotométrico.

Ya que los reflectores pueden tener una apertura total del haz de menos de un grado, y puedan además tener un peso muy grande, los requerimientos mecánicos del goniómetro son severos. Los requerimientos primarios son adecuada rigidez, no tener juego y mediciones angulares exactas. Se deben poder hacer ajustes precisos del orden de 0.1 de grado. En casos especiales se pueden requerir exactitudes mayores.

**RANGOS FOTOMÉTRICOS.-** Los rangos para interiores son en general preferibles, pero frecuentemente son imprácticos debido a las longitudes que se requieren. Para la fotometría en los rangos relativamente cortos en interiores se deben seguir los procedimientos fotométricos adecuados. Los rangos para exteriores, adecuados para mediciones durante el día, requieren mucho más atención a los métodos para reducir la luz perdida, minimizar los disturbios atmosféricos y corregir por transmisión atmosférica. El lugar donde se tomen mediciones debe ser plano y homogéneo. El lugar debe ser lo más alto del piso que sea posible. El lugar donde se tomen mediciones no debe estar localizado donde ocurran regularmente disturbios atmosféricos, o donde el polvo o la humedad están presentes. Se deben hacer las correcciones para diferentes transmisiones atmosféricas. La luz perdida debe minimizarse por medio de un sistema adecuado de diafragma. Cualquier cantidad de luz perdida que exista debe ser medida y restarse de todas las lecturas.

**CORRECCIÓN POR TRANSMISIÓN ATMOSFÉRICA.-** La absorción de luz por la humedad, humo y partículas de polvo, aún en una atmósfera aparentemente clara, puede introducir errores considerables en las mediciones. Por lo tanto, es deseable el medir la transmitancia atmosférica antes y después de que se haga la prueba. Frecuentemente se emplea un proyector de referencia estándar, y se calibra ya sea por medio de observaciones repetitivas en el ambiente más claro, cuando la transmitancia atmosférica puede ser estimada con más precisión o medida independientemente, o por métodos de medición de laboratorio.

FOTÓMETROS PARA MEDICIONES DE REFLECTORES.- El equipo requerido para mediciones fotométricas es básicamente similar en muchos aspectos al que se requiere para otro tipo de mediciones fotométricas. Frecuentemente se emplean fotómetros automáticos con el objeto de obtener mediciones rápidas o para obtener cantidades válidas estadísticamente de datos. Los oscilógrafos de elementos múltiples son particularmente valiosos ya que facilitan el obtener simultáneamente parámetros de los reflectores, tales como corriente y voltaje, con los datos fotométricos básicos.

### 1.2.3.9 MEDICIONES DE LUMINANCIA

LÁMPARAS Y LUMINARIOS.- Las mediciones de luminancia de lámparas y luminarios deben hacerse ya sea por el método relativo o por el absoluto. Con el método absoluto, debe haber normas de referencia para calibrar el equipo. En la práctica, el método relativo es el que generalmente se usa. Las luminancias publicadas de lámparas fluorescentes no asimétricas son calculadas a partir de la emisión luminosa nominal de la lámpara de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$L_{prom}(\text{candelas/metro cuadrado, ó candelas/pulgada cuadrada}) = \frac{K \times \text{lúmenes totales de la lámpara}}{\text{Diámetro de la lámpara} \times \text{longitud luminosa de la lámpara}}$$

Donde L prom es la luminancia promedio del ancho total de la lámpara en su centro. El diámetro y longitud se expresan en metros o pulgadas y K es:

$$\text{Para lámparas de 1.22 metros (48 pulg.) T-12} \quad K = \frac{1.09}{9.25}$$

$$\text{Para lámparas de 1.83 metros (72 pulg.) T-12} \quad K = \frac{1.07}{9.28}$$

$$\text{Para lámparas de 2.44 metros (96 pulg.) T-12} \quad K = \frac{1.05}{9.28}$$

Para calcular la luminancia aproximada L, de una lámpara fluorescente a cualquier ángulo con respecto al eje de la lámpara, se utiliza la siguiente fórmula:

$$L = \frac{\text{Lúmenes totales de la lámpara}}{K0 \times \text{Diámetro de la lámpara} \times \text{longitud luminosa de la lámpara} \times \text{sen } \theta}$$



En el laboratorio, un medio preciso para establecer la luminancia de la lámpara, es construir un tubo deflector colimador de 0.60 mts. a 1.0 mts. (2 a 3 pies) de largo, con un receptor en un extremo, y en el otro una abertura rectangular de una dimensión igual al diámetro de la lámpara y la segunda dimensión tal que el producto de las dos dimensiones sea igual a  $645 \text{ mm}^2$  (una pulgada cuadrada). Este se coloca contra la lámpara cerca de su centro para que el diámetro de la lámpara llene la abertura.

La deflección del equipo indicado, es directamente proporcional a  $L_{\text{prom}}$ . Entonces se calibra el instrumento con una lámpara de emisión luminosa conocida y se pueden hacer comparaciones directas con lámparas de diámetros similares. Si la emisión de lúmenes se supone sea la nominal, el instrumento se calibra por el método relativo para que todas las subsecuentes mediciones de luminancias sean relacionadas con la emisión luminica nominal. Existen métodos también para calibrar por el método relativo fuentes de descarga de alta intensidad y fuentes incandescentes.

Para medir la luminancia de un luminario, es preferible un instrumento que tenga una abertura circular, para que la rotación del instrumento o posición angular del luminario no afecten las lecturas. Por lo tanto es conveniente usar otro tubo colimador con una abertura de 29 milímetros de diámetro ( $1\frac{1}{8}$ " ) o medidores de luminancia con campos de visión circulares que abarquen 645 milímetros cuadrados (una pulgada cuadrada) a la distancia de medición, y calibrados contra una lámpara patrón de trabajo, este dispositivo puede ser similar al mostrado en la fig. 1.21.

Ya en uso, la luminancia de la cara difusora del dispositivo se ajusta, para que la deflección del instrumento indicador usado con el tubo colimador, equipado con una abertura rectangular, sea la misma que la indicada cuando la misma abertura se coloca contra la lámpara fluorescente patrón. El colimador con abertura circular se sustituye y se conoce la deflección, entonces ésta será la deflección para la luminancia de la lámpara. Todas las lecturas de luminancia del luminario hechas con esta abertura circular, están directamente relacionadas a la luminancia de la lámpara. Un método alterno es el uso de un medidor de luminancia para hacer mediciones directas de la luminancia del luminario. Las características del medidor de luminancia deben ser tales que, el campo de medición corresponda al área proyectada de 645 milímetros cuadrados (una pulgada cuadrada) normal a su eje y a la distancia de medición.

Esto puede obtenerse con el uso de un sistema de lentes apropiados y una distancia de medición, la cual puede determinarse de las especificaciones del fabricante. Esta técnica tiene la ventaja de que el observador es capaz de poder ver a través del medidor de luminancia, y ver el área exacta que se está midiendo. Esta técnica no tiene la desventaja del tubo colimador la cual se presenta cuando aparece una mancha en el área del tubo de arco que va a ser medido.

**CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR.**- Se puede usar un medidor de luminancia de lectura relativa, con métodos de calibración del medidor usando ya sea una lámpara fluorescente calibrada o un plato difusor de prueba. Donde se calibran medidores de luminancia por medio de un plato difusor de prueba con una iluminancia conocida, se deben conocer las condiciones específicas de incidencia, distribución de potencia Espectral de la Fuente y Ángulo de Visión. Para un plato de prueba reflector difusor perfecto, la luminancia es uniforme en todos los ángulos, y su valor en footlamberts es el producto de la reflectancia y la iluminancia en footcandles. Sin embargo, ninguna superficie es perfectamente difusora y puede resultar en un gran error el suponer que ésta simple relación se cumple.

Es esencial que las características (luminancias vs. ángulo de visión) del plato de prueba sean conocidas, y tomadas en consideración en la calibración.

**1.3 FUENTES LUMINOSAS.** Las fuentes de luz (lámparas) que se utilizan actualmente para la iluminación artificial, pueden ser divididas en dos categorías principales: Incandescentes y de descarga. Las lámparas del tipo de descarga pueden ser de alta o baja presión. Las fuentes de descarga de baja presión son las fluorescentes y las de sodio en baja presión. Las lámparas de vapor de mercurio, aditivos metálicos y sodio alta presión son consideradas lámparas de descarga en alta presión. Estas son las fuentes de luz más comúnmente usadas en el campo de la Ingeniería de Iluminación. Cada fuente de luz será descrita en términos de sus tres componentes primarios:

- 1) Elemento productor de luz,
- 2) bulbo
- 3) conexión eléctrica.

El capítulo está dividido en tres secciones

- 1) fuentes incandescentes
- 2) fuentes de descarga
- 3) balastos.

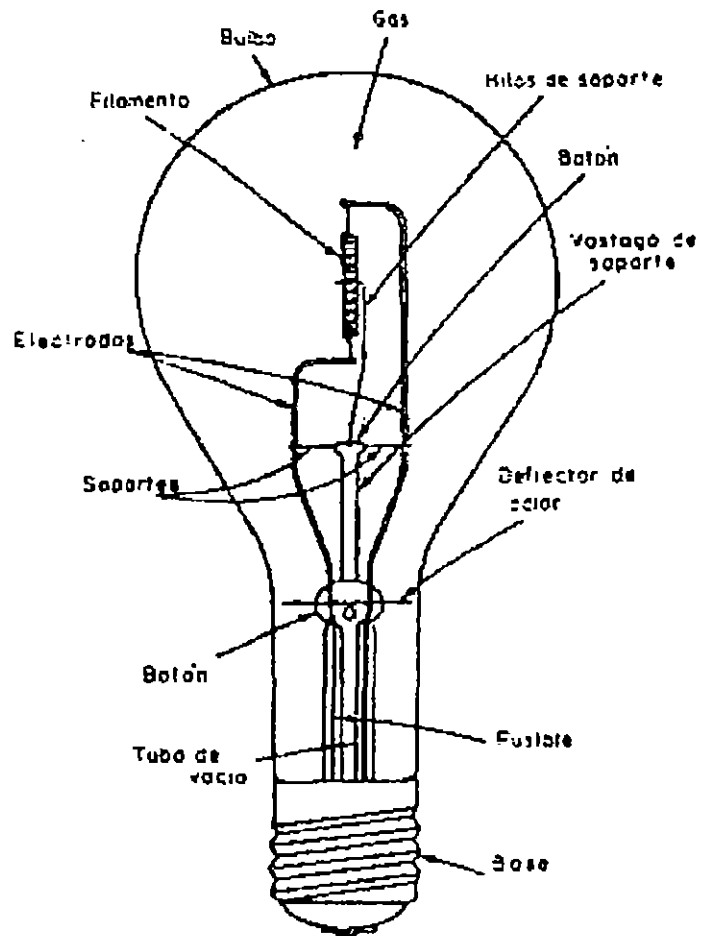


Figura 188 Lámpara Incandescente

### 1.3.1 FUENTES INCANDESCENTES

#### 1.3.1.1. LAMPARAS INCANDESCENTES ESTÁNDAR

##### **ELEMENTO PRODUCTOR DE LUZ**

La luz es producida en la lámpara incandescente (ver fig. 1.22) calentando un hilo o filamento a altas temperaturas, lo cual causa que el conductor se haga incandescente. Lo incandescente del hilo es resultado de la resistencia al flujo de corriente eléctrica a través del conductor. El tungsteno es usado como material para el filamento. Ninguna otra sustancia es tan eficiente en convertir energía eléctrica en luz en la base de vida y costo. El tungsteno tiene cuatro características importantes: Alto punto en fusión, Baja evaporación, Alta resistencia y ductilidad Características favorables de radiación. Las designaciones más comunes de letras para filamentos son " S", " C" y " R". Los filamentos bobinados son los más eficientes y ampliamente utilizados en las lámparas encontradas en Ingeniería de Iluminación. La resistencia del tungsteno frío es baja, comparada con su resistencia operacional: por lo que hay gran cantidad de corriente inicial de encendido, en una lámpara fría.

##### **BULBO**

El bulbo o cubierta de vidrio es usado para evitar que el aire toque el filamento. Cuando el filamento se expone al aire, la evaporación ocurre más rápido. El bulbo se llena con gas inerte de argón y nitrógeno para retardar la evaporación del filamento. Las lámparas con gas designadas tipo C son de 40 watts y mayores. Las lámparas de 25 watts y menos son lámparas de vacío, las cuales son designadas tipo B. Los bulbos también son designados de acuerdo a su forma (ver fig. 1.23).

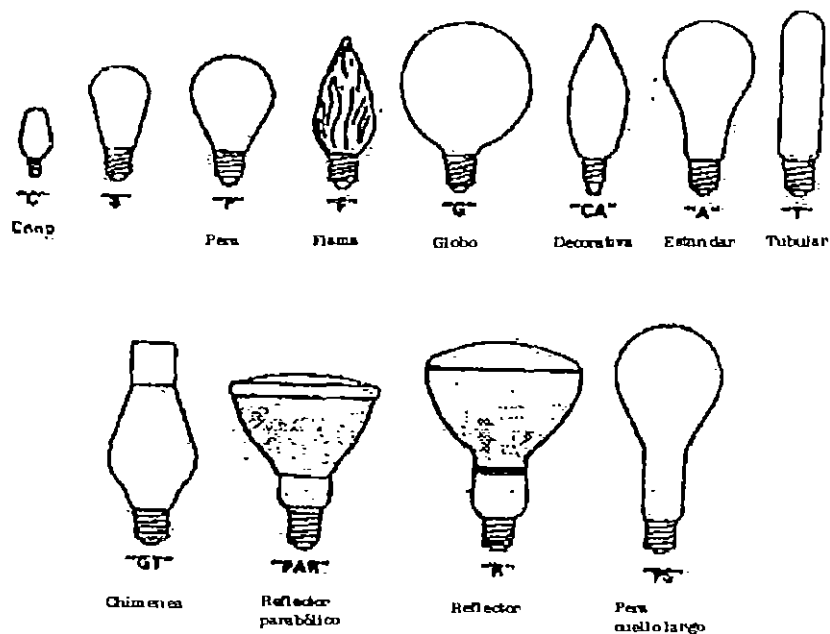


FIGURA 1-85 Formas de bulbos de lámpara Incandescentes y de tungsteno halógeno

Aparte de la designación con letras, los bulbos también tienen una designación numérica, la cual representa el diámetro del bulbo en octavos de pulgada. Por ejemplo, una designación A-19 indica un diámetro de  $19/8"$  o  $2\ 3/8"$  de pulgada.

Los acabados de las superficies del bulbo pueden ser claro, esmerilado u opalino, de color o superficies interiores plateadas. Las lámparas normalmente en el mercado son las claras, esmeriladas u opalinas, blancas y plateadas, los bulbos de color pueden ser de vidrio en color natural, pintura exterior o filtros.

## CONEXIÓN ELÉCTRICA

La base proporciona la conexión eléctrica, montaje y posicionamiento de la lámpara. Hay ocho tipos diferentes de bases. Las lámparas para servicio general de menos de 300 watts normalmente usan la base roscada mediana; de 300 a 500 watts las lámparas usan la base roscada mogul.

## CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Variación de voltaje.- La variación del voltaje en una lámpara incandescente, arriba o abajo del voltaje nominal, afectará las características de la lámpara. Por ejemplo, si una lámpara para 120 volts nominales es operada a 125 volts (4% de incremento), la lámpara producirá 16% más lúmenes, 7% más watts, y 38% menos de vida. Una lámpara de 120 volts nominales operada a 115 volts (4% menos), proporcionará 13% menos lúmenes, 6% menos watts y 62% más vida (ver fig. 1.24).

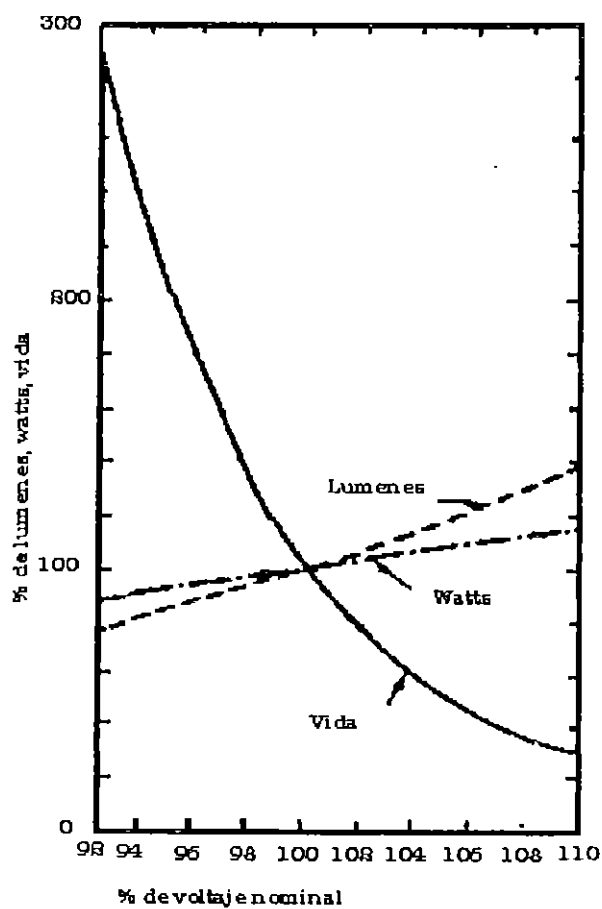


FIGURA 1-84 EFECTO DEL VOLTAJE EN LA EMISION LUMINICA Y VIDA DE LA LAMPARA.

DEPRECIACIÓN DE LÚMENES.- La resistencia del filamento aumenta con el tiempo debido a la evaporación, dando como resultado una disminución del diámetro del filamento. Este incremento en la resistencia del filamento, causa una disminución en los lúmenes, amperes y watts. Una reducción adicional en la salida de lúmenes es debida a la absorción de luz por el tungsteno depositado en la superficie interior de la lámpara (ver figura 1.25)

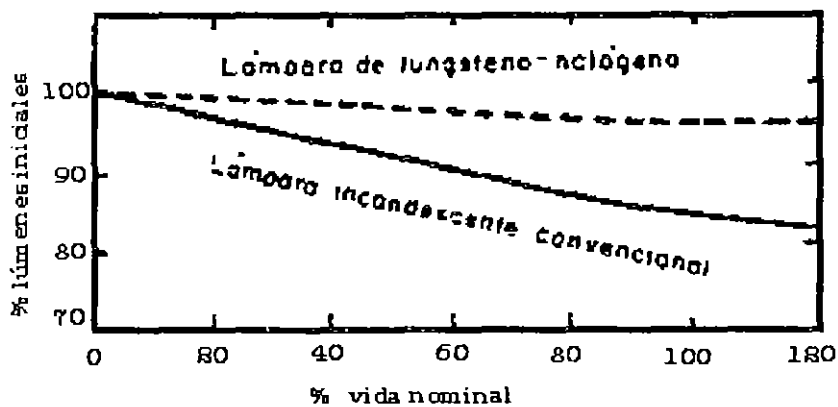


Figura 1-85 Depreciación de lúmenes en las lámparas convencionales y de tungsteno halógeno

1.3.1.2 LAMPARAS DE TUNGSTENO-HALOGENO. Una deficiencia de las lámparas incandescentes normales ha sido su mantenimiento de lúmenes a lo largo de su vida. Cuando el filamento se calienta, éste se evapora lentamente y se deposita en la pared interior del bulbo. Esta capa de tungsteno entonces actúa como un filtro, absorbiendo algo de luz y disminuyendo la salida de luz. Esto fue superado con el desarrollo de la lámpara de ciclo tungsteno-halógeno, la cual también es llamada lámpara de cuarzo. La lámpara de tungsteno-halógeno contiene un halógeno como el iodo de bromo y un gas de relleno. El bulbo está hecho de cuarzo para soportar las altas temperaturas requeridas por el ciclo para trabajar. A altas temperaturas, el tungsteno evaporado se asocia con una molécula de halógeno. En vez de depositarse en las paredes del bulbo, la molécula combinada de tungsteno halógeno retorna al filamento caliente, liberando al halógeno para permitirle combinarse con otra molécula de tungsteno evaporado.

Esta acción de limpieza minimiza el depósito de tungsteno en la pared del bulbo, y da como resultado un incremento en la salida de lúmenes a través de la vida de la lámpara. En la figura 1.25 se muestra la salida de lúmenes de una lámpara incandescente normal y la de una lámpara de tungsteno-halógeno durante la vida de cada una de ellas.

El principal objeto al desarrollar la lámpara de tungsteno-halógeno fue el mantener la salida de lúmenes, pero se hicieron otras mejoras. La vida de la lámpara aumentó un poco, así como su eficacia. Para operar apropiadamente las lámparas de tungsteno-halógeno requieren de relativamente altas temperaturas, el filamento tuvo que ser compactado y el bulbo se hizo más pequeño. La fuente como es más pequeña se acerca más a la fuente puntual ideal, necesaria para un buen control óptico.

LA LÁMPARA DE TUNGSTENO-HALÓGENO es un tipo de lámpara incandescente y por lo tanto es fácil de atenuar. Sin embargo el atenuarla provoca una reducción en la temperatura de las paredes del bulbo, lo cual retarda la unión de las moléculas de tungsteno-halógeno, dando como resultado un ennegrecimiento de las paredes del bulbo y reducción en la salida de los lúmenes de la lámpara. Cuando la lámpara es regresada a un nivel de temperatura suficiente, algo del tungsteno depositado en el bulbo es removido.

### 1.3.1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE OPERACIÓN

#### Eficacia y Vida

Una de las características más importantes de cualquier fuente de luz, es su habilidad para convertir la energía eléctrica en energía luminosa. A esto se le conoce como eficacia de la lámpara. Las lámparas incandescentes tienen eficacias que andan en el orden de los 4 a los 24 lúmenes/watt. Para propósitos de comparación, a la lámpara incandescente se le asigna una eficacia de 20 lúmenes/watt. El costo de la luz depende no solo de la eficacia, sino también depende de la vida de la fuente. Las lámparas incandescentes tienen una vida promedio de 1000 hrs., o sea alrededor de 5 meses con un periodo típico de encendido de 8 hrs. diarias (52 semanas/año x 6 días/semana x 8 horas/día = 2496 horas/año).



La vida de la lámpara es función de varios factores, incluyendo la forma del filamento y su soporte, el gas de relleno, los ciclos de encendido-apagado y la potencia

### Características de color

El sistema visual humano responde en forma diferente a las diferentes longitudes de onda de la radiación. Nuestra mente interpreta estas diferentes longitudes de onda como color. Las fuentes de luz son importantes en la visión del color ya que proporcionan la energía radiante y por lo tanto la respuesta al color. La distribución de las longitudes de onda emitidas por una fuente, es conocida como la distribución de potencia espectral (DPE).

La DPE de una lámpara incandescente se muestra en la figura 1.26.

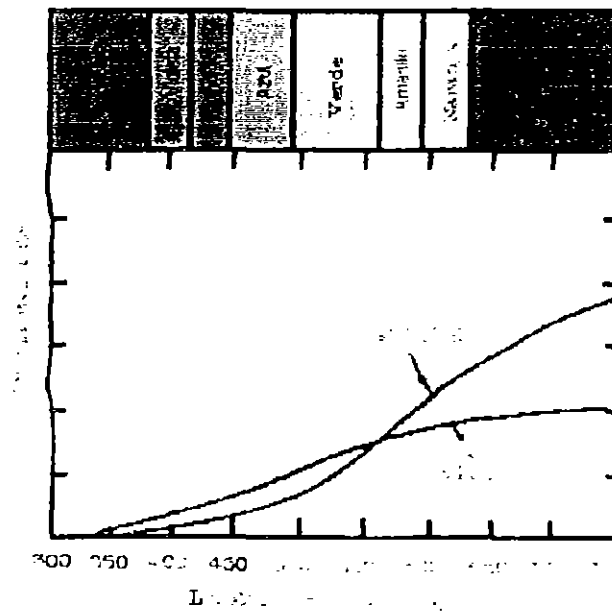


Figura 1.26. Distribución de potencia espectral de una lámpara incandescente.

Note la tremenda cantidad de rojo o grandes longitudes de onda presentes. Esto es normal para una fuente que produce energía luminosa por calor. La DPE de la lámpara de iodo cuarzo es similar a la de la lámpara incandescente pero contiene ligeramente más longitudes de onda corta (azul). Esto es resultado de las altas temperaturas de operación. Las lámparas incandescentes tienen un rendimiento de color aceptable.

### Distribución de energía

La distribución de energía de una lámpara incandescente se muestra en la figura 1.27.

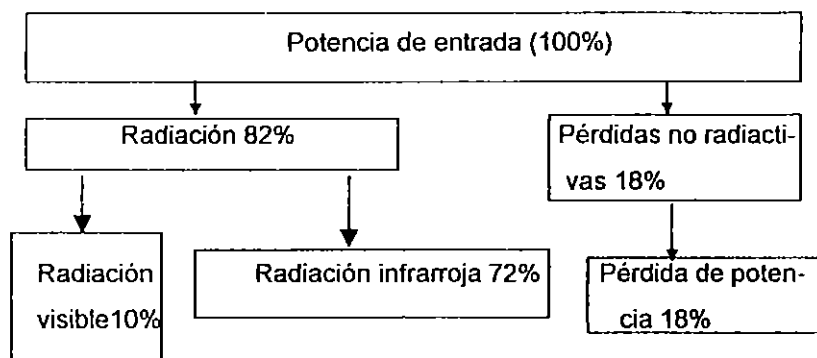


FIG. 1.27 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE UNA LÁMPARA INCANDESCENTE

#### 1.3.1.4 RESUMEN

A pesar de que las fuentes incandescentes tienen una vida corta y baja eficacia, tienen ventajas que las hacen ser seleccionadas comúnmente como fuentes de luz. Entre estas ventajas están el bajo costo inicial de la lámpara y su relativamente pequeño tamaño, lo que facilita dirigir la salida de luz ya que se aproxima al modelo ideal de una fuente puntual. El rendimiento de color es aceptable. Algunas veces se selecciona un sistema incandescente debido a su facilidad y bajo costo para atenuarlo, lo cual es una consideración importante en muchos diseños. Las lámparas ahorradoras de energía en el mercado, hacen uso de diferentes gases de relleno. Estas lámparas utilizan más el kriptón que el Argón utilizado en las lámparas normales.

El resultado es una disminución en la potencia consumida sin disminución de la eficacia. Como un beneficio adicional, la vida se incrementa. La lámpara incandescente es aún popular debido a su bajo costo. Las lámparas ahorradoras de energía cuestan alrededor de 10 veces más lo que cuesta una lámpara incandescente convencional.

**1.3.2 FUENTES DE DESCARGA GASEOSA.** Las lámparas de descarga gaseosa son comparadas con un elemento de resistencia cero o de resistencia negativa. Cuando los aditivos dentro del tubo de arco se ionizan, la resistencia dentro del tubo del arco disminuye. Esto provoca que la resistencia se aproxime a cero, mientras que la corriente se aproxima a infinito.

$$I = \frac{E}{R} \quad R \rightarrow 0, \quad I \rightarrow \infty$$

Sin un dispositivo que limite la corriente, los electrodos se destruirían en cuestión de segundos. Debido a lo anterior, todas las fuentes de descarga gaseosa requieren de un balastro.

Un balastro es un dispositivo eléctrico que sirve para tres funciones primarias:

1. Limita la corriente (característica de elemento de resistencia cero).
2. Proporciona el voltaje de encendido.
3. Proporciona corrección del factor de potencia.

El balastro actúa como un autotransformador para proporcionar el voltaje de encendido. Por lo tanto, contiene devanados que provocan una carga de reactancia inductiva. La reactancia inductiva causa un desfaseamiento entre las ondas de corriente y voltaje, el cual es corregido con la adición de un capacitor en el balastro. El balastro se describirá con más detalle al final de este capítulo.

**POSICIÓN DE OPERACIÓN.-** Las lámparas de descarga gaseosa son usualmente sensibles a la posición de operación. El Ingeniero debe tener precaución al seleccionar las lámparas, ya que si se operan en una posición diferente de la especificada, éstas pueden cambiar su salida de lúmenes, su vida y sus características de color.

Algunas lámparas pueden explotar o implotar si no se instalan correctamente.

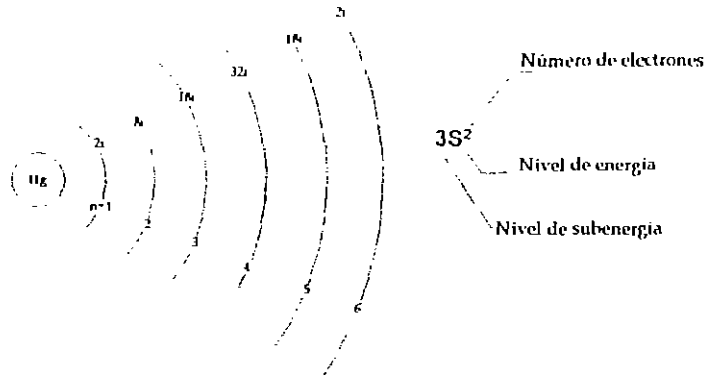
Se deben consultar las especificaciones del fabricante para obtener información de la posición de operación. Las letras típicas para designar la posición de operación son:

BU:	base arriba	BD-HOR:	Base abajo a horizontal
BD:	base abajo	VER-BU:	Vertical a base arriba
BU-HOR:	base arriba a horizontal	VER-BD:	Vertical a base abajo
		HOR:	Horizontal solamente

### **1.3.2.1. FUENTES DE DESCARGA GASEOSA DE BAJA PRESIÓN**

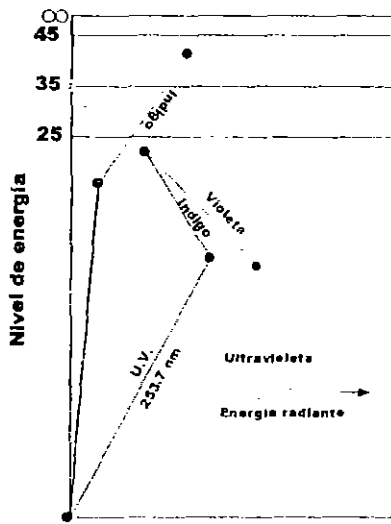
#### **Lámparas fluorescentes**

La primera instalación importante de lámparas fluorescentes fue hecha en los años de 1938-1939 en la feria mundial de Nueva York. Las lámparas fueron instaladas en racimos verticales en las astas, a lo largo de la avenida de las banderas. En la figura 1.28 se muestra un esquemático de la lámpara fluorescente.

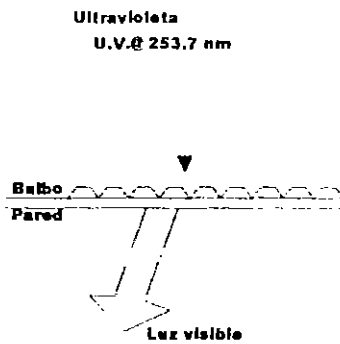


Hg ( $1s^2, 2s^2, 2p^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 4p^6, 4d^{10}, 4f^{14}, 5s^2, 5p^6, 5d^{10}, 8s^2$ )

(a) Atomo de Mercurio



(b) Nivel de energía



(c) Fluorescencia.- Energía ultravioleta radiante, exista el fósforo para producir luz visible

Figura 1-28 Esquemático de la Operación de una lámpara Fluorecente

**ELEMENTOS PRODUCTORES DE LUZ.-** La lámpara fluorescente requiere de tres elementos o componentes para producir luz visible: 1) electrodos, 2) gas y 3) fósforo.

**ELECTRODOS (CÁTODOS).**- Los electrodos son los dispositivos emisores. Actualmente se utilizan 2 tipos de cátodos. El cátodo caliente es un filamento de tungsteno con doble o triple arrollamiento, cubierto con un óxido de tierra alcalina que emite electrones cuando se calienta. Los electrones son emitidos a una temperatura aproximada de 900°C. Los electrones están sujetos a un voltaje mayor, emitiendo electrones a 150°C aproximadamente. El cátodo caliente es el tipo de electrodo más comúnmente usado en lámparas fluorescentes, para la mayoría de las aplicaciones. Por lo tanto, no se describirán las lámparas de cátodo frío.

**GASES.-** Una pequeña cantidad de gotas de mercurio se coloca en el interior del tubo fluorescente. Durante la operación de la lámpara, el mercurio se vaporiza a una presión muy baja. A esta baja presión, la corriente fluyendo a través del vapor provoca que el vapor radie energía, principalmente a una sola longitud de onda en la región ultravioleta (253.7 nm) del espectro. La presión del mercurio es regulada durante la operación, por la temperatura de la pared del bulbo. La lámpara también contiene una pequeña cantidad de un gas raro altamente purificado. Los más comunes son el Argón y el Argón-Neón, pero algunas veces también se utiliza el Kriptón. El gas se ioniza rápidamente cuando se aplica un voltaje suficiente a la lámpara. El gas ionizado decrece rápidamente su resistencia, permitiendo que la corriente fluya y el mercurio se vaporice.

**FÓSFORO.-** Este es el recubrimiento químico en la pared interior del bulbo. Cuando el fósforo es excitado por radiación ultravioleta a 253.7 nanómetros, éste produce luz visible por fosforescencia. (ver fig. 1.28). Es decir, la luz visible de una lámpara fluorescente es producida por la acción de la energía ultravioleta en el recubrimiento de fósforo dentro del bulbo.

**ENVOLVENTE.-** El bulbo es el envoltorio de vidrio que contiene los gases y proporciona una superficie a la cual puede aplicarse el fósforo. Los bulbos se designan de acuerdo a su forma, diámetro y color (ver fig. 1.29). Por ejemplo, T-12 indica una forma tubular (T) y un diámetro de 1 ½ pulg. (12 representa el diámetro en octavos de una pulgada:  $12/8 = 1 \frac{1}{2}$  pulg.).

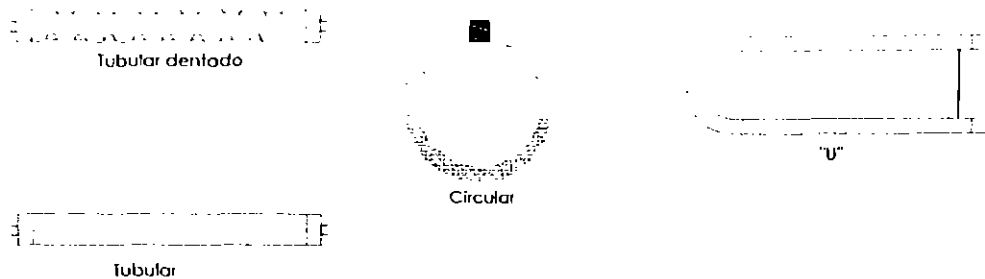


FIG. 1.29 FORMAS DE TUBOS FLUORESCENTES

**CONEXIÓN ELÉCTRICA.-** La base proporciona la conexión eléctrica entre la lámpara y el soquet y sirve como soporte y alineamiento de la lámpara. Hay tres tipos de bases asociadas con las lámparas fluorescentes:

1. Doble alfiler (miniatura, media, mogul): Se usa en todas las de precalentamiento y la mayoría de lámparas de arranque rápido.
2. Doble contacto embutido: Se utiliza en las lámparas de alta emisión y Power Groove. Su propósito es proteger a los usuarios del alto voltaje en los contactos.
3. Contacto sencillo: Usado en lámparas de arranque instantáneo.

**CARACTERÍSTICAS DE COLOR.-** El color de una lámpara fluorescente depende del recubrimiento de fósforo en la pared interna del bulbo. La curva de Distribución de potencia Espectral consiste en dos componentes: 1) Una porción continua, y 2) Una línea de espectro. Las líneas o barras en la curva DPE representa la luz visible que es generada directamente por el arco de mercurio; la porción continua es debida a la acción de la energía ultravioleta en el fósforo. La DPE de una lámpara fluorescente puede ser cambiada modificando el tipo de mezcla de fósforo usados en el recubrimiento de las lámparas. Hay seis lámparas fluorescentes blancas en el mercado (ver fig. 1.30).

Esta variedad de lámparas fluorescentes blancas ha sido desarrollada para satisfacer casi todas las necesidades de luz blanca. Estas lámparas se conocen como lámparas blancas estándar, ya

que las seis se pueden obtener con todos los grandes fabricantes de lámparas. Además de estas seis blancas estándar, cada fabricante vende blancos especiales y tubos fluorescentes de color.

La selección entre alguna de las lámparas fluorescentes siempre significa un compromiso entre eficacia y color. La selección del mejor rendimiento de color usualmente significa una reducción en la eficacia. Las lámparas CW, WW, W y D tienen eficacias altas, pero son pobres en rojos, dando como resultado una característica de pobre rendimiento de color.

Las lámparas CWX y WWX son las que proporcionan el mejor rendimiento de color a los objetos y personas, con una razonable eficacia.

Esto se obtiene con la adición de fósforos rojos en la mezcla. Sin embargo, ya que el ojo tiene menor respuesta a la energía roja, la eficiencia luminosa se reduce alrededor de 30% de la salida de luz de las lámparas CW y WW.

**CW: Blanco frío**

**WW: Blanco cálido**

**W: Blanco**

**CWX: Blanco frío de lujo**

**WWX: Blanco cálido de lujo**

**D: Luz de día**



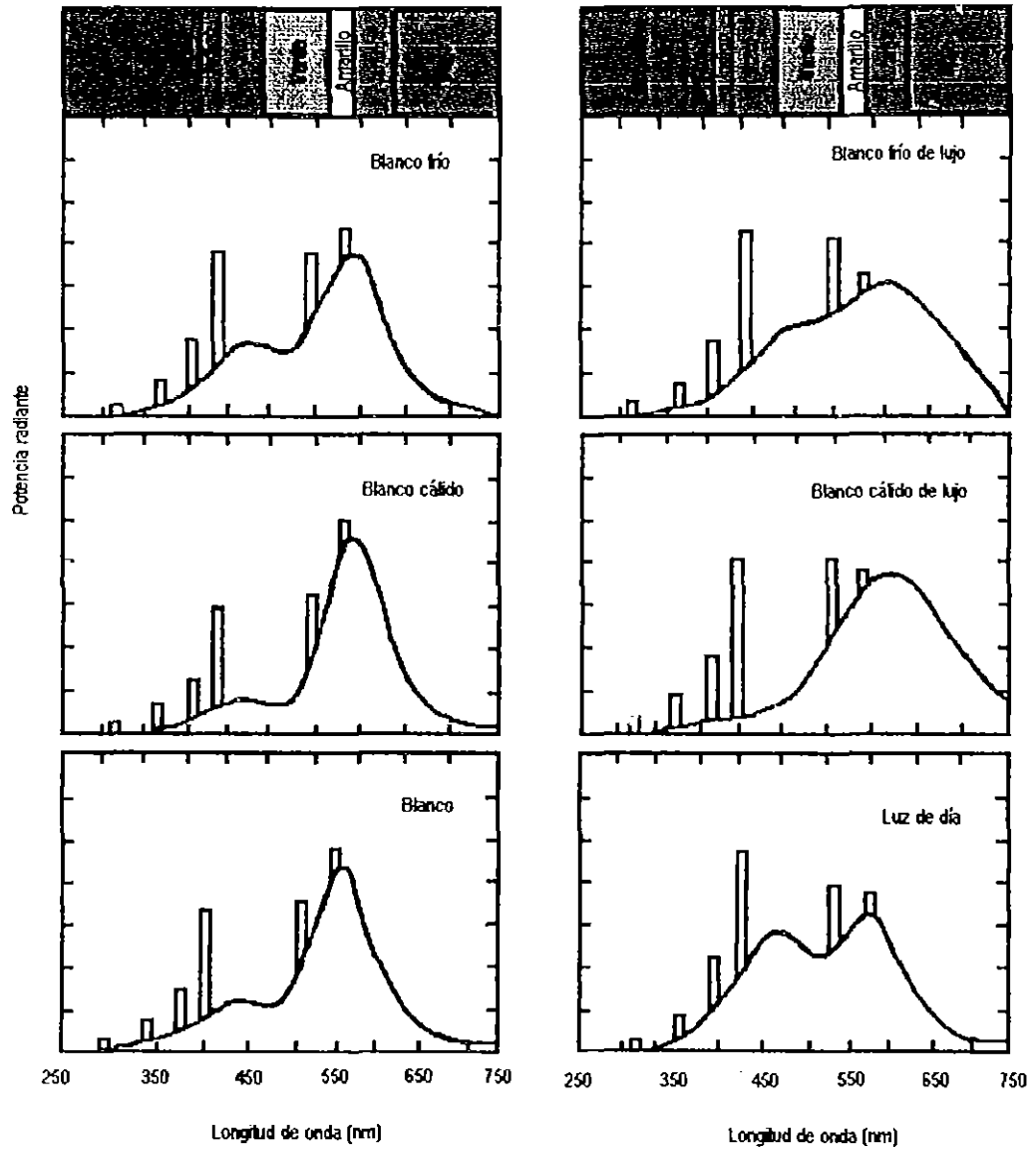


FIG. 130 DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA ESPECTRAL DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES ESTÁNDAR

**CIRCUITOS DE CÁTODO CALIENTE.**- Hay tres tipos de lámparas fluorescentes de cátodo caliente y se definen por los circuitos para los cuales han sido diseñadas

1. Precalentamiento
2. Encendido Instantáneo
3. Encendido rápido

**CIRCUITOS DE PRECALENTAMIENTO.**- El circuito de precalentamiento fue el primer tipo en ser desarrollado. Requiere un arrancador separado que precalienta los electrodos, provocando una emisión de electrones. Esto causa que la resistencia interna disminuya, lo cual permite establecer el arco. El proceso de precalentamiento requiere de algunos segundos, de aquí lo lento del encendido que es característica del circuito de precalentamiento. El precalentamiento puede ser efectuado por medio de un botón manual de arranque o por un arrancador automático. El arrancador hace circular corriente por los electrodos de la lámpara por un tiempo suficiente para calentarlos y entonces automáticamente (o manualmente) interrumpe la corriente en los electrodos, causando que el voltaje aplicado entre los electrodos establezca el arco.

**CIRCUITOS DE ENCENDIDO INSTANTÁNEO.**- En 1944, el circuito de encendido instantáneo fue introducido para mejorar el lento encendido del circuito de precalentamiento. El circuito de encendido instantáneo elimina la necesidad de un arrancador y por lo tanto simplifica el sistema y su mantenimiento. Se aplica un alto voltaje entre los electrodos suficiente para vencer la resistencia de la lámpara y establecer el arco. El arco calienta rápidamente el filamento de los electrodos, lo cual hace que se emitan electrones para sostener el arco. Ya que no se requiere de precalentamiento en las lámparas de encendido instantáneo, con un solo alfiler de contacto es suficiente. A este tipo de lámpara se le llama también lámpara Slimline.

**CIRCUITO DE ENCENDIDO RÁPIDO.**- En 1952, se desarrollaron el circuito y la lámpara de encendido rápido. Esta enciende rápidamente sin la necesidad de un arrancador separado. Un balastro para encendido rápido es de menor tamaño y más eficiente que un balastro de encendido instantáneo para la misma potencia. El circuito de encendido rápido utiliza electrodos de baja resistencia los cuales son calentados continuamente con muy bajas pérdidas. La lámpara de encendido rápido es la lámpara más común y es adecuada para la mayoría de aplicaciones.

Los circuitos de arranque rápido pueden ser intermitentes o atenuarse eficientemente.

Las lámparas circulares están disponibles para operación en circuitos de encendido rápido. También están diseñadas para usarse en circuitos de encendido rápido las lámparas en forma de "U". Las lámparas de encendido rápido pueden usarse tanto en circuitos de precalentamiento como en circuitos de encendido rápido. Sin embargo, una lámpara con designación de "precalentamiento" no puede usarse en un circuito de encendido rápido. Los circuitos de encendido rápido son clasificados de acuerdo a la corriente de la lámpara:

RS	-----	430 MA
Circular	-----	390, 420, 430 MA
HO	-----	800 MA
XHO, PG, VHO, SHO, T10	-----	1500 MA

**NOMENCLATURA DE LÁMPARAS.**- La nomenclatura de una lámpara es de acuerdo a su potencia o longitud, forma, diámetro en octavos de pulgada y color. Las lámparas de precalentamiento y encendido rápido utilizan la potencia nominal de la lámpara en su nomenclatura, mientras que las lámparas HO, VHO, encendido instantáneo y PG utilizan la longitud nominal en su nomenclatura.

Algunos ejemplos se muestran a continuación:

Precalentamiento

F20T12/CW, fluorescente/Watts/Tubular/Diámetro/Color

Encendido rápido, 30 y 40 watts

F30CW y F40CW, fluorescente/watt/color

Encendido rápido (HO)

F96T12/CW/HO, Fluorescente/longitud/tubular/diámetro/color/encendido  
rápido

### Características de funcionamiento

**VIDA.-** La vida de la lámpara depende del tiempo de operación/encendido. Los valores de las lámparas están dados en la base de un ciclo de 3 horas por encendido. En 1973 se introdujo en las lámparas un nuevo gas colector. Este gas previene la combustión del material emisor de los electrodos, cada vez que la lámpara es encendida; por lo que, la vida de la lámpara no es grandemente afectada por los ciclos más frecuentes de apagado-encendido de la lámpara. Sin embargo, la importancia del tiempo de encendido puede verse en la operación por más tiempo de las lámparas en términos de los factores de vida:

6-h	Operación/Encendido:	1.25 x Vida
12-h	Operación/Encendido:	1.60 x Vida
	Operación continua	2.5 o más x Vida

**EFEECTO ESTROBOSCÓPICO.-** *Estroboscópico* es una palabra griega que significa "ver movimiento". El arco se extingue durante cada paso por cero (120 veces/segundo) de la onda senoidal de Corriente Alterna; sin embargo, el recubrimiento de fósforo continúa radiando luz durante este pequeño periodo. Generalmente, esto no es notorio, pero puede en algunos casos hacer parecer a la maquinaria de alta velocidad estar estática. El uso de balastos de secuencia serie en circuitos de encendido rápido elimina este problema. Otra solución es el usar balastos adelantado-atrazado, el cual pone una lámpara fuera de fase con respecto a la otra en una unidad de dos lámparas. Esto da como resultado que una lámpara está al máximo de salida de luz mientras la otra está en cero.- El efecto resultante es la eliminación del parpadeo.

**EFEECTO DE LA TEMPERATURA.-** La operación más eficiente de la lámpara se obtiene cuando la temperatura ambiente está entre 70 a 90°F. (21 a 32°C). Temperaturas menores causan una reducción en la presión del mercurio, lo cual significa que se produce menor energía ultravioleta; por lo que al haber menos energía ultravioleta que actúe en el fósforo se produce menos luz. Altas temperaturas causan un cambio en la longitud de onda producida, haciéndola más cercana al espectro visible. Las longitudes de onda más largas tienen menos efecto en el fósforo, y por lo tanto hay menor salida de luz (ver figura 1.31).

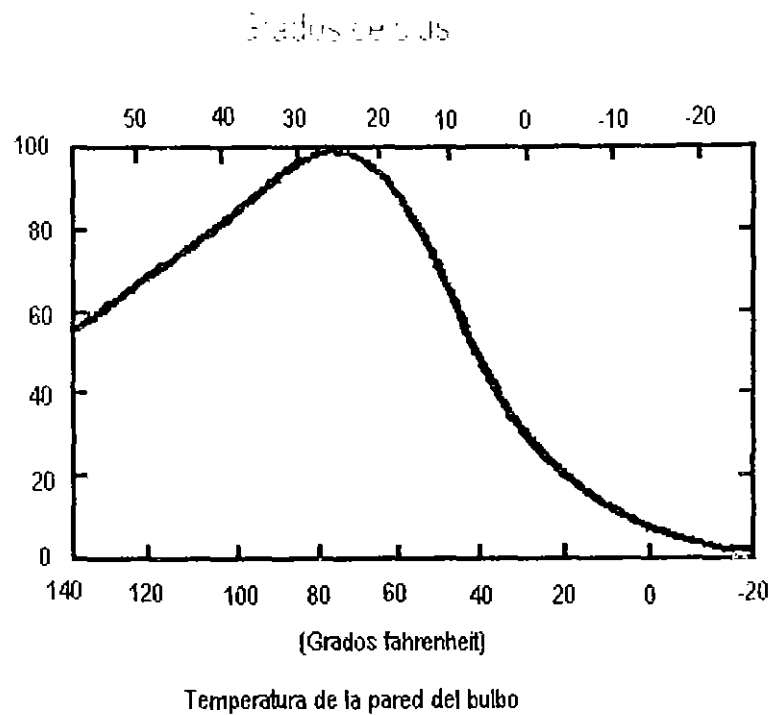


FIG. 1.31 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES

Las lámparas fluorescentes estándar pueden operarse a una temperatura menor de hasta 50°F (10°C) sin un balastro especial. Sin embargo, como indica la figura 1.31, la salida de luz (lúmenes) será menor si la temperatura ambiente está fuera de los 70 a 90°F (21 a 32°C). Existen balastros especiales de baja temperatura para encender y operar lámparas a 0 y 20°F. Estos balastros proporcionan un voltaje mayor de encendido y usualmente contienen un interruptor térmico de encendido.

**EFECTO DE LA HUMEDAD.** - Los requerimientos de voltaje de encendido son afectados por la carga electrostática en la superficie exterior de una lámpara fluorescente. El polvo y el aire húmedo tienen efectos desfavorables en la carga de la superficie. Este factor debe ser tomado en consideración cuando la humedad relativa excede del 65%. Un recubrimiento de silicón en la superficie exterior de la lámpara y la adecuada distancia entre la lámpara y el luminario, normalmente resuelven los problemas de encendido bajo cualquier condición de humedad.

Sin embargo, la acumulación de polvo en la lámpara nulfica los efectos del recubrimiento de silicón y provoca dificultades de encendido. No se debe limpiar la lámpara con un abrasivo, ya que éste también eliminará el recubrimiento de silicón.

**DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA.** Del total de energía de entrada a una lámpara fluorescentes solo el 22% se convierte en luz visible (ver figura 1.32).

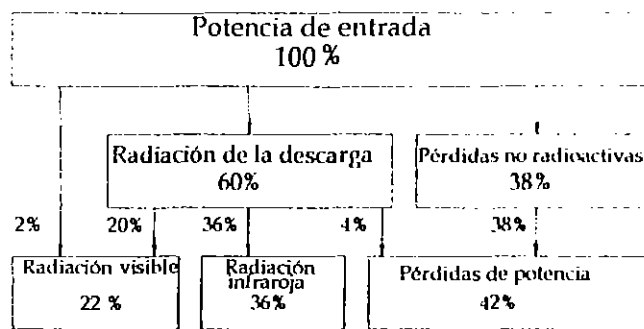


FIG. 1.32 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA EN UNA LÁMPARA FLUORESCENTE CON 78. 8 LM/WATT (40 WATTS) Y CON 22% DE RADIACIÓN VISIBLE

**EFICACIA.**- La eficacia de las lámparas fluorescentes para la mayoría de los tamaños comunes de lámparas es de 75 a 80 lúmenes /watt sin incluir las pérdidas en el balastro. Para circuitos de dos lámparas F40 CW, la eficacia total (lámpara más balastro será ue 68.5 lm/w).

$$2F40CW: 2 \times 3150 = 6300 \text{ lm}$$

balastro con 2 lámparas encendido rápido, alto factor de potencia = 92 W

$$Eficacia = \frac{6300}{92} = 68.5 \text{ lm / w}$$

La lámpara F40 CW sola, tiene una eficacia de 78.8 lm/w.

DISPOSITIVOS AHORRADORES DE ENERGÍA.- Las lámparas ahorradoras de energía están diseñadas para operar a una menor potencia con el mismo balastro para lámparas convencionales. La eficacia de algunas es menor, otras tienen una eficacia mayor. Recientemente se ha descubierto que las lámparas ahorradoras de energía, pueden ser la causa de la falla prematura del balastro debido a sobrecarga del capacitor. Un balastro de alto factor de potencia para dos lámparas contiene un capacitor de encendido y un capacitor para corregir el factor de potencia. Un incremento de 6 por ciento en la corriente del capacitor de encendido es la causa de falla del balastro. Nuevos diseños de balastros han eliminado el problema; sin embargo los balastros antiguos o balastros defectuosos pueden aún mostrar un alto índice de falla. Las lámparas ahorradoras de energía deben solo ser consideradas para remodelar una instalación existente, la cual fue mal diseñada y está proporcionando luz en exceso; no se deben utilizar para instalaciones nuevas. Por razones económicas, el luminario con dos lámparas fluorescentes se prefirió al luminario con una lámpara antes de la crisis energética. El luminario de dos lámparas podía producir niveles mayores a los requeridos, pero en ese tiempo el costo de la energía era muy bajo. Debido al bajo costo de la energía, era más económico comprar un luminario que operara dos lámparas con un solo balastro, que comprar un luminario con un balastro para una lámpara. El balastro para una sola lámpara cuesta casi lo mismo que uno para dos lámparas, pero se podía producir más luz con menos energía con el luminario de dos lámparas.

F 40 CW: 3130 lm/lámpara

- Balastro alto factor de potencia para una lámpara = 52 W

$$\text{Eficacia del sistema} = \frac{3150}{52} = 60.6 \text{ lm / w}$$

- Balastro a factor de potencia para 2 lámparas = 92 W

$$\text{Eficacia de sistema} = \frac{6300}{92} = 68.4 \text{ lm / w}$$

Con el desarrollo de nuevos circuitos de balastros y el calentamiento continuo de los cátodos, el efecto estroboscópico asociado con las unidades de una sola lámpara debe ser minimizado. Con el aumento a las tarifas de energía eléctrica (costo de operación) y el énfasis en la reducción del consumo de energía, el uso de luminarios con una sola lámpara se hace más importante. El eliminar una lámpara de un luminario de dos lámparas, puede parecer una solución simple para

reducir el consumo de energía en un edificio existente, donde existe un nivel alto de iluminación para tareas no críticas. Pero debido a que las dos lámparas están conectadas en serie, el eliminar una lámpara provocaría que se apagara la otra. Este problema ha sido resuelto con el desarrollo de un tubo sustituto que toma el lugar de uno de los tubos para completar el circuito serie de un luminario de dos lámparas. El tubo sustituto es construido en vidrio y contiene un capacitor que compensa la inductancia del balastro. La capacitancia restaura el sistema a su factor de potencia normal y permite al otro tubo seguir funcionando. Un circuito típico de encendido rápido de dos lámparas F40 mostrará una disminución a 62% de la potencia consumida, cuando una lámpara es reemplazada con un tubo sustituto. Al mismo tiempo, la salida de luz del luminario con dos lámparas disminuirá al 67% de la salida original de luz. Esto dará como resultado un incremento aproximado del 7% en la eficacia.

Balastro para dos lámparas de alto factor de potencia = 92 W

2F40 CW con 3150 lm = 6300 lm

lámpara sustituto:

92 W x 62% = 57.04 W

2 x 3150 x 67% = 4221 lm

eficacia =  $\frac{4221}{57.04} = 74 \text{ lm/w}$

Operación con 2 lámparas:

Eficacia =  $\frac{6300}{92} = 68.5 \text{ lm/w}$

El uso de tubos sustitutos debe limitarse para aplicaciones de reemplazo, ya que estos son caros. También el eliminar una lámpara de un luminario para 2, provocará una apariencia de no uniforme a la superficie del lente.

**LAMPARAS DE SODIO BAJO PRESIÓN.-** La lámpara de sodio baja presión ha sido usada extensamente en Europa desde 1940. En los Estados Unidos se inició una gran campaña de publicidad en 1972. La lámpara de sodio baja presión tiene la eficacia más alta de todas las fuentes, pero tiene un espectro monocromático amarillo.



**ELEMENTO PRODUCTOR DE LUZ.**- El elemento productor de luz es un tubo de arco. El tubo de arco tiene forma de U y está construido de vidrio. El tubo tiene pequeñas burbujas para mantener una distribución uniforme del sodio a través de él. El tubo de arco contiene una pequeña cantidad de argón y neón para ayudar al encendido de la lámpara.

La presión interna del tubo de arco es de aproximadamente  $1 \times 10^{-3}$  mm.

Tiempo de encendido = 9 min. (89%), 15 min. (100%)

Reencendido = 30 seg. (80%)

**BULBO.**- El bulbo está hecho de vidrio común. Este sirve para mantener un ambiente constante para el tubo de arco. El espacio entre el bulbo y el tubo de arco está bajo vacío. El tubo de arco opera a una temperatura de 260°C (500°F).

Hay cinco potencias de lámparas:

POTENCIA NORMAL (WATTS)	LONGITUD MÁXIMA (PULGADAS)	FORMA DEL BULBO	POSICIÓN DE OPERACIÓN
35	12 3/16	T17	Hor/arriba
55	15 3/4	T17	Hor/arriba
90	20 3/4	T21	Solo horizontal
135	30 1/2	T21	Solo horizontal
180	44 1/8	T21	Solo horizontal

**CONEXIÓN ELÉCTRICA.**- La base es una base bayoneta (BAY-B1) la cual mantiene la U del tubo de arco en una posición horizontal.

**CARACTERÍSTICAS DE COLOR.**- La luz producida por una lámpara de sodio baja presión es un amarillo monocromático (ver figura 1.33). La distribución de potencia espectral consiste de dos líneas a 589 nm (aproximadamente 95% de la salida). Debido a la característica del amarillo monocromático, no existe rendimiento de color.

Todos los colores aparecen como diferentes tonos de gris y café excepto los objetos amarillos.

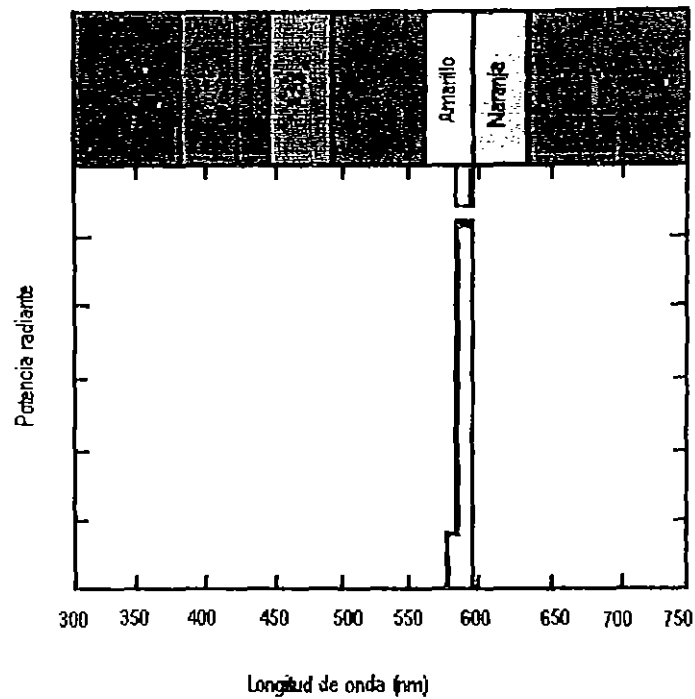


FIG. 1.33 DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA ESPECTRAL PARA UNA LÁMPARA DE SODIO BAJA PRESIÓN

**DESIGNACIÓN DE LA LÁMPARA.**- La designación de SOX se usa para indicar una lámpara de sodio de baja presión. La designación también incluye la potencia nominal de la lámpara, tal como SOX 180 (180W).

**CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO.**- Depreciación del flujo luminoso. El flujo luminoso aumenta ligeramente durante la vida de la lámpara. Se dice que el flujo luminoso es constante con un rango de temperatura de operación de - 10°C a + 40°C. El efecto en el flujo luminoso cuando la lámpara se opera fuera de este rango de temperatura no ha sido publicado.

VIDA - El tiempo de vida para todas las potencias es de 18,000 horas, basadas en un ciclo de encendido de 5 horas. La posición de encendido de la lámpara es crítica para la vida de ésta, ya que ésta falla debido a la migración de sodio hacia los electrodos. Esta migración causa un aumento en los watts consumidos por la lámpara durante su vida, lo cual da como resultado que falle el electrodo.

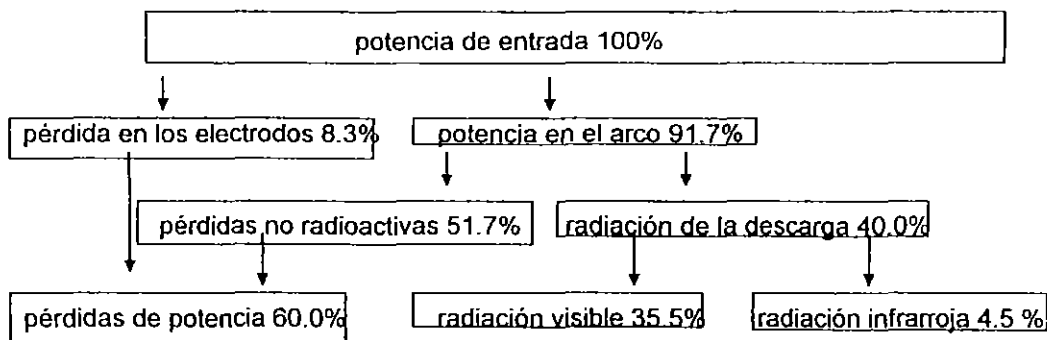


FIG. 1.34 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA DE UNA LÁMPARA DE SODIO BAJA PRESIÓN CON 180 LM/ WATT Y 35.5% DE RADIACIÓN VISIBLE

WATTS NOMINALES	LÚMENES	WATTS DE LÁMPARA (100 H)	EFICACIA LÁMPARA (100 H)	WATTS DE LÁMPARA (1800 H)	EFICACIA LÁMPARA (1800 H)
35	4,640	36	129.2	44	105.7
55	7,700	53	145.5	62	124.2
90	12,500	90	138.9	122	102.5
135	21,500	130	165.4	178	120.8
180	33,000	176	187.5	241	136.9

### 1.3.2.2 FUENTES DE DESCARGA GASEOSA DE ALTA PRESIÓN

(Fuentes de descarga de alta intensidad)

#### Lámpara de vapor de mercurio

**ELEMENTO PRODUCTOR DE LUZ.**- El elemento productor de luz es un tubo de arco. El tubo de arco es construido de cuarzo, el cual permite transmitir la radiación ultravioleta (ver figura. 1.35). El tubo de arco contiene mercurio y una pequeña cantidad de argón, neón y kriptón. Cuando la lámpara es energizada, se genera un arco entre el electrodo principal y el de encendido, en cuanto se ioniza el mercurio, la resistencia dentro del tubo de arco disminuye. Cuando la resistencia interna del tubo de arco es menor que la resistencia externa, el arco se establece entre los electrodos principales. El mercurio continúa ionizándose incrementándose la emisión luminosa, la luz producida es típica de las líneas de mercurio ( 404.7, 435.8, 546.1, 577.9), además genera energía ultravioleta.

El tubo de arco es operado desde 1 a 10 atmósferas de presión.

- Tiempo de arranque = 5 min. (80%) 7-10 min. (100%)
- Tiempo de reencendido = 7 min. (80%)

**BULBO EXTERIOR.**- Las funciones principales del bulbo exterior son tres:

- 1) El vidrio primario actúa como un filtro de rayos ultravioleta, el cual previene contra quemaduras en la piel y ojos.
- 2) Proporciona también un ambiente constante para el tubo de arco. La presión del tubo de arco es afectada por el rápido cambio de temperatura y el movimiento del aire.
- 3) Este proporciona una superficie para el recubrimiento de fósforo, el cual es colocado en el interior del bulbo exterior para corregir el rendimiento de color de la lámpara de vapor de mercurio. Una lámpara con recubrimiento de fósforo requerirá de un luminario muy grande para tener un buen control óptico ya que el bulbo exterior se convierte en el elemento productor de luz.

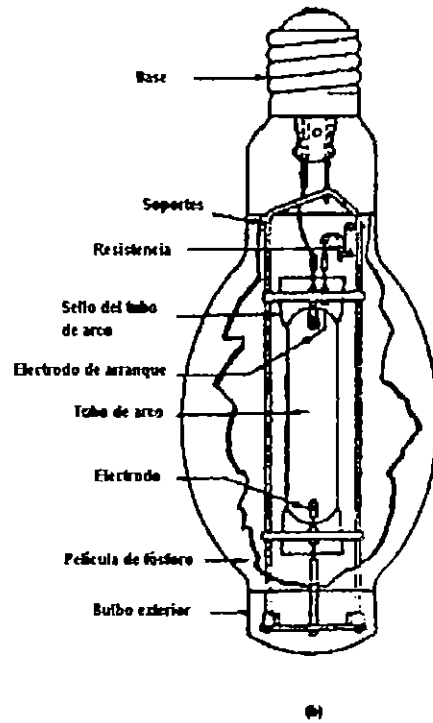
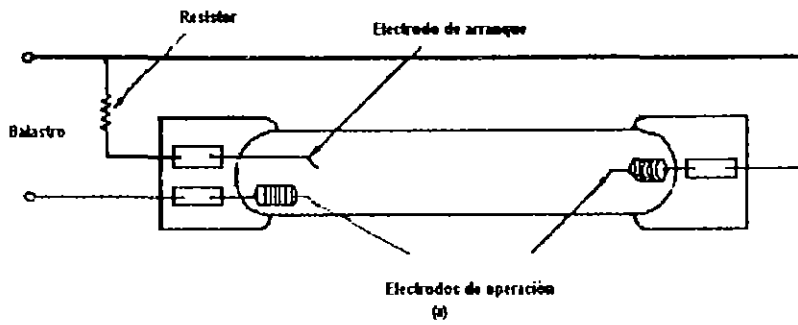


FIG. 1.35 LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO Y TUBO DE ARCO

CONEXIÓN ELÉCTRICA.- Se utiliza una base tipo mogul para las lámparas con potencias mayores de 100 watts: las lámparas de 40, 50, 75 y 100 watts se fabrican con bases medianas

CARACTERÍSTICAS DEL COLOR.- La lámpara clara de vapor de mercurio tiene un color predominante azul-verde, característico de las líneas del espectro del mercurio. La figura 1.36 muestra las curvas DPE. Para corregir el color de la lámpara, se aplica un recubrimiento de fósforo en la pared interna del bulbo exterior. Los colores primarios adicionados por el fósforo son el rojo y naranja. Las lámparas de vapor de mercurio blancas o con recubrimiento de fósforo se recomiendan para todas las aplicaciones donde el color es importante. Existen comercialmente tres tipos de lámparas de vapor de mercurio blancas:

- 1) Color mejorado: Muy pobre en color rojo, color marginal, no recomendada.
- 2) Blanco de lujo, DX: Incrementa el color rojo, buen color se recomienda
- 3) Blanco cálido de lujo, WWX: Excelentes rojos, excelente color, altamente recomendado; menos lúmenes.

DESIGNACIÓN DE LAS LÁMPARAS.- La designación para las lámparas de vapor de mercurio es muy diferente a las lámparas incandescentes y lámparas fluorescentes. Las únicas partes que tienen significado importante son la designación H, la cual identifica la lámpara como de vapor de mercurio (Hg mercurio), y la potencia. Los números y letras marcados son arbitrarios.

H 33 GL - 400/DX

- H - Indica que es una lámpara de vapor de mercurio.
- 33 - Números que se usan para los balastos de 400 watts.
- GL - Son dos letras convencionales que describen las características físicas de la lámpara, tales como: tamaño, forma, material y acabado.
- 400 - Indica la potencia nominal de la lámpara.
- DX - Indica el color de las lámparas; en el ejemplo: "Blanco de lujo"

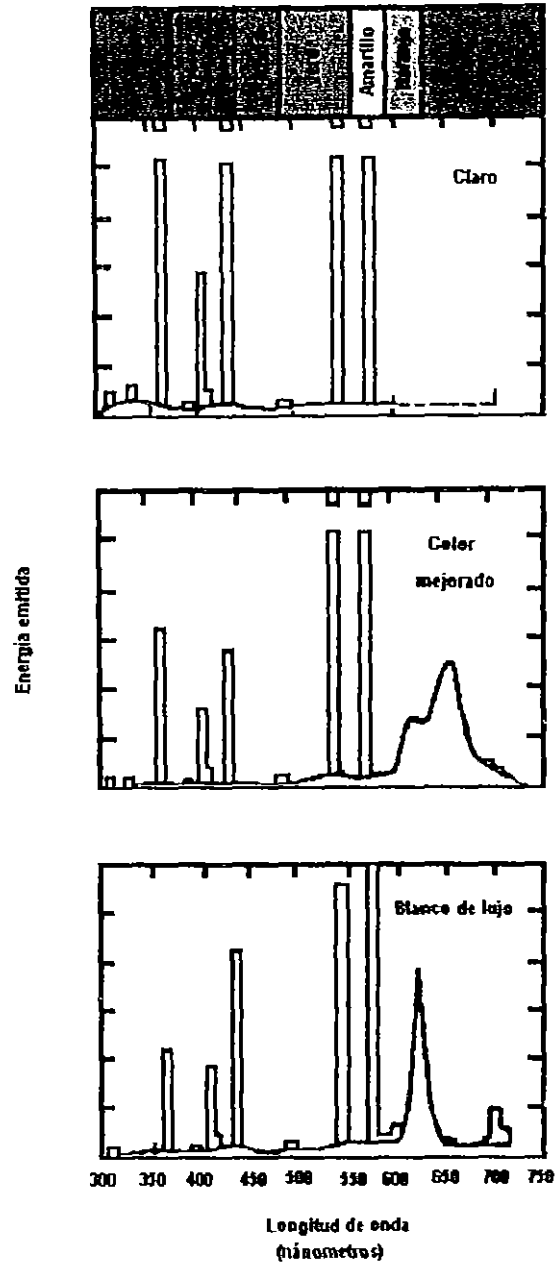


FIG. 1.36 CURVAS DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA ESPECTRAL PARA LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

El bulbo se designa en términos de una letra y una combinación de números. La letra o letras son utilizadas para designar la forma del bulbo (ver fig. 1.37)

PAR:	Parabólico	BT:	Tubular abultado
PS:	Forma de pera	R:	Reflector
T:	Tubular	E:	Elíptico
B:	Abultado	A:	Estándar

Los números representan los diámetros máximos de la lámpara en octavos de pulgadas.

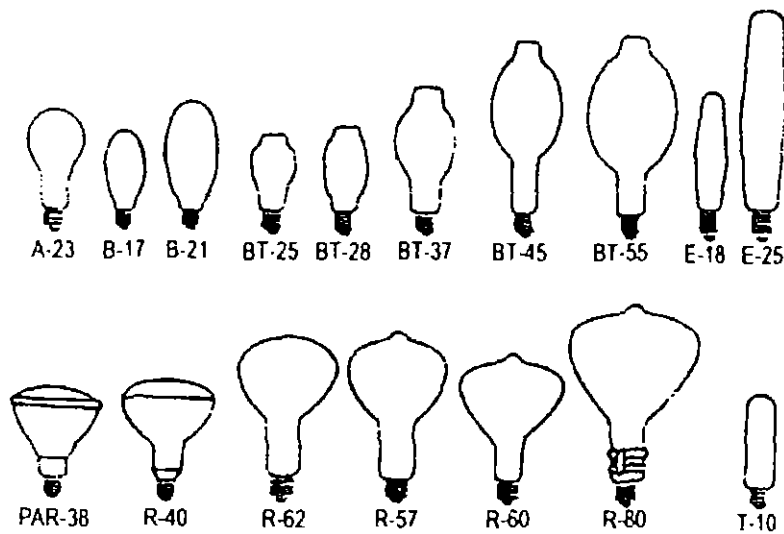


FIG. 1.37 DESIGNACIÓN DE LAS FORMAS DE BULBOS PARA LÁMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD

BT-37

$$\text{diámetro} = \frac{37''}{8} = 4 \frac{5}{8}$$

Forma: Tubular abultado



La posición de encendido es función de la posición del electrodo de arranque. El electrodo de arranque debe estar siempre colocado en la parte superior de la lámpara para evitar que el mercurio se deposite en el electrodo de arranque.

Distribución de energía.- La distribución de energía para las lámparas de vapor mercurio se muestra en la figura 1-41.

Eficacia de las lámparas.- La eficacia de la lámpara varía con la potencia de esta. A mayor potencia de lámpara, mayor eficacia.

40/50 W : 25 a 30 Lm / W

75, 100, 175, 250 W : 34 a 48.4 Lm / W

400 W : 55 a 60 Lm / W

1000 W : 57 a 63 Lm / W

H 33 GL – 400 / DX CON 22,500 Lm

$$Eficacia = \frac{22,500}{400} = 56.3 \text{ Lm / W}$$

Lámparas de vapor de mercurio autobalastadas.- Las lámparas de vapor de mercurio autobalastadas contienen ya sea un componente de estado sólido para arranque, o un filamento incandescente que actúa como balastro.

La lámpara con componente de estado sólido no debe utilizarse en un luminario totalmente cerrado, debido al calor generado por este tipo de lámpara.

En general, la lámpara de vapor de mercurio autobalastadas, son 50% menos eficaces en comparación con las lámparas normales de mercurio, pero 50% más eficaces en comparación con las lámparas normales de mercurio, pero 50% más eficaces que las lámparas incandescentes.

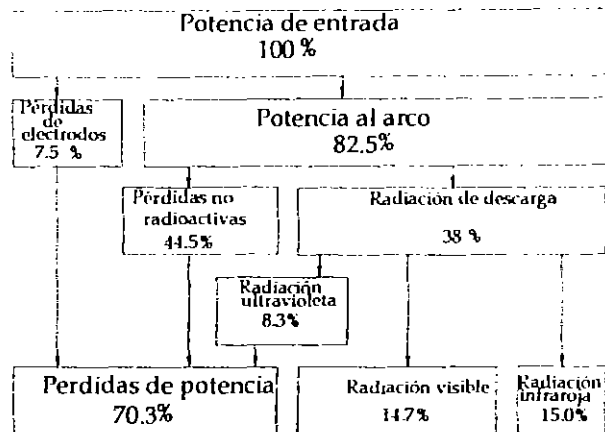


Figura 1-41. Distribución de Energía para lámpara de vapor de mercurio con 56.3 lm/watt (400 w).

Estas lámparas deben limitarse a sustituir lámparas incandescentes, donde el cambio de lámparas es difícil y el adicionar un balastro es impráctico.

Dispositivos ahorradores de energía.- Recientes desarrollos en los balastros electrónicos para lámparas de vapor de mercurio permiten atenuarlas actualmente. Los balastros electrónicos han sido estudiados desde que apareció la lámpara de vapor de mercurio. Existen todavía varios problemas, entre ellos el alto costo; pero se sabe que un balastro electrónico la eficacia de la lámpara y la eficacia total del sistema aumentan considerablemente. Otras ventajas que se esperan del balastro electrónico son : el menor tamaño y peso, menor ruido, aumento de la vida de la lámpara y mayor facilidad para atenuar.

Lámparas de Aditivos Metálicos.-

Elemento productor de luz.- El elemento productor de luz es un tubo de arco. El tubo de arco tiene los mismos principios de operación y tipo de construcción del de la lámpara de vapor de mercurio ( ver fig. 1-42).

El tubo de arco contiene además del mercurio, argón, neón y Kriptón; yoduros de metales ( los aditivos primarios son el mercurio, sodio y escandio; otros son el talio, indio y cesio). Estos aditivos proporcionan colores adicionales a las líneas típicas del mercurio, esto es, rojo, naranja y amarillo. El color de la lámpara de aditivos metálicos esta balanceado a través del espectro, debido a que la lámpara de aditivos metálicos mejora el color sin necesidad de un recubrimiento de fósforo la lámpara se aproxima a una fuente puntual, lo cual de cómo resultado que se facilite su control óptico. Para la posición horizontal de encendido, el tubo de arco es curvado ligeramente, para tener una temperatura más uniforme dentro del tubo de arco ( ver fig 1.42).

Tiempo de encendido = 9 minutos (80%)

Tiempo de reencendido = 10 a 15 minutos (80%)

Cubierta.- La cubierta exterior (bulbo) sirve para dos funciones.

1. Filtro de luz ultravioleta
2. Ambiente para el tubo de arco (mantiene la temperatura constante y evita las corrientes de aire)

No se necesita un recubrimiento de fósforo para el buen rendimiento de color y además debe evitarse ya que afecta en forma negativa el control óptico; esto es la lámpara ya no se aproxima a una fuente puntual.

Conexión eléctrica.- La lámpara de aditivos metálicos usa una base mogul para todas las potencias. Las lámparas para posición de operación horizontal que contienen el tubo de arco curvo ( ver fig. 1-42), tienen un pasador en la base para posicionarlas. Existe un portalámpara especial que asegura el posicionamiento adecuado del tubo de arco cuando la lámpara se asegurada en el portalámpara adecuadamente. El tubo de arco curvo siempre debe ser colocado con la curva hacia arriba en un plano vertical.

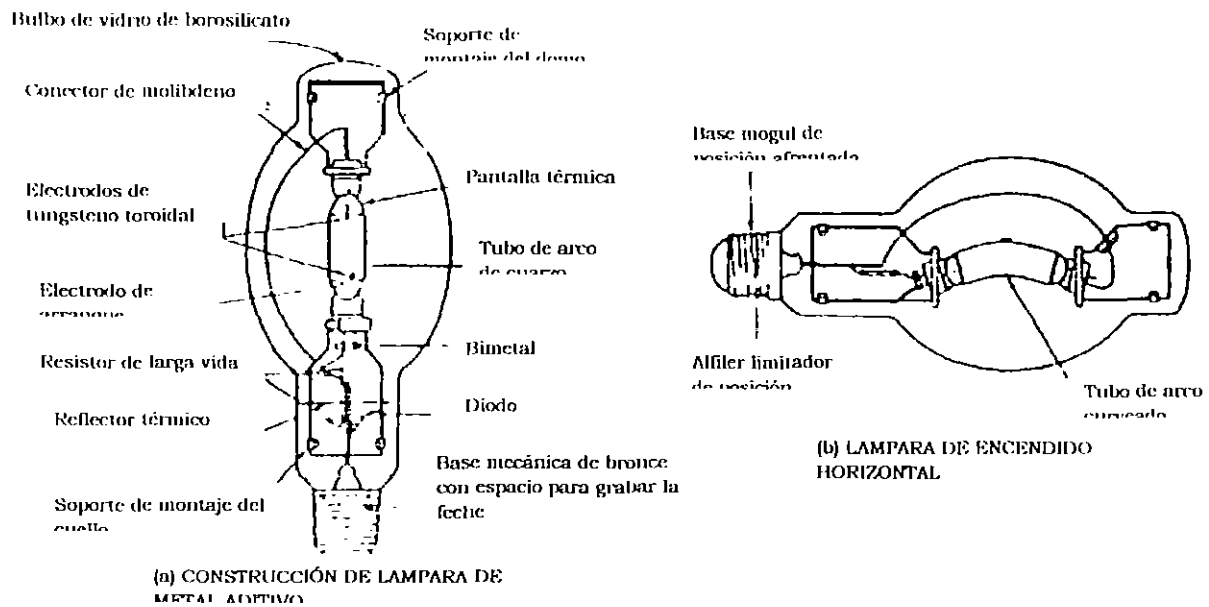


Figura 1-42. Variación de temperatura interna y temperatura de la pared, de una lámpara de aditivos metálicos.

Características de color.- La lámpara de metales aditivos produce energía de todas las longitudes de onda a través del espectro visible. Esto es, su distribución de energía espectral está bien balanceada, lo que significa que la lámpara produce un buen rendimiento del color sin la necesidad de una pantalla de fósforo (ver fig. 1-43). La apariencia del color es una función del control de calidad de los aditivos dentro del tubo de arco. La consistencia del color de una lámpara otra es función del balastro, del voltaje aplicado y edad de la lámpara. Donde es una consideración importante de diseño el tener igualdad de color entre las lámparas, estas deben cambiarse en grupo debido al cambio de color con el tiempo.

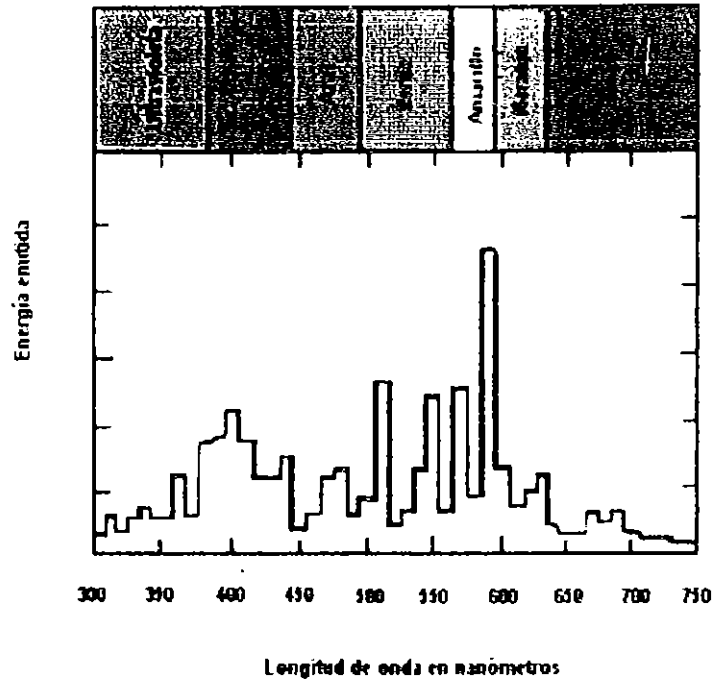
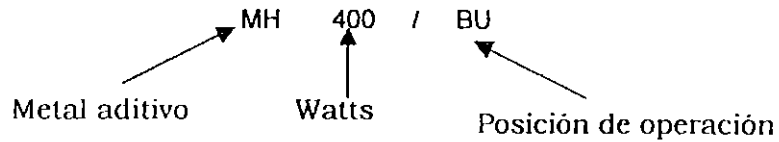


Figura 1-43. Distribución de potencia espectral de una lámpara de aditivos metálicos.

Designación de la lámpara.- Las designaciones para lámparas de metales aditivos no han sido normalizadas. El ingeniero debe tener cuidado al especificar las lámparas con designaciones no estándar para evitar que algún fabricante no sea descartado.

La designación de la letra M ó MH debe ser usada para identificar una lámpara de metales aditivos.



Las lámparas de metales aditivos son específicamente se De la lámpara dido. Los datos de los fabricantes deben ser consultados para conocer los requerimientos de la posición de encendido.

El bulbo es designado por una letra y una combinación de números. Las lámparas de metales aditivos se fabrican con bulbos BT y E (ver fig. 1-37). El número representa el diámetro exterior máximo del tubo, en octavo de pulgada.

$$BT = 37 \text{ diámetro} = \frac{37''}{8} = 4 \frac{5''}{8}$$

Características de operación.-

Depreciación de lúmenes. La curva de depreciación de lúmenes para una lámpara de metales aditivos es sustancialmente mejor que la curva para una lámpara de vapor de mercurio. La salida de lúmenes al final de la vida de una lámpara de alta potencia es 75% (ver fig. 1-44).

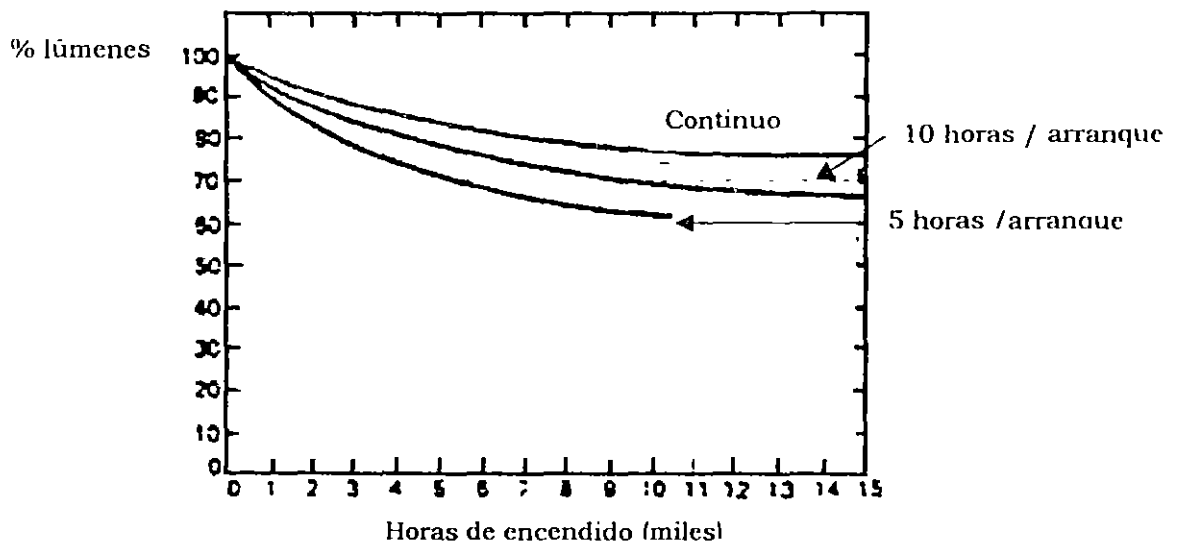


Figura 1-44. Depreciación de lúmenes en la lámpara de aditivos metálicos

Vida.- La vida varía como una función de los watts de la lámpara y el lapso del tiempo que la lámpara ha estado en el mercado.

La práctica normal en la industria de las lámparas es introducir todas las lámparas nuevas al mercado con un promedio de 7500 hrs.

Los catálogos de lámparas usuales de todos los fabricantes, deben ser consultados para obtener el promedio de la vida de las lámparas

Distribución de energía.- La distribución de energía para una lámpara de aditivos metálicos se muestra en la figura 1-45.

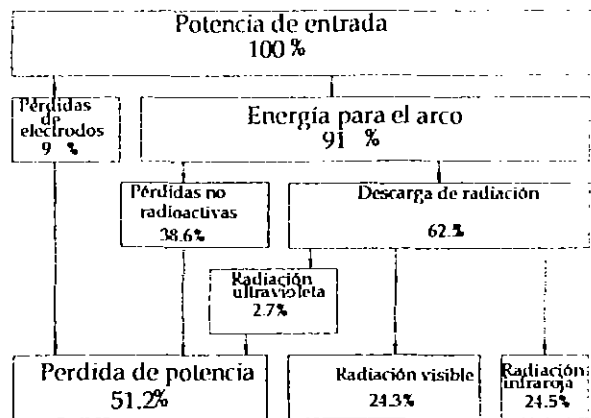


Figura 1-45. Distribución de Energía en una Lámpara de Aditivos metálicos con 100 lm/watt y 24.3% de Radiación visible.

Eficacia de las lámparas.- Las eficacias de las lámparas varían con la posición de operación y los watts de la lámpara. Mientras mayor es la potencia, mayor es la eficacia

175 W : 80 a 85.7 Lm/W

250 W : 82 Lm/W

400 W : 85 a 100 a 115 Lm/W

1000 W : 100 a 115 Lm/W

1500 W : 96.7 a 10.33 Lm/W

NOTA: Los rangos de valores son debido a variaciones entre fabricantes.

Dispositivos de ahorro de energía.- El atenuado de lámparas de metales aditivos es un desarrollo reciente

La lámpara de 400 W puede ser atenuada (5 min.) en un 47% del total de energía consumida, lo cual resulta en un 22% de reducción en lúmenes. La lámpara de metales de aditivos de 1000 W puede ser atenuada (15 min.) en un 35% de su energía total consumida, o 14.6 de su rendimiento de lúmenes. Cuando ocurra un desarrollo tecnológico adicional, el costo de atenuación deberá disminuir y el rango incrementarse.

Lámparas de Sodio de Alta Presión.

Elemento productor de luz.- El elemento productor de luz es un tubo de arco. El tubo de arco es pequeño en diámetro para mantener una temperatura de operación alta. Debido a que el diámetro es pequeño, no hay electrodo de arranque dentro del tubo de arco. El sodio operando a una presión alta y a alta temperatura tiene un efecto corrosivo sobre el vidrio ordinario o cuarzo. Por eso el tubo de arco está hecho de cerámica de aluminio. El tubo de arco contiene xenón, una amalgama de mercurio y sodio operando a una presión de 200 mm de mercurio.

Tiempo de encendido = 3 min. (80%)

Reencendido = 1 min. (80%)

Envoltente (bulbo).- La envoltente ayuda a mantener el tubo de arco dentro de una temperatura ambiente constante y protege al tubo de arco de corrientes de aire.

Conexión eléctrica.- La conexión eléctrica es una base mogul. La lámpara requiere un pulso de energía de 2500 a 5000 V para el encendido de la lámpara. Esto se realiza por medio de un pequeño dispositivo de arranque electrónico, que suministra el pulso de alto voltaje para abatir la resistencia y encender la lámpara.

Características de color.- La lámpara de sodio de alta presión produce energía en todas las longitudes de onda ( fig. 1-46). Sin embargo la mayor porción de energía está concentrada en la parte de amarillo-naranja del espectro.



Las características de color de la lámpara cambian los objetos rojos a naranja y oscurece el color aparente de los objetos azul y verde, incrementando la presión en el tubo de arco parece mejorar la apariencia del color de una lámpara a otra es mejor que con las lámparas de metales aditivos. Sin embargo, los cambios de color pueden ocurrir debido a las variaciones de voltaje y diferencias en balastos.

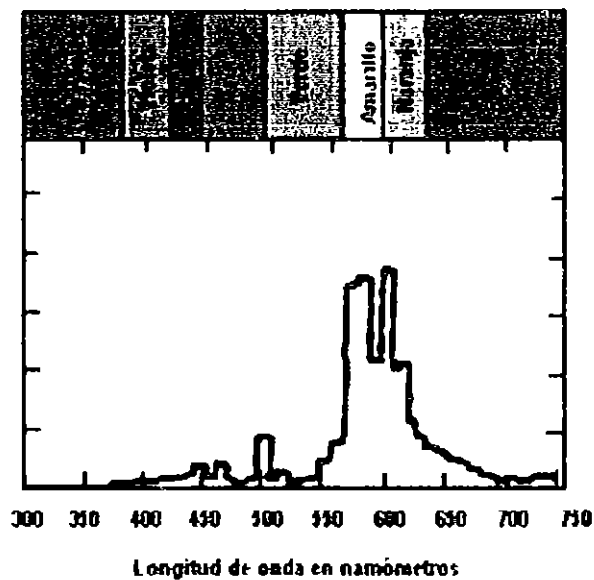


Figura 1-46. Distribución Potencia Espectral para una lámpara de vapor de sodio alta presión.

Designación de las lámparas.- Las designaciones de las lámparas de sodio de alta presión no han sido normalizadas por la industria de las lámparas. El ingeniero debe tener precaución en no especificar o usar nombres comerciales que provoquen que las lámparas aceptables queden descartadas. Las lámparas de sodio de alta presión están disponibles en bulbos, E, BT y T (ver figura 1-47). Se utiliza una combinación de letras y números para designar la configuración del bulbo.

Características de operación.-

Depreciación de lúmenes.- La curva de depreciación de lúmenes de la lámpara de sodio de alta presión es una de las mejores de las lámparas del tipo de descarga de alta intensidad. El

rendimiento luminoso al final de la vida de la misma, para altas potencias es 80% (ver fig 1-47)

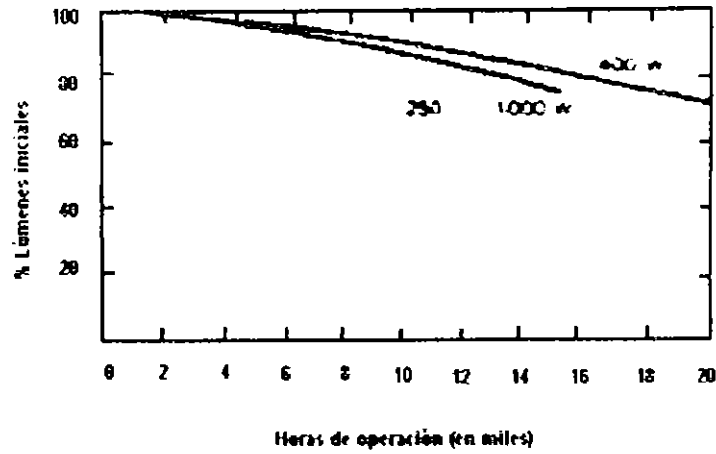


Figura 1-47 Depreciación de lúmenes en una lámpara de sodio alta presión.

Dispositivos de ahorro de energía.- Es posible atenuar algunas potencias de lámparas de sodio de alta presión. La lámpara de 1000 W puede ser reducida en un 38% de su potencia total en aproximadamente 15 min., con una reducción en la salida de luz en un 20% de los lúmenes nominales.

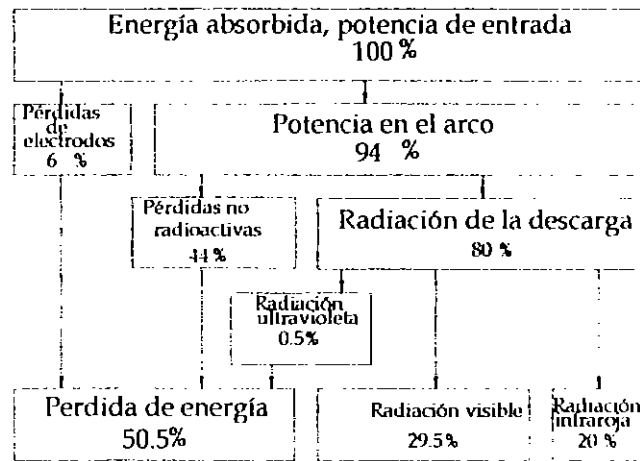


Figura 1-48. Distribución de energía para la lámpara de sodio alta presión con 125 lm/watt y 29.5% de radiación visible.

### 1.3.3. BALASTROS

Los balastros son requeridos en todas las lámparas de descarga gaseosa. A la lámpara se le denomina como un dispositivo de resistencia - negativa ó cero.

Vida.- La vida varía en función de la potencia, el circuito del balastro y del fabricante. El rango es de 15000 a 24000 hrs. para las lámparas de alta potencia más comunes.

Distribución de energía.- La distribución de energía para las lámparas de sodio de alta presión es mostrada en la Fig. 1-48.

70: 77 a 82.9 Lm/W

100: 88 a 95 Lm/W

150: 100 a 106.7 Lm/W

250: 102 a 120 Lm/W

400 W: 118.8 a 125 Lm/W

1000 W: 140 Lm/W

Las lámparas de sodio de alta presión también están disponibles en potencias que pueden ser operadas con balastros de mercurio. Las potencias disponibles son 150, 215, 310, y 360 W. Los informes de los fabricantes deben ser consultados para una adecuada selección del balastro para lámpara.

Elemento de resistencia – cero

$$I = \frac{E}{R} \text{ con } R \rightarrow 0$$

Función del balastro es:

1. Suministrar el voltaje de arranque (voltaje de impulso)
2. Limitar la corriente (cuando la  $R \rightarrow 0$ ).
3. Proveer corrección del factor de potencia (carga de reactancia inductiva).

### 1.3.3.1 BALASTROS FLUORESCENTES.

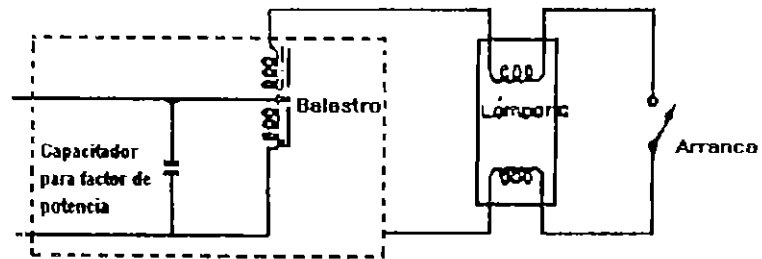
El Instituto Americano de Normas Nacionales (ANSI) reunió los requisitos para encontrar un buen funcionamiento de la lámpara, tales como el rendimiento lumínico, vida y confiabilidad. La Asociación de fabricantes de balastros certificados, es una organización que fue establecida para asegurar al usuario que el balastro cumple los requisitos mínimos o los supera, marcados por las normas ANSI. Los balastros de encendido rápido proporcionan un voltaje continuo para calentamiento de los cátodos. El balastro suministra volts a los portalámparas. El más conocido de los balastros de encendido rápido opera lámparas en serie (los conductores eléctricos que suministran energía del balastro a la lámpara son rojos, y el retorno de la energía al balastro desde la lámpara son puntas azules). Una balastro fluorescente típico, provocará un cambio de 1% en el rendimiento lumínico por cada 1% de cambio en el voltaje nominal. Se requiere una cinta metálica a no más de una pulgada de distancia de la lámpara. La cinta metálica actúa como un capacitor que causa un efecto de disminuir la longitud de la lámpara, lo cual resulta en menores requerimientos de voltajes de encendido.

Circuitos típicos de balastros.- Los elementos básicos de un balastro pueden verse en la fig 1-49 la cual muestra los circuitos para el precalentamiento, encendido instantáneo (slimline), y encendido rápido de las lámparas. Los componentes de los balastros son:

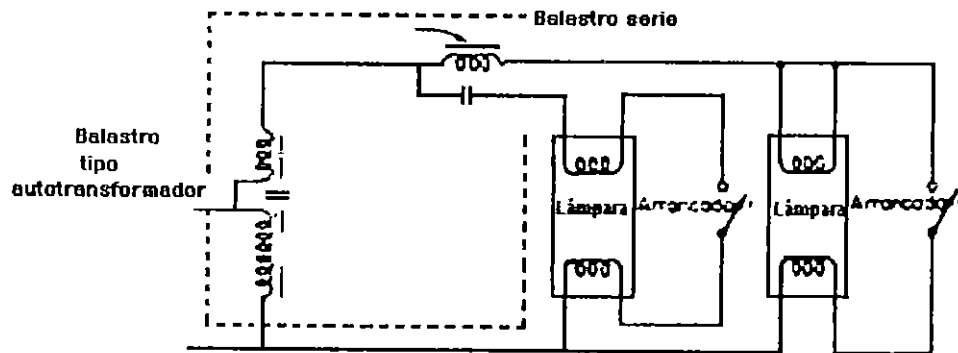
1. Núcleo y devanado: un núcleo reactivo suministra el voltaje de operación y limita la corriente.
2. Autotransformador, el cual eleva el voltaje de encendido.
3. Capacitor: el cual corrige el factor de potencia.

Balastro de encendido rápido.- El encendido es un proceso de dos pasos:

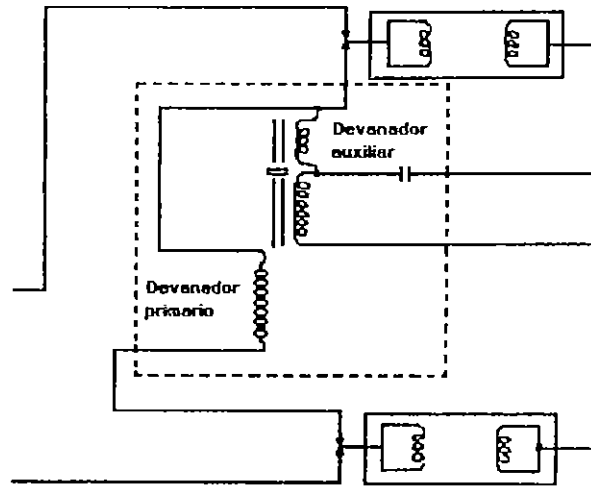
1. Acondicionar la lámpara: una corriente continua precalienta el cátodo causando una ionización del argón o argón – neón. Esta preionización disminuye la resistencia de la lámpara, permitiendo el segundo caso.
2. Encendido del arco: una resistencia menor significa que se requiere de un voltaje menor para encender el arco.



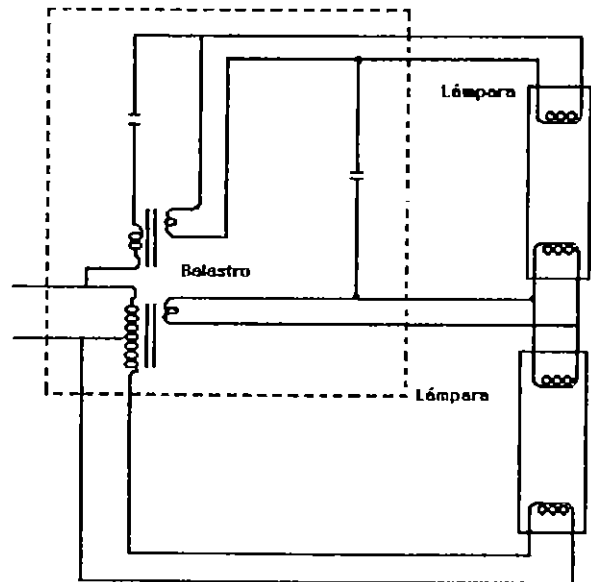
(a) Circuito de precalentamiento con un autotransformador y capacitor



(b) Circuito de precalentamiento en atraso-adelanto



(c) Circuito de encendido instantáneo para dos campos en serie



(d)

Figura 1-49. Circuitos típicos de balastro fluorescentes.

Un balastro de arranque pulso es similar al balastro de encendido rápido en el cual no se requiere de arrancador y se suministra una corriente constante a los cátodos. Está diseñado para usarse con 20 W de precalentamiento. Están disponibles en balastros de alto y bajo factor de potencia

Balastros clase P - El Código Nacional Eléctrico (CNE) establece que "los luminarios con lámparas fluorescentes para instalaciones interiores incorporarán una protección al balastro". Los balastros protegidos térmicamente que cumplen con los requerimientos de "Underwriter Laboratories" son clasificados clase P. Los principales requerimientos de los balastros P son los siguientes:

1. Que los balastros no se sobrecalienten excediendo un límite, ya sea como resultado de fallas internas o condiciones anormales externas.
2. Que la calibración del dispositivo de protección permanezca inalterada bajo condiciones normales de uso y operación.
3. Que la operación del dispositivo sea segura cuando este operando.

Con la protección clase "P" cualquier problema de sobrecalentamiento causado por mal uso llega a ser extremadamente crítico. Las variables que afectan la temperatura de operación del balastro son las siguientes:

1. Abastecimiento de voltaje: la temperatura de la caja del balastro se eleva 0.8°C por cada volt arriba de 120 volts.
2. Temperatura ambiente: Un grado centígrado de elevación en la temperatura ambiente eleva la temperatura 0.9° C en la caja.
3. montaje del luminario. Los luminarios montados superficialmente pueden aumentar su temperatura hasta 10° C dependiendo del material del techo y del aislamiento.
4. Diseño de la unidad de iluminación: La variación en el número de lámparas, cubierta, tamaño, material, lentes y ubicación del balastro pueden dar como resultado 20° C de diferencia.
5. Balastro y lámpara: las variaciones en la manufactura pueden afectar la temperatura del balastro en  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Bajo las condiciones de operación normal a 25° C, los balastos clase "P" deben tener los mismos requerimientos y limitaciones, estas son las siguientes:

- a) Temperatura máxima 90° C en la caja
- b) Temperatura máxima en el capacitor 70° C
- c) Temperatura máxima en el devanado 65° C

Bajo las condiciones de falla, la temperatura continua en la caja de los balastos clase "P" está limitada a 110° C. Un máximo de 110° C significa un incremento permitido de solamente 20° C. Así, el ingeniero debe conocer las condiciones ambientales en cada instalación y especificar una unidad de iluminación que se ajuste a las necesidades de diseño.

### 1.3.3.2. BALASTROS DE SODIO DE BAJA PRESION.

El balastro convencional de sodio a baja presión es un transformador atrazado regulado que mantiene la corriente aproximadamente constante, con un incremento en el voltaje de la lámpara a través del tiempo, resultando en un mayor consumo de potencia. El voltaje de circuito abierto para ignición y reencendido es de 390-575 V. Este voltaje tan alto los que explica las altas pérdidas en el balastro. (ver fig. 1-50).

WATTS NOMINALES	LUMENES	WATTS ENTRADA (100 HORAS)	EFICACIA DEL* SISTEMA (100 HORAS)	WATTS ENTRADA (18000 HORAS)	EFICACIA DEL* SISTEMA (18000 HORAS)	TENSIÓN DE ALIMENTACION	TENSIÓN DE ENCENDIDO DE LA LAMPARA
35	4,650	60	77.5	68	68.4	120/240	390
55	7,700	80	96.3	89	86.5	120/240	410
90	12,550	125	100.0	157	79.6	120,240,277	420
135	21,500	178	120.8	226	95.1	120,240,277,480	575
180	33,000	220	150.0	285	119.3	120,240,277,480	575

34,000 \* La eficacia del sistema incluye lámpara y balastro.

Figura 1-50 Lámpara de sodio baja presión.



### 1.3.3.3 BALASTROS PARA DESCARGA GASEOSA DE ALTA PRESION (HID)

No hay normas para balastos, debido a esto, los fabricantes no están sujetos a ninguna regulación, lo cual da como resultado una gran variación en el funcionamiento de la lámpara. Una consideración importante en la selección de los balastos HID es el factor de cresta de la corriente de la lámpara es una relación de valor máximo de la onda a su valor efectivo ( ó rms). El máximo rango permitido para el valor del factor de cresta debe de ser de 1.45 para un buen balastro tipo reactor, hasta un límite superior de 2.0, mientras mayor es el factor de cresta, mayor es la depreciación de los lúmenes de la lámpara durante su vida. Para el mejor funcionamiento de la lámpara, el rango preferido debe ser de 1.6 a 1.8. Los fabricantes de lámparas dan el valor del factor de cresta necesario para producir los datos publicado del funcionamiento de la lámpara. La mayoría de los datos de los fabricantes de lámparas están basados en un balastro patrón (tipo reactor) con un factor de cresta de 1.4 a 1.5.

#### CARACTERÍSTICAS DEL BALASTRO CONVENCIONAL DE 180 WATTS DE SODIO BAJA PRESION

Eficacia de la lámpara (100 hrs.)	183.3 lúmenes / watts
Eficacia de la lámpara (18,000 hrs.)	188.9 lúmenes / watts
Watts del balastro (100 hrs.)	40
Watts del balastro (18,000 hrs.)	105
Lúmenes (100 hrs.)	33,000
Lúmenes (18,00 hrs.)	34,000
Eficacia del circuito (100 hrs.)	150 Lúmenes / watts
Eficacia del circuito (18,000 hrs.)	119.3 Lúmenes / watts

Figura 1-50 Lámpara de sodio baja presión

Balastos de vapor de mercurio.- En general, si el voltaje de línea varía más de  $\pm 5\%$ , se debe usar un reactor o un balastro autotransformador con un factor de cresta bueno.

Un reactor(inductivo) tiene las siguientes características

- 1.- No regulador. La entrada de voltaje es controlada en un rango estrecho; la variación máxima permitida en el voltaje de entrada es de  $\pm 5\%$ .
- 2.- Disponible en factor de potencia alto o bajo.

- 3 - Corriente de encendido más alta de lo normal; requiere conductores más gruesos y más alta calibración del circuito de protección; la corriente de encendido primaria es % de la corriente de operación.
- 4.- Tiene más eficacia que los balastos tipo regulador.
- 5.- Sencillos, ligeros, silenciosos, menos caros.
- 6.- El factor de cresta de corriente es de 1.45 a 1.55
- 7.- El voltaje mínimo de línea es de 240 a 277 para todas las lámparas excepto para las de 1000-1500 W, las cuales requieren 480 V.

Un autotransformador (alta reactancia, atrazado) tiene las siguientes características.

- 1) No regulador, la variación de voltaje de entrada es de  $\pm 5\%$
- 2) Factor de potencia alto o bajo
- 3) Más eficiente y silencioso
- 4) El factor de cresta de corriente es de 1.45 a 1.55
- 5) El voltaje de línea es de 480 V para lámparas de 1000-1500 W y 240 y 277 V para los otros.
- 6) Mayor costo que el tipo reactor
- 7) Usado donde el voltaje de línea debe ser incrementado para satisfacer las necesidades de encendido de la lámpara.

Un balastro de potencia constante (regulador, regulador aislado) tienen las siguientes características:

1. Regulación: operación de lámpara para grandes variaciones en el voltaje de línea de  $\pm 10\%$ .
2. Lámpara aislada de la línea
3. El más caro de los balastos
4. El factor de cresta de corriente es de 1.8 a 2.0, el cual es el más pobre de todos los balastos. Puede usar todos los voltajes nominales de línea
5. Una variación en los watts de la lámpara es de  $\pm 5\%$  en todo el rango de voltaje de línea.

Un balastro autotransformador de potencia constante (autorregulador) tiene las siguientes características:

- 1.- El compromiso más común entre regulación y costo.
- 2.- Regulación, la variación en el voltaje de línea permitido es de  $\pm 10\%$ .
- 3.- Más pequeño y ligero que el de potencia constante pero más grande y más pesado que el reactor
- 4.- El factor de cresta es de 1.6 a 1.8
- 5.- Ruido y menos pérdidas que el de potencia constante pero no es tan bueno como el reactor.

Balastos de aditivos metálicos.- Las lámparas de aditivos metálicos no operan como un balastro tipo reactor, otros tipos de balastos pueden ser usados en las lámparas de aditivos metálicos.

- 1.- Regulado
- 2.- Autorregulado
- 3.- Autotransformador adelantado
  - a. Similar al de potencia constante autotransformador, excepto que su regulación no es tan buena.
  - b. Regulación, voltaje de entrada de  $\pm 10\%$ .
  - c. Factor de cresta de la corriente de 1.6 a 1.8
  - d. Costo más alto que el de los balastos de mercurio.

Balastos de sodio de alta presión.- Las características importantes asociadas con los balastos de sodio alta presión son las siguientes:

- 1) Más grande y más complejos, requieren un iniciador auxiliar
- 2) Alto voltaje a la lámpara
- 3) El voltaje varía con la vida de la lámpara. La características de operación son descritas en términos de los límites trapezoidales
- 4) El factor de cresta de corriente no debe exceder de 1.8.

Dos tipos de balastos están disponibles para la operación de lámparas de sodio de alta presión:

- 1.- Balastos SAP regulado, 7.5 a 10% para lámparas de 1000 y 400 W. 10% para lámpara de 250 W, los cuales operan en todos los voltajes estándar.
- 2.- El balastro SAP reactor, el voltaje de entrada es de  $\pm 5\%$ : el voltaje mínimo es de 240 volts en todas las lámparas, excepto en las lámparas de 1000 W, es de 480 volts.

Voltajes de encendido.

El voltaje de encendido o voltaje de circuito abierto es el voltaje requerido para iniciar la corriente de los electrones entre los electrodos. El voltaje de circuito abierto es una función de la potencia de la lámpara. Los voltajes de encendido son los siguientes para las fuentes enlistadas:

- 1.- Sodio a baja presión (SO X 180) : 575 V
- 2.- Vapor de mercurio : 225 a 450 V
- 3.- Haluros de metal : 245 a 450 V
- 4.- Sodio a alta presión: 2500 a 5000 V

Tiempos de encendido y reencendido.

FUENTE DE LUZ	ENCENDIDO 80% (mín.)	REENCENDIDO 80%
Sodio a baja presión (180 W)	9 - 15	80%
Vapor de mercurio	7 - 10	30 s
Aditivos metálicos	5	10 – 15 min.
Sodio a alta presión	3	1 min.

#### 1.3.4. COMPARACIÓN DE FUENTES DE LUZ.

Las tablas 1 a 3 permiten la comparación de siete fuentes de luz descritas en este capítulo. Las tablas 1 y 2 comparan las fuentes de luz en términos de las lámparas solamente ( sin las pérdidas

de balastos). usando potencia constante ( 400 W) y lúmenes constantes ( aproximadamente 30 000 lm) respectivamente. La tabla 3 compara las fuentes de luz con el efecto combinado de las lámparas más las pérdidas de los balastos. Esto da un mayor panorama del funcionamiento de las lámparas. Sin embargo, los resultados pueden llevar a conclusiones erróneas, si la eficacia de la unidad de iluminación no es incluida en el análisis. El sistema total lámpara, balastro, unidad de iluminación debe ser analizado completamente antes de hacer la selección del equipo o de tomar decisiones en el diseño.

TABLA 3-1

COMPARACIÓN DE FUENTES DE LUZ BASADA EN WATTS IGUALES (400 w)

LAMPARA	DESIGNACION	CANT	WATTS (TOTAL)	LUMENES POR LAMPARA	EFICACIA DE CADA FUENTE	BTU POR HORA (TOTAL)	VIDA EN HORAS
INCANDESCENTE	100A19	4	400	1740	17.4	1364	750
TUNGSTENO-HALOGENO	Q400T4/CL	1	400	7500	18.8	1364	2000
FLUORESCENTE	F40CW	10	400	3150	78.9	1364	20000
SODIO BAJA PRESION	SOX135	3	405	21500	159.3	1381	18000
VAPOR DE MERCURIO	H33GL-400/DX	1	400	22500	56.3	1364	24000*
ADITIVOS METALICOS	M400/BU-HOR	1	400	34000	85	1364	15000
SODIO ALTA PRESION	LU400/BU	1	400	50000	125	1364	20000

\* VIDA NOMINAL 24 000 HRS, VIDA UTIL ES DE 16 000 A 18 000 HORAS

TABLA 3-2

COMPARACIÓN DE FUENTES DE LUZ BASADA EN LUMENES IGUALES (30 000 LUMENES)

LAMPARA	DESIGNACION	CANT	LUMENES (TOTAL)	WATTS POR LAMPARA	EFICACIA DE CADA FUENTE	BTU POR HORA (TOTAL)	VIDA EN HORAS
INCANDESCENTE	100A19	17	29580	100	17.4	5797	750
TUNGSTENO HALOGENO	Q400T4/CL	4	30000	400	18.8	5456	2000
FLUORESCENTE	F40CW	10	31500	40	78.9	1364	20000
SODIO BAJA PRESION	SOX135	1	33000	180	183.3	614	18000
VAPOR DE MERCURIO	H37KC-250/DX	2	26000	250	52	1705	24000*
ADITIVOS METALICOS	M400/BU-HOR	1	34000	400	85	1344	15000
SODIO ALTA PRESION	LU250/BU/S	1	30000	250	125	853	15000

\* VIDA NOMINAL 24 000 HRS, VIDA UTIL ES DE 16 000 A 18 000 HORAS

TABLA 3-3

RESUMEN DE FUENTES DE LUZ

LAMPARA	DESIGNACION	WATTS	LUMENS	EFICACIA DE LA FUENTE	EFICACIA DE SISTEMA	VIDA UTIL HORAS
<b>INCANDESCENTES</b>						
ESTANDAR	100 A 19	100	1750	17.5	17.5	750
TUNGSTENO-HALOGENO	Q250CL/MC	250	4850	19.4	19.4	2000
<b>DESCARGA GASEOSA BAJA PRESION</b>						
FLUORESCENTE	F40CW	40	3150	78.8	68.5 <sup>A</sup>	20000
SODIO BAJA PRESION	SOX180	180	33000	183.3	150 119.3 <sup>B</sup>	18000
<b>ALTA PRESION</b>						
VAPOR DE MERCURIO	H33GL-400/DX	400	22500	56.3	49.2 <sup>C</sup>	24000
ADITIVOS METALICOS	M400/BU-HOR	400	40000	100	85 <sup>D</sup>	15000
SODIO ALTA PRESION	LU400/BU	400	50000	125	100.2 <sup>E</sup>	24000

A) HPF-RS DOS BALASTROS, 92 W

B) HPF, ALTA REACTANCIA, 220 W A 33 000 Lm (100 h) ó 285 W A 34 000 Lm (18 000h)

C) REGULACIÓN, 457 W

D) AUTOESTABILIZADA, 471 W

E) ESTABILIZADA, 499 W

## 1.4. LUMINARIOS

### 1.4.1. CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN.

Cualquier Tipo de luminario es un conjunto armonioso que integra cuatro aspectos:

- 1) Mecánico
- 2) Eléctrico
- 3) Óptico
- 4) Estético.

Y además debe satisfacer los siguientes puntos:

- a) Distribución del flujo luminoso emitido por la lámpara para obtener resultados óptimos

- b) Controlar el flujo luminoso de tal forma que la brillantez sea mínima, y con esto obtener un máximo de comodidad visual
- c) Tener propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas que lo hagan adecuado para el propósito para el cual fue diseñado
- d) Que la lámpara, el sistema eléctrico y óptico queden protegidos contra la acción de los agentes externos que se encuentran en el medio ambiente que rodea al luminario y que pueden afectar la eficacia del mismo.

Estas funciones pueden ser combinadas para una aplicación en particular.

Las propiedades de transparencia, estabilidad de color y durabilidad del vidrio utilizado deben ser excepcionales, así como su maleabilidad para ser formado en prismas precisos.

Sin control de la materia prima la mayoría de los vidrios ó cristales pueden cambiar de color después de una larga exposición a la radiación ultravioleta de las lámparas comerciales ó del sol, por lo que los componentes utilizados deben ser cuidadosamente estudiados para obtener máxima estabilidad química, sin cambio apreciable de color.

Dentro de los vidrios utilizados, podemos distinguir dos clases principalmente: el borosilicato ó resistente al choque térmico y el Hi-stress ó de "alta resistencia mecánica".

Vidrio borosilicato.- La tendencia al uso de lámparas de mayor capacidad y el uso de lámparas de vapor de mercurio hizo que se desarrollara un vidrio con buenas propiedades mecánicas y térmicas, principalmente para uso *intemperie*. Dicho vidrio está formado por borosilicato principalmente, el cual constituye grandemente a reducir el coeficiente de expansión, haciéndolo resistente a los cambios bruscos de temperatura.

Vidrio Hi-Stress (alta resistencia mecánica).- La característica principal del vidrio Hi- Stress es que sus superficies están en constante compresión, esto se logra con la adición de un tratamiento térmico especial.

Cuando una hoja de Hi-Stress recibe un choque mecánico, la superficie opuesta experimenta una tensión pero como se encuentra en estado previo de compresión, el golpe debe ser suficientemente fuerte para superarla, antes que la tensión empiece y vaya allá del límite ocasionando la ruptura. Si está ocurriera la rápida descarga del esfuerzo compresivo hará que el cristal Hi-Stress se estrelle en pequeños pedazos. Este tipo de cristal se utiliza en luminarios sujetos a golpes como son gimnasios, áreas peligrosas, instituciones penales, salas psiquiátricas, etc.

Plástico.- El uso del plástico en alumbrado ha aumentado debido principalmente a su poco peso y a su resistencia mecánica.

El sistema óptico de un luminario puede estar compuesto por:

1. Reflector
2. Refractor.

**1.4.1 REFLECTOR.-** El reflector es un elemento con la forma y cualidades ópticas adecuadas para dirigir el haz luminoso producido por la lámpara al área por iluminar. Para su funcionamiento utiliza los fenómenos de reflexión especular y reflexión difusa y puede ser fabricado en cristal liso ó prismático, anonizado mate ó brillante, o bien lámina de acero pintada en color brillante. Pero sin importar el tipo de material, el reflector debe de tener un tratamiento contra la corrosión que garantice la óptima eficiencia, el mayor tiempo posible, bajo cualquier condición de instalación, generalmente son de forma parabólica o elíptica de acuerdo con la forma deseada del haz.

El reflector elíptico es más eficiente que el parabólico, pero produce un haz más abierto, el reflector parabólico produce un haz más cerrado y uniforme pero menos eficiente. En la mayoría de los casos el reflector se fabrica combinando las dos formas para obtener una distribución más adecuada.

**1.4.1.2 REFRACTOR.-** El refractor utiliza las leyes de refracción de cuerpos transparentes y normalmente está fabricado en plástico o vidrio.



Existen en el mercado varios tipos de plásticos con los cuales se elaboran difusores. Entre los más usuales encontramos el vinílico, poliestireno, acrílico y últimamente el policarbonato.

La selección del tipo de plástico a utilizar en iluminación depende de las condiciones físicas y económicas en donde se vaya a usar.

El acrílico es el material más usado en la fabricación de difusores por:

- Su estabilidad en color
- Su alto coeficiente de transmisión
- Su buena estabilidad dimensional
- Su resistencia al impacto
- Sus características invariables bajo condiciones normales

Además el acrílico resiste la lluvia, sol, calor, frío, etc. Y no es afectado por la mayoría de los gases industriales.

**1.4.1.3 PORTALÁMPARA.-** Es un elemento muy importante, ya que además de alimentar eléctricamente a la lámpara, debe darle un soporte mecánico adecuado para mantener a la lámpara en el foco óptico previamente definido; en algunos casos el portalámpara no es suficiente para mantener la lámpara en posición. Sobre todo en zonas de mucha vibración, por lo que son necesarios soportes extras.

**1.4.1.4. GABINETE.-** El gabinete o carcasa proporciona protección contra la intemperie a la lámpara, balastro y demás partes de la unidad. Está compuesto por uno o varios elementos, los cuales deben tener resistencia a impactos mecánicos, rigidez, resistencia a la corrosión y no deben ser deformados por elementos extraños o por vibración.

Su forma, dimensiones y el material de fabricación deben corresponder al tipo de luminario y watts de la lámpara, así como a la zona de instalación. Su diseño debe facilitar el mantenimiento y reemplazo de la lámpara y además debe ser un cuerpo estético.

1.4.1.5 MONTAJE.- El montaje del luminario puede ser realizado con elementos integrales o bien con elementos anexos como son postes, brazos, etc. Pero sin importar el elemento de montaje éste debe ser diseñado para garantizar el fácil acceso al luminario

1.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS LUMINARIOS.- Los luminarios se clasifican de acuerdo con el CIE (Comisión Internacional de Iluminación), por el porcentaje de luz emitida sobre y abajo de la horizontal (fig. 1-51) en:

- Directa
- Semidirecta
- General difusa
- Directa-indirecta
- Semi-indirecta
- Indirecta
- 

La forma de distribución puede variar dentro de los límites antes señalados, dependiendo del tipo de la fuente de luz y del diseño del luminario; por lo que podemos también clasificarlos por el tipo de curva (fig. 1-52).

Altamente concentrada	Hasta 0.5 altura de montaje
Concentrada	De 0.5 a 0.7
Media	de 0.7 a 1.5
Extensiva	de 1.5 a 4.5
Super extensiva	de 4.5 a 12.0

Todas las anteriores pueden ser simétricas o asimétricas.

En los sistemas de iluminación con equipo tipo directo se pueden usar todas las curvas descritas anteriormente. Este tipo de sistema de iluminación tiene muy alta utilización, pero se reduce bastante por la necesidad de minimizar el brillo, además no se recomienda en áreas pequeñas porque se presentan los problemas de brillo reflejado y sombras

El sistema de iluminación semidirecto es utilizado básicamente en las mismas condiciones del directo, con la ventaja que la componente superior atenúa las sombras y mejora la relación de brillantez

El sistema de iluminación directo-indirecto, debido a la poca emisión de luz en los ángulos cercanos a la horizontal reduce la brillantez en la zona de brillo directo (60° a 90°). Este sistema es mejor que el general difuso, pues este último distribuye la luz en todas direcciones careciendo de control de brillo. Los sistemas semidirectos e indirectos eliminan virtualmente las sombras ya que todo el techo o estructura pueden funcionar como un reflector gigante. Para que esto pueda operar, es necesario que el techo y las paredes tengan alta reflectancia, ya que de otra forma la energía eléctrica para mantener el nivel de iluminación calculado se incrementa enormemente.

Dentro de las curvas super extensivas se encuentra toda una gama de distribución, las cuales son utilizadas para el diseño de sistemas de alumbrado público. En el diseño de estas curvas se toma una altura de montaje constante, por lo que es necesario tener diferentes distribuciones de luz para iluminar diferentes anchos de calles, usando diferentes espaciamientos.

Las curvas para alumbrado público se pueden clasificar tomando en consideración:

- a) Su contorno de distribución lateral.
- b) Su contorno de distribución vertical.
- c) Su control de luz sobre el cono de máxima intensidad.

La distribución lateral es aplicable para diferentes relaciones de anchos de calle a altura de montaje y se dividen en: (fig. 1.53)

TIPO I      Cuando el cono de máxima potencia pasa a 1.0 a.m. sobre la línea perpendicular a la calle

TIPO I      Cuatro vías. Igual pero con cuatro ramales.

TIPO II	Cuando el cono de máxima potencia pasa a 1.75 a.m. sobre la línea perpendicular a la calle.
Tipo II	Cuatro vías. Igual pero con cuatro ramales.
TIPO III	Cuando el cono de máxima potencia pasa a 1.75 a 2.75 a.m.
TIPO IV	Cuando el cono de máxima potencia pasa a más de 2.75 a.m.
TIPO V	Es una distribución simétrica.

La distribución vertical es aplicable para diferentes relaciones de espaciamiento a altura de montaje y se divide en:

Distribución corta	4.75 a.m.
Distribución media	4.75 a 7.5 a.m.
Distribución larga	hasta 12.0 a.m.

Si tomamos en cuenta el control de luz sobre el cono de máxima intensidad, los luminarios para alumbrado público se dividen en: (fig. 1-54).

- a) Cutoff
- b) Semi Cutoff
- c) Non Cutoff

El **luminario con curva tipo cutoff** es designado así cuando las candelas no exceden 2.5% a un ángulo de 90° sobre la horizontal y 10% a un ángulo de 80° sobre la horizontal. Esto se aplica a cualquier ángulo lateral alrededor del luminario.

El **luminario con curva semicutoff** es designado así cuando las candelas no exceden 5% a un ángulo de 90° sobre la horizontal y 20% a un ángulo de 80° sobre la horizontal.

Esto se aplica a cualquier ángulo lateral alrededor del luminario.

El luminario con curva **noncutoff** no tiene ninguna limitación de emisión de candelas en cualquier ángulo.

**1.4.3 CURVAS FOTOMETRICAS.-** La curva fotométrica de un luminario es una gráfica representativa de la emisión de luz del mismo, por lo cual es un elemento indispensable en el diseño de cualquier sistema de alumbrado, es decir, el luminario de acuerdo con este dato debe ser aplicado de tal forma que llene las necesidades del proyecto, tales como nivel de iluminación, uniformidad sobre el plano de trabajo, altura de montaje, iluminación sobre superficies verticales, etc. Todas estas condiciones nos obligan a utilizar las curvas fotométricas.

Es usual que los fabricantes de luminarios proporcionen esta curva únicamente como un valor indicativo de la distribución de flujo, es decir, únicamente proporcionan el contorno de la curva.

Esto en realidad no es ninguna ayuda, ya que no es una herramienta de cálculo, es indispensable que únicamente se utilicen curvas con datos tabulados por el fabricante (fig. 1.55). Los valores en la columna central representan la potencia media en candelas a los ángulos correspondientes, por lo cual son los únicos valores confiables para el cálculo. Analicemos los elementos que normalmente incluye un reporte fotométrico.

1.- En la parte central, sobre un sistema de coordenadas polares se encuentra dibujado el contorno de la curva. Esta es obtenida en el laboratorio, y como se dijo anteriormente es la representación gráfica del comportamiento del luminario.

Si la unidad tiene distribución simétrica solo necesitamos un solo plano, pero si nosotros sabemos por adelantado que la distribución es asimétrica entonces necesitaremos curvas fotométricas en todos los planos principales para poder obtener la información del funcionamiento completo del luminario.

En la columna de la derecha, están las lecturas reales en lúmenes con intervalos de 10° a partir de 0° hasta 180°. Con estos valores es posible computar el rendimiento luminoso en lúmenes del luminario como un total del porcentaje de lúmenes emitidos por las lámparas, o bien para cada zona en particular. Estos datos se encuentran en la parte inferior izquierda.

Estudiaremos la emisión de flujo en las varias zonas tomando el punto 0° como punto de referencia. El porcentaje de flujo luminoso en la zona de 0° - 180° nos da el valor de la eficiencia total de la unidad de iluminación.

El flujo de 90° - 180° nos indica el porcentaje de la luz transmitida arriba de la horizontal; el porcentaje de 0° a 90° nos da el flujo luminoso transmitido hacia abajo de la horizontal. El flujo emitido en la zona de 0° - 60° indica el porcentaje útil de flujo luminoso sobre el plano de trabajo. En áreas donde las unidades están montadas a relativamente bajas alturas, un mayor porcentaje de flujo en la zona 30° - 60° llega a las paredes, de manera que para alturas de montaje medias (4.50 a 7.50 metros), solamente el flujo en la zona 0° - 45° nos da una indicación de la luz útil hacia abajo y para alturas de montaje mayores (más de 7.5 metros), debemos considerar únicamente el flujo en la zona 0° - 30°, como luz útil. Es decir, en otras palabras, un reflector industrial de alto montaje diseñado para alturas de 7.50 metros o más, no es efectivo si produce un alto porcentaje de flujo luminoso en la zona arriba de los 30° del nadir o vertical.

La porción de flujo luminoso en la zona 60° - 90° debe ser estudiada cuidadosamente porque ésta es la luz que llega a nuestros ojos directamente y nos produce deslumbramiento. Por ejemplo, es posible tener dos unidades con el mismo rendimiento luminico útil pero con diferentes proporciones de flujo luminoso en la zona de deslumbramiento y, por lo tanto, con una considerable diferencia en la cantidad de deslumbramiento directo.

En la parte inferior derecha se encuentran los lúmenes para cada zona.

Estos son obtenidos en laboratorios y son utilizados para conocer la emisión luminosa del luminario en diferentes zonas.

Por ejemplo tomemos la zona 0° a 10° tomamos la lectura de las candelas a la mitad de la zona 5° y multiplicamos este valor (10870 candelas por la constante de zona 0° - 10° (0.095) obteniendo 1032.65 lúmenes. Este mismo procedimiento se utilizó para obtener la eficiencia del luminario anteriormente explicado. Las unidades de iluminación deben ser diseñadas para usarse con espaciamientos perfectamente definidos para áreas interiores o exteriores y es importante no exceder el espaciamiento máximo para una altura de montaje dada, pues de otra manera no se obtiene una iluminación uniforme sobre el plano de trabajo.

Estudiaremos la emisión de flujo en las varias zonas tomando el punto 0° como punto de referencia. El porcentaje de flujo luminoso en la zona de 0° - 180° nos da el valor de la eficiencia total de la unidad de iluminación.

El flujo de 90° - 180° nos indica el porcentaje de la luz transmitida arriba de la horizontal; el porcentaje de 0° a 90° nos da el flujo luminoso transmitido hacia abajo de la horizontal. El flujo emitido en la zona de 0° - 60° indica el porcentaje útil de flujo luminoso sobre el plano de trabajo. En áreas donde las unidades están montadas a relativamente bajas alturas, un mayor porcentaje de flujo en la zona 30° - 60° llega a las paredes, de manera que para alturas de montaje medias (4.50 a 7.50 metros), solamente el flujo en la zona 0° - 45° nos da una indicación de la luz útil hacia abajo y para alturas de montaje mayores (más de 7.5 metros), debemos considerar únicamente el flujo en la zona 0° - 30°, como luz útil. Es decir, en otras palabras, un reflector industrial de alto montaje diseñado para alturas de 7.50 metros o más, no es efectivo si produce un alto porcentaje de flujo luminoso en la zona arriba de los 30° del nadir o vertical.

La porción de flujo luminoso en la zona 60° - 90° debe ser estudiada cuidadosamente porque ésta es la luz que llega a nuestros ojos directamente y nos produce deslumbramiento. Por ejemplo, es posible tener dos unidades con el mismo rendimiento lumínico útil pero con diferentes proporciones de flujo luminoso en la zona de deslumbramiento y, por lo tanto, con una considerable diferencia en la cantidad de deslumbramiento directo.

En la parte inferior derecha se encuentran los lúmenes para cada zona.

Estos son obtenidos en laboratorios y son utilizados para conocer la emisión luminosa del luminario en diferentes zonas.

Por ejemplo tomemos la zona 0° a 10 ° tomamos la lectura de las candelas a la mitad de la zona 5° y multiplicamos este valor (10870 candelas por la constante de zona 0° - 10° (0.095) obteniendo 1032.65 lúmenes. Este mismo procedimiento se utilizó para obtener la eficiencia del luminario anteriormente explicado. Las unidades de iluminación deben ser diseñadas para usarse con espaciamientos perfectamente definidos para áreas interiores o exteriores y es importante no exceder el espaciamiento máximo para una altura de montaje dada, pues de otra manera no se obtiene una iluminación uniforme sobre el plano de trabajo.

CLASIFICACION	% DE LUZ RESPECTO A LA HORIZONTAL		DISTRIBUCION DE POTENCIA LUMINICA
	ARRIBA	ABAJO	
DIRECTA	0 - 10%	90 - 100%	
SEMI-DIRECTA	10 - 40%	60 - 90%	
DIRECTA INDIRECTA*	40 - 60%	60 - 40%	
GENERAL DIFUSA	60 - 40%	40 - 60%	
SEMI-INDIRECTA	60 - 90%	10 - 30%	
INDIRECTA	90 - 100%	0 - 10%	

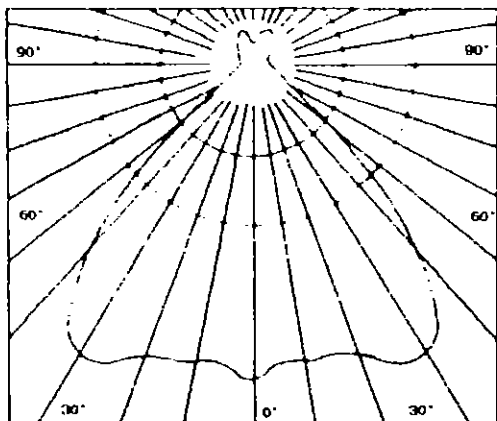
\* SOLO CLASIFICACION IES

### CLASIFICACIONES CIES - IES.

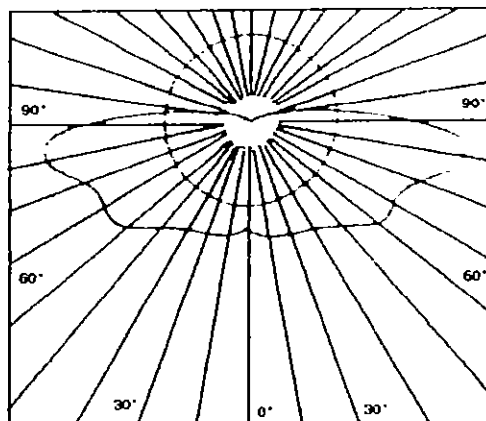
FIG. 1.51 CLASIFICACIONES CIES



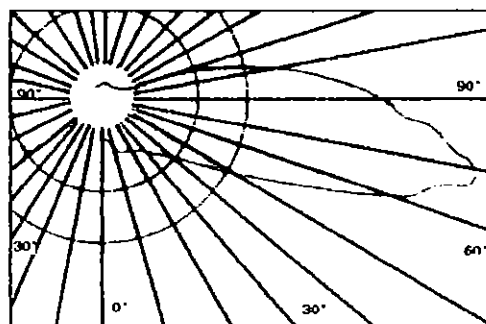
AL TAMBOR CONCENTRADA MASA 0.5 AL TURA DE MONTAJE



CONCENTRADA DE 0.5 A 0.7 ALTURA DE MONTAJE

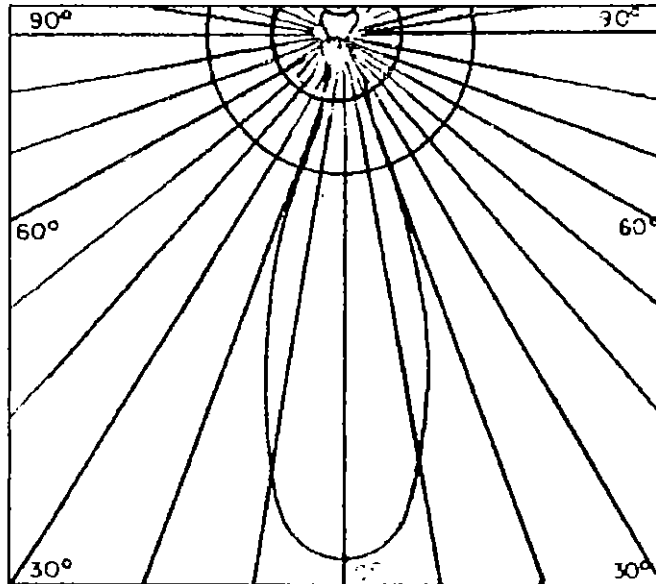


SUPER EXTENSIVA DE 4.5 A 12 ALTURA DE MONTAJE

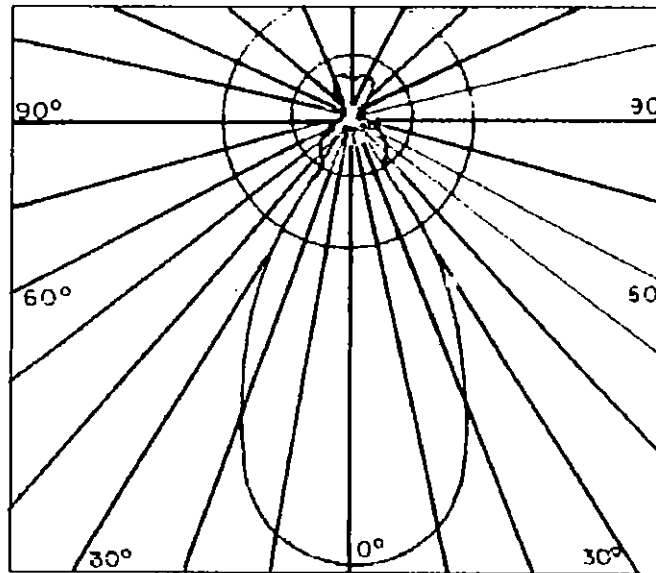


TIPOS DE CURVA

FIG. 1-52 TIPOS DE CURVA

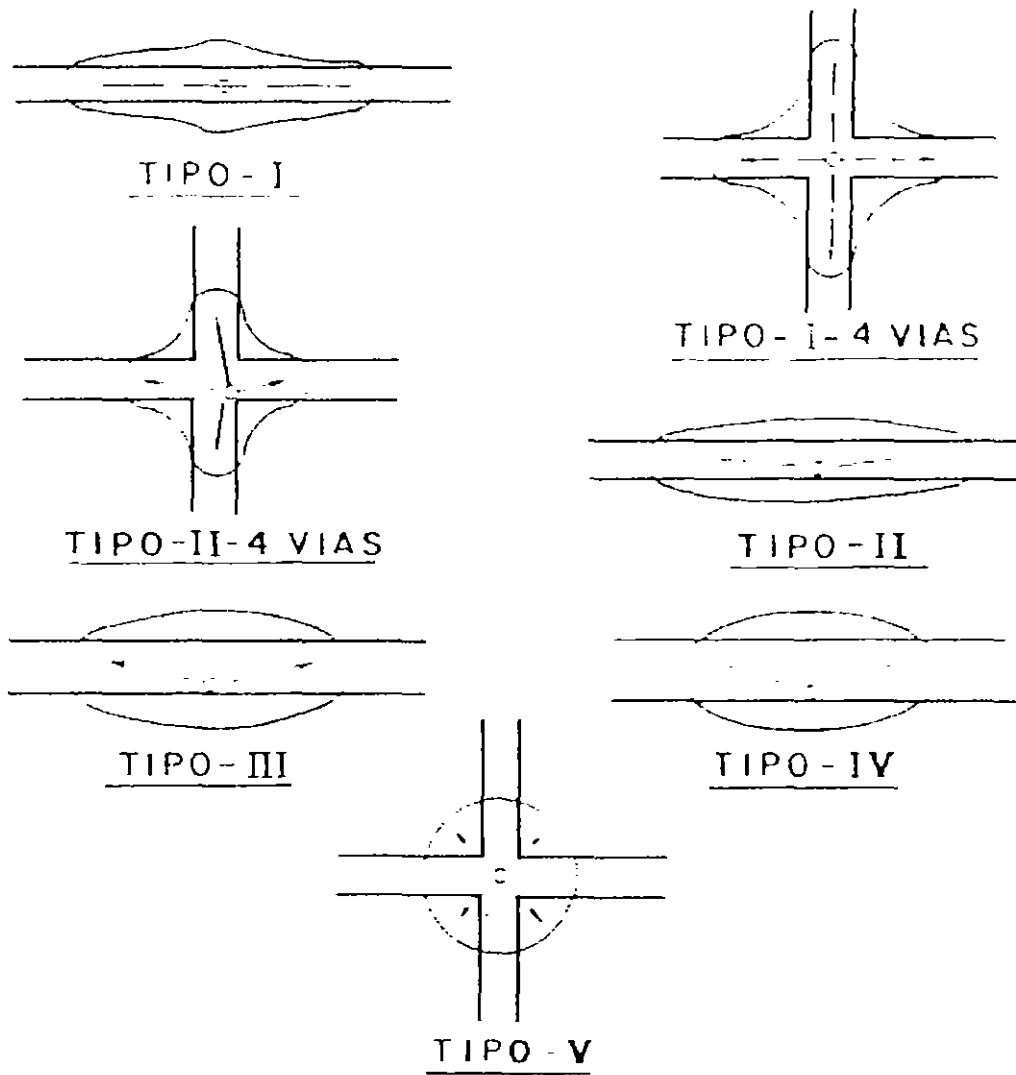


ALTAMENTE CONCENTRADA HASTA 0.5 ALTURA DE MONTAJE



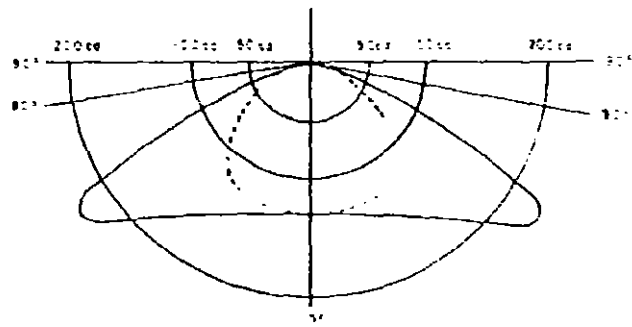
CONCENTRADA DE 0.5 A 0.7 ALTURA DE MONTAJE

FIG. 1.52 TIPOS DE CURVA (CONTINUACIÓN)

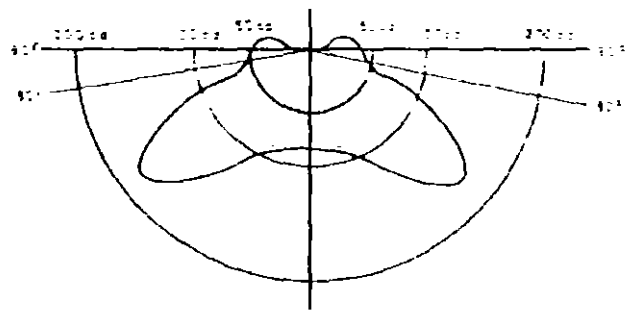


DESCRIPCION: TIPOS DE DISTRIBUCION LATERAL DE LUZ

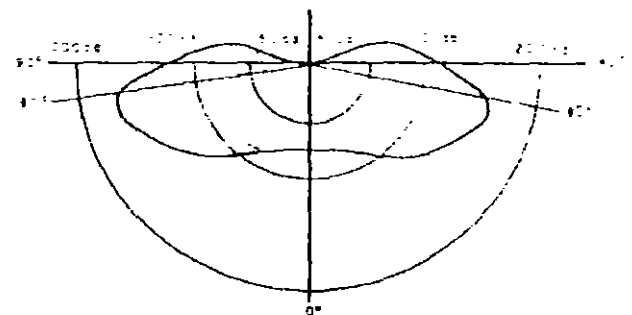
FIG. 1.53 DESCRIPCIÓN: TIPOS DE DISTRIBUCIÓN LATERAL DE LUZ



a) CUT-OFF (HAZ REORTADO)



b) SEMI CUT-OFF HAZ SEMI-RECORTADO



c) NON CUT-OFF (HAZ NO RECORTADO)

FIGURA 1.54

FALTA PAGINA

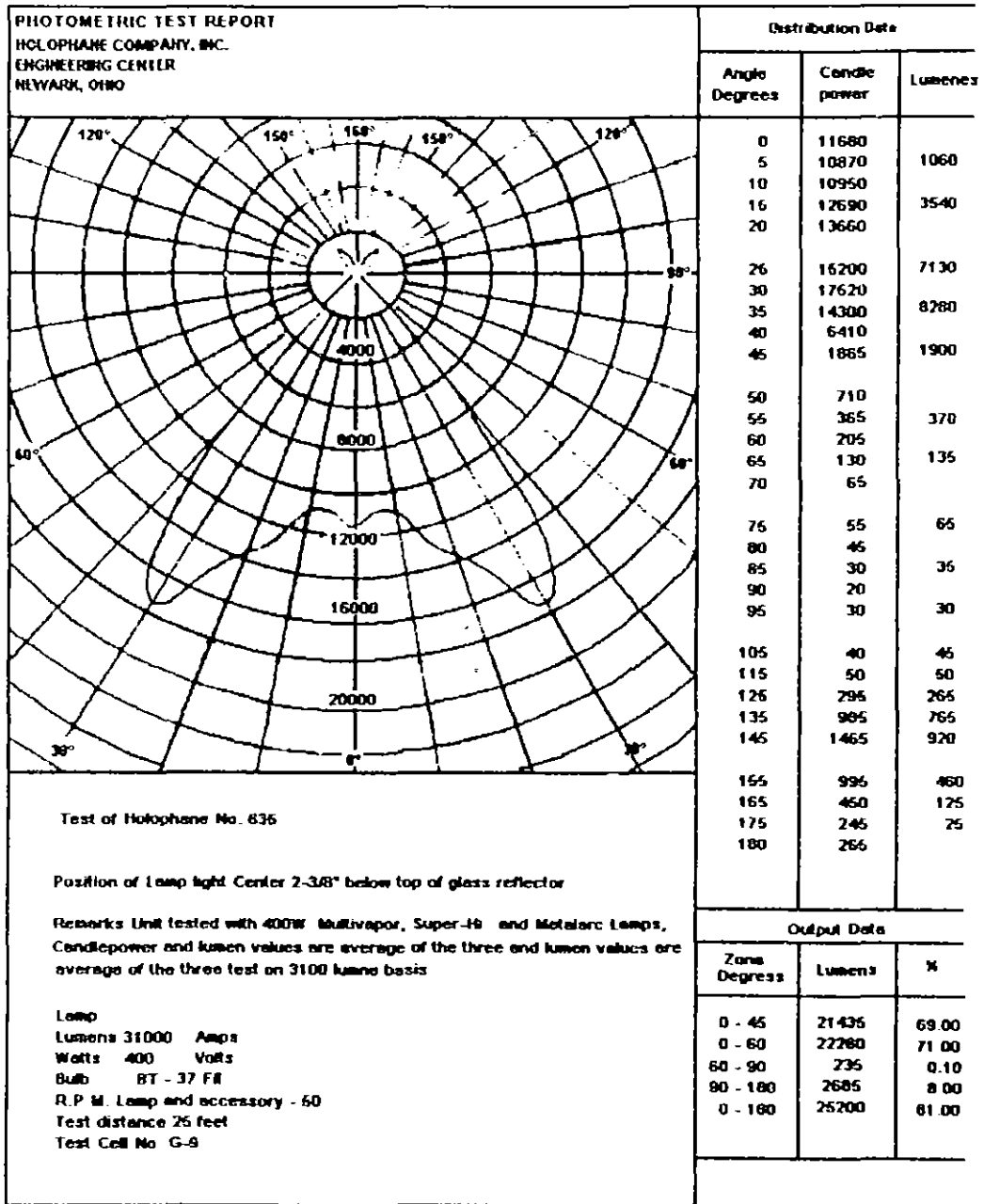
Nº / 34 /

FALTA PAGINA

Nº 135

FALTA PAGINA

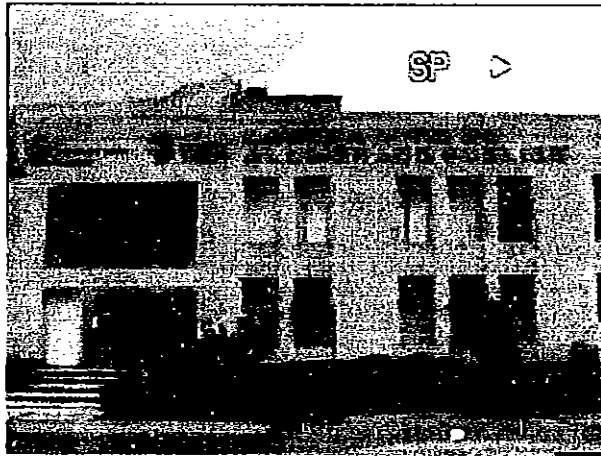
Nº 136





## CAPITULO II DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

**02.1 ALCANCE.-** Este trabajo comprende la realización de todas las pruebas fotométricas, eléctricas, mecánicas y de ambiente a equipos de iluminación, que sirvan para una adecuada formación práctica a los futuros ingenieros, y a la industria nacional para prueba de prototipos, proyectos terminados e investigación que permita mejorar la Ingeniería de Iluminación en nuestro país.



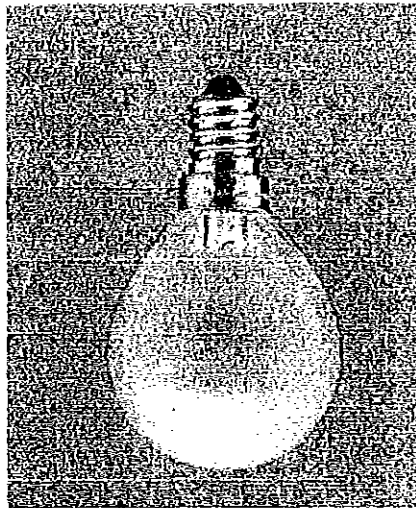
**2.2 PRUEBAS A REALIZAR.-** Las pruebas a realizar en el Laboratorio se dividen en cuatro grupos:

- Pruebas fotométricas y de vida a Lámparas .
- Pruebas eléctricas a Balastos y Lámparas.
- Pruebas fotométricas a Luminarios.
- Pruebas mecánicas y de ambiente a luminarios.

A continuación se describen las pruebas más importantes de estos grupos

## 2.2.1. PRUEBAS FOTOMÉTRICAS

### 2.1.1.1 PRUEBAS FOTOMETRICAS Y ELÉCTRICAS PARA LAMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE DE SERVICIO GENERAL

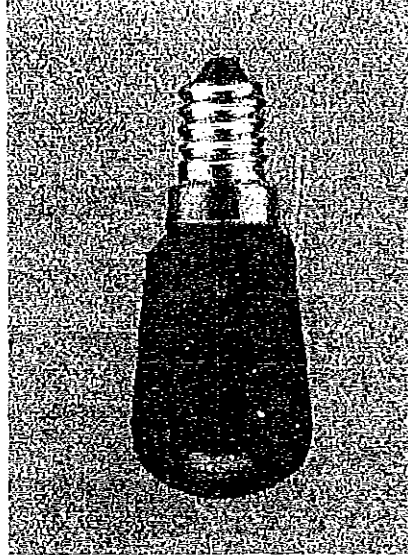


**OBJETIVO.-** Estas pruebas se realizan para obtener los parámetros eléctricos y fotométricos de las lámparas.

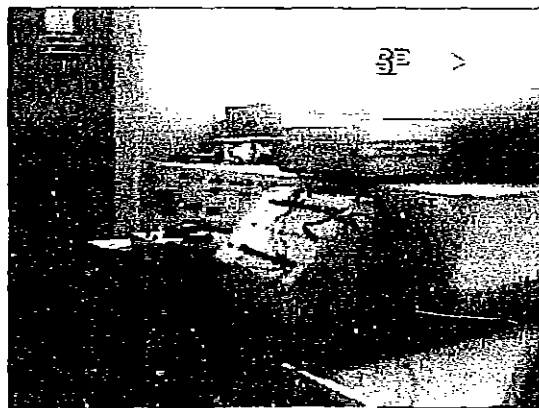
- a) La prueba eléctrica consiste en obtener la medición de amperes y volts, con uno u otro constante, pudiendo calcular los watts.
- b) La prueba fotométrica consiste en la medición de la salida de luz (flujo o intensidad) de la lámpara. La medición del flujo permite calcular la eficacia.
- c) Los datos de mantenimiento de lúmenes son obtenidos por medio de fotometría a ciertos intervalos de operación (porcentajes especificados de la vida nominal).

**PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.-**

Estabilización y calibración del equipo. Cuando se usa un detector, la primera precaución y la más importante es el estar seguro que el detector o los detectores han sido fatigados. El no hacer esto puede dar como resultado obtener datos equivocados.



El siguiente paso es el efectuar los procedimientos necesarios para calibración, tales que la lectura de la respuesta del detector sea una indicación real de la salida de luz. Se recomienda que se usen al menos tres lámparas patrón de trabajo para calibrar el sistema, y que se usen para determinar un factor, el promedio de los valores en el tiempo de normalización comparados con los valores al momento de calibración. Se debe estar revisando con suficiente frecuencia para asegurar una calibración uniformemente constante. Todo el equipo usado para mediciones debe ser estabilizado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.



OBSERVACIONES, ANOTACIONES Y CÁLCULOS. Todos los datos pertinentes requeridos en el reporte de prueba deben ser anotados y observados con cualquier corrección necesaria hecha e indicada.

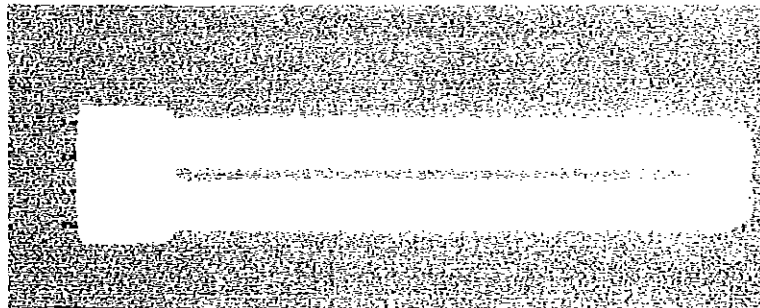
**Reporte de la prueba.**- Los reportes de la prueba deben incluir los siguientes datos:

- 1) Fecha del reporte de prueba.
- 2) Número de lámparas probadas y procedimientos de muestreo utilizados.
- 3) Descripción de las lámparas.
- 4) Descripción del equipo.
- 5) Descripción de patrones utilizados.
- 6) Valores nominales de vida, eléctricos y de emisión luminosa.
- 7) Intervalos de mediciones
- 8) Condiciones especiales de la prueba y posición de iluminación.
- 9) Correcciones aplicadas.
- 10) Cálculos efectuados (watts si se miden en C.D
- 11) Curva de distribución de candelas ( si es aplicable)
- 12) Lecturas de emisión y eléctricas.
- 13) Mantenimiento de lúmenes y cálculos de eficacia.
- 14) Análisis estadístico.

### 2.2.1.2 PRUEBAS FOTOMETRICAS Y ELÉCTRICAS PARA LAMPARAS FLUORESCENTES

**OBJETIVO.-** Estas pruebas se realizan para obtener los parámetros eléctricos y fotométricos de las lámparas.

- a. La prueba eléctrica consiste en obtener la medición de amperes, volts y watts.
- b. La prueba fotométrica consiste en la medición de la emisión luminica (flujo o intensidad) de la lámpara la medición del flujo permite calcular la eficacia.
- c. Los datos de mantenimiento de lúmenes son obtenidos por medio de fotometría a ciertos intervalos de operación (porcentajes especificados de la vida nominal).



#### PROCEDIMIENTOS PARA LA PRUEBA

**MÉTODO DE SUSTITUCIÓN.** Las mediciones fotométricas más prácticas se hacen con el método de sustitución. Los patrones deben tener características similares a la lámpara bajo prueba con respecto a la emisión luminica, tamaño físico, forma y distribución de energia espectral.

**CANDELAS NORMALES.** La emisión de luz direccional puede ser medida con una o más celdas fotoeléctricas a una distancia apropiada de la lámpara. La distancia mínima recomendada es 5 veces la longitud de la lámpara. La emisión total de luz puede ser calculada, si se conoce la relación lúmenes/ candelas para el tipo de lámpara. La lámpara debe ser operada en posición horizontal a menos que los requerimientos de prueba especifiquen otra cosa

**DISTRIBUCIÓN DE CANDELAS.** La distribución de la intensidad luminosa alrededor de una lámpara puede determinarse en un fotómetro similar al utilizado para las mediciones de candelas normales pero provisto con un aditamento para variar los ángulos entre el fotómetro receptor y el eje de la lámpara.

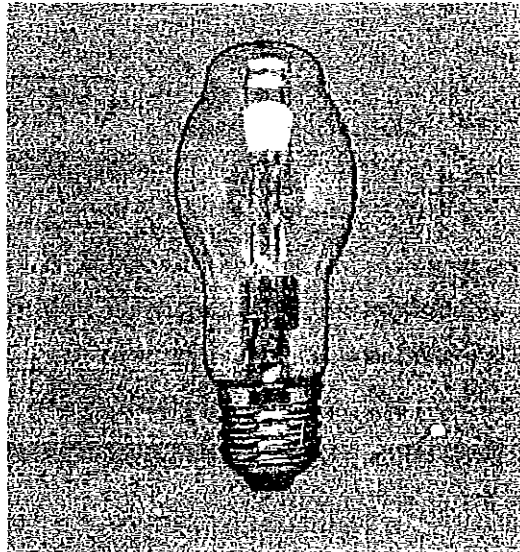
**Reporte de la prueba.**- El reporte de prueba debe enlistar todos los datos importantes de cada lámpara probada junto con sus datos de funcionamiento. El reporte también debe enlistar todos los datos concernientes a las condiciones de la prueba, tipo de equipo y tipo de patrón. Los datos más importantes que debe incluir el reporte son:

- a)** Nombre del fabricante y designación de la lámpara.
- b)** Propósito de la prueba.
- c)** Número de lámparas probadas.
- d)** Valores eléctricos nominales de la lámpara.
- e)** Número de horas por encendido y ciclo de operación.
- f)** Temperatura ambiente y factor de corrección por temperatura, si es que lo hay.
- g)** Posición de la lámpara durante la prueba.
- h)** Tipo de patrón usado.
- i)** Método fotométrico
- j)** Diámetro de la esfera o distancia de prueba.
- k)** Condiciones del circuito y parámetros fijos.
- l)** Relación lumen/candelas
- m)** Medición de la emisión de luz y valores eléctricos (volts, amperes, watts) de cada lámpara y promedios por grupo.
- n)** fecha
- o)** datos de color

### 2.2.1.3 PRUEBAS FOTOMETRICAS Y ELÉCTRICAS PARA LAMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD

OBJETIVO.- Estas pruebas se realizan para obtener los parámetros eléctricos y fotométricos de las lámparas.

- a. La prueba eléctrica consiste en obtener la medición de voltaje de línea, amperes de lámpara, volts de lámpara, watts de lámpara, ya sea manteniendo constante el voltaje de lámpara o la potencia de la lámpara, para poder calcular la eficacia. Para realizar mediciones fotométricas será el mantener la lámpara a su potencia nominal.



- b. La prueba fotométrica consiste en la medición de la emisión luminica (lúmenes o intensidad luminosa) de cada lámpara.
- c. Las pruebas fotométrica y eléctrica requieren que las lamparas sean encendidas por medio de balastos o transformadores apropiados exceptuando las lámparas autobalastadas.
- d. La intensidad luminosa o lúmenes mantenidos se obtienen a determinados intervalos de tiempo de encendido (porcentajes especificados de vida nominal)

- e. Los resultados de las pruebas, eléctricas y fotométricas, proporcionan datos para calcular la eficacia.

## PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA

**CALIBRACIÓN.** El equipo para la prueba debe ser calibrado a intervalos adecuados de tiempo para asegurar la exactitud de los resultados. Generalmente, se usan al menos tres lámparas patrón de lúmenes o candelas en cada calibración. Si es posible, las lámparas patrón de lúmenes deben tener aproximadamente, la misma distribución de flujo en el espacio, y la misma emisión luminosa de la lámpara bajo prueba.

### **-Medición con la esfera integradora**

- a. Este método da la emisión total de luz con una sola medición. Las corrientes de aire se eliminan y la temperatura dentro de la esfera no está sujeta a las fluctuaciones usualmente presentes en un local con temperatura controlada. Sin embargo, si la esfera es pequeña el calor acumulado por la lámpara bajo prueba puede aumentar la temperatura dentro de la esfera. A menos que los patrones sustitutos coincidan en la distribución de energía espectral con las lámparas bajo prueba, la respuesta total del fotómetro debe seguir la curva CIE de eficiencia luminosa espectral. Cuando la lámpara de prueba y la lámpara de calibración no son del mismo tamaño físico, se deben hacer compensaciones por las diferencias en absorción relativa.



- b. Algunas condiciones que pueden afectar la exactitud de la prueba son.
  - 1. La reflexión o absorción de los soportes de la celda o de las lámparas.
  - 2. La acumulación de calor en la esfera de las lámparas bajo prueba.
  - 3. La respuesta espectral de las celdas y filtros.
  - 4. La reflectancia espectral y la condición de la pintura de la esfera.
  - 5. La posición de la celda. (Las celdas deben apuntarse hacia la superficie de la esfera o colocarles una pantalla adecuada para que no reciban luz directa).
  - 6. La localización de la lámpara en la esfera.
  - 7. Diámetro de la esfera. (Debe ser al menos 1.2 veces la longitud de la lámpara).

**Fotómetro esfera integradora.** Para calibrarlo se emplea el método de sustitución ya sea con lámparas patrón de filamento incandescente o de mercurio. Si el patrón y la lámpara de prueba son diferentes en tamaño o absorción, es necesario el determinar un factor de corrección.

**Fotómetros de distribución de candelas.** Los fotómetros de distribución, cuando están equipados con receptores de luz tipo físicos, corregidos para tener una respuesta que se aproxima a la curva de eficiencia luminosa espectral, pueden calibrarse con una lámpara patrón de candelas de filamento incandescente. Se deben tomar lecturas suficientes que permitan evaluar apropiadamente la distribución de candelas y la emisión total de lúmenes.

**Reporte de la prueba.** - El reporte de la prueba debe enlistar todos los datos importantes de cada lámpara probada, junto con sus datos de funcionamiento. El reporte también debe enlistar todos los datos concernientes a las condiciones de la prueba, tipo de equipo y tipo de patrón. Los datos más importantes que debe incluir el reporte son:

- a) Nombre del fabricante y designación de la lámpara (también el número de lámparas probadas)
- b) Propósito de la prueba.
- c) Valores eléctricos nominales de cada tipo de lámpara
- d) Número de horas de operación y ciclos de operación.
- e) Temperatura ambiente y factor de corrección de temperatura, si lo hay.

- f) Posición de la lámpara durante la prueba.
- g) Tipo de lámpara patrón utilizada.
- h) Tipo de balastro utilizado
- i) Método fotométrico
- j) Diámetro de la esfera y/o distancia de prueba.
- k) Condiciones del circuito y parámetros fijos.
- l) Emisión de luz medida, intensidad luminosa y valores eléctricos (volts, amperes, watts) de la lámpara bajo prueba.
- m) Fecha

#### **2.2.1.4 PRUEBAS FOTOMETRICAS A PROYECTORES QUE UTILICEN LAMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE O LAMPARAS DE DESCARGA**

**OBJETIVO.-** Estas pruebas se realizan para obtener los parámetros fotométricos de los proyectores que utilicen lámparas de filamento incandescente o lámparas de descarga.

#### **PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA**

**POSICIONAMIENTO DEL PROYECTOR EN EL GONIÓMETRO.** Si el centro de luz de la lámpara de prueba no queda contenido dentro del reflector, el proyector debe montarse en el goniómetro para que el centro de luz de la lámpara esté en el centro del goniómetro. Si el centro de luz de la lámpara está contenido dentro del reflector, el proyector debe posicionarse para que el centro de la "ventana" del reflector coincida con el centro del goniómetro.

**CALIBRACIÓN DE LA LÁMPARA.-** En el método relativo, la emisión total relativa de luz de la lámpara de prueba, se determina sumando los productos de las intensidades luminosas relativas y las constantes zonales apropiadas de lúmenes.

**CALIBRACIÓN DEL FOTÓMETRO.-** Una vez calibrada la lámpara, ésta se coloca en el centro del goniómetro y se alinea. La relación de la intensidad luminosa calibrada (en candelas) a la lectura del instrumento medidor de intensidad es la constante de calibración. Esta constante se utiliza para cualquier lectura subsecuente en la prueba del proyector.

**CLASIFICACIÓN.-** La clasificación de los proyectores está basada sobre el ancho del haz del proyector en los ejes vertical y horizontal de éste. La clasificación se designa por tipo de números NEMA. Para proyectores con haz simétrico el tipo se designa por el promedio de las aperturas de los haces vertical y horizontal. Para proyectores con haz asimétrico el tipo se designa por las aperturas de los haces horizontal y vertical, en ese orden, por ejemplo; un proyector con una apertura del haz de 75 grados (tipo 5) y un haz vertical de 35 grados (tipo 3) se designará como un proyector tipo 5 x 3.

**Reporte de la prueba.-** El reporte de la prueba debe incluir lo siguiente:

**1.- Descripción del proyector:**

- a) Nombre del fabricante
- b) Tipo de proyector, número de catálogo y descripción
- c) Croquis del proyector mostrando dimensiones
- d) Forma del reflector mostrando tamaño y dimensiones.

**2.- Descripción de la lámpara:**

- a) Tipo ANSI
- b) Valores nominales de watts, volts, amperes y lúmenes
- c) Forma del bulbo, tamaño, acabado y tipo de base.
- d) Construcción del filamento o tubo de arco y longitud al centro de luz.
- e) Si la lámpara no va a ser rotada especifique la posición de los hilos de alimentación o soporte.
- f) Dimensiones nominales y reales del filamento o tubo de arco de la fuente de luz.
- g) Posición del centro de luz durante la prueba.

### 3.- Características del haz:

- a) Tipo NEMA
- b) Forma de las curvas de distribución horizontal y vertical.
- c) Máxima intensidad luminosa del haz (en candelas) y localización.
- d) Intensidad promedio máxima del haz (en candelas).
- e) Apertura del haz en grados tanto en el eje vertical como en el horizontal.
- f) Flujo del haz (en lúmenes) y eficiencia del haz
- g) Flujo total (en lúmenes) y eficiencia total.

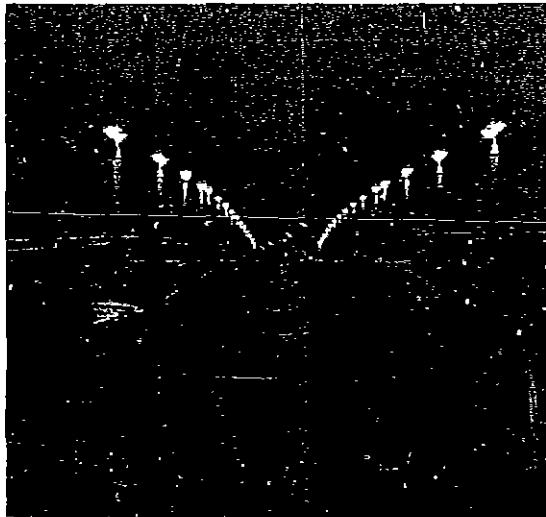
### 4.- Datos del haz:

- a) Tabla de flujo luminoso en lúmenes para cada zona dentro del haz (promediando el lado izquierdo y el derecho cuando sea simétrico).
- b) Tabla de flujo luminoso en lúmenes para cada zona de luz (promediando el lado izquierdo y el derecho cuando sea simétrico).
- c) Curvas isocandela en el haz (promediando el lado izquierdo y el derecho cuando sea simétrico).

### 5.- Otros

- a) Distancia de prueba
- b) Flujo luminoso asignado a la lámpara para establecer las bases de los datos fotométricos reportados.
- c) Método de calibración (relativo o directo)

### 2.2.1.5 PRUEBAS FOTOMETRICAS A LUMINARIOS DE ALUMBRADO PUBLICO QUE UTILICEN LAMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE O LAMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD



**OBJETIVO.-** Estas pruebas se realizan para obtener los parámetros fotométricos de los luminarios de alumbrado público que utilicen lámparas de filamento incandescente o de descarga eléctrica de alta intensidad.

#### PROCEDIMIENTOS PARA LA PRUEBA

**CALIBRACIÓN FOTOMÉTRICA.** La calibración relaciona la salida de luz de las lámparas de prueba a un valor asignado de lúmenes. Si el luminario va a ser vendido con una lámpara de un fabricante especificado, los lúmenes nominales iniciales dados por el fabricante pueden ser utilizados.

**MÉTODO RELATIVO.-** Desde un punto de vista práctico el método relativo es deseable debido a que no se requiere una referencia fotométrica calibrada. Los valores finales de candelas son como si la lámpara de prueba esté proporcionando los lúmenes asignados

**MÉTODO DIRECTO.**- En el método *directo* tanto la lámpara de prueba como el fotómetro deben ser calibrados contra un patrón fotométrico. Los patrones de candelas y lúmenes son fuentes de luz. Los cuales han sido calibradas por un laboratorio reconocido. Se establece la emisión de lúmenes o candelas en una dirección dada.

**POSICIONAMIENTO DEL LUMINARIO EN EL GONIÓMETRO.** Si el centro de luz de la lámpara de prueba (si es más de una lámpara, el centro geométrico de los centros de luz de las lámparas) queda contenido dentro del reflector, el luminario debe montarse en el goniómetro para que el centro de luz de la lámpara coincida con el centro del goniómetro, si el centro de luz de la lámpara está afuera del reflector, el luminario debe ser posicionado para que el centro del goniómetro coincida con el centro de la abertura del reflector.

**LIMPIEZA DE PARTES ÓPTICAS.** Todas las partes de vidrio, reflectores y otras partes ópticas deben ser cuidadosamente limpiadas antes de hacer cualquier medición, a menos que el propósito de la prueba sea el determinar el efecto del polvo en el luminario.

**Reporte de la prueba.**- Los resultados de las pruebas deben incluir lo siguiente:

**1.- Descripción del luminario**

- a) Nombre del fabricante
- b) Número de catálogo y/o descripción adecuada para identificarlo.
- c) Dimensiones para dar una idea del tamaño
- d) Localización del centro de luz, con dimensiones si es necesario.
- e) Localización del centro del goniómetro con respecto al luminario.

**2.- Descripción de la lámpara**

- a) Tipo, servicio y designación.
- b) Valores nominales de watts, volts, amperes, y lúmenes.
- c) Forma del bulbo y tipo de base.
- d) Construcción del filamento y longitud al centro de luz.

### **3.- Datos del fotómetro**

Se debe anotar la distancia entre el centro del goniómetro y el dispositivo foto sensitivo. Esta es la distancia de prueba.

### **4.- Otros datos**

Los reportes fotométricos de rutina deben incluir:

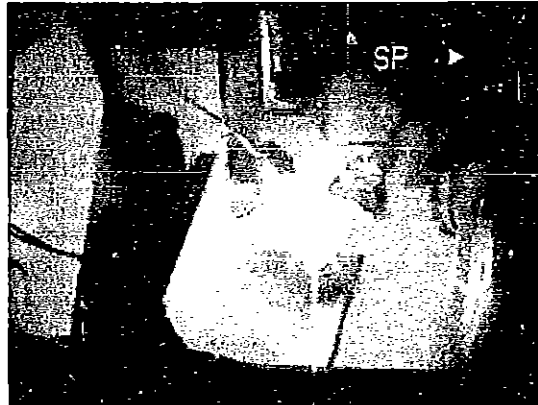
- a) Datos suficientes que permitan clasificar su distribución de luz.
- b) Un diagrama isolux. Includido con éste debe haber una tabla de factores de conversión para alturas de montaje arriba y abajo de la altura que fue utilizada para calcular el diagrama isolux.
- c) Eficiencia de utilización.
- d) Puede reportarse también la eficiencia por cuadrante y total.

### **5.- Información opcional**

La información que opcionalmente puede incluirse en un reporte de prueba es:

- a) Un diagrama isocandela completo del cual se puede calcular cualquier evaluación del luminario.
- b) Cuando el luminario utiliza una combinación de lámpara y balastro, puede reportarse una curva o tabla de emisión de luz relativa vs voltaje de línea.

### 2.2.1.6 PRUEBAS FOTOMETRICAS A LUMINARIOS DE USO INTERIOR QUE UTILICEN LAMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD



**OBJETIVO.** - Estas pruebas se realizan para obtener los parámetros fotométricos de los luminarios de uso interior que utilicen lámparas de descarga de alta intensidad de cualquier tipo.

#### PROCEDIMIENTOS PARA LA PRUEBA

**CALIBRACIÓN FOTOMÉTRICA.** La calibración relaciona la salida de luz de las lámparas de prueba a un valor asignado de lúmenes. Si el luminario va a ser vendido con una lámpara de un fabricante especificado, los lúmenes nominales iniciales dados por el fabricante pueden ser utilizados.

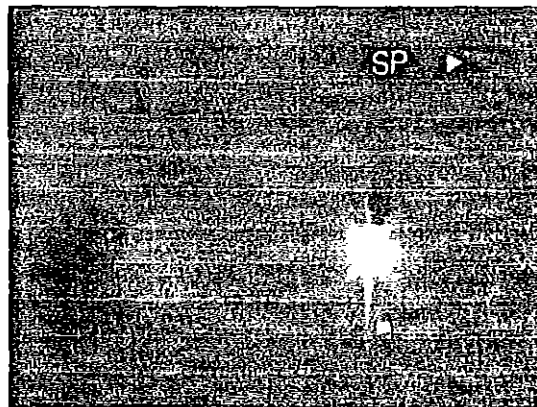
**MÉTODO RELATIVO.** El método relativo de fotometría se recomienda para la gran mayoría de pruebas de distribución de candelas en luminarios. La distribución de intensidad luminosa de la fuente con la cual el luminario va a ser equipado es primero obtenida y anotada. Si la fuente es estacionaria las lecturas deben tomarse en al menos 5 planos (preferentemente 10). Si la fuente es girada alrededor de 50 R.P.M., la mitad de un plano proporcionará buenos valores promedio.



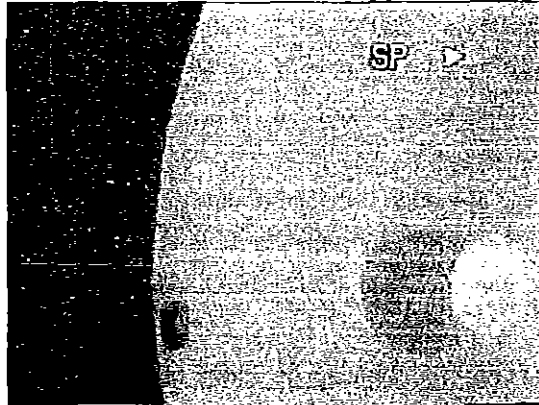
**MÉTODO DIRECTO.** Se posicionan en el fotómetro lámparas patrón de intensidad o emisión conocida en una dirección determinada y la escala de sensibilidad del fotómetro se altera para que se lea exactamente el valor conocido de la lámpara patrón.

Se deben comparar al menos tres lámparas en el fotómetro de prueba y se utiliza el promedio para establecer la constante. La potencia de la lámpara debe mantenerse constante durante la prueba y revisarse con un instrumento calibrado que tenga una precisión de  $\pm \frac{1}{4}$  por ciento.

**MÉTODO DE LA ESFERA.-** El fotómetro de esfera es adecuado para determinar la emisión total de un luminario y para comparar la emisión luminosa relativa de una fuente de luz de descarga de alta intensidad en sus orientaciones vertical y horizontal. La esfera integradora no se recomienda para calibrar una lámpara de prueba a menos que la lámpara de prueba y la lámpara patrón sean de la misma forma, diseño, tamaño, distribución y calidad espectral.



**Reporte de la prueba.-** Los resultados de las pruebas deben incluir lo siguiente:



### 1.- Descripción del luminario

- a) Nombre del fabricante
- b) Número de catálogo y/o descripción adecuada para identificarlo.
- c) Dimensiones para dar una idea de la forma y tamaño
- d) Localización del centro de luz, con dimensiones si es necesario.
- e) Localización del centro del goniómetro con respecto al luminario.

### 2.- Descripción de la lámpara

- a) Tipo, servicio y designación.
- b) Valores nominales de watts, volts, amperes y lúmenes.
- c) Forma de bulbo y tipo de base.
- d) Longitud al centro de luz.

### 3.- Datos del fotómetro

Se debe anotar la distancia de prueba.

#### 4.- Otros datos

Los reportes fotométricos de rutina deben incluir:

- a) Curvas de distribución en candelas suficientes para clasificar su distribución de luz.
- b) Tabla de valores de candelas cada  $10^\circ$  para cada una de las curvas de distribución.
- c) Lúmenes por zonas y porcentajes de los lúmenes de la lámpara.
- d) Tabla de coeficientes de utilización para diferentes valores de reflectancias en techo, paredes y piso, por el método de cavidad zonal.
- e) Eficiencia total del luminario.
- f) Brillantez promedio en diferentes zonas.

#### 5.- Información opcional

- a) Diagrama isolux (con reflectancias de superficies interiores = 0)
- b) Brillantez máxima y relación de brillantez máxima / promedio.
- c) Probabilidad de comodidad visual.
- d) Curva o tabla de emisión de luz relativa vs voltaje de línea.

#### 2.2.17 PRUEBAS FOTOMETRICAS A LUMINARIOS DE USO INTERIOR, QUE UTILICEN LAMPARAS FLUORESCENTES

OBJETIVO.- Estas pruebas se realizan para obtener los parámetros fotométricos de los luminarios de uso interior que utilicen lámparas fluorescentes.



## PROCEDIMIENTOS PARA LA PRUEBA

**DISTANCIA DE PRUEBA.**- La distancia de prueba fotométrica se define como la distancia del centro del eje del fotómetro a la superficie del plato de prueba o elemento fotosensitivo. La distancia de prueba está asociada con la intensidad luminosa asignada al luminario. Si la distancia de prueba es aproximadamente cinco veces la máxima dimensión de la fuente, la cual en muchos casos es la diagonal, la intensidad luminosa aparente estará dentro de uno por ciento de la intensidad luminosa puntual teórica. Para máxima precisión, la distancia de prueba debe ser medida de la superficie del receptor al centroide fotométrico del luminario. El centroide fotométrico puede determinarse experimentalmente, sin embargo, éste es un proceso que consume tiempo. Con la finalidad de simplicidad el luminario debe montarse en el fotómetro para que los siguientes planos de referencia o partes del luminario coincidan con el eje del fotómetro:

**1.- Luminarios empotrados. La abertura en el plano principal del techo**

**2.- Luminarios colgantes**

- a) Clasificados directos - El plano principal de salida de la luz.
- b) Otras clasificaciones - El centro geométrico de la lámpara o lámparas.

**3.- Luminarios montados sobrepuestos**

- a) Clasificados directos -El plano principal de salida de la luz.
- b) Otras clasificaciones - El centro geométrico de la lámpara o lámparas.

**SENSIBILIDAD A LA POSICIÓN DE OPERACIÓN.** Muchos luminarios se fabrican de tal forma que solo puedan ser medidos en su posición normal de montaje. Esta precaución debe tomarse para evitar mal funcionamiento del luminario o daño al mismo.

**FOTOMETRÍA DE 3 METROS.**- En aquellos casos donde es esencial el hacer la fotometría de un luminario en su posición normal de montaje o donde hay limitaciones en el espacio físico disponible para un rango de fotometría mayor, se puede usar como método alternativo una menor distancia de prueba y el método de fotocelda rotatoria.

**Reporte de la prueba.**- Los reportes de prueba describen todos los datos importantes

concernientes al luminario probado, estos datos deben ser tomados de tal forma que se de la máxima cantidad de información. Algunos de los datos que deben incluirse en el reporte son:

### **1) Descripción del luminario**

- a) Nombre del fabricante, tipo y número de catálogo.
- b) Tipo de montaje.
- c) Reflectancias.
- d) Descripción del gabinete, controlente, etc.
- e) Croquis que muestre la forma del luminario dimensiones, posición del centro de luz y ángulo de blindaje.
- f) Datos del balastro. Para una o varias lámparas, factor de potencia corregido o no corregido, voltaje, frecuencia y corriente de lámpara cuando sea aplicable. Se debe proporcionar el factor de balastro si se conoce.

### **2) Descripción de la lámpara de prueba**

- a) Número, tipo, forma del bulbo y longitud.
- b) Watts nominales y/o corriente.
- c) Lúmenes nominales (o valor asignado).
- d) Color
- e) luminancia nominal de la lámpara.

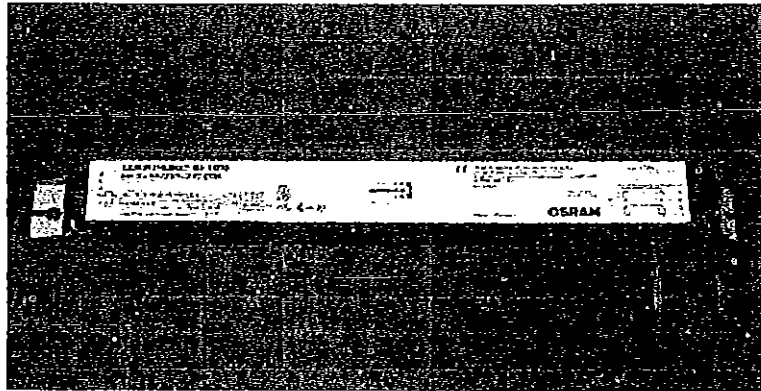
### **3) Características generales de iluminación**

- a) Curvas de distribución de candelas en diferentes planos.
- b) Tabulación de valores de candelas para cada plano cada 10 grados (lúmenes a cada 10 grados también son útiles).
- c) Tabulación de lúmenes y porcentajes de la emisión de la lámpara desnuda para las zonas de 0 a 30 grados, o a 40 grados, o a 60 grados, o a 90 grados, 90 a 180 grados y 0 a 180 grados.
- d) Tabulación de luminancia máxima a determinados puntos y direcciones.
- e) Curvas o tabulaciones de datos de luminancia promedio
- f) Distancia de prueba

## 2.2.2. PRUEBAS ELÉCTRICAS A BALASTROS

### 2.2.2.1 PRUEBAS ELÉCTRICAS A BALASTROS PARA LAMPARAS FLUORESCENTES

**OBJETIVO.-** El objeto de estas pruebas es el determinar los parámetros eléctricos de los balastos para lámparas fluorescentes.



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA

**VOLTAJE Y FRECUENCIA DE PRUEBA.** Para propósitos de prueba, los balastos deben operarse a su voltaje y frecuencia nominal.

**FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE DE LÍNEA.** La alimentación de voltaje de corriente alterna en las terminales de la combinación lámpara-balastro debe tener una forma de onda tal que el contenido de armónicas no exceda 3% de la fundamental.

**ESTABILIDAD DEL VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN.** El voltaje de línea debe mantenerse estable y libre de cambios súbitos. Para mejores resultados el voltaje debe regularse dentro de  $\pm 0.1\%$

**TEMPERATURA.** Cuando la prueba de un balastro involucre la medición de las características de la lámpara, las mediciones deben hacerse con la lámpara a una temperatura ambiente de  $25^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ .

**POSICIÓN DE LA LÁMPARA.** Con el objeto de que las lámparas patrón repitan sus valores eléctricos con la mayor consistencia, se recomienda que las lámparas se monten horizontalmente y se mantengan en sus portalámparas.

**SELECCIÓN DE LÁMPARAS.** En varias de las pruebas se especifica que el balastro debe estar operando lámparas patrón. En tales casos, las lámparas utilizadas deben tener las características eléctricas requeridas por la definición de lámpara patrón dada en la norma ANSI - C 82.1-1977.

**ESTABILIZACIÓN DE LA LÁMPARA.-** Antes de que se obtenga alguna medición, la lámpara debe encenderse durante un tiempo lo suficientemente largo para alcanzar la estabilización y equilibrio térmico. Para las lámparas operadas a 800 miliamperes o menos, un periodo de 15 minutos de encendido continuo usualmente es suficiente. En el caso de las lámparas operadas a 1500 miliamperes, se puede requerir de 30 minutos hasta 150 horas para alcanzar su estabilidad.

**REPORTE DE LA PRUEBA.** El reporte deberá contener los siguientes datos:

- a) Watts de línea
- b) Corriente de línea
- c) Factor de potencia
- d) Watts de lámpara
- e) Voltaje pico
- f) Corriente pico
- g) Factor de cresta
- h) Regulación
- i) Voltaje de circuito abierto
- j) Voltaje de lámpara
- k) Corriente de lámpara
- l) Corriente de excitación
- m) Perdidas en watts
- n) Nombre del fabricante, número de catálogo y tipo.

### 2.2.2.2. PRUEBAS ELÉCTRICAS A BALASTROS PARA LAMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD

OBJETIVO.- El objeto de estas pruebas es el determinar los parámetros eléctricos de los balastos para lámparas de descarga de alta intensidad.



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA

**ESTABILIZACIÓN DE LA LÁMPARA.** Antes que se efectúe cualquier medición, la lámpara debe ser operada entre  $\pm 3\%$  de su potencia nominal en una temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta que los parámetros eléctricos de la lámpara no cambien. El tiempo de operación de la lámpara, requerido para alcanzar la estabilización de ésta, es de 30 minutos mínimo

**PRECISIÓN.** Es deseable que los instrumentos, particularmente del tipo analógico, sean seleccionados para que las lecturas se tomen en el último tercio de la escala. También deben seleccionarse instrumentos con una precisión no menor a las siguientes

- **Ampérmetros y voltímetros:** 0.5% hasta 800 Hz
- **Wáttmetros:**  $\pm 0.75\%$  hasta 800 Hz para los tipos de 50% de factor de potencia  $\pm 0.75\%$  hasta 125 Hz para los tipos de bajo factor de potencia (20% máximo)



- **Medición del factor de cresta de la corriente.** La determinación del factor de cresta requiere la medición, tanto de la corriente pico como de la corriente rmc. El factor de cresta se calcula como la relación del valor pico al valor rmc.
- **Aterrizado del equipo y del circuito.** Con objeto de minimizar la posibilidad de choque eléctrico, es esencial el poner atención al aterrizado adecuado del circuito eléctrico y de ciertos instrumentos que pueden utilizarse. Es especialmente importante el asegurarse que los osciloscopios u otros instrumentos electrónicos que tengan gabinetes metálicos o terminales, siempre estén conectados a tierra.
- **Condiciones ambientales.** La temperatura ambiente del dispositivo bajo prueba debe ser de  $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  a menos que la placa de datos indique una temperatura ambiente mayor.

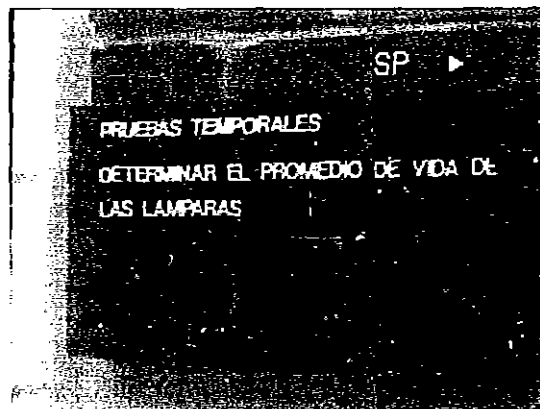
**Reporte de la Prueba.-** El reporte deberá incluir los siguientes datos:

- a) Tensión de arranque
- b) amplitud del pulso del ignitor (en V.S.A.P).
- c) Corriente de arranque
- d) Corriente de lámpara en operación
- e) Corriente de línea
- f) Potencia de línea
- g) Corriente pico de lámpara
- h) Factor de potencia
- i) Pérdidas
- j) Factor de cresta de la corriente de lámpara
- k) Voltaje eficaz de lámpara
- l) Voltaje eficaz de circuito abierto
- m) Rigidez dieléctrica
- n) Voltaje pico de la resistencia
- o) Nombre del fabricante, número de catálogo y tipo.

### 2.2.3. PRUEBAS DE VIDA A LAMPARAS

#### 2.2.3.1 PRUEBA DE VIDA A LAMPARAS INCANDESCENTES

OBJETIVO.- El objetivo de esta prueba es determinar el promedio de vida de las lámparas incandescentes.



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA

Las lámparas deben marcarse para su identificación con números o letras alrededor del cuello del bulbo.

Se debe tener cuidado en utilizar tinta que no se desvanezca y que sea resistente al calor para que la identificación no se pierda durante la prueba de vida.

Las lámparas que vayan a utilizarse para fotometría deben ser envejecidas y manejadas de acuerdo con el "Método aprobado por la IES para mediciones eléctricas y fotométricas de lámparas de filamento incandescente de servicio general". Cualquier falla que ocurra durante el periodo de envejecimiento debe anotarse como fallas iniciales y reportarse como tales en los datos de la prueba de vida. Se recomienda que a las lámparas que se les esté efectuando su prueba de vida se apaguen diariamente durante ½ hora o el tiempo que sea necesario, para que las lámparas y los portalámparas regresen a la temperatura del local

Las fallas en la prueba de vida pueden ser detectadas por observación visual de los estantes de prueba de vida. Las lámparas deben revisarse periódicamente a intervalos que representen no más de  $\frac{1}{2}$  por ciento de su vida normal.

**Reporte de la prueba.**- Las lámparas deben ser claramente identificadas con su valor nominal, procedimiento de muestreo, fuente de la lámpara de prueba, y todos los datos apropiados. El procedimiento de prueba debe ser claramente descrito proporcionando posición de operación, ciclo de encendido, voltaje de prueba y cualquier otro dato completamente necesario para describir la prueba. Los datos fotométricos también pueden ser reportados con los datos de la prueba de vida.

### 2.2.3.2 PRUEBA DE VIDA A LAMPARAS FLUORESCENTES

**OBJETIVO.-** El objetivo de esta prueba es determinar el promedio de vida de las lámparas fluorescentes.



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA

**CICLO DE OPERACIÓN.** El ciclo básico es de 3 horas de encendido con un periodo de 20 minutos de apagado.

**CONDICIONES AMBIENTALES.** La temperatura ambiente debe mantenerse dentro de  $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ .

**POSICIÓN DE OPERACIÓN.** Se acostumbra colocar las lámparas en posición horizontal, en forma similar a la posición en un luminario. El espacio entre las lámparas debe ser de un mínimo de 1.3 cms. (1/2 pulgada).

#### Estadísticas de fallas

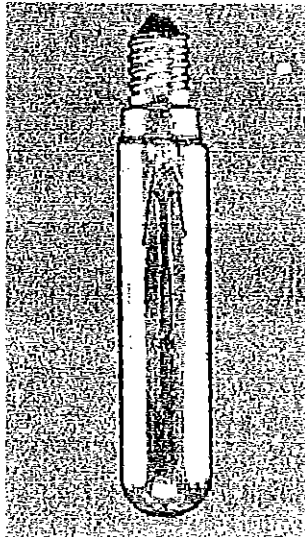
- a) Los estantes de prueba de vida deben ser revisados varias veces el día, para anotar las lámparas que fallen. Cada lámpara fallada debe investigarse para asegurarse que realmente es una falla de la lámpara y no una falla del circuito

**Reporte de la Prueba.**- Los reportes de prueba deben incluir la vida y la causa de falla de cada lámpara al inicio de la prueba. Estos reportes deben incluir un análisis estadístico, si es posible, y los siguientes datos:

- a) Número de lámparas probadas.
- b) Descripción de las lámparas.
- c) Descripción del equipo auxiliar
- d) Ciclo de operación
- e) Vida de cada lámpara
- f) Causa de falla de cada lámpara
- g) Intervalos de mediciones
- h) Resultado de las mediciones a cada intervalo de tiempo.
- i) Vida promedio del grupo
- j) Condiciones especiales de la prueba

#### 2.2.3.3. PRUEBA DE VIDA DE LAMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD

**OBJETIVO.**- El objetivo de esta prueba es determinar el promedio de vida de las lámparas de alta intensidad de descarga.



## PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Las lámparas deben ser manejadas, transportadas y almacenadas de tal forma que se minimicen los efectos de vibraciones y golpes. Además de lo anterior, ciertos tipos tales como las de aditivos metálicos y sodio alta presión, pueden requerir que la posición de la lámpara permanezca esencialmente sin cambio. Debido a que muchas de las lámparas de descarga de alta intensidad permanecerán en los estantes de prueba de vida por periodo de tiempo de hasta cinco o seis años, se debe tener mucho cuidado en seleccionar una tinta para el marcado, que no se desvanezca o descascare debido al calor.

La mayor parte de las pruebas de vida de lámparas de descarga de alta intensidad se efectúan con las lámparas en su posición normal de encendido (base arriba, base abajo, horizontal, etc). A pesar de que se puedan utilizar diferentes posiciones, la prueba de lotes similares y/o lotes consecutivos debe hacerse con la misma posición para que sea consistente. Se recomienda que las lámparas se apaguen durante una hora después de cada periodo de once horas de encendido.

Las fallas de lámparas pueden dividirse en dos clases: 1) Las causadas por defectos de fabricación y 2) Las causadas por fallas normales. Las lámparas que presenten una emisión muy pobre pueden clasificarse como falladas en algunos casos. Si se utiliza la vigilancia visual para detectar las fallas, los estantes de prueba deben revisarse diariamente para identificar las lámparas que fallen.

Cada falla debe ser investigada para asegurarse que sea falla de la lámpara y no por causa del equipo asociado.

**Reporte de la prueba.**- El reporte de la prueba debe incluir la vida y la causa de falla de cada lámpara al inicio de la prueba, también debe incluir los siguientes datos:

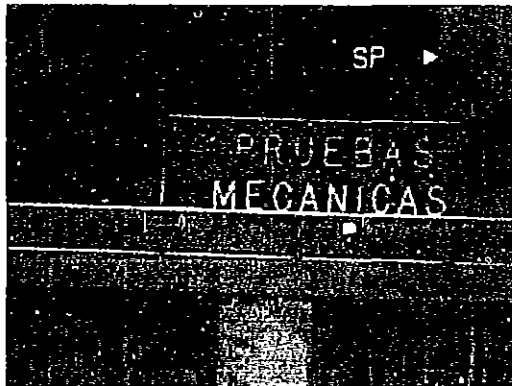
- a) Número de lámparas probadas.
- b) Descripción de las lámparas.
- c) Descripción del equipo auxiliar
- d) Ciclo de operación

- e) Vida de cada lámpara
- f) Causa de falla de cada lámpara
- g) Intervalos de mediciones
- h) Resultado de las mediciones a cada intervalo de tiempo
- i) Vida promedio del grupo
- j) Condiciones especiales de la prueba

## 2.2.4 PRUEBAS MECÁNICAS Y DE AMBIENTE A LUMINARIOS

### 2.2.4.1 PRUEBA PARA VERIFICAR EL ESPESOR DE LA PARED DE FUNDICIÓN DEL CUERPO DEL LUMINARIO

OBJETIVO.- Verificar que el espesor de las paredes del cuerpo del luminario sea suficiente para proporcionar rigidez a éste.



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA

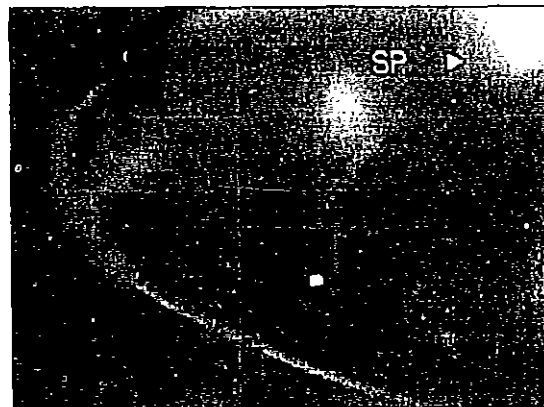
Se mide el espesor de la pared haciendo uso de un micrómetro

Reporte de la Prueba.- El reporte deberá contener los siguientes datos:

- a) Espesor de la pared del luminario
- b) Nombre del fabricante, número de catálogo y tipo
- c) Material de que está fabricado el luminario.

#### 2.2.4.2 PRUEBA PARA VERIFICAR EL ESPESOR DE LA PINTURA DEL LUMINARIO

OBJETIVO.- Verificar que el espesor de la pintura del luminario sea suficiente para soportar las condiciones de operación de éste.



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

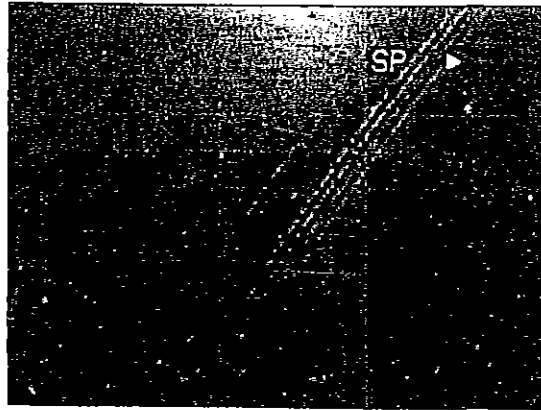
Se mide el espesor de la pintura haciendo uso de un elcómetro y tomando lecturas de la superficie del luminario.

Reporte de la prueba.- En el reporte de la prueba se debe anotar el espesor promedio de la pintura



#### 2.2.4.3. PRUEBA PARA VERIFICAR LA ADHERENCIA DE LA PINTURA DEL LUMINARIO

OBJETIVO.- Verificar que la adherencia de la pintura del luminario sea adecuada para las condiciones de operación de éste.



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Con un cortador, se graba una reja de cuadros de 5 mm x 5 mm y de 1 mm x 1 mm cada cuadro, sobre la superficie pintada hasta llegar a la lámina, después se adhiere a esta reja una cinta adhesiva y se retira.

Reporte de la prueba.- En el reporte de la prueba se debe anotar el porciento de pintura que se desprenda

#### 2.2.4.4. PRUEBA PARA VERIFICAR LA DUREZA DE LA PINTURA DEL LUMINARIO

**OBJETIVO.-** Verificar que la dureza de la pintura del luminario sea suficiente para soportar las condiciones de operación de éste.



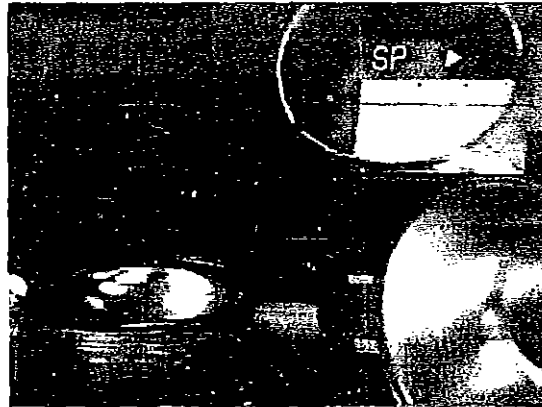
#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA

Se raya sobre la superficie del luminario con lápices graduados en dureza desde HB a 3H.

**Reporte de la prueba.-** En el reporte de la prueba se debe anotar si la pintura soportó el rayado o no, en este último caso se anotará con qué dureza de lápiz se rayó.

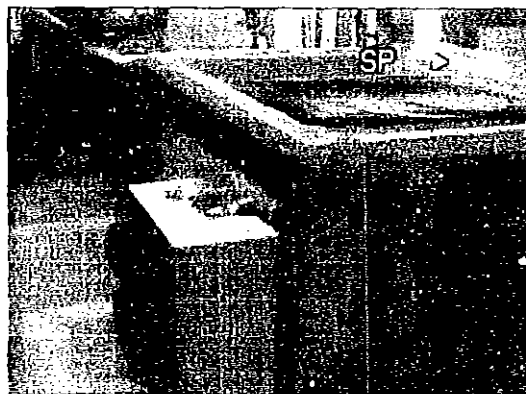
#### 2.2.4.5. PRUEBA PARA VERIFICAR EL ESPESOR DEL GALVANIZADO O CADMINIZADO DE LOS HERRAJES DEL LUMINARIO

OBJETIVO.- Verificar que el espesor del galvanizado o cadminizado de los herrajes del luminario, sea el adecuado, para las condiciones de operación de estos



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Con un Elcómetro se toman varias lecturas, colocándolo sobre las superficies internas y externas en varios puntos



**Reporte de la prueba.-** En el reporte de la prueba se deberán anotar los diferentes espesores encontrados en la superficie del luminario.



#### **2.2.4.6. PRUEBA PARA VERIFICAR LA DUREZA DE LOS EMPAQUES DEL LUMINARIO**

**OBJETIVO.-** Verificar que la dureza de los empaques del luminario sea la adecuada para las condiciones de operación de éste.

#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.-

Con un Durómetro y ejerciendo presión sobre el empaque se toma la lectura de puntos de dureza.

**Reporte de la prueba.-** En el reporte de la prueba se debe anotar la lectura de dureza del empaque, fabricante, fecha de fabricación, tipo de material, fecha de reporte de la prueba.

#### 2.2.4.7 PRUEBA DE LA VOLATILIDAD DE LOS EMPAQUES DEL LUMINARIO

**OBJETIVO.-** Verificar que la volatilidad de los empaques del luminario sea la adecuada para las condiciones de operación de este.

#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

En el fondo de un recipiente de vidrio refractario, se colocan 11 gramos del empaque, el recipiente debe contener un tripie con una placa de aluminio justo arriba de los fragmentos de empaque de prueba, luego se sella el recipiente de vidrio y se coloca dentro de un horno cuya temperatura es de 200°C durante 8 horas como mínimo. Al finalizar el periodo de prueba, se destapa el recipiente de vidrio y se observa si no hay residuos de aceites o humos en las paredes del recipiente o en la placa de aluminio.

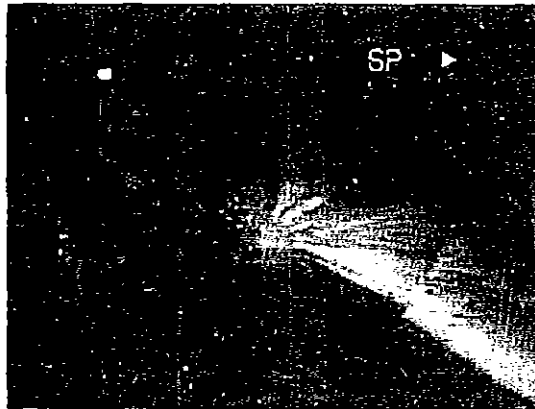
**Reporte de la prueba.-** En el reporte de la prueba se debe anotar si se encontraron residuos de aceites o humos en las paredes del recipiente o en la placa de aluminio, fabricante, fecha de fabricación, tipo de material, fecha de reporte de la prueba.

#### 2.2.4.8 PRUEBA DE RESISTENCIA AL IMPACTO DEL VIDRIO DE LOS DIFUSORES DEL LUMINARIO

**OBJETIVO.**- Verificar que la resistencia al impacto, del vidrio de los difusores del luminario, sea la adecuada para las condiciones de operación de éste.

**PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.**

El vidrio se coloca sobre un marco de madera en el piso, quedando la parte central del vidrio sin apoyo. Se deja caer una esfera metálica de 0.460 kg desde una altura de 1.5 metros.



**Reporte de la prueba.**- En el reporte de la prueba se debe anotar si resistió o no el impacto.

#### 2.2.4.9 PRUEBA DE LA RESISTENCIA DEL VIDRIO A LOS CAMBIOS BRUSCOS DE TEMPERATURA

**OBJETIVO.-** Verificar que la resistencia del vidrio a los cambios bruscos de temperatura sea la adecuada para las condiciones de operación de éste

#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Se coloca el vidrio dentro de un horno a 195°C y se espera durante 15 minutos, al término de este periodo se retira del horno y se sumerge en agua fría a 18°C, de tal forma que la diferencia en temperatura sea de 177°C. Se debe tener cuidado de que el vidrio no toque ninguna de las superficies del recipiente.

**Reporte de la prueba.-** En el reporte de la prueba se debe anotar si el vidrio soportó o no el choque térmico.

#### 2.2.4.10 PRUEBA DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE VIDRIO CUANDO EL DIFUSOR SE ROMPE

**OBJETIVO.-** Verificar que el tamaño de la partícula de vidrio, cuando el difusor se rompe, no sea de dimensiones peligrosas para las personas.



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Con un punzón de centros se procede a romper el vidrio, colocado éste dentro de una caja de cartón. Una vez roto el vidrio se toma la partícula más grande y se pesa.

**Reporte de la prueba.**- En el reporte de la prueba se debe anotar el peso en gramos de la partícula de vidrio más grande.

#### 2.2.4.11 PRUEBA DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS TORNILLOS DEL LUMINARIO

**OBJETIVO.**- Verificar que los tornillos que forman parte del luminario, soporten el par de apriete sin dañarse.





#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Haciendo uso de una llave de torque, se aprietan los tornillos hasta un par de apriete de  $250 \pm 30$  Kgs-cm



Reporte de la prueba.- En el reporte de la prueba se debe anotar si falló alguno (s) de los tornillos y posible causa.

#### 2.2.4.12 PRUEBA DE HERMETICIDAD AL POLVO

OBJETIVO.- Verificar la hermeticidad al polvo del luminario.

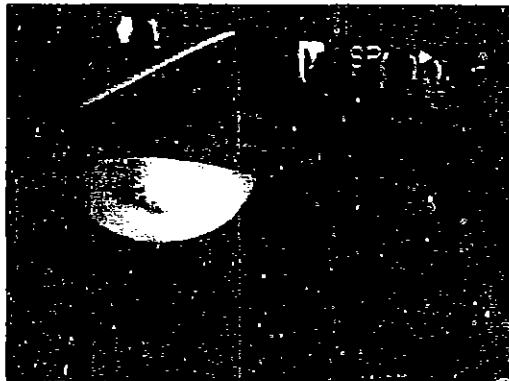


#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Se coloca el luminario dentro de la cámara de polvo, a continuación se enciende el luminario y se deja que alcance su temperatura de operación, inmediatamente después se hace circular el polvo y se apaga el luminario durante 2.5 horas, una vez transcurrido este tiempo se vuelve a encender durante 3 horas, para posteriormente apagarlo durante 2.5 horas.



El tiempo total de prueba es por lo tanto de 8 horas.

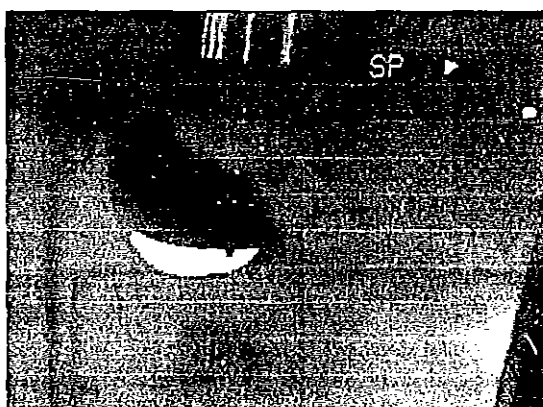


**Reporte de la prueba.-** En el reporte de la prueba se deberá anotar si entró o no polvo al luminario.



#### **2.2.4.13 PRUEBA DE HERMETICIDAD A LA LLUVIA**

**OBJETIVO.-** Verificar la hermeticidad a la lluvia del luminario.



## PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA

Se coloca el luminario dentro de la cámara de lluvia en su posición normal de operación. a una distancia de 1.5 metros de las boquillas. A continuación se enciende la lámpara y se deja en esta condición durante 1 hora, luego se inicia el rociado de agua con la lámpara apagada y se deja durante ½ hora, enseguida se enciende la lámpara durante 2 horas permaneciendo constante el rociado, por último se apaga la lámpara, permaneciendo constante el rociado durante otra ½ hora.



**Reporte de la prueba.**- En el reporte de la prueba se debe anotar si se acumula o no dentro del luminario



#### 2.2.4.14 PRUEBA DE TEMPERATURA

OBJETIVO.- Verificar la elevación de temperatura en las diferentes partes del luminario.



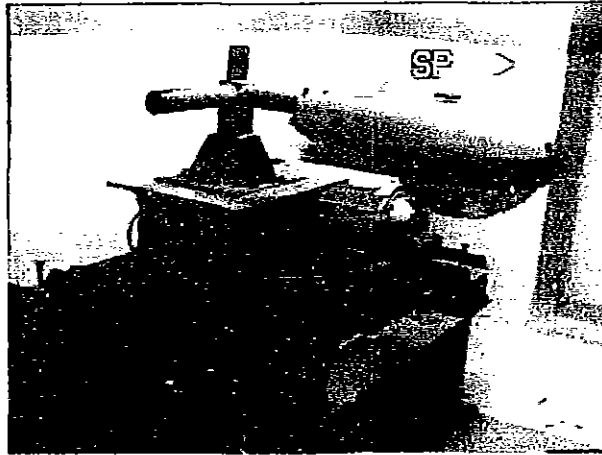
#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Se coloca el luminario en una cámara con temperatura controlada la cual puede tener cualquier valor entre los 22°C y 28°C, se colocan termopares en los siguientes puntos:

- a) Devanado del balastro
- b) Punto de conexión de los conductores de alimentación
- c) Cubierta del capacitor
- d) Cubierta del balastro
- e) Superficie del ignitor (para V S A.P )
- f) Lámpara
- g) Portalámpara
- h) Cubierta del balastro

#### 2.2.4.15 PRUEBA DE LA RESISTENCIA A LA VIBRACIÓN DEL LUMINARIO

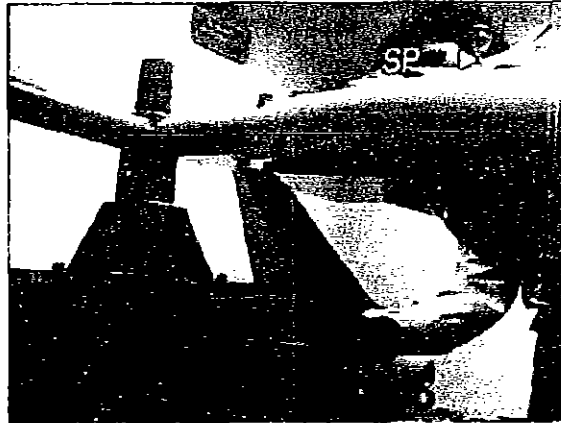
OBJETIVO.- Verificar la resistencia a la vibración del luminario



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Se coloca el luminario en el generador de vibración, se hace vibrar éste a 2 g. durante cien mil ciclos medida en el centro de gravedad del luminario y en el sentido de cada uno de sus ejes principales (dos horizontales y uno vertical) y una vibración de 4 g. durante mil ciclos medida en el centro de gravedad del luminario y en el sentido de sus dos ejes principales.

**Reporte de la prueba.**- En el reporte de la prueba se debe anotar en base a una inspección visual, si hubo algún daño en el luminario, fabricante, tipo, fecha de fabricación, fecha de prueba.



#### 2.2.4.17 PRUEBA DE LA RESISTENCIA A LA LUZ ULTRAVIOLETA

**OBJETIVO.**- Verificar la resistencia a la luz ultravioleta de gabinetes de material polimérico o difusores poliméricos.

##### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Se corta una pieza del material polimérico del luminario. Las muestras se exponen a la luz ultravioleta de dos arcos de carbón formados entre electrodos verticales de 12.7 mm (1/2") de diámetro localizados en el centro de un cilindro vertical giratorio de lámina metálica de 787.4 mm (31") de diámetro, y 450.8 mm (17 3/4") de alto. Cada arco debe estar encerrado por un bulbo de vidrio Pyrex de número PX.

Las muestras se montan verticalmente dentro del cilindro, sobre los arcos, y el cilindro se gira alrededor de los arcos a una revolución por minuto. Se debe proporcionar un sistema de boquillas que rocien cada muestra en turno con agua, mientras el cilindro gira. El ciclo consiste de 102 minutos de luz solamente y 18 minutos de luz y agua. La prueba debe continuarse hasta un total de 720 horas.

**Reporte de la prueba.**- En el reporte de la prueba debe anotarse si la muestra resiste el 70% del valor de la prueba de impacto, indicada en la norma ASTM-256.

#### 2.2.4.18 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

**OBJETIVO.**- Verificar la resistencia a la corrosión de partes ferrosas de luminarios.



#### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA.

Se debe remover toda la grasa de las partes a ser probadas, una vez hecho esto, las muestras se sumergen en tetracloruro de carbón durante 10 minutos. A continuación las muestras se sumergen durante 10 minutos en una solución al 10% de cloruro de amonio en agua a una temperatura de  $20 \pm 5$  °C. Posteriormente, sin secar las muestras, pero sí sacudiendo las gotas que tuvieran, se colocan por 10 minutos en una caja conteniendo aire saturado con humedad a una temperatura de  $20 \pm 5$ °C.



### CAPITULO III

## COSTO DE LAS PRUEBAS QUE SE REALIZAN EN EL LABORATORIO DE ALUMBRADO PUBLICO.

### 3.1 CONDENSADO DE TARIFAS DE PRUEBAS

#### PRUEBAS FOTOMÉTRICAS

##### LUMINARIOS

LUMINARIO PARA INTERIORES \$1,390.00

LUMINARIO PARA INTERIORES, DALI, INCANDESCENTES Y FLUORESCENTES COMPACTAS \$1,390.00

LUMINARIO DE ALUMBRADO PUBLICO O PARA EXTERIORES \$1,390.00

LUMINARIO TIPO REFLECTOR \$1,219.00

##### FOTOINTERRUPTORES

NUMERO DE CICLOS DE VIDA \$1,215.00

CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS \$ 156.00

##### LAMPARAS

CARACTERÍSTICAS FOTOMÉTRICAS A : (FLUJO LUMINOSO, EFICACIA, TEMPERATURA DE COLOR, INDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR)

INCANDESCENTES \$ 236.00

FLUORESCENTES \$ 310.00

FLUORESCENTES COMPACTAS \$ 596.00

VAPOR DE MERCURIO \$ 236.00

VAPOR DE SODIO ALTA Y BAJA PRESION \$ 303.00

ADITIVOS METALICOS \$ 655.00

##### PRUEBAS ELECTRICAS

BALASTROS PARA LAMPARAS DE V.S.A.P.

CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS DEL CONJUNTO BALASTRO-IGNITOR \$ 606.00

CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL BALASTRO \$ 456.00

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO \$ 100.00

RIGIDEZ DIELECTRICA \$ 113.00

BALASTRO DE V.S.A.P. AM. Y VAPOR DE MERCURIO	
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS DE LA LAMPARA	\$ 379.00
MADURACION DE LA LAMPARA	\$ 151.00
PRUEBA DE VIDA	*****
BALASTROS PARA LAMPARAS FLUORESCENTES CONVENCIONALES	
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS DEL BALASTRO	
RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO (SI ES ELECTROMAGNÉTICO)	\$ 447.00
RIGIDEZ DIELECTRICA	\$ 113.00
T.H.D. (DISTORSIÓN TOTAL DE ARMONICAS)	\$ 252.00
LAMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS	
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS DE LA LAMPARA	\$ 363.00
MADURACION DE LA LAMPARA	\$ 151.00
PRUEBA DE VIDA	*****
LAMPARAS FLUORESCENTES AUTOBALASTRADAS	
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS DEL CONJUNTO (BALASTRO-LAMPARA)	\$ 298.00
MADURACION DE LAMPARA	\$ 151.00
PRUEBA DE TEMPERATURA BALASTROS PARA LAMPARAS FLUORESCENTES	
ELEVACIÓN DE TEMPERATURA NORMAL	\$ 149.00
ELEVACIÓN DE TEMPERATURA ANORMAL	\$ 149.00
PROTECCIÓN TERMICA	\$1142.00
PRUEBA DE TEMPERATURA A BALASTROS PARA LÁMPARAS DAL	
INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LOS DEVANADOS	\$ 447.00
PRUEBAS DE SEGURIDAD (NOM-058-SCFI-199)	
BALASTROS FLUORESCENTES Y DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD	\$2592.00

ECONOMIZADORES

CARACTERÍSTICAS FOTOMÉTRICAS Y ELECTRICAS \*\*\*\*\*

ATENUADORES DE LUZ

CARACTERÍSTICAS FOTOMÉTRICAS Y ELECTRICAS \*\*\*\*\*

PRUEBAS MECANICAS

LUMINARIO DE INTERIORES Y EXTERIORES

VIBRACIÓN \$ 277.00

RESISTENCIA A LA LLUVIA \$ 899.00

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO \$ 100.00

INCREMENTO DE TEMPERATURA \$ 78.00

PRUEBA AL CONJUNTO OPTICO \$ 78.00

PRUEBA A PARTES VIVAS \$ 78.00

PRUEBA DE CONEXIÓN A TIERRA \$ 78.00

RESISTENCIA A LA CARGA \$ 152.00

CHOQUE TERMICO \$ 152.00

IMPACTO A VIDRIO PLANO TERMATEMPLADO  
(PRUEBA DE TAMAÑO DE PARTICULAR) \$ 152.00

ADHERENCIA DE PINTURA \$ 152.00

ESPESOR DE RECUBRIMIENTOS DE TORNILLOS Y  
HERRAJES \$ 75.00

ESPESOR DE FUNDICIÓN Y/O LAMINADO \$ 75.00

TORSIÓN Y CARGA A TORNILLERIA \$ 298.00

ESPESOR DE PELÍCULA DE PINTURA \$ 75.00

DUREZA DE PINTURA \$ 936.00

HERMETICIDAD AL POLVO \$1519.00

RESISTENCIA A LA CORROSION

EMPAQUES

VOLATILIDAD DE EMPAQUES	\$ 298.00
DUREZA DE EMPAQUE	\$ 152.00
LAMPARAS INCANDESCENTES Y DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD	
DIMENSIONAMIENTO	\$ 298.00
TORSIÓN A CASQUILLO (PARA LAMPARAS CON CASQUILLO TIPO EDISION)	\$ 153.00
FOTOCONTROLES	
DIMENSIONAMIENTO	\$ 298.00
PRUEBA DE LLUVIA	\$ 899.00
RESITENCIA A LA CORROSION	\$1519.00
RESITENCIA DE AISLAMIENTO	\$ 100.00
RIGIDEZ ELECTRICA	\$ 113.00
GABINETE (CONJUNTO INTERRUPTOR-CONTACTOR)	
ADHERENCIA DE PINTURA	\$ 152.00
DUREZA DE PINTURA	\$ 152.00
DUREZA DE EMPAQUE	\$ 152.00
ESPESOR DE RECUBRIMIENTOS	\$ 75.00
ESPESOR DE LAMINADO	\$ 75.00
PRUEBA DE POLVO	\$1442.00
PRUEBA DE LLUVIA	\$ 899.00
PRUEBA CONTA ENTRADA DE OBJETOS	\$ 78.00
RESISTENCIA A LA CORROSION	.....

**PRUEBAS DE SEGURIDAD (NOM-064-SCFI-2000)**

LUMINARIOS PARA USO EN INTERIORES Y EXTERIORES (EL COSTO DE ESTAS PRUEBAS DEPENDE DEL PRODUCTO QUE SE QUIESERA PROBAR)

NOTA: TODOS LOS CONCEPTOS MARCADOS CON ASTERISCOS DEPENDEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO QUE SE QUIERA PROBAR ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

### 3.2 LISTADO DE NORMAS

#### NORMAS NACIONALES

- \* Norma NMX-CC-001-1995 IMNC Administración de la calidad y aseguramiento de la calidad- Vocabulario.
- \* Norma NMX-CC-002/1-1995-IMNC Normas para administración de la calidad y aseguramiento de la calidad. Parte 1: Directrices para selección y uso.
- \* Norma NMX-CC-005-1995-IMNC Sistemas de calidad-modelo para el aseguramiento de la calidad en inspección y pruebas finales.
- \* Norma NMX-CC-006/1-1995-IMNC Administración de la calidad y elementos del sistema de calidad. Parte 1: Directrices.
- \* Norma NMX-CC-006/2-1995-IMNC Administración de la calidad y elementos del sistema de calidad. Parte 2: Directrices para servicios.
- \* Norma NMX-CC-017/1-1993-IMNC Requisitos de aseguramiento de la calidad para equipo de medición- Parte 1: Sistema de confirmación metrológica para equipo de medición.

#### NORMAS INTERNACIONALES

- \* ISO 8402-1986 Quality- Vocabulary
- \* ISO/DIS-8402. Quality management and quality assurance- Vocabulary.
- \* ISO-9000-1987 Quality management and quality assurance standards-Guidelines for selection and use

- \* ISO/DIS-9000-2                      Quality management and quality assurance standards-Part 2: Generic guidelines for the application of ISO 9001, ISO 9002 and ISO 9003.
- \* ISO-9003-1987                      Quality systems-model for quality assurance in final inspection and test.
- \* ISO-9004-1987                      Quality management and quality system elements-Guidelines.
- \* ISO-9004-2-1991.                    Quality management and quality system elements- Part 2: Guidelines for services.
- \* ISO-10011-1-1990                   Guidelines for auditing quality systems- Part 1: Auditing
- \* ISO-10011-2-1991                   Guidelines for auditing quality systems- Part 2: Qualification criteria for quality systems auditors.
- \* ISO-10011-3-1991                   Guidelines for auditing quality systems- Part 3: Management of audit programs.
- \* ISO/IEC-Guide 2                    General terms and their definitions concerning standardization and related activities (6th ed. 1991, trilingual).
  
- \* Norma NMX-CC-017-1993-IMNC Requisitos de aseguramiento de la calidad para equipo de medición Parte 1 : Sistema de confirmación metrológica para equipo de medición.

**PARA REALIZAR LAS PRUEBAS FOTOMÉTRICAS Y ELÉCTRICAS A LÁMPARAS Y LUMINARIOS, SE PROCEDERÁ DE ACUERDO A LO ESPECIFICADO EN:**

LM-45 IES Approved Method for Electrical and Photometric Measurements of General Service Incandescent Filament Lamps.

LM-49 IES Approved Method for Life Testing of General Lighting Incandescent Filament Lamps.

LM-9 IES Approved Method for the Electrical and Photometric Measurements of Fluorescent Lamps.

LM-40 IES Approved Method for Life Performance Testing of Fluorescent Lamps

LM-51 IES Approved Method for Photometric Measurements of High Intensity Discharge Lamps

LM-32 IES Guide for Photometric Measurements of Mercury Lamps.

LM-47 IES Approved Method for Life Testing of High-Intensity Discharge Lamps.

LM-27 IES Approved Method for the Photometric Testing of Filament Type Luminaires for General Lighting Service.

LM-41 IES Approved Method for Photometric Testing of Indoor Fluorescent Luminaires.

LM-46 IES Approved Method for Photometric Testing of Indoor Luminaires Using High- Intensity Discharge Lamp.

LM-35 IES Approved Method of Photometric Testing of Floodlights Using Incandescent Filament or Discharge Lamps.

LM-31 IES Approved Method for Photometric Testing and Roadway Luminaires Using Incandescent Filament, or Mercury or Sodium Electric Discharge Lamps.

APPLICATION AND PRESENTATION OF PHOTOMETRIC DATA FOR STREET LIGHTING LUMINAIRES EEI/NEMA PUBLICATION No. 69-31

LM-15 IES Guide for Reporting General Lighting Equipment Engineering Data.

LM-6 IES General Guide to Photometry.

LM-36 IES Practical Guide to Photometry.

LM-28 IES Guide for the Selection, Care, and Use of Electrical Instruments in the Photometric Laboratory.

LM-44 IES Approved Method of Reflectometry.

LM-54 IES Guide to Lamp Seasoning.

PARA REALIZAR LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS A BALASTROS Y LAMPARAS, SE PROCEDERÁ DE ACUERDO A LO ESPECIFICADO EN:

ANSI C 82.1 Specifications for Fluorescent Lamps Ballasts.

ANSI C 82.2 Methods of Measurement of Fluorescent Lamps Ballasts.

ANSI C 82.3 Specifications for Fluorescent Lamps Reference Ballasts.

ANSI C 78.375 Guide for Electrical Measurement of Fluorescent Lamps.

NOM J 198 Métodos de Medición en Balastos para Lámparas Fluorescentes.

NOM J 156 Calidad y Funcionamiento para Balastos para Lámparas Fluorescentes.

NOM J 197 Reactores Patrón para Lámparas Fluorescentes.

NOM J 295 Lámparas Fluorescentes de Cátodo Caliente para Alumbrado General.

ANSI C 78.1354 Specification for 100 Watts High-Pressure Sodium Lamps S 54

ANSI C 82.4 Specifications for High-Intensity Discharge Lamp Ballast (Multiple Supply Type).

ANSI C 82.5 Specifications for High-Intensity Discharge Lamp Reference Ballast.

ANSI C. 82.6 Methods of Measurements of High-Intensity Discharge Lamp Ballast

ANSI C 78.1350 Specifications for 400 Watts High-Pressure Sodium Lamps S 51.

ANSI C. 78.1351 Specifications for 250 Watts High-Pressure Sodium Lamps S 50.

ANSI C 78.1355 Specifications for 150 Watts 55 Volts High-Pressure Sodium Lamps S 55

ANSI C 78.1356 Specifications for 150 Watts 100 Volts High-Pressure Sodium Lamp S 56



ANSI C 78.1352 Specifications for 1000 Watts High-Pressure Sodium Lamp S 52.

ANSI C 78.388 Methods of Measurements of High-Pressure Sodium Lamp Characteristics.

NOM Balastros para Lámparas de Vapor de Sodio en Alta presión.

NOM J 278 Lámparas de Vapor de Mercurio en Alta Presión

NOM J 222 Balastros para Lámparas de Vapor de Mercurio en Alta Presión.

NOM J 230 Métodos de Medición en Balastros para Lámparas de Mercurio en Alta Presión.

NOM J 232 Reactores Patrón para Lámparas de Vapor de Mercurio de Alta Presión.

NOM J 113 Capacitores fijos con Dieléctrico de Papel Impregnados al Vacío, para Aplicaciones Generales en Corriente Alterna de Baja Frecuencia.

NOM J 153 Clasificación de Materiales Aislantes.

NOM R 18 Plan de Muestreo y Tablas para la Inspección por Atributos.

UL 62 Standard for Flexibles Cord and Fixture Wire.

**PARA REALIZAR LAS PRUEBAS MECÁNICAS Y DE AMBIENTE A LUMINARIOS SE PROCEDERÁ DE ACUERDO A LO ESPECIFICADO EN:**

U.L. 57 Electric Lighting Fixtures.

NEMA F AI Outdoor Floodlighting Equipment Standard Publication.

U.L. 1452 Standard for Outdoor and Wet Location Lighting

CIE 598-1 Luminaires General Requirements and Test  
598-2 Luminaires Particular Requirements.

NOM J 324 Luminarios para Alumbrado Público y Exteriores.  
NOM J 307 Luminarios de Uso General para Interiores  
NOM J 543 Prueba de Vibración

#### BIBLIOGRAFIA

- \* Ley Federal de sobre Metrología y Normalización publicada en el diario oficial el día 1 de julio de 1992.
- \* Publicación en el Diario Oficial del miércoles 1 de julio de 1992 en cual se publica lo referente a Organismos de Certificación.
- \* Norma NMX-CC-001-1995 IMNC                      Administración de la calidad y aseguramiento de la calidad- Vocabulario.
- \* Norma NMX-CC-002/1-1995-IMNC                      Normas para administración de la calidad y aseguramiento de la calidad. Parte 1: Directrices para selección y uso.
- \* Norma NMX-CC-005-1995-IMNC                      Sistemas de calidad-modelo para el aseguramiento de la calidad en inspección y pruebas finales.
- \* Norma NMX-CC-006/1-1995-IMNC                      Administración de la calidad y elementos del sistema de calidad. Parte 1: Directrices.
- \* Norma NMX-CC-006/2-1995-IMNC                      Administración de la calidad y elementos del sistema de calidad. Parte 2: Directrices para servicios.
- \* Norma NMX-CC-007/1-1993                      Directrices para auditar sistemas de calidad- Parte 1: Auditorias
- \* Norma NMX-CC-007/2-1993                      Directrices para auditar sistemas de calidad-Parte 2: Administración del programa de auditorias.
- \* Norma NMX-CC-008-1993                      Criterios de calificación para auditores de sistemas de calidad.

* Norma NMX-CC-010-1992	Criterios generales para los organismos de certificación de productos.
* Norma NMX-CC-013-1992	Criterios generales para la operación de los laboratorios de pruebas.
* Norma NMX-CC-014-1992	Criterios generales para la evaluación de los laboratorios de pruebas.
* Norma NMX-CC-017/1-1993-IMNC	Requisitos de aseguramiento de la calidad para equipo de medición- Parte 1: Sistema de confirmación metroológica para equipo de medición.
* Norma NMX-Z-109-1992	Términos generales y sus definiciones referentes a la normalización y actividades conexas.
* ISO 8402-1986	Quality- Vocabulary
* ISO/DIS-8402.	Quality management and quality assurance- Vocabulary.
* ISO-9000-1987	Quality management and quality assurance standards-Guidelines for selection and use
* ISO/DIS-9000-2	Quality management and quality assurance standards-Part 2: Generic guidelines for the application of ISO 9001, ISO 9002 and ISO 9003.
* ISO-9003-1987	Quality systems-model for quality assurance in final inspection and test.
* ISO-9004-1987	Quality management and quality system elements-Guidelines.
* ISO-9004-2-1991.	Quality management and quality system elements- Part 2: Guidelines for services.
* ISO-10011-1-1990	Guidelines for auditing quality systems- Part 1: Auditing
* ISO-10011-2-1991	Guidelines for auditing quality systems- Part 2: Qualification criteria for quality systems auditors.
* ISO-10011-3-1991	Guidelines for auditing quality systems- Part 3: Management of audit programs.
* ISO/IEC-Guide 2	General terms and their definitions concerning standardization and related activities (6th ed. 1991, trilingual).

* ISO/IEC-Guide 7	Requirements for standards suitable for product certification (19882).
* ISO/IEC- Guide 9	Courses in standardization (1976).
* ISO/IEC-Guide 14	Product information for consumers (1977).
* ISO/IEC-Guide 16	Code of principles on third-party certification systems and related standards (1978).
* ISO/IEC-Guide 22	Information on manufacturer's declaration of conformity with standards or other technical specifications (1982).
* ISO/IEC-Guide 23	Methods of indicating conformity with standards for third-party certification systems (1982).
* ISO/IEC-Guide 27	Guidelines for corrective action to be taken by a certification body in the event of misuse of its mark of conformity (1983).
* ISO/IEC-Guide 28	General rules for a model third-party certification system for products (1982).
* ISO/IEC-Guide 39	General requirements for the acceptance of inspection bodies (2nd de. 1988).
* ISO/IEC-Guide 40	General requirements for the acceptance of certification bodies (1983).
* ISO/IEC-Guide 42	Guidelines for a step-by-step approach to an international certification system (1984).
* ISO/IEC-Guide 44	General rules for ISO or IEC international third-party certification schemes for products (1985).
* ISO/IEC-Guide 48	Guidelines for third-party assessment and registration of a supplier's Quality System (1986).
* ISO/IEC-Guide 52	Glossary of terms and definitions (1990).
* ISO/IEC-Guide 53	An approach to the utilization of a supplier's quality system in third party product certification (1988).
* ISO/IEC-Guide 57	Guidelines for the presentation of inspection results (1991).

### 3.3 EQUIPO NECESARIO

#### EQUIPO NECESARIO PARA PRUEBAS FOTOMETRICAS:

**Fotómetro de espejo móvil**, con interface para computadora, incluyendo celda de silicón y amplificador de estado sólido para alimentar una microcomputadora, que permita la transferencia de datos a otra computadora, dispositivo para la rotación del luminario hasta 360 grados, dispositivo para la rotación del espejo hasta 360 grados, programas adecuados para operar el fotómetro usando la microcomputadora, ajuste motorizado del luminario a probar.

**Fotómetro digital portátil**, para medir iluminancia y luminancia.

**Fuente de poder** de acuerdo a los requerimientos del fotómetro de espejo móvil.

**Fotómetro de esfera integradora** (Esfera de Ulbrich) de 3 metros de diámetro.

**Fotómetro Pritchard** de alta sensibilidad, para medir luminancia, los rangos a escala total de  $10^{-4}$  a  $10^8$  candelas por metro cuadrado o  $10^{-5}$  a  $10^7$  footlamberts.

**Equipo portátil de instrumentación manual** (banco fotométrico) compuesto de: celda de silicón "Weston" de mínimo 1" Ø, con aparato de lectura en lux o  $\text{cd}/\text{cm}^2$  y mesa (indexing table).

**Luxómetro portátil**, (2), rango: 0-3000 lux

**Luxómetro portátil**, (2), rango: 0-300 lux

#### EQUIPO PARA PRUEBA DE VIDA DE LAMPARAS

Para este fin es necesario construir un dispositivo de estado sólido para controlar el ciclo encendido-apagado de lámparas y el tiempo, de acuerdo a las normas ASTM (American Society of Testing and Materials) y IESNA (Illuminating Engineering Society of North America).

## EQUIPO PARA PRUEBAS ELÉCTRICAS

Ampérmetro patrón (4) para C.A., portátil, con rangos: 2/5/10/20 A precisión  $\pm 0.5\%$  a escala completa.

Vóltmetro patrón (4) para C.A., portátil, 2 rangos: 300/750V. precisión  $\pm 0.5\%$  a escala completa.

Wáttmetro patrón (2) portátil, monofásico, bajo factor de potencia, rangos: 5/25 A, 120/240 V. precisión  $\pm 0.5\%$  a escala completa.

Wáttmetro patrón (2), portátil monofásico, bajo factor de potencia, rangos 5/25 A, 120/240 V, precisión  $\pm 0.5\%$  a escala completa.

Instrumento de medición de potencia, digital, monofásico, con salida BCD analógica y control remoto, rangos: 3/10/30/100/300/600 V., 100/300/1000 mA 13/6/10/30 A, 300 nW a 18 Kw.

Multímetro digital de precisión, para mediciones de V.C.D. resistencia y V.C.A. (RMS).

Puente de wheatstone de precisión, rango: 100 miliohms a 100 megohms.

Regulador automático de voltaje, trifásico,  $220 \pm 20\%$  -  $220/127 \pm 0.1\%$ , 5 Kva. La forma de onda de C.A. debe ser tal que la suma (RMS) de las componentes armónicas no exceda del 3% de la fundamental.

Transformador de aislamiento (3) de 3 Kva., 127 - 440/220/127 volts. I de excitación máxima 5%.

Regulador de voltaje manual (3), tipo autotransformador 127 volts en el primario, 0-127 volts en el secundario.

**Reactor lineal (3)** insensible a las variaciones de corriente, temperatura e influencias magnéticas exteriores.

**Lámparas patrón de HID y fluorescentes** de las diferentes potencias.

**Osciloscopio portátil de doble canal**, doble base de tiempo, con memoria 100 MHz. incluyendo puntas de prueba de alto voltaje, atenuación 1000x1 para 40 Kv.

**Probador de aislamiento (hipot)**, salida de voltaje 0-15 Kv., C.A., 0-40 Kv C.D., 0-5 mA C.A. y 0-50/500/5000  $\mu$ A. C.D., alimentación 115 V.C.A

**Probador de aislamiento resistivo (MEGGER)**, salida de voltaje 0-5 Kv y rango de resistencia de 0.1-100,000 Megaohms, con multiplicador de X.1, XI, X10 y X100. Alimentación 115 V.C.A.

#### **EQUIPO PARA PRUEBAS MECÁNICAS**

**Horno eléctrico**, para una temperatura máxima de 350 grados centígrados y con dimensiones interiores de 80x60x70 cm.

Aparatos diversos:

**Dinamómetro** de 0-220 Kg

**Torquímetro** 0-20 Kg·m

**Durómetro** 0-100 dureza short

**Manómetros (2):** 0-2 Kg/cm<sup>2</sup>

**Micrómetro**

**Balanza analítica** de 160 g. con precisión de 0.1 mg.

**Medidor de espesores de recubrimientos** en bases magnéticas y no magnéticas.

**Dispositivo para prueba de vibración de luminarios** contruidos según los requerimientos mencionados en el artículo. "Vibration Testing of Luminaires" de Harold A. Van Dusen y publicado en Journal de IESNA/ Enero 1980.

**Esfera de acero de 50.8 mm (2" ) y de 0-54 Kg (1.18lb).**

**Punzón de acero**

#### **EQUIPO PARA PRUEBAS AMBIENTALES**

**Sopladores de polvo (2) con motor eléctrico de ½ H.P.**

**Dispositivo para efectuar pruebas de lluvia,** construido de acuerdo a lo indicado en la norma UL (Underwriters Laboratories) 1452 y NOM (Norma Oficial Mexicana) J-324.

**Cámara para pruebas de corrosión,** de acuerdo a normas ASTM (American Society for Testing and Materials) B 117, B 287 y B 368.

**Dispositivo para efectuar pruebas de resistencia a la luz ultravioleta,** construido de acuerdo a lo indicado en la norma UL (Underwriters Laboratories) 1452.

**Termómetro digital, para usarse con termopares " K ", " E ", " J ", " T ", " R "** y para un rango de temperatura de -200 a + 933 grados centígrados equipado con selector multicanal de 10 canales.



## CONCLUSIONES

De acuerdo a las necesidades actuales de nuestro país; es de suma importancia solucionar problemas como lo es: El uso eficiente de los recursos energéticos, esto hace necesario que en el campo de la Ingeniería de Iluminación se requiera de mas y mejores técnicas avanzadas, de los equipos de iluminación paralelamente con esto lograr disminuir el consumo de energía creando equipos mas eficientes y rentables, resultado de las investigaciones que se realicen. Motivo por el cual es necesario impulsar la investigación en este campo, de la Ingeniería de Iluminación indispensable para el desarrollo del país y la acreditación de nuestra Universidad; por eso propongo:

- Que la asignatura de iluminación tenga laboratorio.
- Que la materia sea obligatoria en la facultad de Ingeniería con la finalidad de generar independencia.