CAPITULO1

INTRODUCCION

1. Diseño de alumbrado en calles y carreteras.

¿Por que estudiar una materia como "Alumbrado de calles y carreteras"? ¿Cuál es la relevancia de esta materia dentro de la ingeniería de tránsito? El alumbrado publico nos resulta tan cotidiano que raras veces nos ponemos a pensar en su importancia y en las implicaciones que tiene y solamente alcanzamos a culpar a la administración municipal en turno por su "ineficiencia" al prender un "foco".

El problema es más complejo que esto. Por ejemplo: durante la noche las posibilidades de participar en un accidente vial se incrementan en relación de 4 a 1 que durante el dia, esto es debido principalmente a las condiciones de visibilidad adversas que enfrenta un conductor. Un sistema de iluminación adecuado puede reducir drasticamente este factor y salvar muchas vidas.

Aunque este podria ser el punto más importante, también obtenemos ventajas adicionales con la adecuada selección del sistema de alumbrado:

- Se incrementa la seguridad de los peatones.
- Disminuye el vandalismo.
- Se incrementa la velocidad de transito segura evitando así embotellamientos innecesarios y recortando los tiempos de recorrido (horas-hombre pérdidas).

Pareciera que el alumbrado publico es igual en todo tipo de calles y avenidas. Sin embargo, cada una es un caso particular con requerimientos diferentes que hay que tomar en consideración a la hora de diseñar el sistema de iluminación adecuado.

Por esto el alumbrado de calles y carreteras debe ser parte integral del proyecto civil ya que ni las calles se diseñan basándose en el alumbrado ni el alumbrado se debe simplemente adecuar a las calles, mas bien deben de complementarse a la hora de elaborarse el proyecto y cumplir con ciertos requisitos, solo entonces habremos avanzado en la dirección correcta en el diseño de nuestras calles y carreteras.

Sin embargo, quizás uno los criterios principales en el diseño de sistemas de alumbrado debe ser el uso racional de la energía. La demanda total de energía eléctrica en nuestro país se distribuye de la siguiente manera: Consumo industrial, consumo domestico, consumo de alumbrado público.

El ahorro de energía eléctrica es, entonces, bastante importante ya que esta se genera con recursos naturales no renovables; combustoleo, carbón, gas. Quemar estos recursos además repercute gravemente en el ambiente.

El ahorro de energía en alumbrado se genera implantando y normatizando sistemas de iluminación de alta eficiencia especializados para cada aplicación, considerando también los siguientes factores.

Fuentes luminosas:

- Potencia adecuada a las necesidades
- Mayor producción de lúmenes/watt

Equipos:

Balastros

- Balastros de bajas perdidas, es decir: Watts de entrada/watts de salida.
- Balastros de alto factor de potencia

Luminarios

- Luminarios de alta eficiencia, Luz de salida/Luz de la lámpara.
- Luminarios eficientes en utilización luminosa sobre el plano de trabajo.

Operación y mantenimiento

- Fugas de corriente en conexiones por humedad en cables, ductos y registros eléctricos.
- Unidades de encendido con desperfecto (mal funcionamiento).
- Fotoceldas.

El presente curso presenta de manera integral el alumbrado publico, particularmente de calles y carreteras, como un sistema en sí. Partiendo de los conceptos básicos y fundamentos, se desplaza a través de los elementos y factores que conforman un sistema de este tipo para presentar al final un caso práctico moderno de diseño y sus variables económicas.

1.1 Planteamiento del Problema a Resolver

Hoy en día el alumbrado público es un problema bastante serio ya que no se cuenta con personal especialista en este materia por parte de los gobiernos o municipalidades que son los encargados.

La presente edición esta preparada para dotar al futuro responsable de conocimientos básicos necesarios por medio de nota esenciales, actualizaciones, explicaciones sencillas, diagramas, tablas y ejemplos organizados de tal manera que encuentre en él los fundamentos auxiliares necesarios a la hora de contemplar el alumbrado en calles y carreteras.

Contiene los elementos técnicos suficientes para el diseño y cálculo del alumbrado vial para que el responsable del alumbrado sea el quien dicte las necesidades y criterios del alumbrado público en la obra de su responsabilidad.

1.2 Objetivo de la tesis

Desarrollar una guía profesional y optimizada para los responsables del diseño, operación y
mantenimiento del alumbrado público (municipalidades, gobierno, fraccionamientos, etc.)
brindándoles los conocimientos necesarios para que dicten y apliquen criterios y necesidades en la obra de su responsabilidad, optimizando recursos tanto en la inversión como en la operación y
mantenimiento del alumbrado vial.

1.3 Justificación

Actualmente el alumbrado público (municipalidades, gobierno y fraccionamientos) no cuentan con un departamento de diseño de alumbrado que puedan normalizar diseños en sistemas de iluminación de alta eficiencia para todos y cada uno de los proyectos.

1.4 Metodología

Ser el responsable de el alumbrado público existente en una comunidad es tener un problema bastante grande ocasionado principalmente porque cada administración cambia de responsable
(3 años) y que no se cuenta con un departamento de diseño y una supervisión de construccion de alumbrado acorde a lo diseñado. Además que cumpla con las normas de diseño conforme a la reglamentación vigente de la Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal y acorde a las recomendaciones de la Illumination Engineering Society of North America (IESNA) a fin de optimizar tanto en equipos de alumbrado y energía eléctrica.

1.6 Limites del Estudio

Hacer notar que el alumbrado público requiere de un diseño para todas y cada una de las calles o avenidas ya que cada una es un caso en particular con requerimientos diferentes de alumbrado que hay que tomar en consideración.
Para hacer un diseño optimo de estas con los siguientes beneficios:
Incrementar la seguridad de los peatones.
Incrementar la seguridad de los automovilistas.
Disminuir el vandalismo.
Incrementar la velocidad de tránsito segura.
Reducir los tiempos de recorrido (horas-hombre perdidas).

Uno de los criterios principales en el diseño de alumbrado público es el uso racional de la energía y el ahorro de ésta, es bastante importante ya que esto se genera quemando recursos naturales no renovables: combustible, carbón, gas., que repercuten gravemente en la ecología.

1.6 Revisión Bibliográfica

Es una recopilación de la información técnica de alumbrado público de los siguientes manuales: G.E. Lighting Systems Lighting Handbook Illumination Engineering Society of North America 1995 8th edition., G.E. Lighting Systems Making The World Brigther., G.E. Lighting Systems H.I.D. Lighting Application Programs & Fotometry Hendersonville NC Abril 1993.

CAPITULO 2

LUZ Y VISION

2.1 Naturaleza de la luz

Definición de la luz.

- La luz forma parte de una parte de la energía denominada energía radiante.
- La Illumination Engineering Society of North America, define la luz como la energía radiante considerada de acuerdo a su capacidad para producir sensaciones visuales.
- La luz se mide en una unidad llamada lumen horas (lm-h); su símbolo es Q.

Al resultado de la luz incidiendo sobre una superficie se le denomina iluminación y se mide en luxes o en footcandles.

Al resultado de la luz al reflejarse (ya sea transmitida o emitida) de una fuente luminosa o una superficie se le denomina Luminancia o brillo fotométrico y se mide en lamberts ó footcandles. La luz puede representarse en forma de diagrama como se muestra en la figura 2 -1. La luz tiene propiedades tales como la longitud de onda (λ) y frecuencia (f).

Hay muchas aplicaciones en las cuales éstas características no son importantes por lo que la luz puede representarse simplemente por medio de una flecha que indique su dirección.

Los científicos de hoy día utilizan dos conceptos al explicar la naturaleza de la luz. Estas son la "teoría de las ondas electromagnéticas" y la "teoría del quantum". La teoría electromagnética nos dice que los cuerpos luminosos emiten luz bajo la forma de ondas electromagnéticas (Fig. 2-1) y que estas ondas actúan sobre nuestra visión para producir la sensación de luz. La teoría del quantum nos dice que los cuerpos luminosos emiten

energía radiante en forma de "grupos" los que son expulsados en línea recta y actúan sobre nuestra visión para producir la sensación de luz.

El movimiento de la luz a través del espacio puede realmente explicarse mejor por medio de la teoría electromagnética.

El efecto de la luz sobre la materia (como por ejemplo, sobre la barrera de las capas de una celda fotoeléctrica de un medidor de luz) del tipo celda de capas de la barrera se explica mas fácilmente por medio de la teoría del quantum.

2.2 Espectro Radiante

Además de la luz existen otras formas de energía radiante. A este grupo de energía se le denomina espectro de energía radiante. Ver Fig. 2 - 2.

La energía radiante viaja a una velocidad constante de aproximadamente 300,000 kilometros por segundo en el aire o en el vacío. La longitud de onda representa la distancia entre crestas de ondas adyacentes. Ver Fig. 2 - 1.

La frecuencia representa el número de ondas (o bien, de longitudes de ondas) que pasan por un punto determinado en un segundo. La unidad utilizada para medir la frecuencia se denomina hertz (Hz.).

La longitud de onda se expresa en varias unidades, dependiendo de la parte del espectro a la que se refiera o bien al sistema de unidades utilizado; por ejemplo, las longitudes de onda de los rayos cósmicos se miden en picómetros mientras que las líneas de transmisión de energía se miden en varios cientos de metros o incluso kilómetros. La longitud de onda de la luz se mide en una unidad denominada nanómetro (nm).

La energía radiante se mide en unidades denominadas watt-hora (Wh).El flujo radiante se mide en unidades denominadas watts. El flujo radiante se denomina también potencia radiante.

Espectro de la luz Visible

El año de 1666, Sir Isaac Newton realizó un experimento consistente en hacer pasar un rayo de luz a través de un prisma y descubrió con esto que la luz se descomponía en todos los colores del arco iris.

Estos colores no forman franjas definidas, sino que se mezclan unos con otros en forma continua; sin embargo, para facilitar su estudio cada color se divide arbitrariamente en una banda definida. Ver Fig. 2 - 3.

Los colores primarios de la luz de acuerdo con la teoría del color Young-Helmholz son el rojo, el verde y el azul.

Espectro Ultravioleta.

La energía ultravioleta es invisible al ojo humano.Una de las fuentes de rayos ultravioleta cercanos es el sol, pero existen fuentes de estos rayos hechas por el hombre para producir por entero el espectro ultravioleta.

Existen tres efectos principales que se producen en esta banda; están ilustrados en la Fig. 2 - 4.

Espectro Infrarrojo.

La energía infrarroja es invisible también al ojo humano, y también el sol es una fuente natural de esta clase de rayos. Otras fuentes son las lámparas incandescentes que radian hasta longitudes de ondas del orden de 5,000 nm. La región comprendida desde 780 hasta 100,000 nm se denomina espectro infrarrojo. Existen lámparas especiales para aplicaciones industriales y terapéuticas que emiten rayos de la región cercana del infrarrojo. Ver Fig. 2 - 5.

2.3 El ojo humano.

El ojo humano es un finísimo instrumento de precisión, que puede compararse en muchos aspectos a una cámara fotográfica. Ver Fig. 2 - 6.

A continuación damos una tabla que compara los elementos del ojo con los correspondientes de una cámara:

OJO HUMANO	VS.	CAMARA FOTOGRAFICA
Esclerótica		Caja exterior
Coroide		Recubrimiento Interno
Retina		Película
Iris		Diafragma
Pupila		Apertura
Párpado		Obturador
Cristalino		Lente

La descripción de las diferentes partes del ojo humano es como sigue:

Esclerotica.

Es la capa o cubierta exterior, es una sustancia firme; blanca y opaca. Es que le da forma al ojo. Hacia el frente se vuelve transparente y esa parte de la Esclerótica se denomina Córnea.

Coroide.

Es uno como forro interno del ojo y consiste de una capa de vasos capilares, que sirven para nutrir y alimentar el globo del ojo. A la parte frontal de esta capa se le denomina Iris, que es un diafragma de color que llena el mismo propósito que el diafragma de una cámara. Controla en forma automática la cantidad de luz que entra al ojo, por ejemplo abriendo la pupila cuando la cantidad de luz ambiente es muy poca. La pupila es el agujero en el centro del iris, y corresponde a la apertura del obturador de una cámara fotográfica.

La retina y sus partes.

La retina constituye el forro interno del fondo del ojo; es la parte con la cual ve el ojo y corresponde a la película de una cámara fotográfica.

Consiste en una delicada capa de tejido nervioso, en el cual existen unas terminaciones de fibras nerviosas denominadas conos y bastones. La retina tiene su máxima capacidad de distinguir objetos, llamada la fovea o mancha amarilla; la otra se denomina punto ciego y es donde los nervios entran al globo del ojo.

Conos.

Existen varios millones de conos, que están más densamente situados cerca de la fovea o mancha amarilla, los conos realizan la función de visión diurna y son también los responsables que distingamos el color; la ceguera al color se debe a un funcionamiento inadecuado de los conos.

Bastones.

Existen también millones de ellos, que están desparramados en toda el área comprendida entre la mancha amarilla y la periferia de la retina. Su función es primordialmente la visión nocturna o en relativa obscuridad. Los bastones no sirven para detectar el color y son mucho más sensibles que los conos a la luz azul cuando el nivel de iluminación es bajo. Por esta razón se prefirió la luz de color roja a la azul durante los apagones en la guerra.

Humor acuoso.

Es una solución acuosa que existe entre la córnea y el iris.

Cristalino.

Esta situada inmediatamente detrás de la pupila y suspendido y sostenido en su lugar por medio de fibras musculares. Es un cuerpo flexible, de capas múltiples y que tiene la forma de un lente, por lo que corresponde a la parte de igual nombre de una cámara fotográfica. Sin embargo, el cristalino es un dispositivo de enfoque automático, mientras que en la cámara el enfoque se logra moviendo el lente.

El enfoque en el ojo se realiza por medio de los músculos del cristalino, que sirven para cambiar la forma de este lente. El ojo está normalmente en descanso cuando ve objetos a distancias de 7 metros o más, los ojos se acomodan y convergen sobre las imágenes cuando trabajamos o leemos a la distancia normal de unos 35 centímetros cuando esta actividad de convergencia se sostiene por largos períodos puede ocasionar una sensación de fatiga.

Humor vítreo.

Se encuentra detrás del cristalino y llena todo el espacio restante dentro del globo del ojo. Es una masa gelatinosa cuyo propósito es trabajar en unión con el cristalino o para refractar o desviar los rayos de luz de manera que lleguen a la fovea, o cerca de esta región para la visión nocturna.

Púrpura visual.

Es una substancia fotoquímica que se encuentra en los bastones, y que bajo la acción de la luz se decolora y descompone en una serie de productos.

2.4 Como se realiza la visión

Sigamos un rayo de luz. Cuando una radiación electromagnética de longitud de onda comprendida entre 380 y 780 nm pasa a través de la córnea que es la capa transparente que protege el exterior del ojo, el rayo se dobla o refracta; de la córnea pasa a través de la pupila. La cantidad de luz que pasa a través de ella se controla automáticamente por medio de la contracción o expansión de la abertura de la pupila. La luz pasa a través de ella y a través del cristalino que enfoca los rayos a través del humor vítreo sobre la superficie de la retina. Aquí es donde los bastones y conos entran en acción, y el proceso se convierte en uno de naturaleza electroquímica. Se generan así ciertas pulsaciones que se transmiten desde los conos y bastones hasta el nervio óptico, que las lleva hasta el cerebro donde se interpretan como luz o bien donde causan la sensación de visión. El cerebro y el ojo cooperan así en la transformación de energía radiante en la sensación de vision.

2.5 Características de Visión del Ojo.

Acomodación.

Se refiere a la actividad del cristalino para enfocar.

Adaptación.

Se refiere a los cambios fotoquímicos en la sensibilidad de la retina a la luz.

Esta habilidad es la responsable de que la retina pueda ser sensible a niveles de luz tremendamente distantes entre sí, (del orden de 1,000,000 a 1).

Función del iris.

Controla la cantidad de luz que entra al ojo dentro de ciertos límites, que se encuentran en relación de 16 a 1.

Curva de eficiencia al espectro luminoso.

Indica gráficamente la habilidad relativa del ojo para valorizar la energía radiante en las diferentes longitudes de onda del espectro visible. A esta curva se le llama también la de sensibilidad del ojo. El ojo tiene su sensibilidad máxima en 555 nanómetros que constituye la porción amarillo-verdosa del espectro visible. La sensibilidad del ojo disminuye conforme la longitud de onda se acorta o se alarga. Cuando se evalúa el flujo radiante expresado en watts de acuerdo con la curva de eficiencia luminosa y se multiplica por una constante, el resultado es el flujo luminoso, que se expresa en lúmenes.

Efecto de purkinje.

La curva de sensibilidad normal (fotópica) del ojo se basa en el efecto combinado de la visión con los bastones y los conos. Sin embargo, a niveles muy bajos de iluminación, donde la luminancia es del orden de 0.01 a 0.001 footlamberts, ya que no pueden funcionar los conos por lo que los bastones toman a su cargo el proceso completo de visión. Al entrar en acción únicamente los bastones (visión escotópica) se vuelve efectiva una nueva curva de sensibilidad cuya forma es la misma que la normal, pero

que se encuentra desplazada 50 nm hacia el extremo azul del espectro. A esto se la llama el efecto de Purkinje. Ver Fig. 2 - 7.

Campo visual.

El campo visual normal se extiende aproximadamente 180 grados en el plano horizontal y 130 grados en el vertical, 60 grados sobre la horizontal y 70 por debajo. La fovea subtiende un ángulo de cerca de dos grados y ésto constituye el campo central.

Los límites de este campo que se consideran más efectivos están normalmente comprendidos entre el límite exterior del campo central hasta un círculo aproximadamente a 30 grados del eje óptico. Ver Fig. 2-8.

2.6 Combinación de luz y visión

La Luz y la Visión son interdependientes

Un ojo perfecto en absoluta obscuridad no es más efectivo que un ojo ciego. A fin de recomendar y aplicar la luz como la visión deben ser tomadas en cuenta.

Visión cercana y visión lejana.

La distancia normal de visión en la cual el ojo esta prácticamente en descanso es de 7 metros o más. Sin embargo, la mayor parte de las tareas desarrolladas por el ojo se llevan a cabo aproximadamente a 35 centímetros de distancia.

Objetos grandes y pequeños.

Muchas tareas del campo y el trabajo de leñadores y tramperos son trabajos relativamente simples para el ojo, comparados son la contabilidad, reparación de relojes, la costura o la lectura.

Horas con luz de día y horas de noche.

En la antigüedad, el día normal para la vida del hombre comprendía desde que el sol salía hasta que se ocultaba. Pero actualmente después de un día normal de trabajo el hombre continúa usando sus ojos a horas avanzadas de la noche y comúnmente bajo luz

artificial, leyendo en casa, viendo películas y la televisión, manejando su coche a altas velocidades, y llevando a cabo múltiples tareas que involucran la visión. Por tanto, en la actualidad el ojo tiene muchas horas mas de trabajo y menos de descanso.

Niveles de iluminación diurna y niveles de iluminación eléctrica.

Los niveles de iluminación durante el día son cientos e incluso miles de veces mayores que los que se encuentran bajo condiciones de iluminación artificial. Ver Fig. 2-9. Estos niveles pueden valorarse por medio de un medidor de luxes o footcandles encontrándose los siguientes valores representativos:

Exteriores

- A campo abierto, a medio día en el verano; 7,000 a 10,000 footcandles.
- A la sombra de un árbol a medio día, aproximadamente 1,000 footcandles.
- En un pórtico o terraza a medio día en el verano, varios cientos de footcandles.
- Día nublado, en cualquier estación, poco más de 200 footcandles.

Interiores

Aquí las lecturas en luxes o footcandles están en el extremo inferior de la escala. Los niveles encontrados en oficinas, fábricas, tiendas, escuelas y hogares están comprendidos entre 5 y 200 footcandles. Por tanto, vemos que al leer, estudiar y coser las condiciones de iluminación son muy inferiores en nivel a aquéllas proporcionadas por la naturaleza aún a la sombra de un árbol.

Cambios de los Ojos con la Edad

Cambios fisicos (presbicia). A los 40 o más años de edad existen a menudo una disminución gradual en la elasticidad del cristalino, de manera que los músculos no pueden cambiar la forma del lente para una buena visión de cerca. Este defecto puede corregirse utilizando anteojos y un mayor nivel de iluminación ayuda grandemente a la gente de edad a ver mejor.

La Fig. 2 – 10 muestra el porcentaje de defectos que van aumentando con la edad.

Elementos de la Visión (Fig. 2 - 11)

Puede hacerse muy poco con nuestros ojos excepto agudizar la visión por medio del uso de anteojos.

Luz

Objeto (tarea)

Factores relativos a la visibilidad de una tarea.

Tamaño.

Es una función de las dimensiones del detalle mínimo y la distancia del ojo a la tarea. Este factor se denomina más adecuadamente tamaño visual. Ver Fig. 2 - 12.

Contraste.

Es la diferencia en luminancia entre el fondo y el detalle mínimo. Ver Fig. 2 - 13.

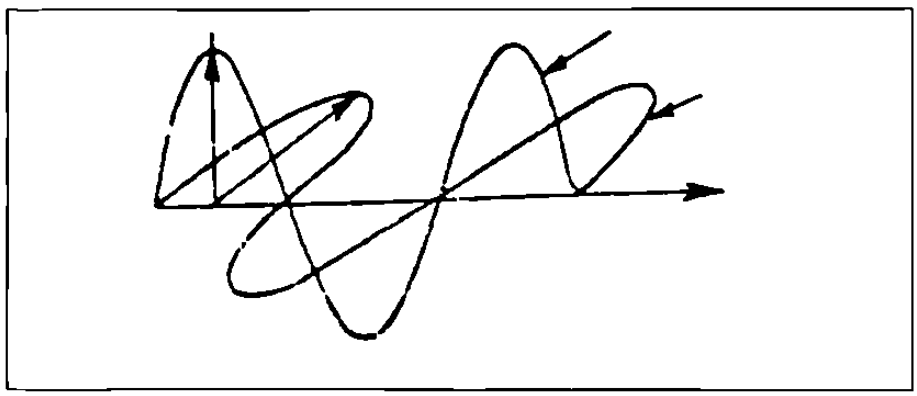
Luminancia.

Depende de la cantidad de luz reflejada por una superficie, o bien de la cantidad de luz emitida por una superficie. Este es el factor en la visión que puede controlarse fácilmente cambiando el nivel de iluminación. Ver Fig. 2 – 14.

Tiempo.

El fenómeno de visión no es instantáneo; una cantidad mayor de luz significa una visión rápida. Ver fig. 2 -15.

Longitud de onda **Campo eléctrico**



Campo magnético.

Dirección del flujo de energía

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERIA EN ILUMINACION

(Estudio Blackwell)

Este es el más moderno estudio para determinar la iluminación requerida a fin de obtener resultados óptimos en el trabajo visual. Se desarrollo una técnica mas refinada para medir el comportamiento visual. Se obtuvieron nuevas curvas de luminancia constante. Ver Fig. 2-16.

Este reporte introdujo el concepto de "capacidad visual", que se refiere a la velocidad a la cual el ojo es capaz de interpretar información visual y se llama Asimilaciones Por Segundo (APS).

Este reporte aclaro el concepto de limitaciones de respuesta, encontrándose en él que las medidas alcanzaban una barrera dictada más las limitaciones en respuestas que por el ojo mismo. A fin de ajustar las condiciones de laboratorio a las de la realidad, se utiliza un factor de multiplicación de 6.67.

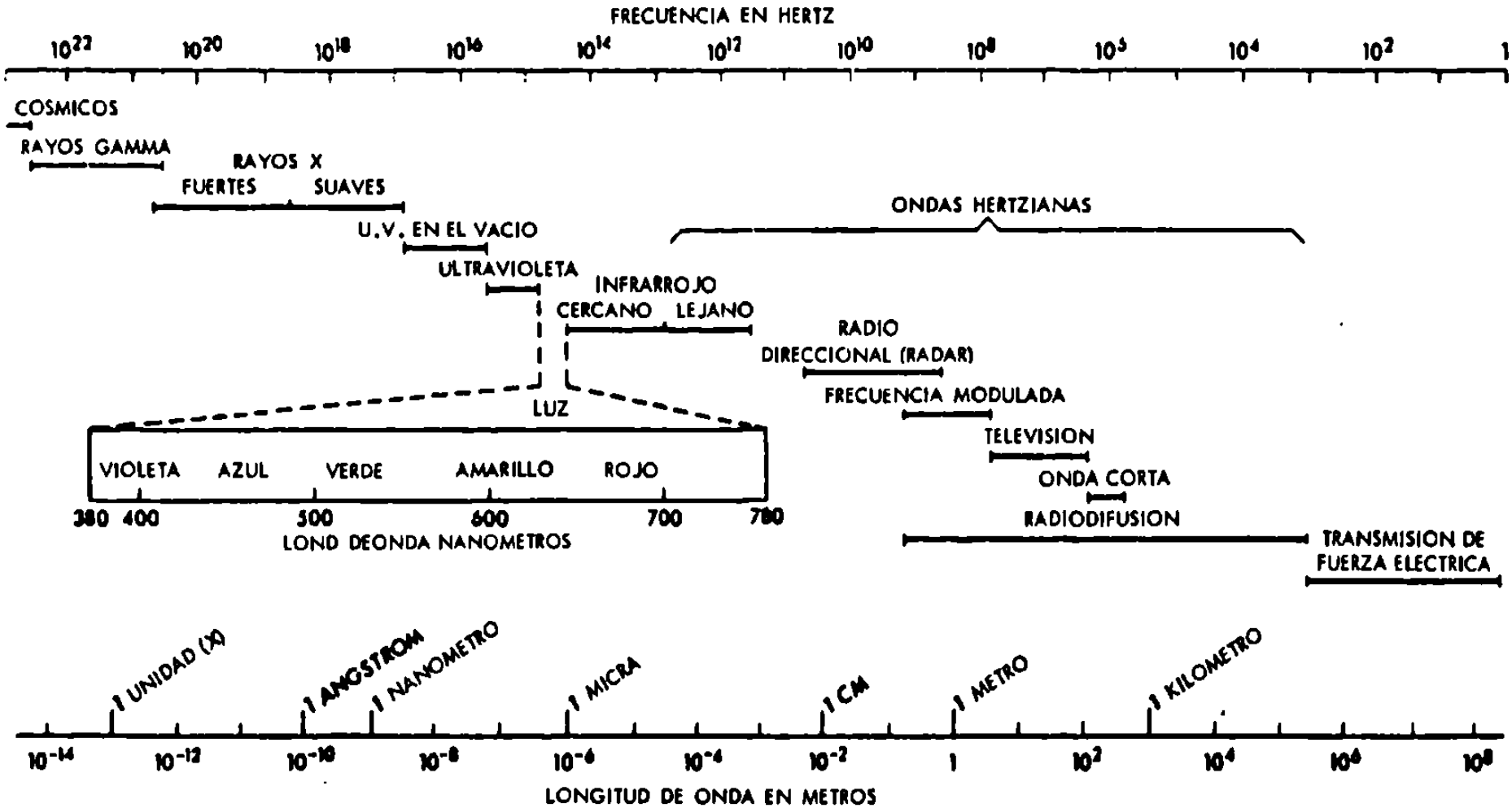


Figura 2-2.- El espectro de energía radiante o electromagnética.

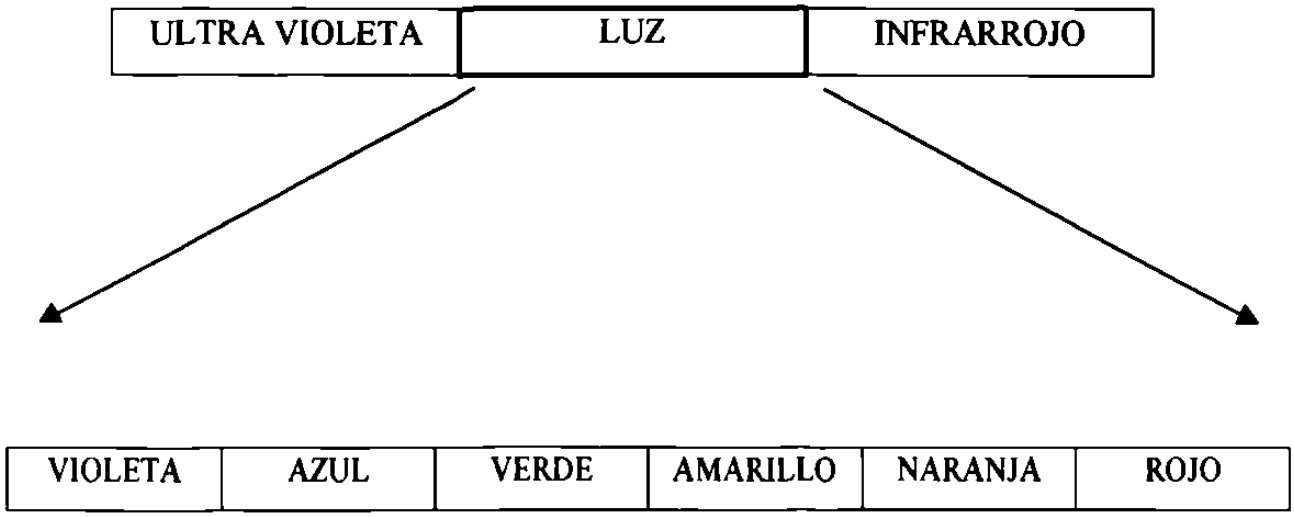


Figura 2.3.- La luz blanca del espectro visible se compone de todos los colores.

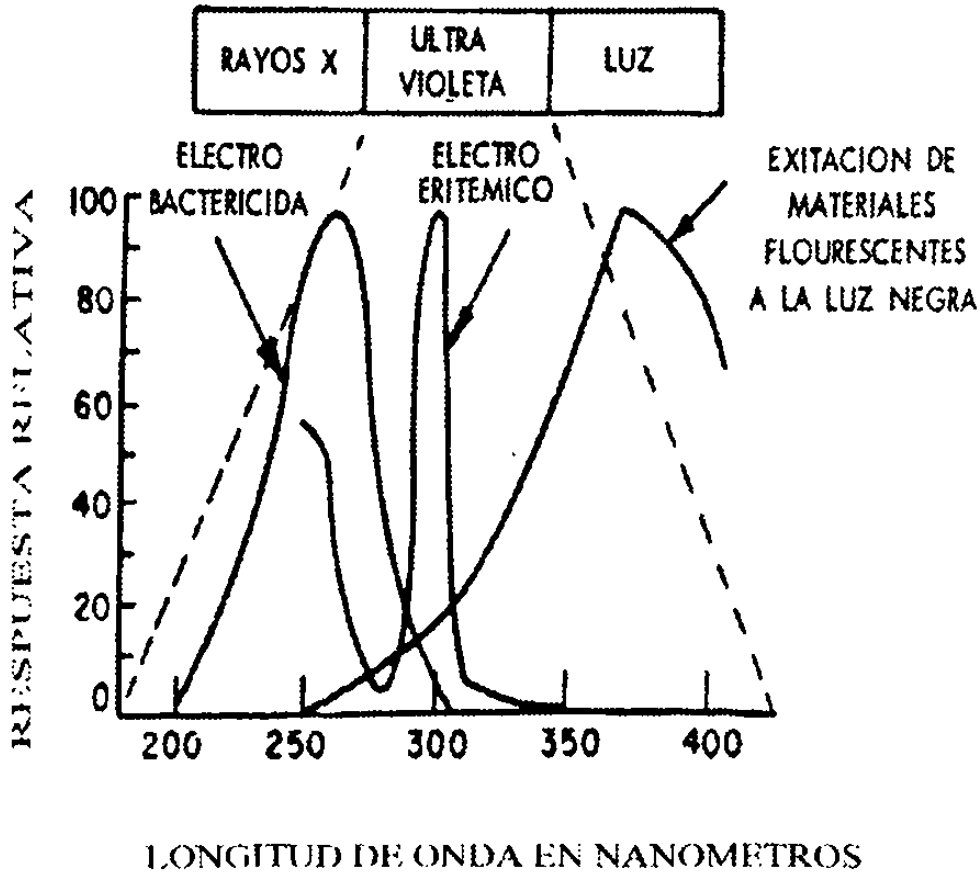


Figura 2-4.- El espectro ultravioleta.

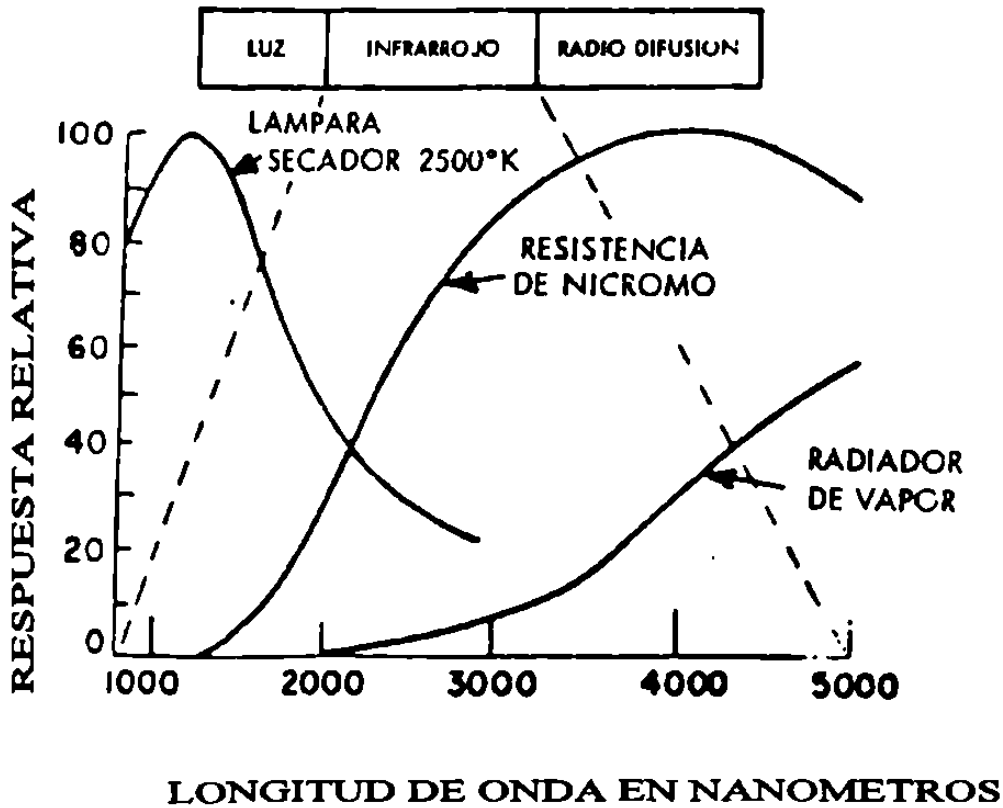


Figura 2-5.- El espectro cercano al infrarrojo.

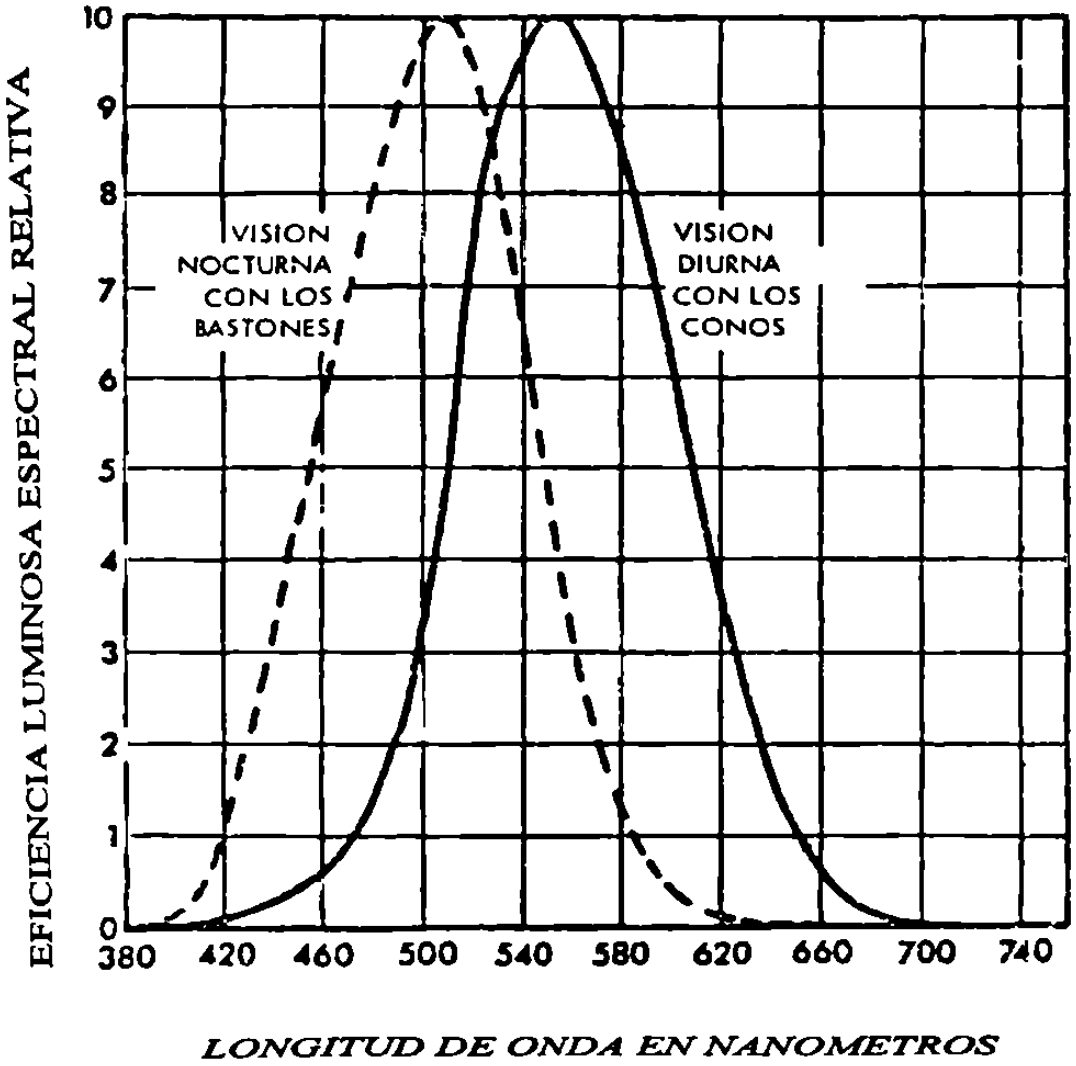


Figura 2-6.- Curvas de sensibilidad espectral relativa entre la visión diurna y la nocturna que muestra el efecto purkinje en la longitud de onda de onda de máxima sensibilidad.

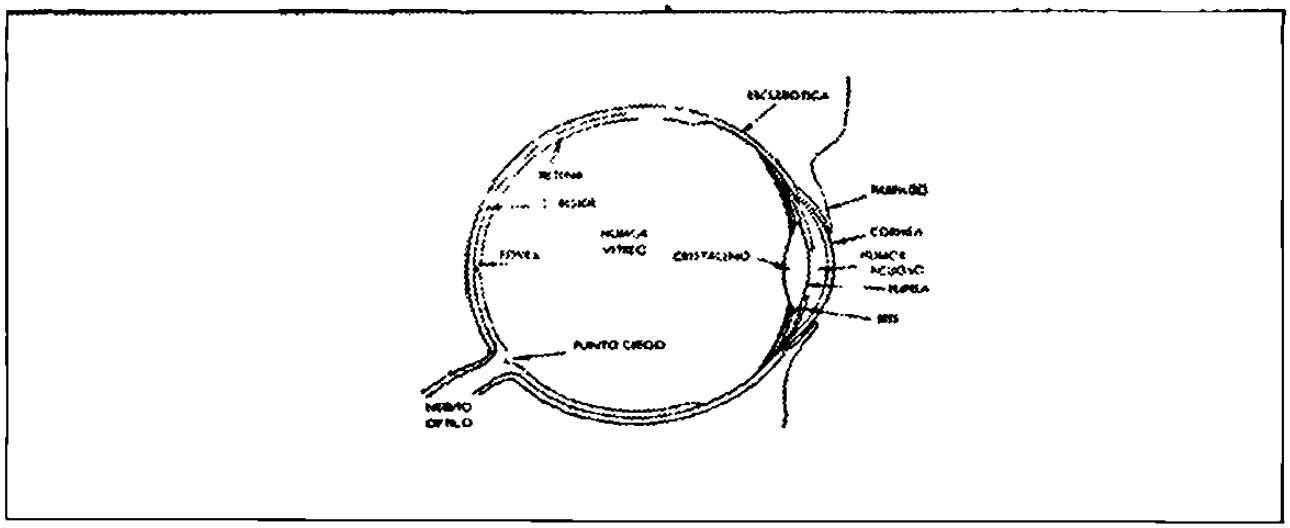


Figura 2-7.- Corte en sección del ojo.

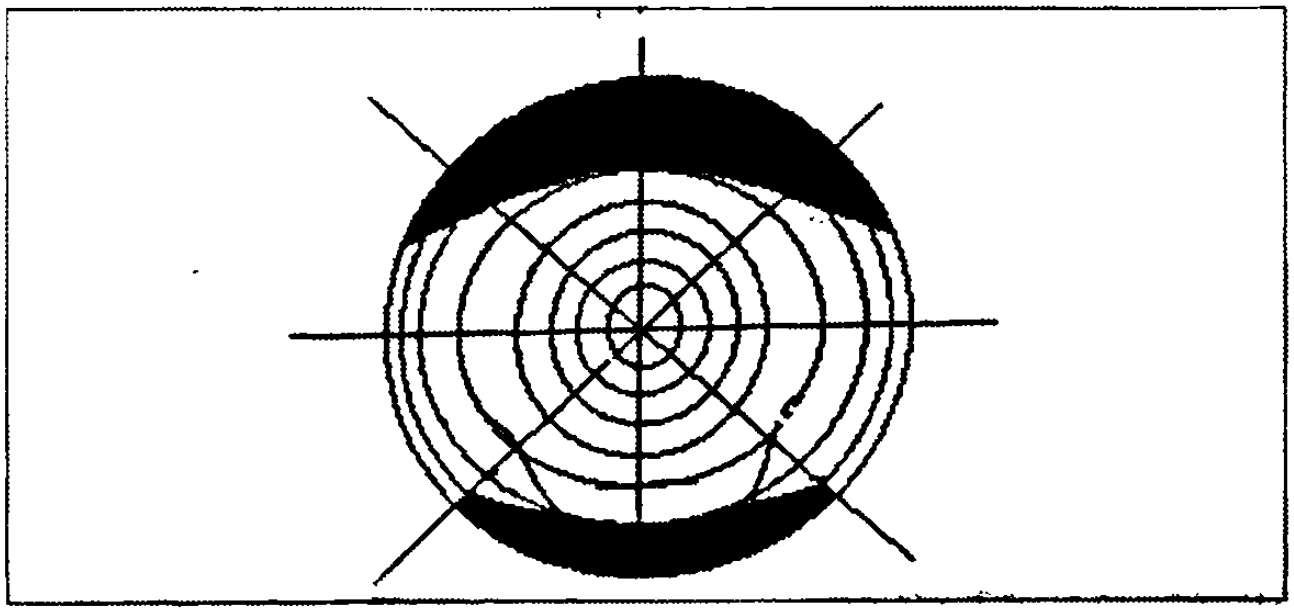


Figura 2-8.- Campo normal de visión de un par de ojos humanos.

La porción del centro (más clara) representa lo que ven ambos ojos, las sombras a la izquierda y a la derecha es lo que ve cada ojo en particular y las partes ennegrecidas son producidas por la nariz, pómulos y frente.

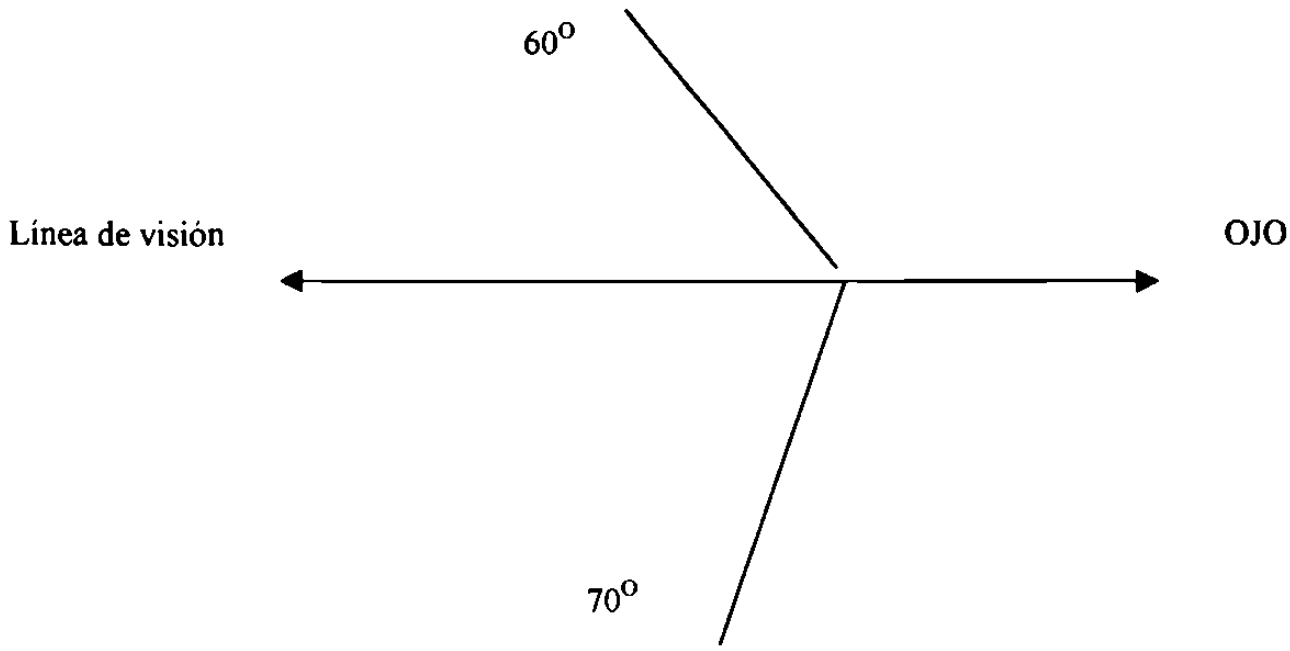


Figura 2-8.- Campo normal de visión de un par de ojos humanos.

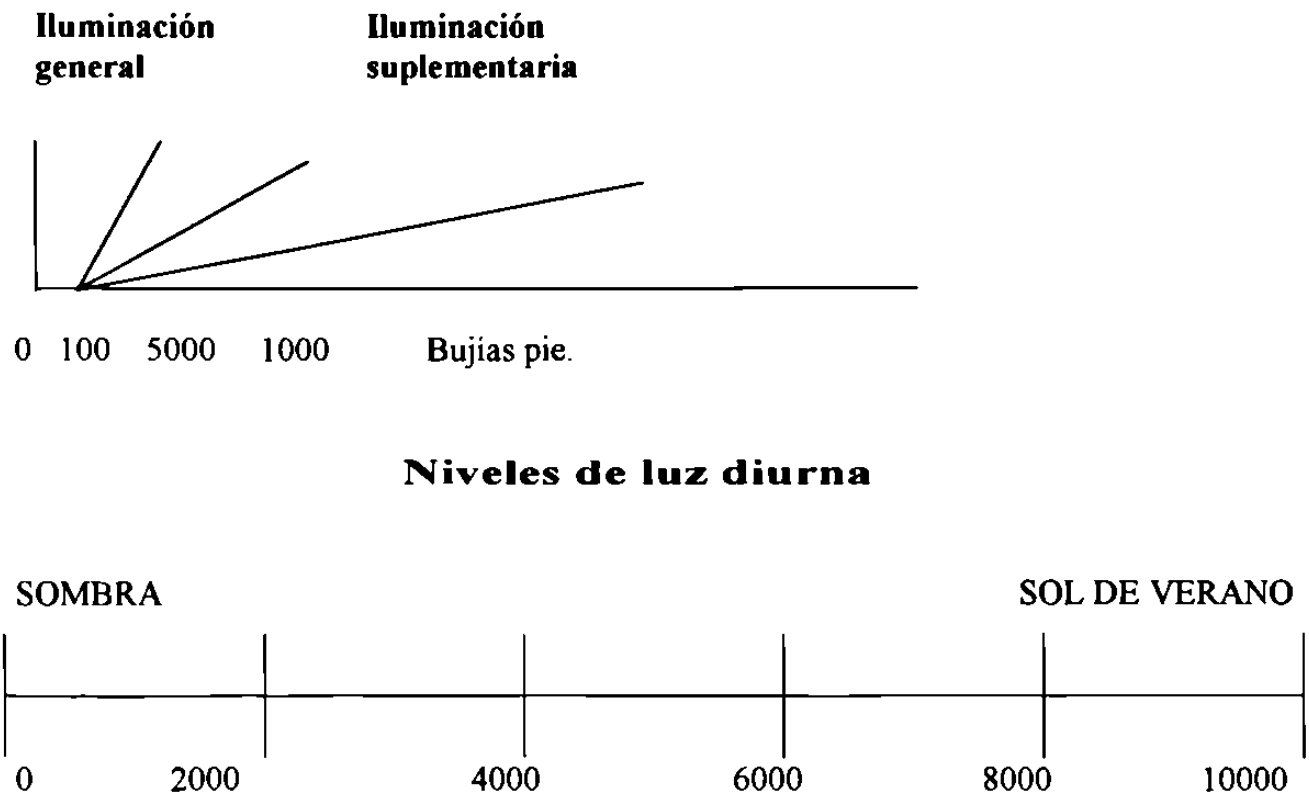


Figura 2-9.- Relación entre la iluminación eléctrica y la luz diurna.

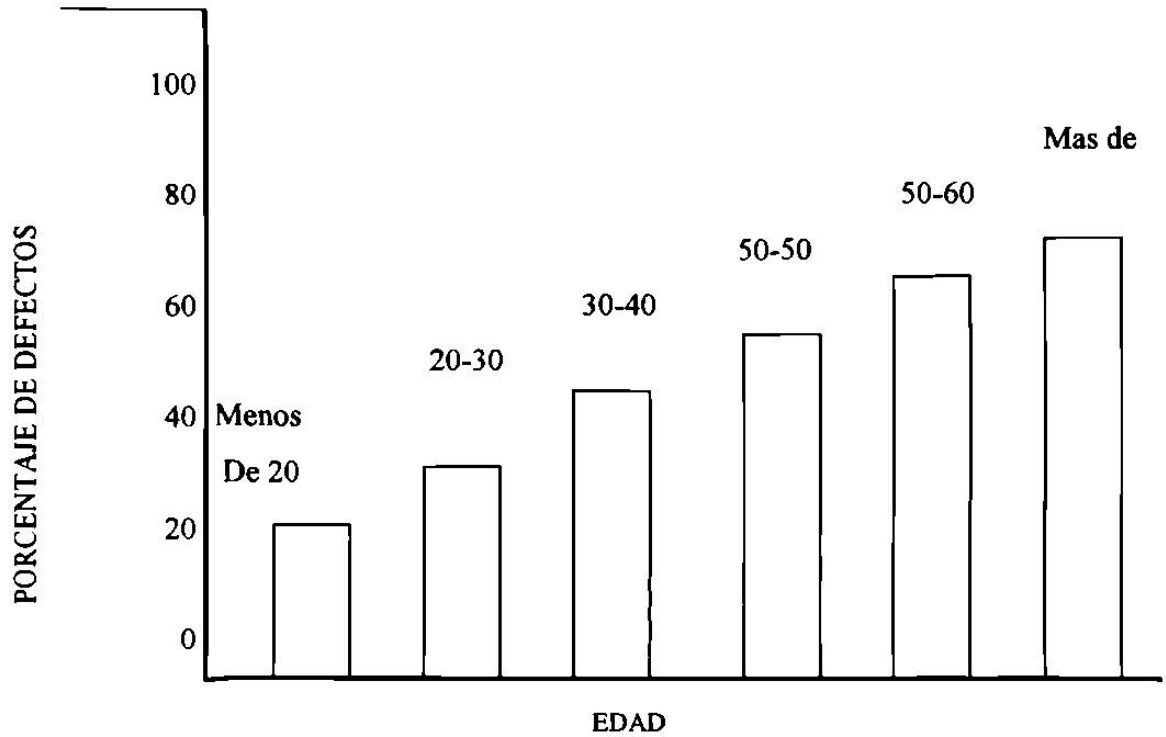


Figura 2-10.- Defectos estadísticos de la vista con la edad.

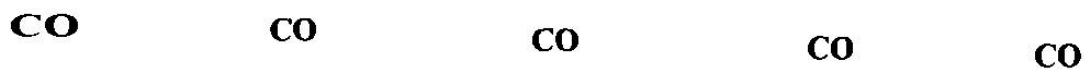


Figura 2-12.- La abertura de la letra C es el detalle crítico.

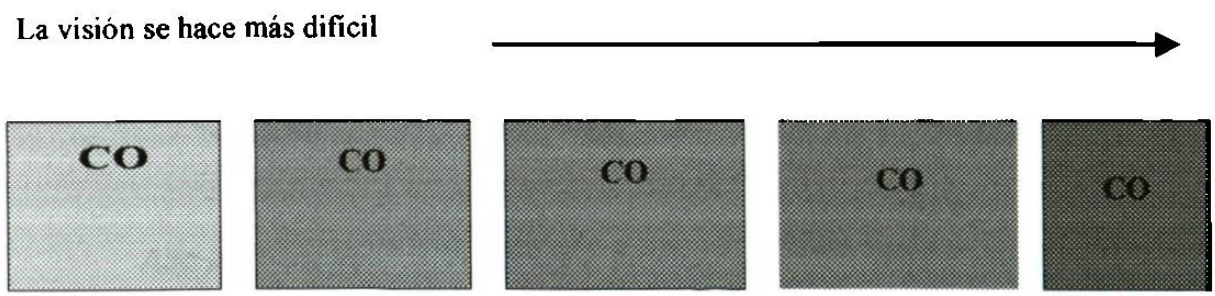


Figura 2-13.- Iluminación constante sobre superficies que reflejan diferentes cantidades de luz

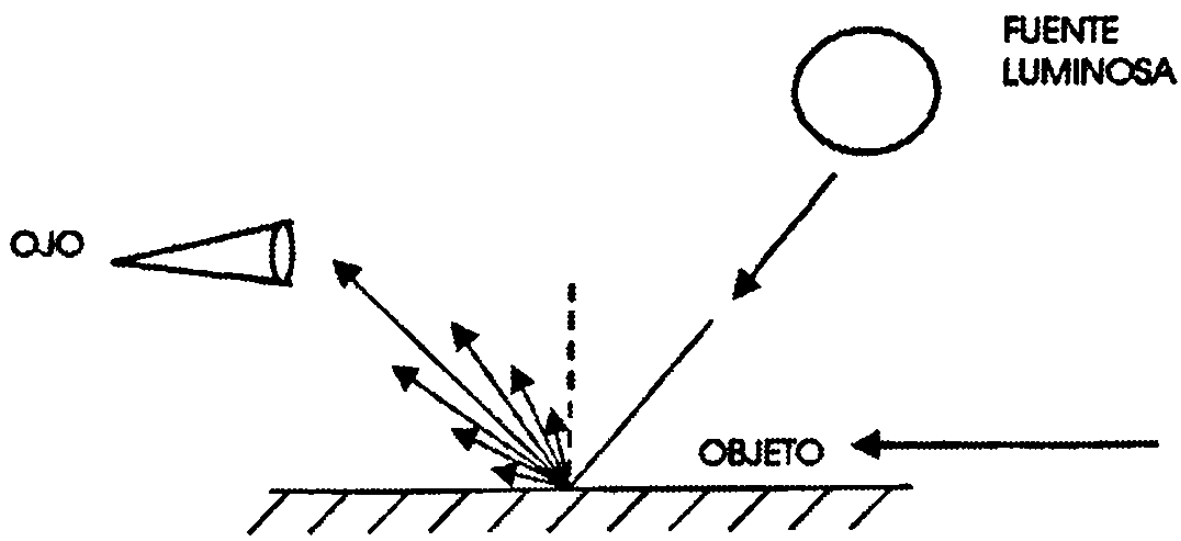


Figura 2-11 Factores de la visión

La iluminación se vuelve borrosa

Figura 2-15 Factores del tiempo en la visión

La iluminación disminuye. →

Figura 2-14 - Iluminación constante sobre superficies que reflejan diferentes cantidades de luz.

Descripción de la Tarea	Luminaria requerida Lambert-pie	Reflectancia	Iluminación requerida bujías-pie
A. Fácil.			
Sagra azul con letra de gris blanco.	0.09	0.018	5.05
Tipo imprenta de 12 puntos.	0.42	0.7	0.6
B. Normal.			
Pequeño defecto visto a 75 cms.	35.6	0.19	187
C. Difícil.			
Diferencia de colores en tela café.	100.0	0.12	370
D. Muy difícil.			
La iluminación se vuelve borrosa	151.0	0.63	241
E. Extraordinariamente difícil.			
Costura de una bolsa en tela café claro.	1000	0.53	1,891

Tabla 2-1.- Ejemplos de luminancia e iluminación requeridas en el estadio de 56 tareas prácticas realizado por el IERI.

Categoría de las tareas	Guía de luminancia en Lamberts-pie
Extraordinariamente difícil	420 o más
Muy difícil	120 – 420
Difícil	42 – 120
Normal	18 – 42
Fácil.	menos de 18.

Tabla 2-2.- Valores de luminancia para tareas típicas.

	Iluminación en bujías – pie	
Categoría de las tareas	60% de reflectancia	60% de reflectancia
Extraordinariamente difícil	Más de 700	Más de 700
Muy difícil	200 – 700	2000 – 700
Difícil	70 – 200	700 – 200
Normal	30 – 70	300 – 70
Fácil.	Menos de 30.	Menos de 30.

Tabla 2-3.- Valores de luminancia para tareas típicas.

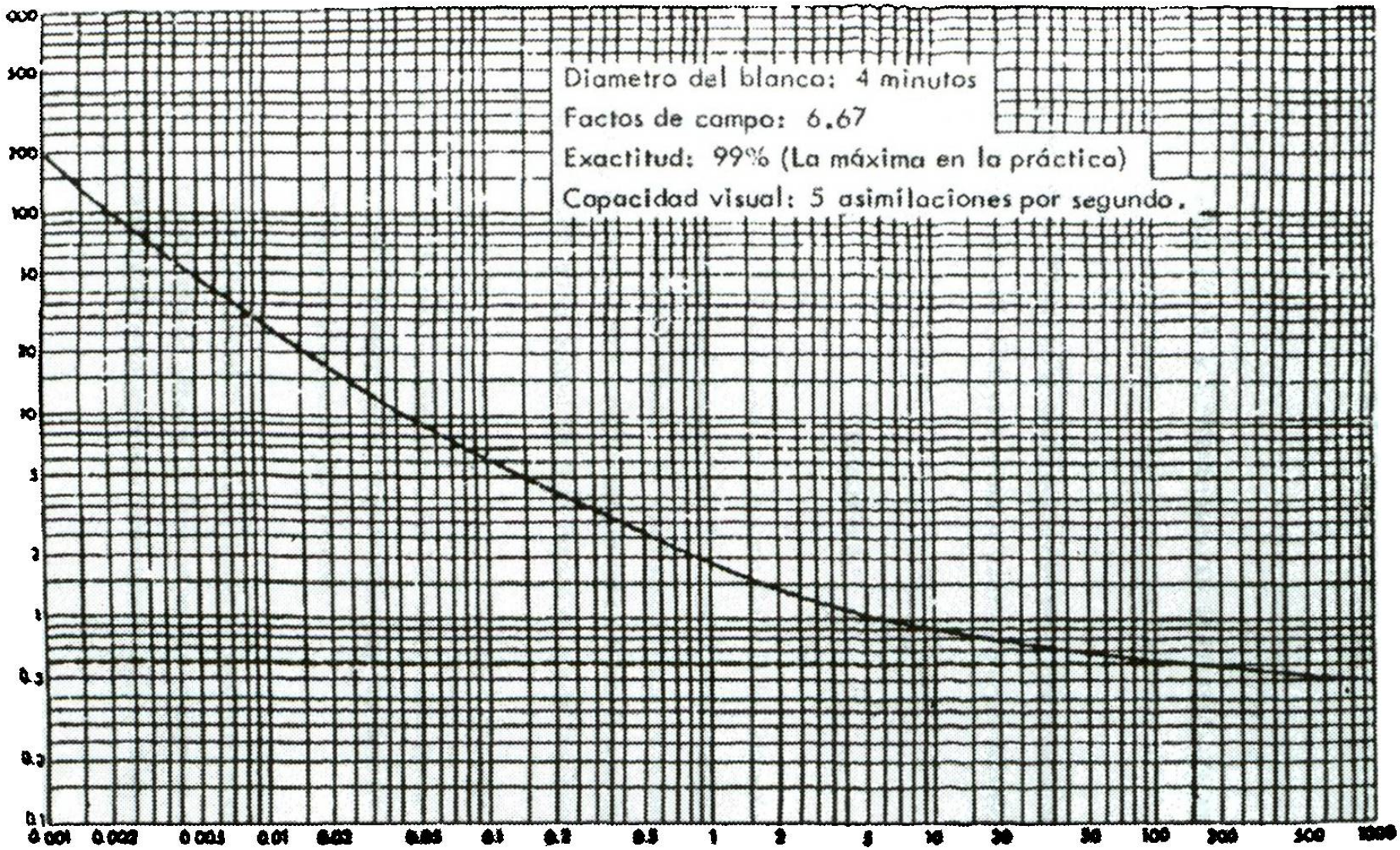


Figura 2-16 Todas las tareas desconocidas pueden relacionarse con el avaluador de tareas visuales a esta curva de un disco circular de 4 minutos. La curva se ha equilibrado para representar las condiciones del campo visual de ojos en movimiento y maxima exactitud del campo.

CAPITULO 3

TERMINOS Y UNIDADES DE ILUMINACION

El ángulo sólido (ω) se define como la relación entre el área de la esfera (A), y la raíz cuadrada del radio (R). El ángulo sólido se mide en estéreo radiantes (sr). Ver Fig. 3-1.

(Ecuación 3-1)

El flujo luminoso (ϕ) es la relación de cómo fluye la luz respecto al tiempo. La unidad de flujo luminoso es el lúmen (lm). Esta unidad lleva consigo el concepto de relación y puede considerarse similar a la relación con la cual otras cantidades fluyen; por ejemplo, galones por minuto, metro cúbicos por hora, etc. De este modo, aunque el tiempo no se indica en la unidad de flujo luminoso, queda implícito en ella dicho concepto.

Ejemplo: Una lámpara incandescente de 100 watts emite luz a razón de 1750 lúmenes, mientras que el flujo luminoso de una lámpara fluorescente de 40 watts es de cerca de 3,200 lúmenes.

Nota: Es posible utilizar la idea de un lumen sin involucrar al concepto tiempo. El concepto de relación de flujo respecto al tiempo no se utiliza en los cálculos de iluminación que comúnmente realizan en la práctica.

Se define la intensidad luminosa (I) como la densidad de flujo a través de un ángulo sólido en una dirección determinada. La unidad utilizada para medir la intensidad luminosa es la candela (cd).

(Ecuación 3-2)

La potencia en candelas y la intensidad luminosa son términos descriptivos que se aplican en forma parecida. Desde un punto de vista operativo, la potencia en candelas o la intensidad luminosa indica la capacidad de una fuente luminosa para producir iluminación en una dirección determinada.

Se denomina iluminación (E) a la densidad de flujo luminoso incidente. Cuando la unidad de flujo es el lúmen y el área esta expresada en pies cuadrados, la unidad de iluminación es la bujía – pie o footcandle (fc). Cuando el área esta expresada en metros cuadrados, la unidad de iluminación es el lux (lx). Ver Fig. 3-1.

(Ecuación 3-3)

Se llama brillantez fotométrica o luminancia (L) al flujo luminoso por unidad de área proyectada y por unidad de ángulo sólido, ya sea que proceda de una superficie en un punto dado con una dirección determinada, o bien llegar a un punto y desde una dirección determinados. Cuando la unidad de flujo luminoso es el lambert- pie o footlambert (fL). Se define también la luminancia como la intensidad luminosa de una superficie en una dirección determinada por unidad de área proyectada de dicha superficie, vista desde esa dirección. Cuando la intensidad luminosa se expresa en bujías y el área se expresa en pulgadas cuadradas, la unidad es la bujía o candela por pulgada cuadrada cd/in^2 . La relación entre los lamberts-pie y las bujías por pulgada cuadrada es:

$$1\ Cd / in^2 = 144\ fl = 452\ fl \qquad \text{(Ecuación 3-4)}$$

La brillantez subjetiva es un atributo de la sensación de luz que da origen a la percepción a la intensidad luminosa, e inclusive toda la escala de calidad, pudiendo ser brillante, claro, tenue, u obscuro.

Nota: a menudo se utiliza el término "brillantez" al referirse a la "brillantez fotométrica", que es mensurable. A pesar de que generalmente las explicaciones aclaran el significado de la palabra que se utiliza, es preferible a la unidad fotométrica como luminancia, reservando el término brillantez para la sensación subjetiva.

3.1 DEFINICIONES:

Reflectancia.

El ingeniero en iluminación se interesa mucho en la luz reflejada total, de manera que define reflectancia como:

$$\rho = \frac{\text{luz total reflejada}}{\text{luz total incidente}}$$

$$\rho = \text{para superficies difusas} = L/E$$

Nota: La luz reflejada es luminancia en Lamberts-pie; la luz incidente es iluminación en bujías-pie. Dado que los lamberts –pie son lúmenes reflejados por pie cuadrado, el medidor de bujías -pie puede utilizarse para medir aproximadamente la luz reflejada cuando la superficie es perfectamente difusa. La luz incidente se mide directa y exactamente en bujías –pie con un medidor de bujías-pie.

Transmitancia.

$$\tau = \frac{\text{luz total transmitida}}{\text{luz total incidente}}$$

$$\tau = \text{para un medio difusor} = L/E$$

Nota: El medidor de bujías-pie puede utilizarse para medir la transmitancia dentro de los límites parecidos a los mencionados anteriormente.

También: $L \ (\rho)\ (E)$ (Ecuación 3-5)

$L = (\tau)\ (E)$ (Ecuación 3-6)

La eficiencia luminosa de una fuente de luz es la relación entre el flujo total emitido por esa fuente y el suministro total de la potencia de la fuente. En el caso de una lámpara eléctrica, la eficiencia se expresa en lúmenes por watt (lm / W).

Temperatura de color.

La temperatura de color de una fuente luminosa es aquella a la cual debe operarse de cuerpo negro radiante para tener la misma apariencia de color que la fuente luminosa. La temperatura de color es solamente una especificación de la apariencia de color y no tiene nada que ver con la distribución de energía de la fuente luminosa. Sin embargo, la mayoría de las lámparas incandescentes de filamento, además de tener la misma apariencia de color que un cuerpo negro, tienen una distribución de energía similar a la del cuerpo negro. Aunque la distribución de energía de las lámparas fluorescentes no se aproxima a la del cuerpo negro, se les designa con una temperatura de color en forma similar. El cuerpo negro radiador sirve como norma de laboratorio Kelvin (K).

3.2 Leyes de iluminación.

La ley del inverso de los cuadrados establece que la iluminación (E) de una superficie varia directamente con la potencia de bujías (I) de la fuente e inversamente con el cuadrado de la distancia (D) entre la fuente y la superficie. La ley del inverso de los cuadrados se refiere solo a fuentes puntiformes.

$$E_{Normal} = I/D^2 \qquad \text{(Ecuación 3-7)}$$

En la figura 3-2

$$E_1 = I/(D_1^2) = 100/1 = 100f$$
$$E_2 = I(D_2^2) = 100/4 = 25fc$$
$$E_3 = I/(D_3^2) = 100/9 = 11.1fc$$

Concepto de lumen.

La ley del inverso de los cuadrados puede también derivarse desde el punto de vista de un flujo luminoso. Supongamos, como en la Fig. 2-3, que hay varias superficies esféricas subtendidas por un ángulo sólido unitario. Si estas áreas están separadas respectivamente uno, dos y tres pies del centro, las áreas serán respectivamente uno, cuatro y nueve pies cuadrados. Supongamos ahora que el centro contiene una fuente puntiforme de 100 bujías de intensidad. Ya que el flujo luminoso se define como = (I) (ω) los lúmenes contenidos en el ángulo sólido unitario son **I** . ω , o sea (100) (I) = 100 . La iluminación se define también como el flujo luminoso incidente por unidad de superficie. Cuando está en lúmenes y A está en pies cuadrados, la iluminación esta dada en bujías-pie.

$$E = \phi / A$$

Entonces $E = \phi / A = 100 / 1 = 100$ fc

Entonces $E_2 = \phi / A_2 = 100 / 4 = 25$ fc

Entonces $E_3 = \phi / A_3 = 100 / 9 = 11.1$ fc

Como se ve, estos resultados coinciden con los obtenidos utilizando el concepto de potencia en bujías. Este último se utiliza para determinar la iluminación en un área muy pequeña o bien, en un punto. El concepto de lúmen se utiliza cuando el área es grande.

Nota: Se habla de iluminación promedio cuando el flujo luminoso no está distribuido uniformemente en un área.

3.3 Conclusiones y suposiciones.

Cualquier punto de una superficie esférica que equidiste de una fuente luminosa cuya intensidad sea uniforme, tendrá el mismo valor de iluminación. La palabra punto se utiliza en el sentido de que se trata de un área pequeña pero finita.

Cualquier área esférica equidistante de una fuente luminosa uniforme tendrá el mismo valor de iluminación. En cualquier caso, ya sea que el concepto del lúmen o bien el de potencia de bujías el que se utilice la iluminación a la misma distancia ya sea sobre un punto o sobre un área es la misma.

La ley del inverso de los cuadrados se aplica a fuentes puntiformes y desde el punto de vista práctico puede aplicarse sólo si la distancia es mayor de cinco veces la dimensión maxima de la fuente luminosa. Esta ley sirve para medir solo la iluminación directa de la fuente.

La iluminación proveniente de más de una fuente luminosa se añade aritméticamente:

$$E_{TOTAL} \quad E_1 + E_2 + E_3 \mathrm{K} \qquad \text{(Ecuación 3-8)}$$

La ley del coseno establece que la iluminación en cualquier superficie varía de acuerdo al coseno del ángulo de incidencia (formado por la línea normal a la superficie y la dirección de la luz incidente. Ver Fig. 3-4.

$$E_\theta = (I / \overset{2}{D})(\cos_\theta) = (E_{normal}(\cos_\theta) \qquad \text{(Ecuación 3-9)}$$

Concepto de lumen.

La ley del coseno puede también derivarse desde el punto de vista del flujo luminoso. Esto puede comprenderse fácilmente si consideramos una pirámide recta cuyo vértice está constituido por un ángulo sólido de un estereorradian, y cuya base tiene un área de pie cuadrado (ver Fig. 3-5).

La altura de la pirámide es la normal a la base. Si suponemos que el vértice contiene una fuente puntiforme cuya intensidad es de 100 bujías, el ángulo sólido contiene (ϕ = **I.** ω) 100 lúmenes; la iluminación en la base (E = ϕ / A) es 100 fc. Cuando el plano que contiene a la base se gira hasta un cierto ángulo ϕ, como lo indica la Fig. 3-5, el ángulo sólido interceptará un área (A) igual al área (A)de la base dividida por el coseno del ángulo que ésta giró (A ' = A / cos $_\theta$).

Así pues:

$$E = \phi / A' = (\phi / A)(\cos_{\theta})$$

3.4 Control de la iluminación.

Materiales.

- Los materiales que se utilizan en el control de la luz son opacos, transparentes y translúcidos.
- Los materiales transparentes transmiten prácticamente la totalidad de la luz; los objetos pueden verse a través de ellos. La parte superior de algunos recipientes de cristal es transparente.
- Los materiales translúcidos pueden también transmitir la luz, pero la dispersan o difunden, de modo que los objetos no pueden verse claramente a través de ellos. Estos materiales encuentran aplicación en elementos luminosos y de iluminación, e incluyen cristales y plásticos opalescentes, esmaltados y configurados.
- Los materiales opacos no transmiten la luz, pero sirven para reflejar y absorber parte de la luz. Estos materiales incluyen los metales pulidos y las superficies con acabados de espejo o especulares.

Control de los rayos Luminosos

La luz viaja en línea recta hasta que encuentra alguna forma de interferencia. Al encontrar una interferencia, el rayo de luz se refleja, se transmite, o bien, se absorbe; si se refleja, se transmite, puede polarizarse.

Reflexión regular o especular.

Se caracteriza por el hecho de que el rayo llega a la superficie y sale de ella con ángulos iguales, o sea que el ángulo de incidencia (i) es igual al ángulo de reflexión (r). Ver Fig. 3-6.

Materiales: Espejos y metales altamente pulimentados.

Usos: Reflectores concentrados de luz, reflectores industriales para alto montaje, lámparas de proyección con espejo integral plateado.

Reflexión difusa.

Se caracteriza porque la luz reflejada sale de la superficie en todas direcciones, y puede clasificarse como:

Reflexión Extendida, que es cuando la luz se dispersa en todas direcciones aunque sigue una dirección general, según se ve la Fig. 3-7.

Materiales: Esmalte horneado, metales cepillados, pintura blanca mate.

Usos: Reflectores de rayos medianamente extendidos.

Reflexión Mixta, que tiene mezcladas las características reflejantes tanto espectaculares como difusas, según se ve en la Fig. 3-8.

Materiales: Esmalte porcelanizado, pintura de alto brillo.

Usos: Reflectores industriales.

Reflexión Difusa Completa, que se caracteriza porque la luz sale de la superficie en todas direcciones independientemente de la dirección de incidencia. Este tipo de superficie sigue aproximadamente la ley de Lambert ($I_\theta = I_{NORMAL} \cos_\theta$). Ver Fig. 3-9.

Materiales: Papel secante, pinturas mate.

Usos : Acabados de pintura en cuartos y equipos.

Transmisión.

Este concepto se refiere al paso de la luz a través de un medio, de cuyas características dependerá que la luz se modifique en cuanto al color, intensidad y dirección.

Refracción. Se llama así al cambio de dirección de los rayos luminosos al pasar de un medio a otro. Ver Fig.3-10.

Tipos. Prismas, lentes, lentes Fresnel, o escalonados.

Usos. Dondequiera que se necesite un control definido, como la iluminación de oficinas, pizarrones, tableros de medición y pinturas.

Transmisión difusa. Se llama así a la dispersión de la luz transmitida en todas direcciones. Extensión. Ver Fig. 3-11.

Metodos para extender la luz:

Tratamiento de la superficie de los plásticos o cristales como esmerilado, acanalado y otros.

Usos: Para ocultar las fuentes luminosas, para aumentar el extendimiento del rayo luminoso, o para modificar la distribución de la potencia luminosa del equipo de iluminación.

Difusión Completa. Se llama así cuando la luz transmitida sigue la Ley de Lambert ($I_\theta = I_{NORMAL} \quad \cos_\theta$). Ver Fig. 3-12.

Materiales: Vidrio blanco y varios plásticos, especialmente cuando estos materiales tienen una transmitancia aproximada del 50 por ciento o menos.

Usos: Distribución amplia de luz y donde se requiere una brillantez uniforme en los materiales transmisores.

Absorción.

Todas las substancias absorben la luz en mayor o menor proporción; un cuerpo que absorbe la totalidad de la luz se llama "cuerpo negro". Este cuerpo es la base para la clasificación de temperaturas de color. (Ver Temperatura de Color, mencionando anteriormente). Existen varios dispositivos de iluminación localizada en los cuales se ponen en pantallas negras para absorber la luz.

Polarización.

Se llama luz polarizada aquella en la cual todas las ondas vibran en un solo plano. Se utiliza luz polarizada para probar los esfuerzos en materiales transparentes y para efectos tridimensionales en las películas. Se utiliza también para reducir el deslumbramiento por reflejos producidos en superficies brillantes, y para reducir pérdidas de contraste en las tareas visuales que son ocasionadas por reflejos que impiden ver claramente.

3.5 Medición de la luz y medidores

Equipo de Laboratorio

Fotometro de distribucion.

Sirve para medir la potencia en bujías de una fuente luminosa en todas direcciones. Los datos así obtenidos sirven para determinar las curvas de distribución de la potencia en bujías.

Esfera integradora.

Se utiliza para medir los lúmenes totales de una fuente luminosa, cuya eficiencia se determina por éste medio.

Medidores de bujia – pie o luxes.

Hoy día éstos medidores están constituidos por celdas de capas que son sensibles a la luz, cuya indicación se determina por un pequeño medidor; estando el conjunto alojado en una caja adecuada.

Medidores de luminancia

Medidor de bujias – pie.

Se utiliza para obtener lecturas aproximadas de luminancia en superficies o fuentes totalmente difusas.

Medidor fotoelectrico de luminancia.

Utiliza celdas de varias capas, fotomultiplicadores y circuitos electrónicos.

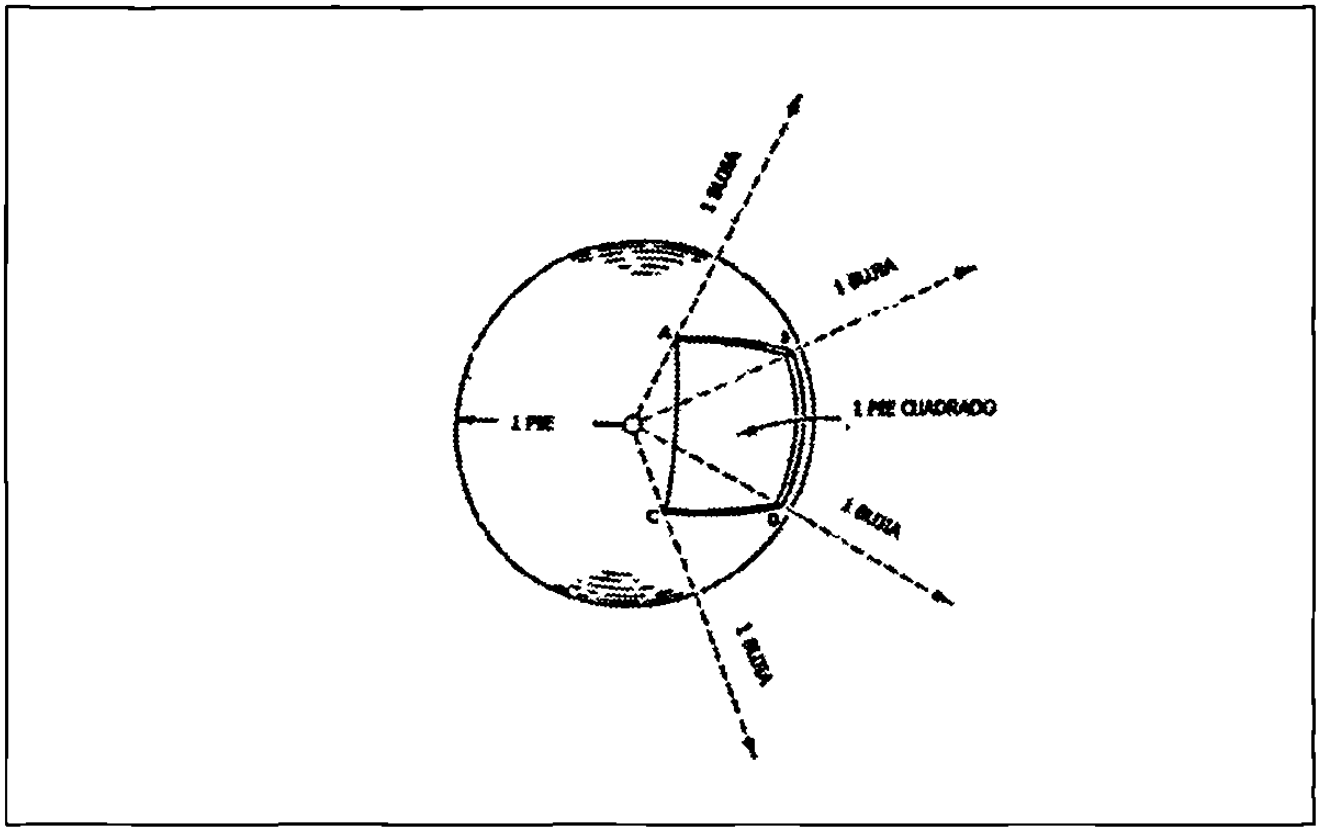


Figura 3-1.- Relación que existe entre un área esférica su radio y el ángulo sólido, el ángulo sólido subtendido por el área A,B,C,D, es de un estereorradian (ángulo sólido área esférica/radio 2) en un esfera hay 4 esterradiantes.

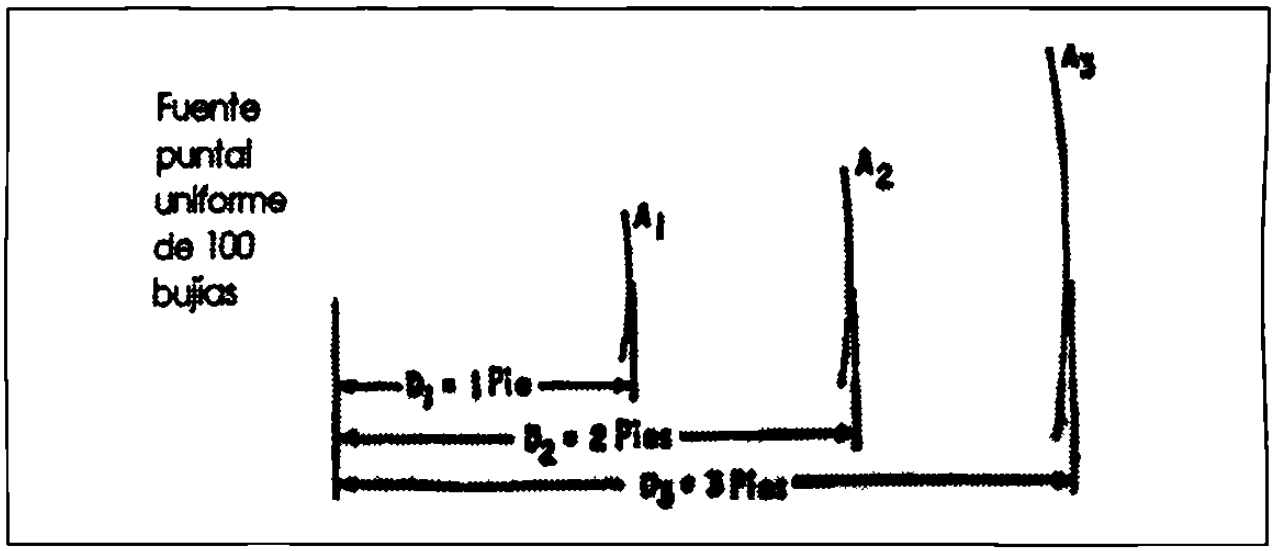


Figura 3-2.- Ley Cuadrática Inversa.

Iluminación normal sobre un punto (área finitamente pequeña), las superficies de todo los puntos son perpendiculares a la dirección de la energía, cuando las superficies se vuelven muy pequeñas, puede suponerse que son planos sin detrimento notable en la exactitud.

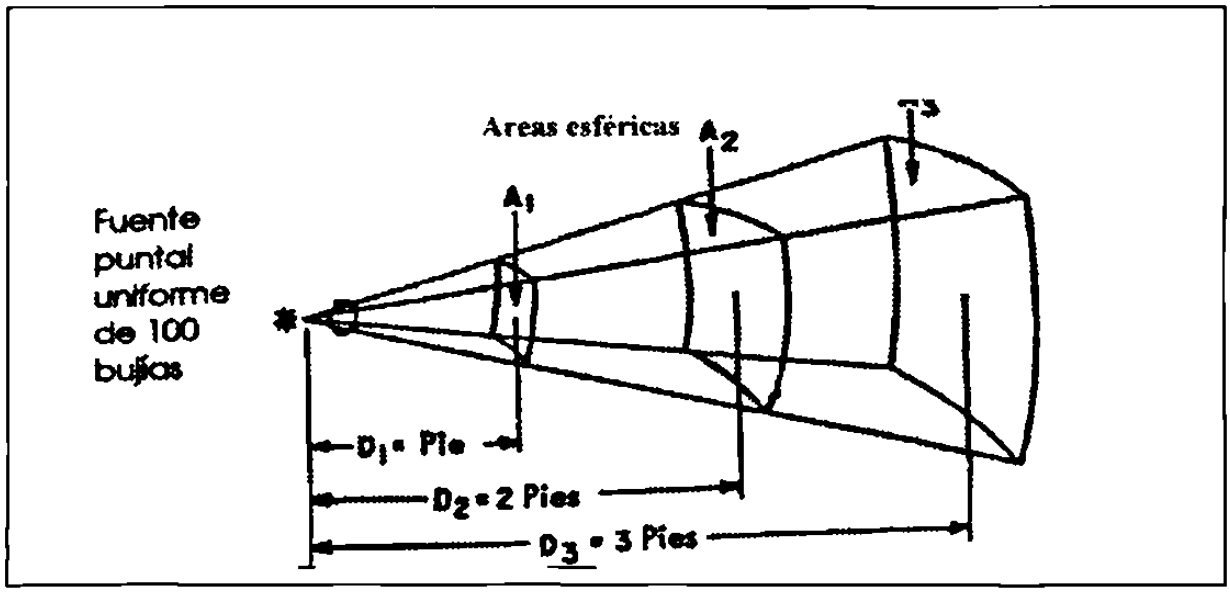


Figura 3-2.- Ley Cuadrática Inversa.

Iluminación sobre superficies esféricas.

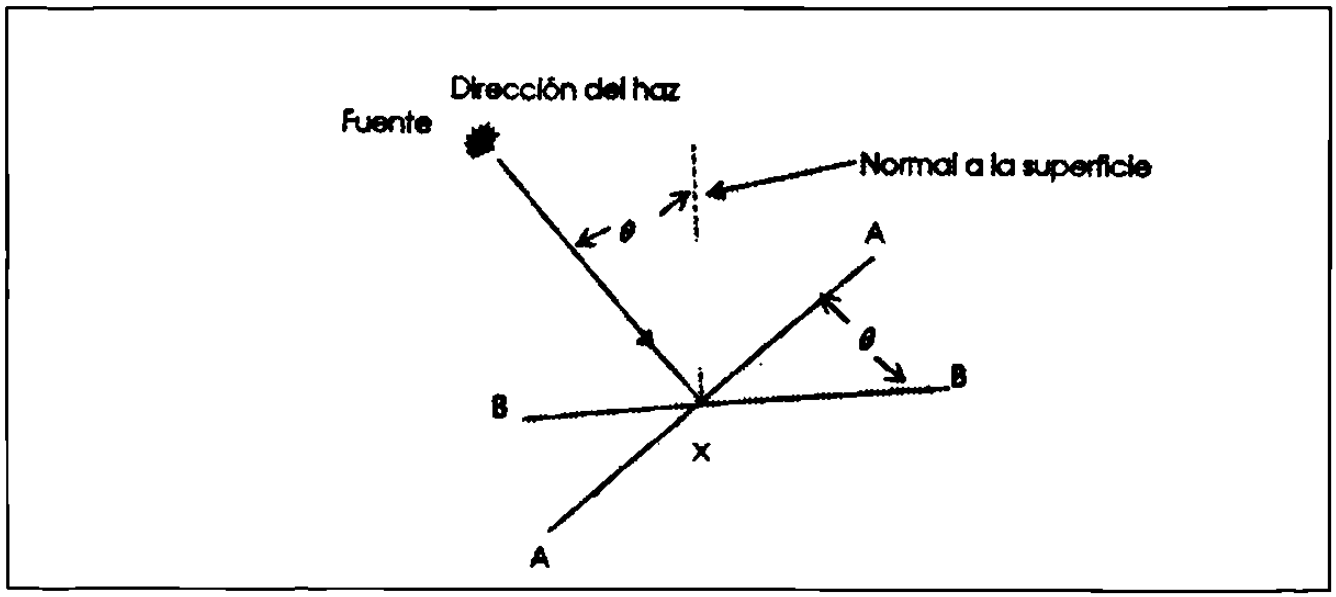


Figura 3-4.- Ley del coseno.

Iluminación sobre un punto X en un plano dado, que se gira un ángulo $E=E_{NORMAL}$ (Cos θ) A –A es la superficie normal a la dirección del haz de la superficie girada.

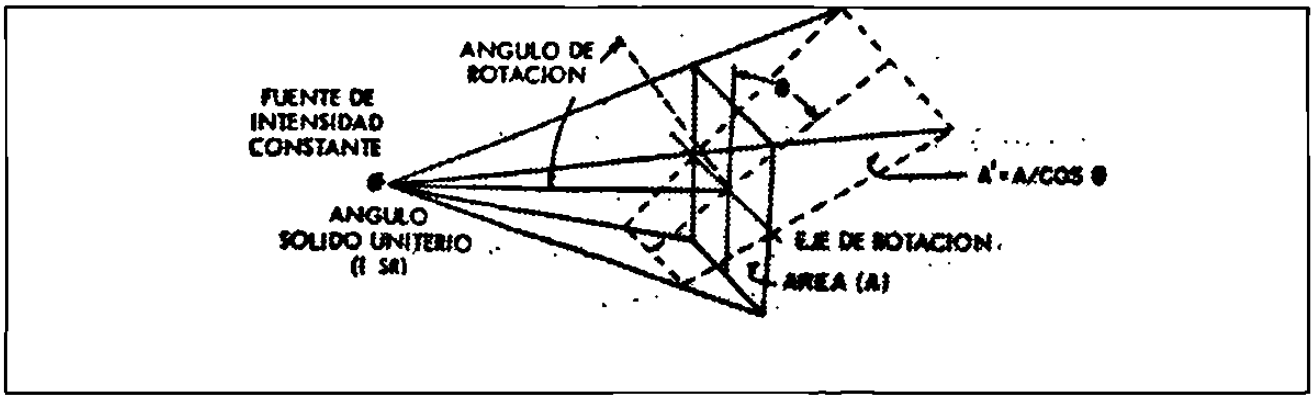


Figura 3-2.- Ley del coseno e iluminación.

Nótese que las superficies son planas mas que esféricas, y que la iluminación varia en cada punto del plano de aquí que se diga que la iluminación es el promedio.

E PROM. – ϕ /A

E PROM. = ϕ /A. Cos.

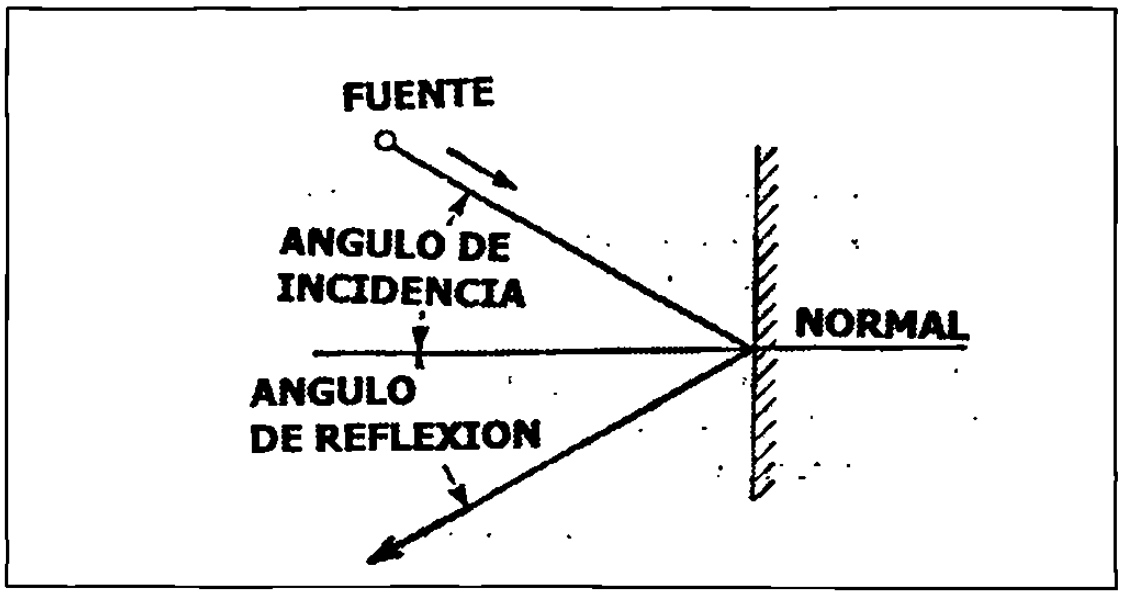


Figura 3-6.- Reflexión rectangular

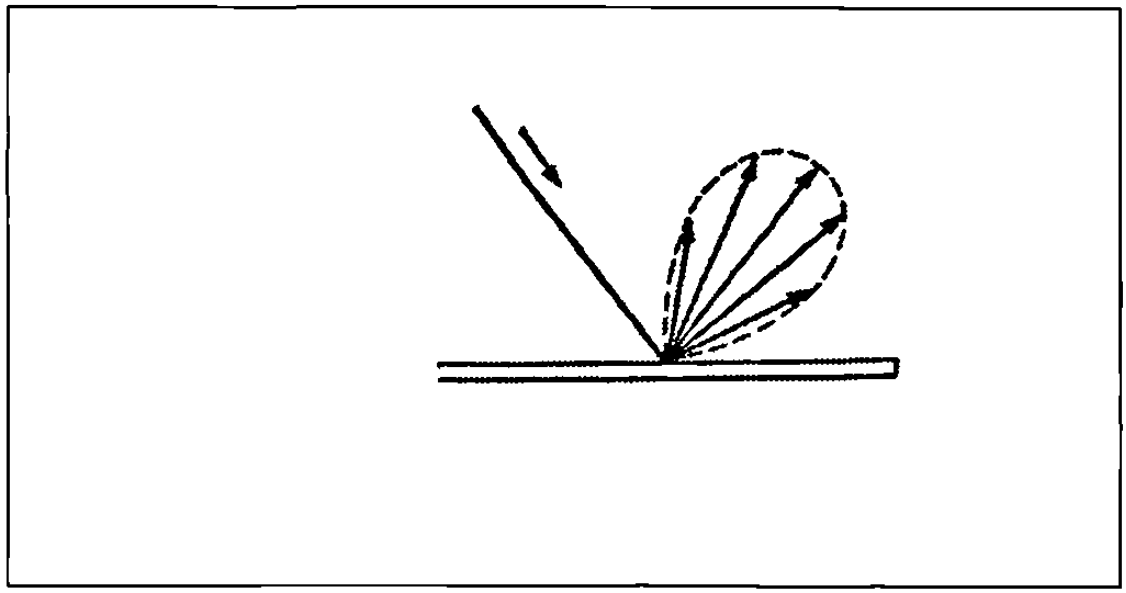


Figura 3-7.- Reflexión extendida

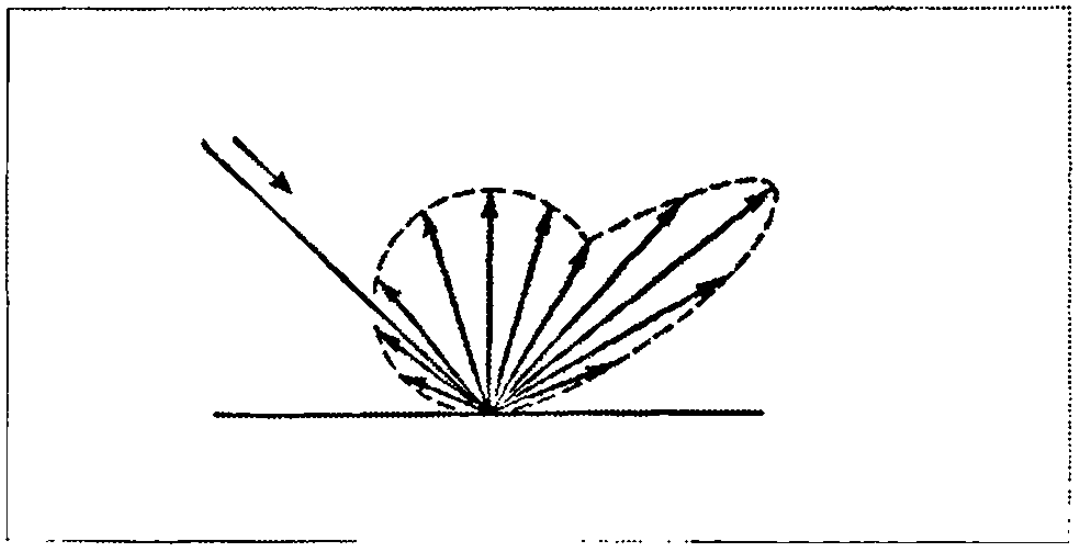


Figura 3-8-Reflexion mixta

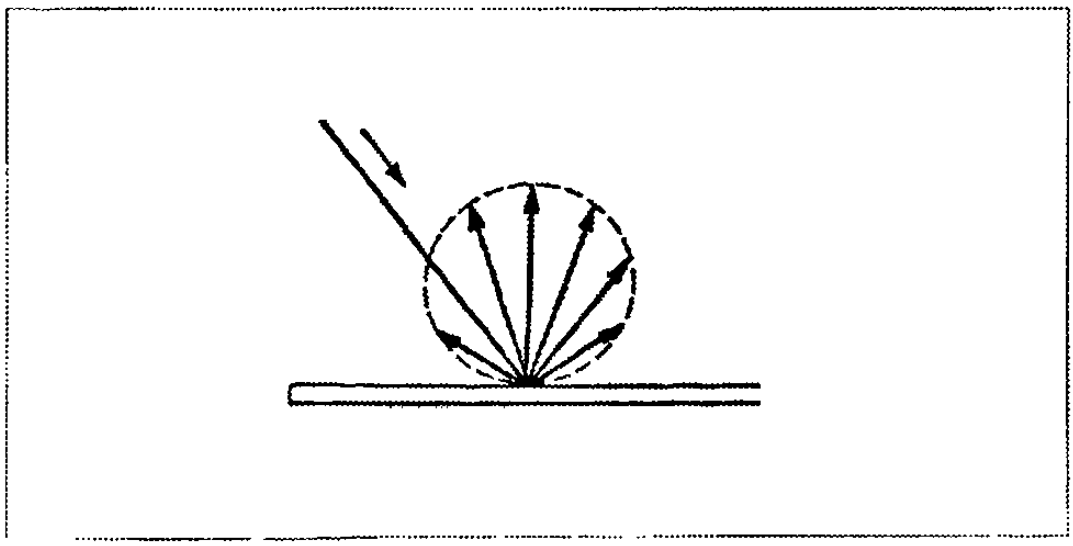


Figura 3-9-Reflexion difusa completa

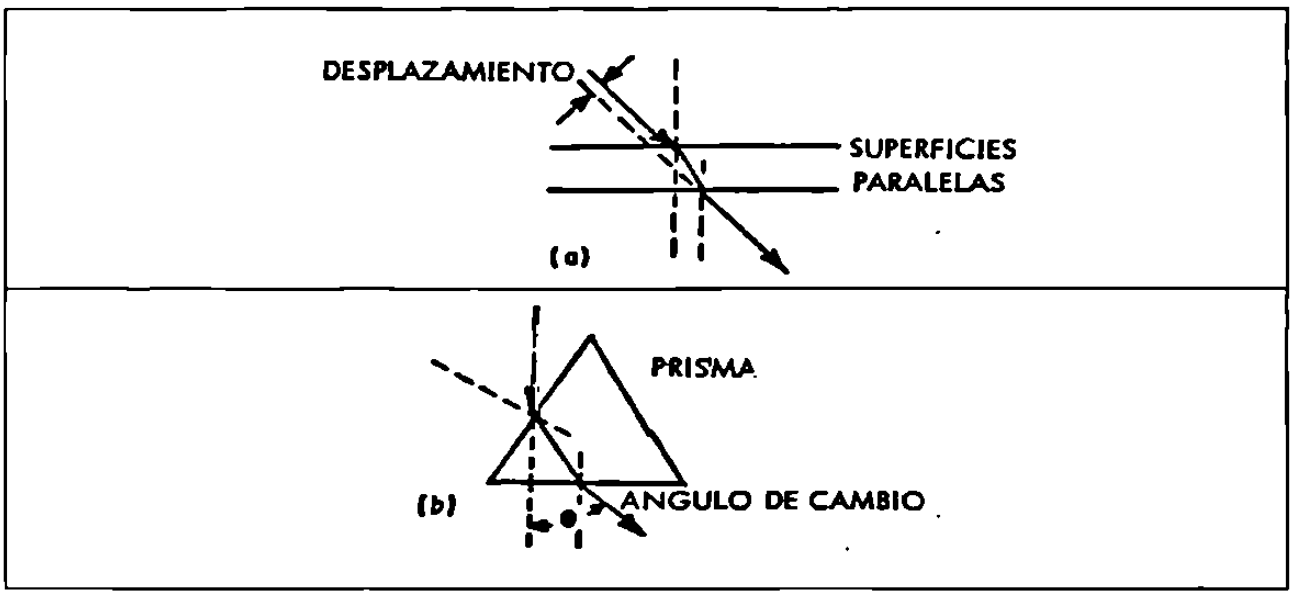
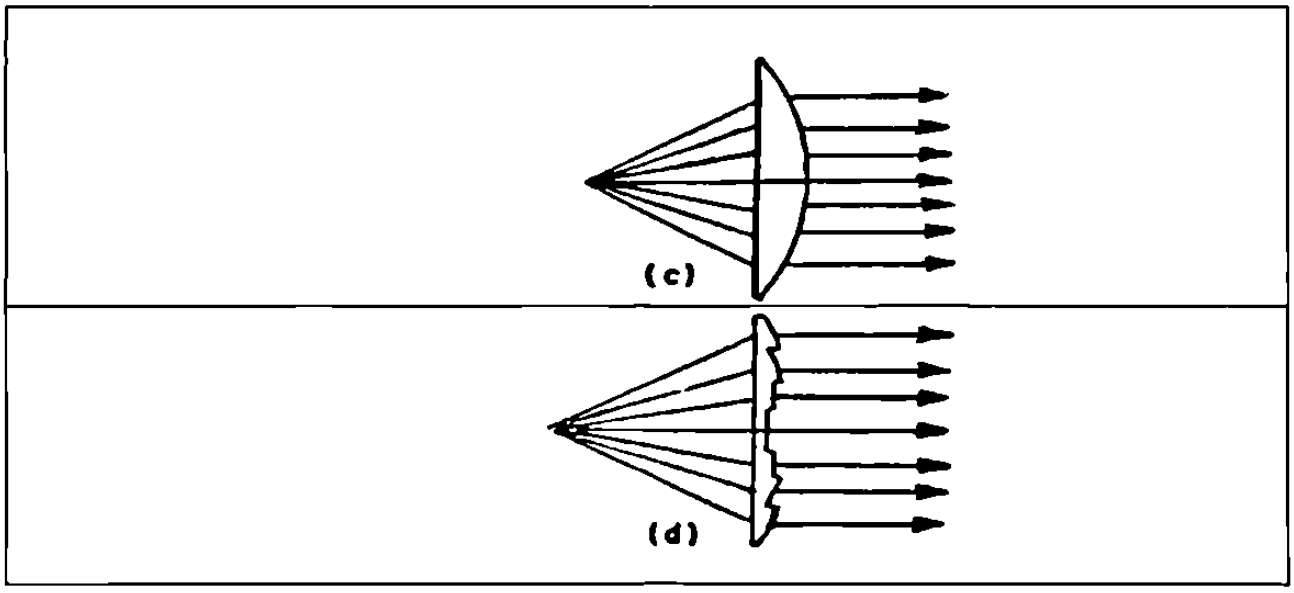


Figura 3-10.- Refracción.

(a) Rayo desplazado, (b) Rayo con distancia dirección.



(c) Lentes, (d) Lente escalonado fresnel.

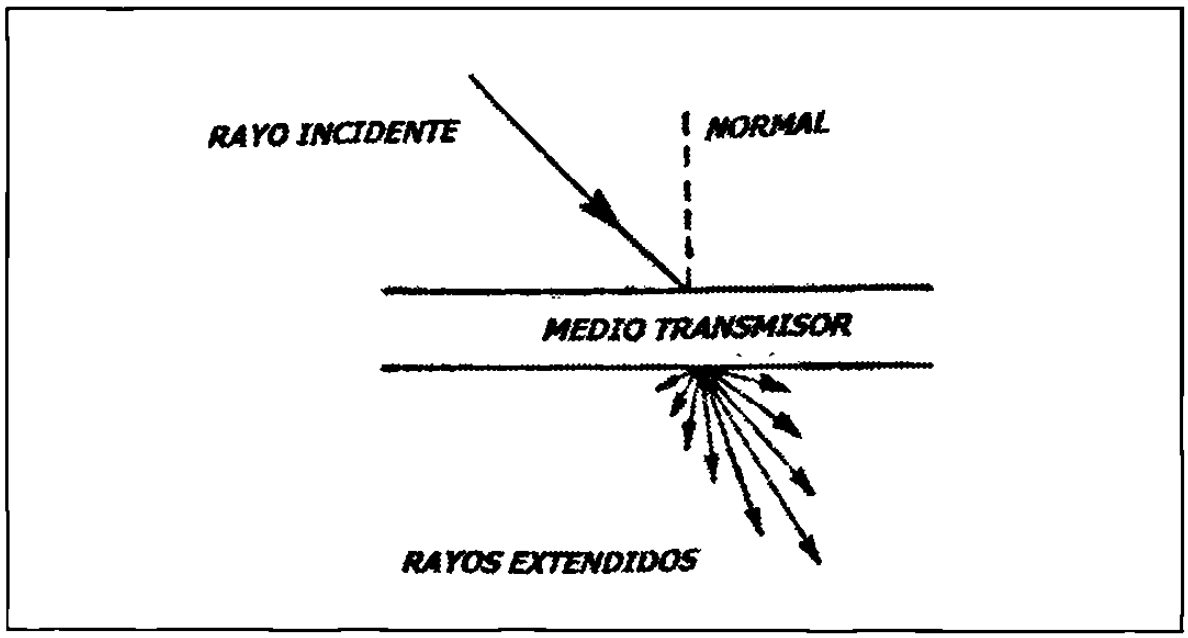


Figura 3-11-Transmision extendida

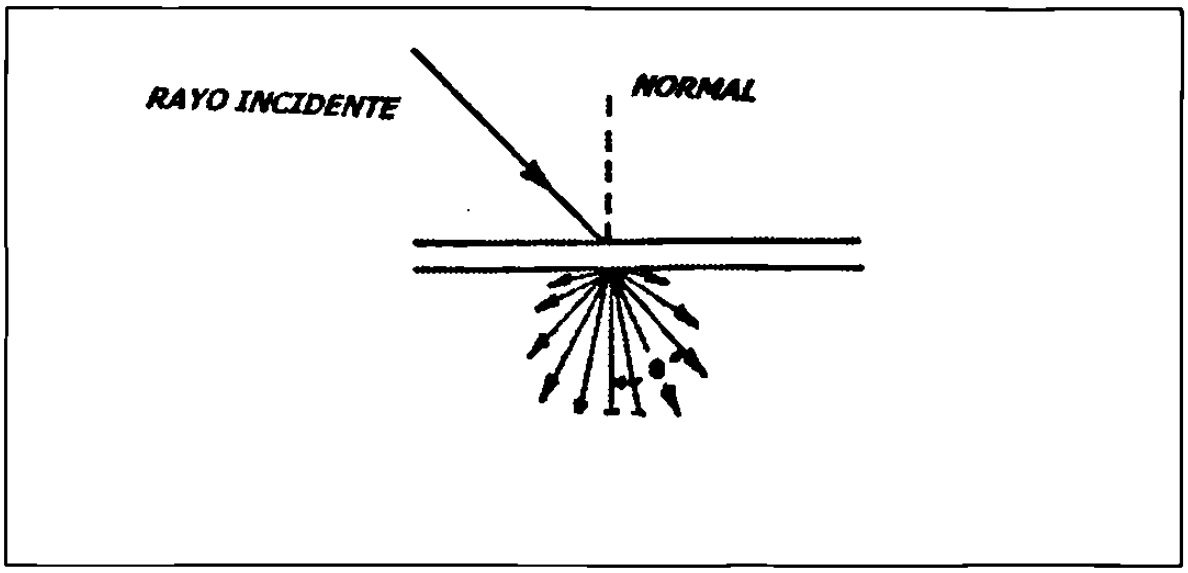


Figura 3-12.- Transmisión totalmente difusa.

$\omega)A_S / R^2$ Ecuación 3-1.

$I = \phi / \omega$ Ecuación 3-2.

$I = \phi / A$ Ecuación 3-3.

$L = (\rho)(E)$ Ecuación 3-4.

$L = (\tau)(E)$ Ecuación 3-5.

$E_{noramal} = I / D^2$ Ecuación 3-6.

$E_{total} = E_1 + E_2 + E_3$ Ecuación 3-7.

$E\theta = (I / D^2)(\cos\theta)$ Ecuación 3-8.

Ecuación 3-9.

Donde:

ϕ – Flujo luminoso en lúmenes.

I = Sensibilidad luminosa en bujías.

E = Iluminación en bujías – pie.

L = Luminancia en lamberts – pie.

ω = Angulo sólido en esterradianes.

θ = Angulo expresado en grados que debe girarse al plano iluminado hasta quedar normal al rayo proyectado por la fuente.

D = Distancia en pies desde la fuente a un punto dado.

A = Area de una superficie iluminada, expresada en pies cuadrados.

AS = Area esférica.

R = Radio.

ρ = Reflectancia.

λ = Transmitancia.

Tabla 3-4.- Ecuaciones básicas de iluminación.

- Sol de medio día. 5500° K
- Lámpara de tungsteno de 100 watts, con el interior esmerilado. 2800° K
- Lámpara de tungsteno de 100 watts, luz del día. 3500° K - 4000° K

Tabla 3-2.- Temperatura de color de varias fuentes.

Factores de conversión de unidades comunes a unidades S/*					
Valores Unidades Comunes	en	X	Factores	-	Valores en Unidades SI
fl		X	3,420	-	cd/m^2
cd/in^2		X	1,55	-	kcd/m^2
ft		X	0.3045	-	m
in		X	2.54	-	cm

Tabla 3-1.- (*Sistema Internacional de Unidades).

Término	Símbolo	Unidad	Abreviatura	Definición
Luz	Q	Lúmen-hora	lm-h	Energía radiante que puede evaluar el ojo.
Flujo luminoso	O	Lúmen	lm	Flujo de luz con relación al tiempo.
Intensidad Luminosa	I	Bujía	cd	Densidad de flujo de ángulo sólido en una dirección dada.
Iluminación	E	Bujía-pie (lux)	fc (lx)	Densidad de flujo luminoso incidente en superficie.
Luminancia	L	Lambert-pie (bujías por m^2)	$fL(cd/m^2)$	Intensidad luminosa sobre una superficie en una dirección dada por unidad de área proyectada en la superficie.

Tabla 3-3.- Términos usuales en iluminación.

CAPITULO 4

PROCESO DE CONVERSION DE LA ENERGIA ELECTRICA A ILUMINACION

Analizando el proceso de conversión de energía, vemos:

↓ Energía Electrica

Balastro

↓ Energía eléctrica apropiada para la lámpara

Lámpara

↓ Luz

Luminario

Iluminación

En la Primera Etapa se tiene:

↓ Energía eléctrica

Balastro

↓ Energía eléctrica apropiada para la lámpara

Podemos clasificar genéricamente los balastros en 2 tipos:

a) Balastros H.I.D.

b) Balastros fluorescentes.

A continuación se analiza el primer grupo:

Balastros H.I.D.

Existen los siguientes tipos:

1. Balastros normal.
2. Balastros alta eficiencia (denominada también bajas perdidas).
3. Balastros baja energía.

En los balastros H.I.D. normales las eficiencias típicas son:

W =	Línea =	465 watts.
W =	Lámpara =	400
W =	Pérdida =	65

Eficiencia del balastro = $\frac{400}{465} = 0.86$

En los balastros de "alta eficiencia", se presenta la siguiente situación:

W =	Línea =	455 watts.
W =	Lámpara =	400
W =	Pérdida =	55

Eficiencia del balastro = $\frac{400}{455} = 0.888$

Lo cual representa un 3.3% de ahorro en relación a los balastros convencionales. Este análisis elemental nos muestra que no hay mucho potencial de ahorro en relación al balastro H.I.D.

En balastros de baja energía se hace trabajar la lámpara a 8% menos:

W =	Línea =	418 watts.
W =	Lámpara =	360
W =	Pérdida =	50

Eficiencia del balastro = $\frac{360}{418} = 0.86$

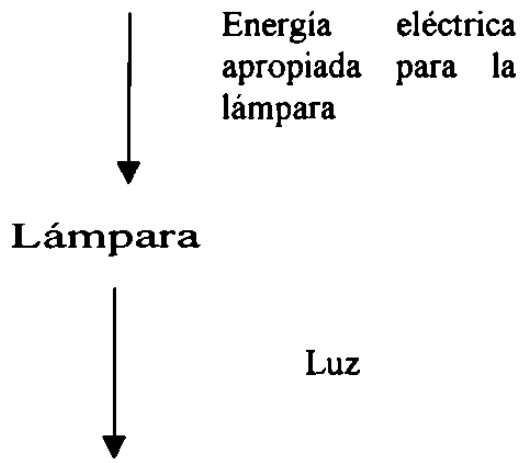
El balastro standard o eletromagnético consta de:

1. Devanados de alambre magneto de cobre.
2. Núcleo magnético a base de lámina de acero eléctrico.

El balastro electromagnético alta eficiencia consta de:

1. devanados de alambre magneto de cobre de mayores calibres.
2. Núcleo magnético a base de lámina de acero eléctrico de bajas pérdidas, acero de alto silicio o acero granulado.

En la Segunda Etapa de conversión de energía:



Los parámetros a considerar son:

a) Lúmenes / watts.
b) Lid depreciación de lúmenes por lámpara.
c) Vida (horas de operación).
d) Curva de mortalidad.

Comparativo

V. de mercurio	*400 watts.*	*LLD*	*V.S.A.P. 400 watts*	*LLD*
Lúmenes iniciales.	24,500	(1)	50,000	(1)
50% vida.	17,700	(.73)	45,500	(.9) 24%

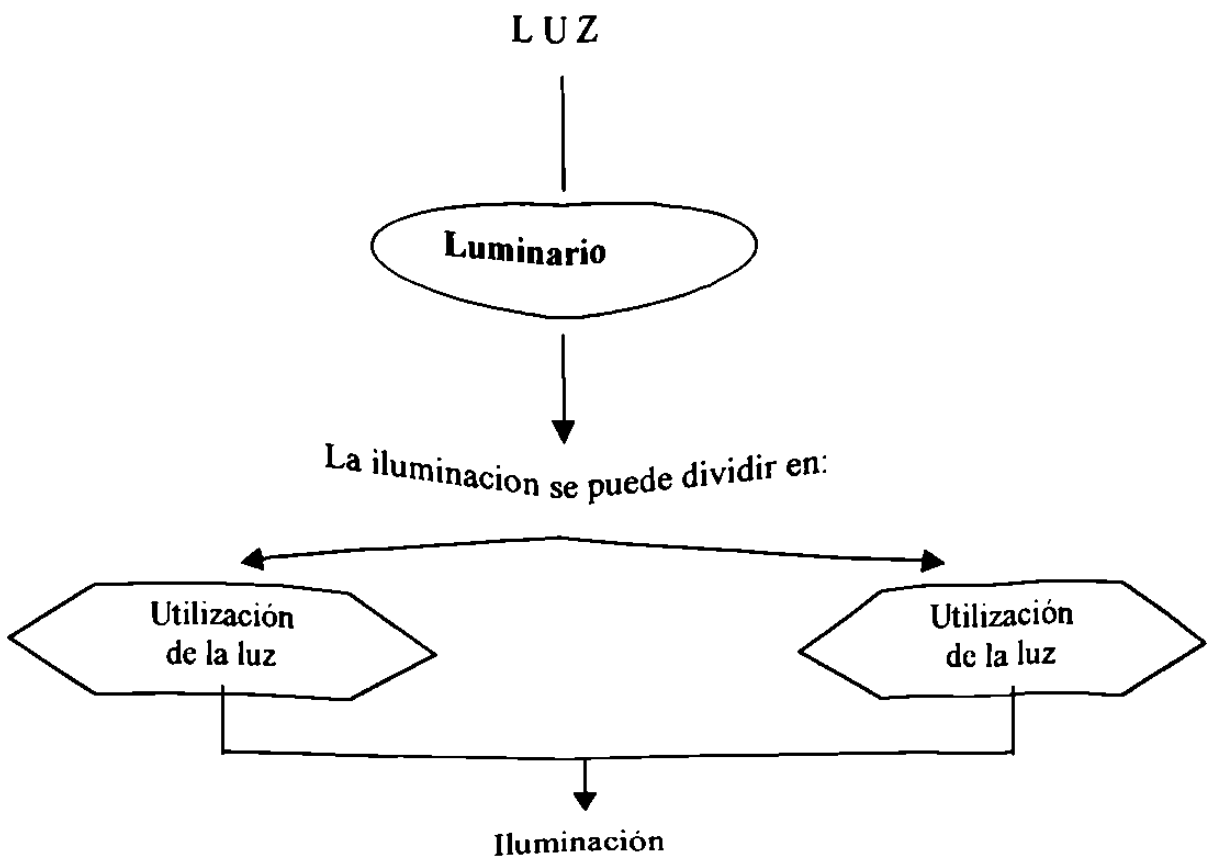
Final de vida.	11,000	(.53)	36,500	(.73) 43%

Mortalidad de las lámparas al final de la vida 24,000 horas.		
	Lámparas apagadas	Lámparas operando
V. de mercurio	30 %	70 %
V.S.A.P.	50 %	50 %

El diseño y cálculo de alumbrado público se toman lúmenes al final de la vida de la lámpara. Significa que la lámpara de vapor de sodio alta presión es un 43 % más eficiente en la depreciación de sus lúmenes que la de mercurio.

L L D				
	Vida mercurio	V.S.	V.S.A.P.	% DIF
Lúmenes medios	.73			23.3 %
Lúmenes al final	.51			73 %

Ver tabla comparativa de vapor de mercurio vs. vapor de sodio de alta presión.

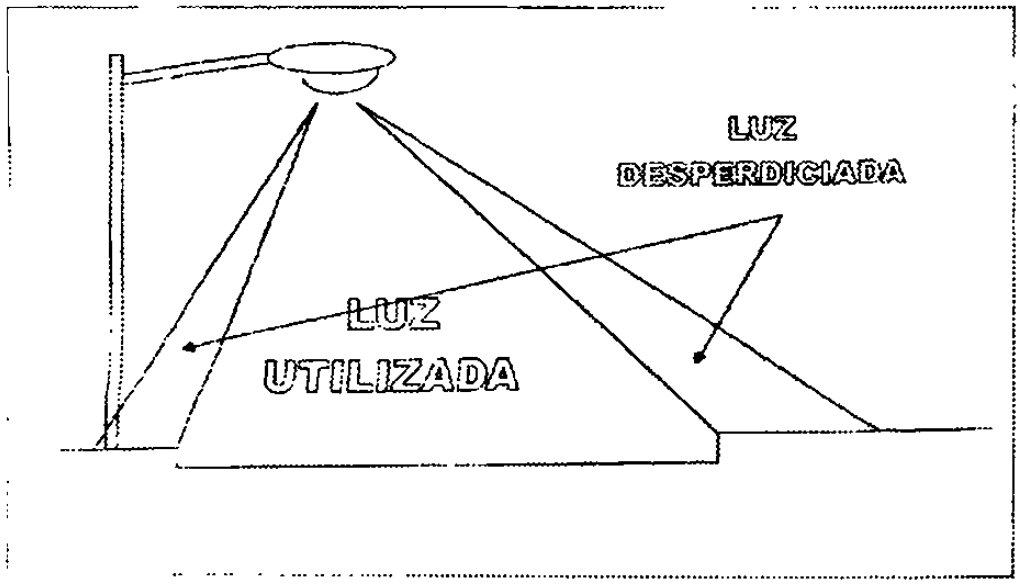


Pareciera que el factor de analizar debe ser la eficiencia:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Luz que sale del luminario}}{\text{Luz que emite la lámpara}}$$

Sin embargo la luz que sale del luminario no se puede aprovechar al 100% por lo que utilizamos lo que llamamos coeficiente de utilización:

$$\text{Coeficiente de utilización} = \frac{\text{Lúmenes en el plano de trabajo}}{\text{Lúmenes de la lampara}}$$

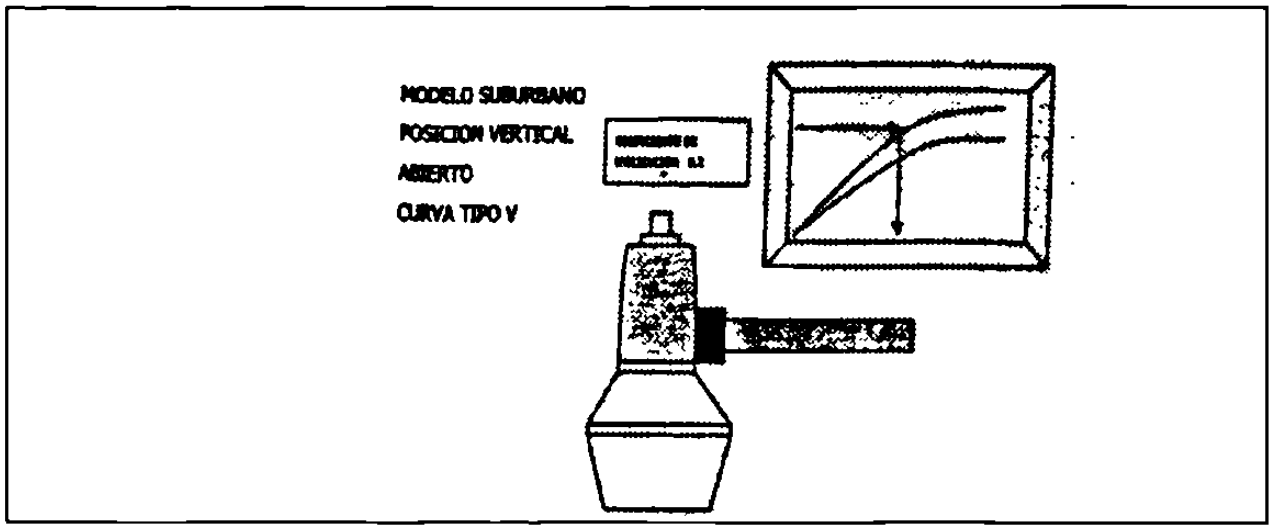


El coeficiente de utilización depende de dos factores:

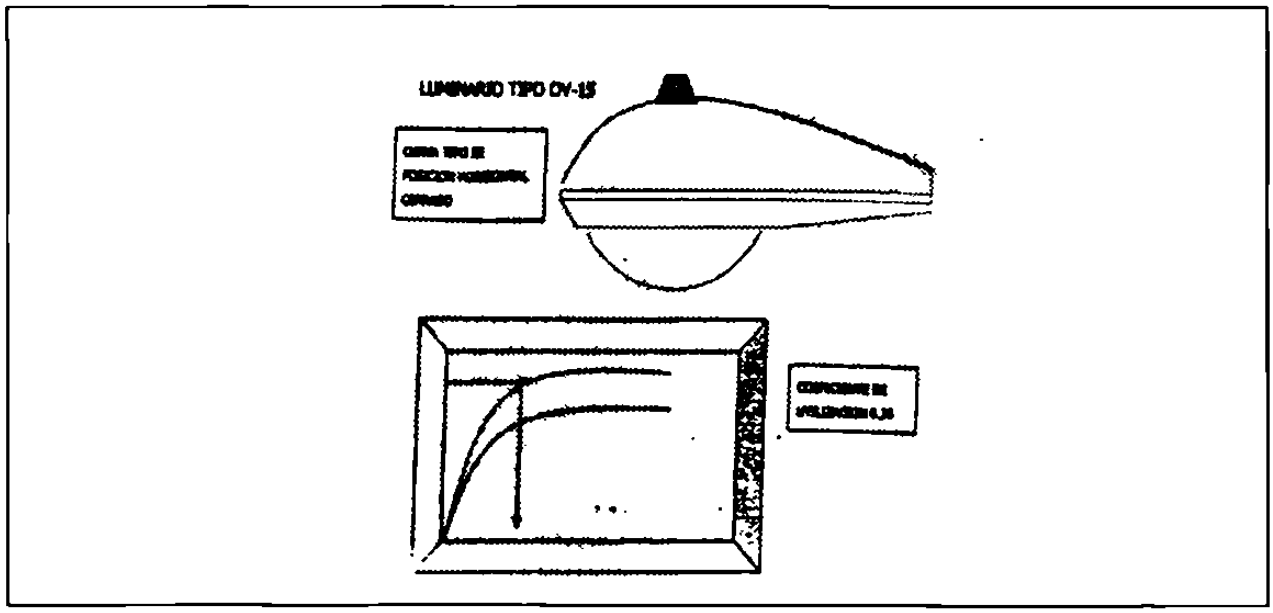
a) Diseño del luminario.

b) Materiales y proceso.

Comparemos dos luminarios de alumbrado público de uso frecuente:



Luminario Tipo OV-15.



El coeficiente de utilización del luminario OV-15 es de 0.36 contra 0.2 del tipo suburbano, lo que representa un 55% más de utilización que puede convertirse en ahorro adicional de energía.

Factor de mantenimiento.

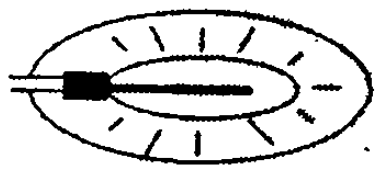
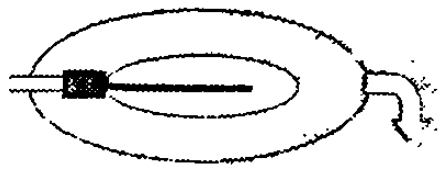
El factor de mantenimiento es el producto del factor de depreciación de lúmenes por lámpara por el factor de depreciación por suciedad del luminario.

$$\text{Factor de mantenimiento} = \frac{\text{Lamp lumens deprecation LLD}}{\text{uz que emite la lámpara}}$$

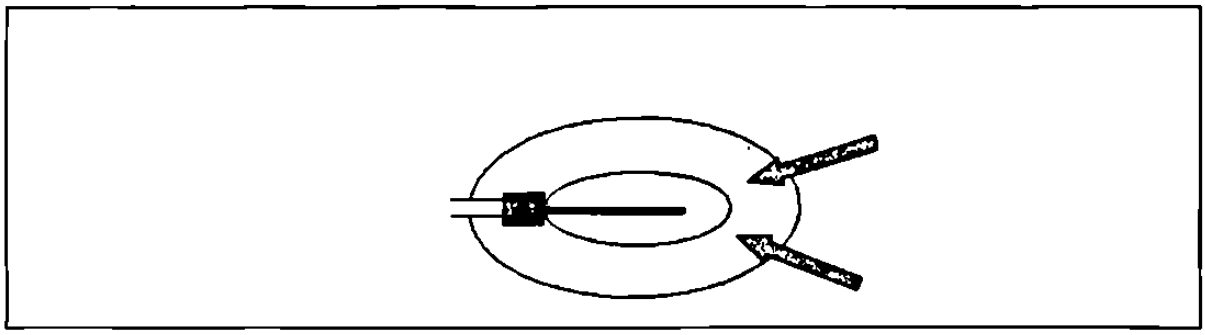
Depreciación por suciedad del luminario.

Cuando el luminario es de tipo abierto, la suciedad, en forma de partículas y de gases contaminantes, se impacta directamene en el luminario, principalmente en el reflector donde es difícil de limpiar, ya que por efecto del calor se hornean dichas partículas, adheriendose al reflector.

Cuando el luminario es de tipo cerrado, se produce el siguiente fenómeno.

	Cuando se inicia la operación, la lámpara del luminario se enciende, se caliente y calienta el aire circundante.
	Al calentarse el aire se expande y sale del conjunto óptico.

Al terminar el ciclo de operación, la lámpara se apaga, el aire se enfría y se contrae, lo que provoca al conjunto óptico la misma cantidad de aire que salió. Las partículas contaminantes que alcanzan a entrar se depositan al fondo del refractor.

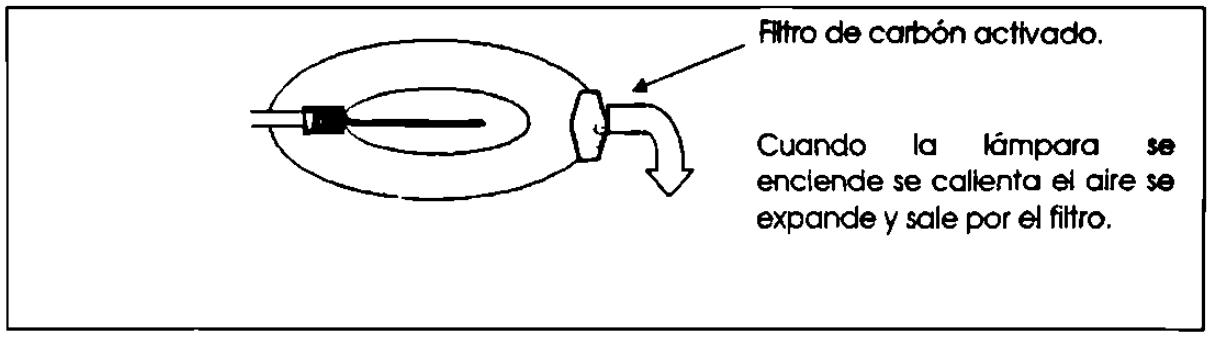


Los contaminantes afecta el control de luz y reducen la eficiencia, los gases contaminantes pueden correr las superficies del control óptico porque se hornean debido al calor de la lámpara y se adhieren al reflector.

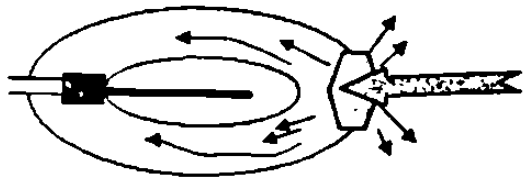
La solución al problema consta de dos partes:

1. Luminario con filtro de carbón activado.
2. Reflector recubierto con una película de vidrio (vitreflex).

¿Cómo funciona el filtro de carbón activado?.



Al terminar el ciclo de operación y cuando la lámpara se apaga, el aire al enfriarse se contrae y un volumen de aire igual al que salió entra la luminario a través del filtro.



Al entrar el aire intenta llevar consigo partículas de polvo y suciedad, las cuales son detenidas por el filtro.

Sin embargo, al penetrar el aire al luminario lleva consigo dos tipos de contaminantes:

a) Sólido (partículas).

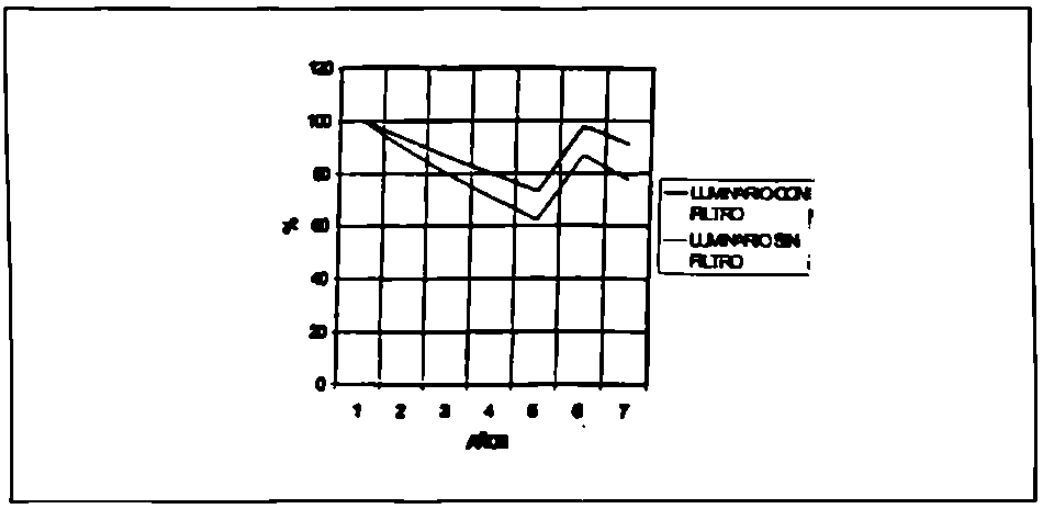
b) Gaseosos.

¿Qué es el VITREFLEX y que ventajas representa?.

- Es un reflector con acabado anodizado los gases contaminantes son difíciles de limpiar porque se han horneado por el calor de la lámpara.

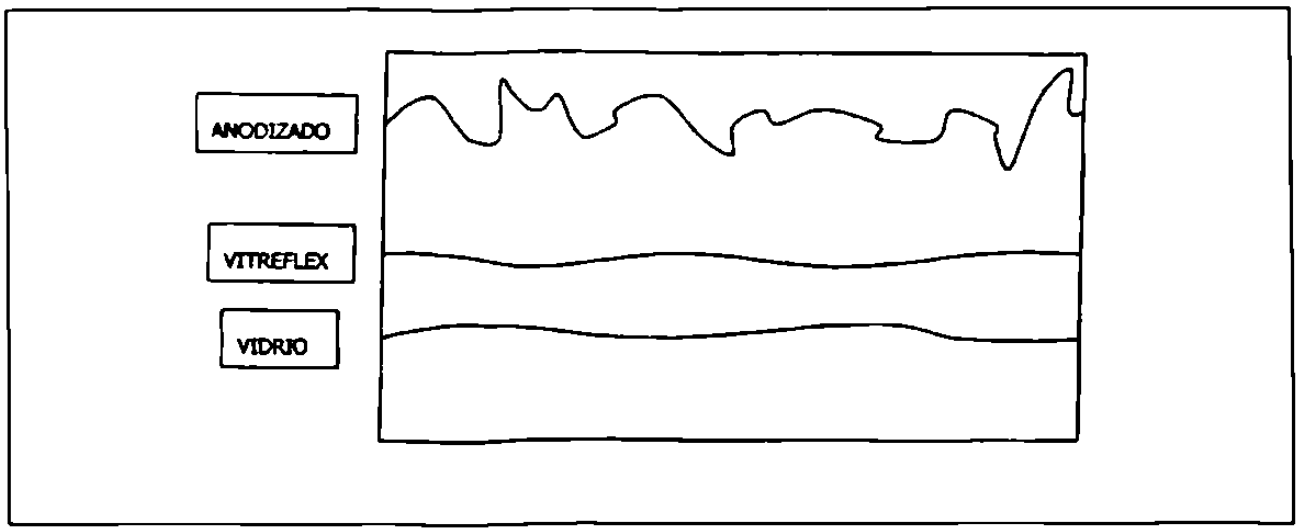
Existe un proceso químico para depositar una película de vidrio sobre el aluminio llamada comercialmente VITREFLEX, las principales ventajas del vitreflex son:

1. Mayor resistencia al ataque químico.
2. Mayor tersura.
3. Mayor resistencia mecánica.



Mientras haya mayor tersura en una superficie hay menos probabilidades de que se depositen polvos y esto ayuda a mantener la especularidad del reflector.

Cuando se combinan estos elementos, filtro de carbón activado y recubrimiento de vidrio se logran excelentes características de mantenimiento.



La depreciación anual promedio en un conjunto óptico con filtro de carbón es de aproximadamente 1%, en cambio en un luminario sin filtro se dispara hasta alcanzar un 5%, la emisión total de luz se ve afectada entonces por la combinación de perdida de luz del foco más la suciedad acumulada en el conjunto óptico.

Al termino de un periodo de 4 años el luminario sin filtro ha perdido un 40% de eficiencia de emisión de luz, en tanto la luminaria con filtro de carbón activado mantiene una eficiencia del 73%.

Lo más importante es señalar, que con una labor de mantenimiento tan sencilla como limpiar el conjunto óptico por dentro y por fuera, y cambiar el foco, la luminaria con filtro recupera el 98% de su eficiencia en tanto la que no tiene filtro solo recupera el 87% de su eficiencia original.

Mercurio VS. V.S.A.P.

VS. V.S.A.P.

Nº	*Watts*	*Lúmenes*	*Watts*	*Lúmenes*	*Ahorro Watts*	*Luz*	*$ Ahorro*
1	400	10,965	400	36,500	0	333 %	0
2	400	10,965	250	20,075	150	183 %	327,696
3	250	5,865	150	10,950	100	87 %	179,070
4	400	10,965	150	10,950	250	0 %	447,673
5	175	4,156	150	10,950	25	163 %	44,767
6	175	4,156	100	6,935	75	69 %	134,302
7	175	4,156	70	4,380	105	54 %	188,023
8	250	5,865	100	6,935	150	19 %	268,604

Horas de operación anuales = 4015

Días del año = 365

Por horas de operación diaria = 11

4015

CAPITULO 5

FUENTES LUMINOSAS

Lámparas para alumbrado público.

En alumbrado público la lámpara más eficaz que actualmente se esta utilizando es la lámpara de vapor de sodio de alta presión (VSAP). Existen todavía instalaciones con lámparas incandescentes, de luz mixta, fluorescentes, de vapor de mercurio y de sodio de baja presión.

Una lámpara de vapor de sodio de alta presión, produce más del doble de luz. Por ejemplo, en 100 W, la lámpara de sodio de alta presión proporciona 9500 lúmenes contra 4400 lúmenes de una lámpara de vapor de mercurio.

Comparación de lámparas.

- Una lámpara de v.s.a.p de 100 watts =
- 2.16 lámparas de vapor de mercurio de 100 watts de consumo
- 4.7 lámparas de luz mixta de 100 watts de consumo
- 5.36 lámparas incandescentes de 100 watts de consumo

Primera parte - datos generales.

5.1 Producción de la luz.

Incandescencia. Iluminación Eléctrica.

En la lámpara de filamento incandescente, se produce luz al calentarse un filamento hasta el punto de incandescencia, debido a que se tiene resistencia al flujo de la corriente eléctrica.

Casi todos los filamentos de las lámparas están hechos de tungsteno, ya que tiene un punto de fusión relativamente alto, buenas características especiales, y es bastante fuerte tanto al estar frío como al estar caliente.

Si tenemos una barra de tungsteno en un punto de fusión obtendríamos de ella 52 lúmenes por watt. Para aplicaciones prácticas se anota una eficacia máxima de 33 lúmenes por watt, aunque la mayoría de las lámparas caen en el rango de 11 a 22 lúmenes por watt. La lámpara incandescente proporciona un "espectro continuo".

Ver Fig. 5 – 1.

Incandescencia. Iluminación Eléctrica por Gas.

En la iluminación por gas, la luz se produce como resultado de la combustión de un gas dentro de un capuchón, hecho esencialmente con una malla de torio y cerio.

Las luces de gas proporcionan también un espectro continuo.

Descarga gaseosa.

Las lámparas de descarga consisten en tubos de arco de descarga que operan con presiones de vapor y densidades de corriente eléctrica suficiente para generar apreciables cantidades de luz dentro de su propio arco.

Las lámparas de descarga producen un "espectro continuo y de línea". Ver Fig. 5 - 2.

Algunas lámparas de descarga comúnmente usados son de Mercurio, de Haluros Metálicos, y de Sodio a Alta Presión.

Fluorescencia.

Cuando un vapor de mercurio se opera a baja presión y se hace atravesar por una descarga eléctrica, se producen luz y energía ultravioleta a 253.7 nanómetros; luego se utiliza un "fósforo" para transformar esta energía en luz visible.

Las lámparas fluorescentes producen también una combinación de espectro continuo y de línea, en el que pueden obtenerse variaciones con diversas mezclas de "fósforos". Ver Fig. 5 – 3.

Al aplicarse recubrimientos de fósforo a las lámparas de descarga gaseosa de mercurio, aparte de la luz obtenida es resultado de la fluorescencia.

5.2 Características de las fuentes luminosas.

Producción Luminosa.

Si tuviéramos un watt de flujo radiante que se emitiera a 550 nm, que es el punto en el cual el ojo es más sensible, produciría 680 lúmenes.Si un watt de flujo radiante se distribuyera por igual sobre el espectro visible completo, produciría entonces cerca de 220 lúmenes de igual energía.

La Fig. 5 – 4, muestra algunas lámparas que se aproximan a ésta eficiencia teórica.

Depreciación Lumínica.

Todas las fuentes luminosas se desprecian al envejecer. La Fig. 5 – 5, muestra la depreciación típica de las fuentes de filamentos incandescentes.

Mortalidad de las Fuentes Luminosas.

Las lámparas fallan en forma totalmente predecible, según pruebas exhaustivas que se han realizado.

La mayoría de las curvas de mortalidad en el diseño de las lámparas están basadas en un punto en vida de ellas en el cual 50 por ciento del total de lámparas en una instalación determinada habrán fallado.

Las curvas de mortalidad indican la proporcionan en la cual se espera que las lámparas fallen dentro de un grupo grande de ellas. Ver Fig. 5 – 6.

Segunda parte – lámparas de filamento incandescente.

5.3 Partes esenciales – FIG. 5 – 7.

Filamento.

El filamento es el elemento productor de luz.

Las lámparas incandescentes modernas utilizan el tungsteno para el filamento debido a su alto punto de fusión, baja relación de evaporación, por su resistencia mecánica y ductibilidad, y por sus favorables características de radiación.

Las lámparas de filamento radían entre 10 y 12 por ciento de la energía consumida bajo la forma de luz visible, y el resto bajo la forma de energía infrarroja.

Existen diversas formas de filamentos de acuerdo con la aplicación y vida deseados en la lámpara.

Algunas de éstas formas se muestran en la Fig. 5 – 8, y puede tratarse de un filamento simple, enrollado, o doble enrollado.

La resistencia del tungsteno cuando esta frío es baja en comparación con la que se presenta al estar operando ya caliente. Así pues, al encender la lámpara se produce una mayor demanda de corriente, que típicamente llega a ser hasta 10 veces mayor que la corriente de operación, aunque su duración es del orden de mili segundos.

Bombilla.

Se llama así a la envoltura de cristal de la lámpara, que se utiliza para contener el vacío o la atmósfera de gas inerte en la que opera el filamento. Dentro de ella están también numerosos reflectores internos en diversos acabados, que sirven para alterar la emision lumínica de la lámpara en alguna forma.

5.4 Designación de las bombillas.

Forma. Las formas de las bombillas se designan por una o varias letras. Ver Fig. 5 – 9:

A – Forma normal

B – Cono

C – Flama

G – Globo

R – Reflector

T – Tubular

P – Forma de Pera

PS - Forma de pera, cuello recto

EAR- Reflector elíptico aluminizado

PAR- Reflector parabólico aluminizado

S - Costados rectos

Además de ésta letra para designar la forma de la bombilla, se utiliza un número que indica el mayor diámetro. Ejemplo 150 A23 indica que se trata de una lámpara de 150 watts, con bombilla forma A, y cuyo diámetro mayor es de 23/octavos de pulgada, o sea de 2 7/8 pulgada.

Acabados de las Bombillas.

La envoltura de cristal de una bombilla puede tener diferentes acabados para modificar la alta luminancia del filamento de tungsteno, o bien para controlar la distribución de la luz. Las bombillas pueden ser transparentes, con un tratamiento en la superficie, coloreadas, o tener reflectores interconstuidos para dirigir el haz luminoso.

La coloración puede obtenerse por medio de vidrio de color natural, rociado, esmaltes cerámicos para cristal, o filtros de color fundidos. También se utilizan algunos recubrimientos cuando no se desea que el cristal se rompa.

El vidrio de las Lámparas.

Las bombillas se hacen con materiales que incluyen más de 21 tipos diferentes de vidrio. El vidrio con óxido de calcio se utiliza mucho como material para las bombillas de la mayoría de las lámparas incandescentes; donde se requieren mayores wattajes, bombillas más pequeñas y aplicaciones en exteriores, se requiere de vidrios de baja expansión y resistentes al calor.

Ennegrecimiento de las bombillas.

La causa de esto es la evaporación del tungsteno, y puede llegar a convertirse en un problema. Esta evaporación se puede reducir en forma considerable llenando las lámparas con un gas inerte, que normalmente es una mezcla de nitrógeno y argón.

Este procedimiento se aplica a lámparas de cuarenta watts o mayores, para reducir la pérdida de tungsteno del filamento.

En cambio, las lámparas de menor wattaje son generalmente del tipo de vacío, ya que el calor del filamento que disipa el gas compensa con creces la ventaja de una mayor temperatura del mismo.

Base de la Lámpara.

La base proporciona un medio fácil de montaje de lámpara, de fijar la posición de filamento y hace conexiones eléctricas necesarias. Los materiales comúnmente usados en las bases son el aluminio y latón. La Fig. 5–10 muestra algunos tipos de bases y sus aplicaciones.

5.5 Clasificación general de las Lámparas.

Servicio General.

- Las lámparas para servicio general utilizadas para la iluminación normal van desde 15 hasta 100 watts.
- Lámparas Reflectoras.

Lámparas para proyector.

Estas lámparas incorporan normalmente en su diseño un reflector parabólico o elíptico. (PAR Y EAR). Cuentan con una envoltura de cristal duro que se fabrica en dos secciones que luego se sellan una con otra, este procedimiento permite contar con un sistema óptico de bastante precisión, ya que tanto la forma del reflector como la posición del filamento con respecto a él pueden realizarse en forma precisa.

Lámparas de reflector.

Estos difieren de las anteriores en que su construcción se realiza de una bombilla de vidrio soplado en una sola pieza por lo cual no puede obtenerse con ellas un color preciso del haz luminoso.

Los dos tipos de lámparas mencionados tienen reflectores internos a los cuales no les afectan el que la suciedad y el polvo se depositen en la superficie exterior de la bombilla, por lo que son ideales para utilizarse en lugares relativamente sucios.

Estas lámparas se fabrican en una línea completa de colores.

Las lámparas de tipo PAR utilizan filtros dicroicos internos de interferencia, que sirvan para separar la energía radiada del filamento.

El reflector utiliza este material obteniéndose una lámpara que refleja las longitudes de onda visibles y permite que las infrarrojas (calor) pasen a través del filtro. Así se logra eliminar hasta dos tercios de la energía infrarroja generada. Ver Fig. 5 – 11.

Al utilizarse el filtro sobre la cara interior del lente que cubre la lámpara, el filtro produce luz de un color específico altamente saturado, ya que selecciona solo las longitudes de onda que se desea transmitir, reflejando hacia el interior de la lámpara las restantes.

Lámparas de reflector plateado.

En este tipo de lámpara se deposita un acabado metálico de espejo.(Fig. 5 – 12). La superficie reflectora queda protegida así de todo polvo, suciedad y deterioro, lográndose controlar la luz con una pérdida inicial de sólo entre seis y diez por ciento del rendimiento luminoso.

Lámparas de reflector semi-plateado.

Este tipo de lámpara es similar al anterior, sólo que tiene una pequeña sección circular sin platear en el fondo del reflector. Esta sección permite que alrededor de 20 por ciento de la luz total se emita en forma de un pequeño cono dirigido hacia abajo.

Bombillas Decorativas y para Anuncio.

Hay disponible un surtido completo de lámparas en diversos colores, bombillas, potencias y acabados que se han desarrollado para fines decorativos en interiores y exteriores, donde se utiliza equipo para destello, y donde las lámparas están expuestas a la intemperie.

Lámparas de Tungsteno – Halógeno.

Este tipo de lámparas difiere mucho de las convencionales, tanto en tamaño como en estructura. Utilizan el ciclo de halógeno, en el cual el tungsteno evaporado regresa al filamento, eliminando el ennegrecimiento de su bombilla. El filamento está encerrado en un tubo de vidrio con alto contenido de silicio, que puede soportar las elevadas temperaturas que el ciclo de halógeno requiere para su funcionamiento. Ver Fig. 5 – 13.

Lámparas Infrarrojas.

Las lámparas infrarrojas con filamento de tungsteno son una de las fuentes de energía radiante más eficaces que se conocen. Operan a temperaturas tales que la energía producida es más infrarroja que visible, y sirve para calentar la superficie a la cual se dirige sin calentar el aire situada en medio.

Lámparas para Aplicaciones Especiales.

Lámparas para enseres.

Están diseñadas para operar en ambientes ya sea fríos, como dentro de refrigeradores y congeladores, o de alta temperatura como sucede en los hornos. Estas lámparas utilizan cementos especiales para su base para soportar esas temperaturas.

Lámparas de uso rudo.

Están diseñadas para utilizarse en maquinaria de alta velocidad, donde ocurren vibraciones continuas de alta frecuencia.

Lámparas para alumbrado publico tipo serie.

Este tipo opera con corriente constante y mantiene durante toda su vida una alta cantidad de luz, utilizándose en los circuitos en serie para alumbrar las calles.

Lámparas opticas.

Estos tipos de lámparas llenan importantes funciones en los campos de la ciencia, la industria y la educación, se fabrican bajo normas muy estrictas de calidad y precisión tanto en su diseño como en su construcción.

Lámparas de tres intensidades.

Estas lámparas emplean dos filamentos y una base de tres contactos, que permite operarlos separadamente o en combinación, proporcionando tres diferentes niveles de iluminación.

Lámparas de estudio.

Cubren potencias de 75 a 10,000 watts con filamentos diseñados para obtener máximo rendimiento luminoso en un haz controlado y concentrado.

Lámparas indicadoras.

Existen estas lámparas en una amplia gama en tamaños, formas, potencias, colores y bases. Se utilizan para señales y como indicadores.

Lámparas de larga duración.

Se diseñan con una eficacia inferior a fin de proporcionar una mayor duración en aplicaciones en las calles es difícil reemplazarlos.

5.6 Características de operación.

Eficacia.

La eficacia de una lámpara es función de su diseño. La Fig. 5 – 14 muestra la eficacia y vida relativa de varios diseños de lámparas de filamento de 100 watts.

Duración.

La duración de una lámpara se basa en promedios obtenidos al probar la vida de muchas de ellas. Al final de la duración específica, permanecen encendidas aproximadamente 50 por ciento de las lámparas; la Fig. 5 – 6 muestra una curva típica de mortalidad.

Depreciación.

Dado que el filamento se evapora a lo largo de la vida de la lámpara, se hace más delgado y consume menos energía. La producción luminosa disminuye debido a la menor temperatura del filamento y a que la bombilla se ennegrece. La Fig. 5 – 5 muestra una curva típica de depreciación para lámparas incandescentes, mientras la V – 15 muestra el ennegrecimiento de las bombillas.

Temperatura de Color.

Hay muchas aplicaciones en las cuales es útil saber la temperatura de calor de una fuente incandescente. La Fig. 5 – 16 ilustra la relación aproximada entre temperatura de color y eficacia para una amplia gama de lámparas de filamento incandescentes llenas de gas.

Efectos de las Variaciones de Voltaje.

Las características de una lámpara se afectan sustancialmente cuando el voltaje varía tanto arriba como abajo del especificado. La Fig. 5 – 17 muestra los efectos de esta variación de voltaje sobre la potencia de entradas, eficacia, duración y salida luminosa.

5.7 Ventajas y desventajas

Ventajas de una Fuente Incandescente.

- Filamento concentrado que semeja bastante una fuente puntiforme lo que permite lograr un buen control óptico.
- Bajo costo inicial.
- Circuitos sencillos que no necesitan equipo auxiliar, y que operan con un factor de potencia unitario.
- Operación en una amplia gama de temperaturas ambiente.
- Su duración no es función de las horas de encendido por cada arranque.

Desventajas de una Fuente Incandescente.

- Eficacia luminosa baja.
- Componente infrarrojo elevado, que pone en la práctica un límite superior en la cantidad de bujías-pie proporcionada por los sistemas incandescentes.
- Operan a alta temperatura.
- Las variaciones de voltaje las afectan en forma crítica.
- Típicamente son de corta duración.
- Están sujetas a fallas por golpes.

5.8 FUENTES LUMINOSAS : DESCARGA GASEOSA.

Parte 2 a – fluorescentes.

Generalidades.

Una lámpara fluorescente consiste básicamente en un tubo recubierto de su parte interna con un material fluorescente llamado fósforo; el tubo está relleno con mezcla de gases argón y neón, o argón solamente, y contiene también una pequeña cantidad de mercurio. El arco de vapor de mercurio operando a baja presión, produce ultravioleta a 253.7 nanómetros. Esta energía se cambia a luz visible por la acción del fósforo. Ver Fig. 5 – 18.

Las partes esenciales de una lámpara fluorescente son (ver Fig. 5 – 19):

Tubo.

El tubo actúa como una envoltura hermética para la mezcla de gas y mercurio, sirviendo también de soporte a la cubierta interna de fósforo. La configuración del tubo puede ser recta, en forma de "U", o circular de diversos diámetros.

Base.

La base conecta la lámpara al circuito eléctrico y le sirve también de apoyo. Véase la Fig. 5 – 20 para los diversos tipos de bases.

Electrodos.

Los electrodos proporcionan tanto las terminales para establecer el arco como la fuente de electrones; funcionan alternamente como cátodos y ánodos, y se utilizan comúnmente dos tipos de electrodos.

Cátodo Caliente.

Consiste de una bobina arrollada o de una triple bobina de filamento de tungsteno cubierta con un material emisor de electrones. Al calentarse el filamento a unos 1000^0 C se desprenden electrones que producen o mantienen el arco. Ver Fig. 5 – 21.

Cátodo Frío.

El cátodo frío es un tubo de níquel o de hierro puro; una superficie interna está recubierta con un material emisor de electrones. Los electrones se sujetan a voltajes mayores, dejando escapar electrones a temperaturas de alrededor de 150 grados centígrados.

Relleno gaseoso.-

La lámpara fluorescente contiene gotitas de mercurio líquido, que durante la operación se vaporiza a presión muy baja (un cienmilésimo de atmósfera). Además de mercurio, la lámpara contiene también una pequeña cantidad de argón o una mezcla de argón y neón. Este gas se ioniza fácilmente al aplicarse un voltaje a través del tubo, ayudando así el encendido.

Fósforos.-

Este recubrimiento transforma la energía a 253.7 nanómetros en luz. La lámpara fluorescente deriva su nombre del hecho de que éste fósforo fluoresce. La composición química del fósforo determina el color de la luz producida. Véase la Tabla 5 – 1 donde se describen los colores de las lámparas, y la Fig. 5 – 22 que representa las curvas espectrales de radiación de lámparas fluorescentes típicas.

Clasificación de Lámparas fluorescentes.

Lámparas Precalentadas.

Esta lámpara fluorescente utiliza un circuito de arranque a fin de precalentar los electrodos, cuyo diagrama se muestra en la Fig. 5 – 23. El sistema requiere de un reactor y un arrancador o botón manual de arranque. El proceso de precalentamiento requiere de unos cuantos segundos.

Arranque Instantáneo.

La lámpara de arranque instantáneo se desarrolló para eliminar el inconveniente de utilizar un arrancador y reducir el largo tiempo de arranque del sistema de

precalentamiento. El circuito de arranque se elimina al utilizarse un reactor que proporciona un mayor voltaje de arranque que permite a los electrodos arrancar en frío.

Dado que no se requiere precalentamiento, las lámparas de arranque instantáneo tienen un solo contacto en cada extremo de la lámpara. Las lámparas de cátodo caliente que tienen base de un solo contacto se llaman lámparas "slimline".

Arranque Rápido.

La lámpara fluorescente de arranque rápido combina las mejores características del sistema de precalentamiento y el de arranque instantáneo. El precalentamiento se suministra por medio de un devanado interconstruido en el reactor para calentar los electrodos. No se necesita arrancador, y sin embargo la lámpara enciende casi tan rápidamente como las de arranque instantáneo. Este tipo de lámparas son de hoy día las más populares e importantes en los sistemas de iluminación fluorescente.

Carga ligera.-

Lo más común es una lámpara de arranque rápido que opera a 430 miliamperes, o sea, 10 watts por pie de longitud.

Carga mediana.-

Lámparas de "alta producción", que operan usualmente a 800 miliamperes, o sea, 25 watts por pie. Esto proporciona alrededor de 50 por ciento más luz que las lámparas de tamaño similar de carga ligera.

Carga alta.-

Lámparas fluorescentes de "producción extra alta" que opera a 1500 miliamperes, o sea 25 watts por pie. Esto proporciona más del doble de salida luminosa que la lámpara de carga ligera de tamaño comparable.

Lámparas Fluorescentes para todo clima.

Estas son lámparas de arranque rápido que cuentan con una cubierta exterior a fin de mantener la temperatura de la pared del tubo, proporcionando una producción de luz razonable bajo condiciones de baja temperatura.

Lámparas Fluorescentes de Cátodo Frío.

Los tamaños de las lámparas de cátodo frío no están estandarizados como en el caso de las lámparas de cátodo caliente. Se producen típicamente en envolturas de tipo T-8, y en longitudes de cuatro, seis y ocho pies. Pueden diseñarse a la orden de diferentes diámetros y con diversas formas. El tubo está limitado a densidades bajas de corriente, y su duración es considerable. Todas las lámparas de este tipo son de arranque instantáneo y requieren circuitos especiales de alto voltaje, dadas las condiciones iguales de tamaño de tubo, carga de corriente y fósforo, la producción en lúmenes y el que ésta se mantenga, se logra por igual tanto en lámparas de cátodo frío como caliente.

Componentes del sistema.

Reactor.

El reactor llena cualquier o todas de las funciones siguientes:

- Límite la corriente hacia la lámpara fluorescente para evitar su destrucción.
- Suministra voltaje suficiente para comenzar la operación.
- Proporciona corrección del factor de potencia.
- Proporciona una corriente para calentar los electrodos.
- Proporciona supresión de interferencia de radio.

Tipo de Sistemas.

De corriente alterna.-

Las lámparas fluorescentes operan en su forma más efectiva al alimentarse con corriente alterna. En México, los Estados Unidos y muchos países la frecuencia de la corriente alterna es de 60 hertz (Hz). Muchos otros países operan en 50 hertz.

De alta frecuencia.-

Las lámparas fluorescentes pueden operarse a frecuencias mayores de 60 hertz. Las ventajas de esto incluyen: ligero aumento en eficacia, reducción de pérdidas térmicas en el reactor, y que la luminaria es en sí más liviana.

De corriente directa.-

Las lámparas fluorescentes también operan con corriente directa, pero con reducción en su eficacia. La duración de las lámparas también se reduce, y se requieren procedimientos especiales para su operación.

Atenuación.

Las lámparas fluorescentes de encendido rápido pueden atenuarse desde máxima intensidad hasta aproximadamente cero mediante la utilización de circuitos especiales. El circuito de atenuación requiere reactores especiales y otros auxiliares que mantienen energizados los electrodos de las lámparas al voltaje adecuado, sin importar la atenuación a que la lámpara para esté sujeta.

Centello.

Las lámparas de encendido rápido y cátodo frío pueden hacerse centellar. Se utilizan reactores de arranque rápido similares a los de atenuación, y sirven para proporcionar calentamiento continuo al electrodo permitiendo así que la lámpara destelle al interrumpirse solamente la corriente suministrada al arco. Como resultado de lo anterior, las lámparas pueden destellar sin que su duración sufra detrimento apreciable.

Características del comportamiento.

Eficacia.

Las lámparas fluorescentes proporcionan una eficacia comprendida entre 75 y 30 lúmenes por watt, por lo cual se consideran entre las más eficaces de las fuentes luminosas disponibles hoy en día. Véase la Fig. 5 – 24 que ilustra la distribución de energía de una lámpara fluorescente típica.

Duración de la Lámpara.

Las clasificaciones para la duración se aplican cuando las lámparas se operan bajo condiciones adecuadas, particularmente cuando el reactor utilizado cumple las especificaciones dictadas por el Instituto Nacional Americano de Normas, cuyas siglas en inglés son ANSI, a lo que debe agregarse al voltaje adecuado para el diseño del reactor. Generalmente los reactores ostentan una etiqueta o placa que aseguran su comportamiento eléctrico adecuado (CBM). Las tablas de duración de lámparas publicadas están basadas en un ciclo de operación de tres horas por cada arranque. Si el ciclo de operación de la lámpara es mayor, se obtiene también una mayor duración. Los factores de multiplicación típicos son: seis horas por arranque, 1.25; doce horas por arranque, 1.6; operación continua, 2 ó más.

Depreciación Lumínica.

En forma similar a lo que ocurre con otros tipos de lámpara, las fluorescentes disminuyen su producción luminosa conforme van envejeciendo. La producción luminosa depende tanto del wattaje como del color de la lámpara, y disminuye rápidamente durante las primeras 100 horas de operación. Para propósitos de tabulación, se utiliza en forma inicial esta cifra de 100 horas. La Fig. 5 – 25 muestra la depreciación típica de las lámparas fluorescentes es una gráfica de producción luminosa - tiempo.

Color.

El color de la luz producido por las lámparas fluorescentes depende únicamente del tipo de fósforo utilizado. Como resultado, existen muchos colores y varios tonos de blanco.

Efectos de la Temperatura.

La producción luminosa de cualquier lámpara fluorescente depende de la presión del vapor de mercurio que se encuentra dentro. Por tanto, al aumentar o disminuir la temperatura de la pared del tubo alrededor de su punto óptimo de 100 grados Fahrenheit,

variará la presión y por tanto la producción luminosa. La Fig. 5 – 26 indica estos cambios.

Las lámparas fluorescentes se comportarán en forma satisfactoria cuando operan con los auxiliares aprobados. Los reactores están diseñados para arrancar las lámparas en temperaturas tan bajas como 50 grados Fahrenheit. Si se requiere operar a temperaturas menores que esto, se necesita utilizar un reactor que proporcione mayores voltajes de circuito abierto a fin de proporcionar el arranque adecuado. En un sistema eléctrico sin aterrizar, deben tomarse precauciones especiales a fin de asegurar el arranque en forma confiable.

Efectos de la humedad.

La carga electrostática en el exterior de una bombilla fluorescente afecta el voltaje necesario para establecer el arco. El aire húmedo que rodea la lámpara afecta dicha superficie desfavorablemente, requiriendo voltajes de arranque instantáneo. Este factor se vuelve muy importante cuando la humedad relativa excede del 65 por ciento, y su efecto aumenta rápidamente conforme la humedad se acerca al 100 por ciento. Las lámparas "slimline", y las de arranque rápido instantáneo vienen normalmente con una capa de silicón para facilitar el arranque a voltajes normales bajo cualquier condición de humedad. Existen también unos canales metálicos que ayudan también al arranque, y que requieren aterrizar junto con el reactor.

Las lámparas fluorescentes se comportarán en forma satisfactoria cuando operan con los auxiliares aprobados. Los reactores están diseñados para arrancar las lámparas en temperaturas tan bajas como 50 grados Fahrenheit. Si se requiere operar a temperaturas menores que esto, se necesita utilizar un reactor que proporcione mayores voltajes de circuito abierto a fin de proporcionar el arranque adecuado. En un sistema eléctrico sin aterrizar, deben tomarse precauciones especiales a fin de asegurar el arranque en forma confiable.

Efectos de la humedad.

La carga electrostática en el exterior de una bombilla fluorescente afecta el voltaje necesario para establecer el arco. El aire húmedo que rodea la lámpara afecta dicha

superficie desfavorablemente, requiriendo voltajes de arranque instantáneo. Este factor se vuelve muy importante cuando la humedad relativa excede del 65 por ciento, y su efecto aumenta rápidamente conforme la humedad se acerca al 100 por ciento. Las lámparas "slimline", y las de arranque rápido instantáneo vienen normalmente con una capa de silicón para facilitar el arranque a voltajes normales bajo cualquier condición de humedad. Existen también unos canales metálicos que ayudan también al arranque, y que requieren aterrizar junto con el reactor.

Interferencia de Radio.

Cuando el arco electrodo es inestable o chisporrotea, puede producirse una radiación que puede detectarse en las frecuencias de transmisión de radio comprendidas entre 550 y 1600 Hz. Esta interferencia puede llegar al receptor en cualquiera o todas de las siguientes formas:

- Radiación directa de la lámpara fluorescente al circuito de antena del radio.
- Radiación directa de la línea de suministro eléctrico al circuito de antena.
- Retroalimentación desde el luminario hasta el radio a través de la línea de corriente.
- La interferencia puede reducirse utilizándose los siguientes procedimientos:
- Retirando la antena de la lámpara, o utilizando una pantalla aterrizada que rodee la lámpara.
- Tanto la radiación por la línea como la retroalimentación por ella misma pueden realizarse instalando filtros eléctricos tan cerca de cada lámpara como sea posible.

Ventajas:

- Alta eficiencia.
- Larga duración.
- Es una fuente lineal.
- Existen en gran variedad de colores.
- Tienen luminancia de superficie relativamente baja.

Desventajas:

- Mayor costo inicial debido a que requieren equipo auxiliar.
- Es sensible tanto a la temperatura como a la humedad.
- Produce interferencia de radio.
- Produce relativamente pocos lúmenes en relación con el tamaño fisico de la lámpara.
- No se presta para un control preciso de la luz.

5.9 PARTE 2B – LAMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD.

5.10 Generalidades.

La lámpara de descarga de alta intensidad produce luz directamente y como resultado de una corriente, que pasa a través de un gas o vapor sometido a presión. La corriente eléctrica a través del vapor aumenta en forma no controlada, por lo que se requiere un reactor que lleve a cabo dicho control sobre la lámpara. La distribución de la potencia de entrada en una lámpara típica de 400 watts del tipo de descarga de alta intensidad se detalla en la Tabla 5 – 2.

5.11 Lámparas de mercurio.

Partes y Clasificación de las Lámparas:

Partes tipicas de las lámparas de mercurio.

Las partes se muestran esquemáticamente en la Fig. 5 – 27. Los elementos básicos son el tubo de arco, los electrodos y la envoltura de cristal dentro de la cual se encuentran el tubo de arco y que sirve para estabilizar la operación de la lámpara y prevenir la oxidación de las partes metálicas.

FORMAS DE LAS BOMBILLAS. (Ver Fig. 5 – 28).

T – tubular	R – reflector
A – arbitrario	BT- bulbo tubular
PAR- parabólica	E – elíptica

Clasificación de las lámparas.-

La ANSI desarrolló un código para los tipos de lámparas de mercurio, según se muestra la Fig. 5 – 29. El sistema ANSI utiliza la letra H seguida de un número y otras dos letras. La letra H indica que la lámpara es del tipo de mercurio. El número representa el tipo de reactor utilizado, y las dos letras siguientes definen las características físicas de la lámpara. Se utilizan letras adicionales para identificar el tipo de recubrimiento de fósforo que utiliza. Esta última son como sigue:

C - para el fósforo de color mejorado.
W - para el fósforo de alta eficacia.
DX- para el tipo de lujo.
Y - para el amarillo.

Tipos de Lámparas.

- Las lámparas de mercurio se utilizan para propósitos generales de alumbrado y se consiguen en wattajes desde 40 hasta 220 watts.
- Existen lámparas transparentes y también con recubrimiento de fósforo; las curvas espectrales para lámparas típicas aparecen en la Fig. 5 – 30.

Características de Operación.

Larga duracion.

La duración promedio es típicamente superior a las 24,000 horas, como se ve en la Fig. 5 – 31.

Eficacia.

La eficacia de este tipo de lámpara es de 30 a 65 lúmenes por watt dependiendo del wattaje y el color.

Mantenimiento de la produccion luminosa.

La producción luminosa varía mucho con el wattaje y el tipo de fósforo. La Fig. 5 – 32 muestra una curva típica del mantenimiento de la producción luminosa.

Voltaje.

Se necesita el voltaje de línea adecuado para que las lámparas funcionen correctamente. Ver Fig. 5 – 33.

Arranque.

El arranque de la lámpara de mercurio necesita varios ciclos. Al aplicarse el voltaje por primera vez, se establece un pequeño arco entre el electrodo de arranque y el de operación. La ionización continua da por resultado que la resistencia del arco se reduce entre los electrodos principales.

Calentamiento.

El tiempo de calentamiento requerido es de cuatro a siete minutos, tiempo durante el cual todo el mercurio se convierte en vapor y la lámpara alcanza su máxima brillantez. En este momento, se estabilizan el voltaje y la corriente; sin embargo, una interrupción momentánea en el suministro eléctrico o bien, una baja considerable de voltaje, puede ocasionar que la lámpara se apague.

Re-arranque.

El tiempo de re-arranque es de cuatro a seis minutos, ya que la mayor parte del vapor de mercurio debe condensarse antes de que el voltaje a través del reactor pueda restablecer el arco.

Operación normal.

La salida de las lámparas de descarga de alta densidad no se ve afectada por la temperatura ambiente. Sin embargo, tanto las bajas temperaturas como los vientos pueden producir una condición en la cual se requiera de un voltaje más alto para encender la lámpara.

Circuitos de corriente continua.

Las lámparas de mercurio pueden operarse con éxito en circuitos de corriente continua que proporcionan un voltaje suficiente para encender las lámparas y que cuentan con los reactores adecuados para limitar la corriente. Sin embargo, el mantenimiento de la producción luminosa puede afectarse adversamente.

5.12 Lámparas de haluros metálicos.

Generalidades.

La lámpara de haluro metálico tiene materiales adicionales contenidos en el tubo del arco, que sirven para aumentar la producción luminosa y mejorar el color de la lámpara. La Fig. 5 – 35 ilustra las partes de una lámpara de éste tipo.

Aplicaciones.

Las lámparas de haluros metálicos se aplican en sistemas de iluminación en exteriores, para deportes y para iluminar las calles, así como otras aplicaciones generales.

Eficacia.

La eficacia de éste tipo de lámparas es de 75 a 10 lúmenes por watt dependiendo de los haluros metálicos utilizados y también del wattaje de la lámpara.

Duración.

La duración de éstas lámparas es del orden de 6,000 a 10,000 horas.

Mantenimiento de la producción luminosa.

Esta característica se ilustra en la Fig. 5 – 36.

Características especiales.

La Fig. 5 – 37 ilustra éstas características.

Arranque.

Tanto el arranque como el calentamiento de estas lámparas son similares a las de la lámpara de mercurio, aunque requieren más tiempo para llevarse a cabo.

Voltaje.

Las lámparas de éste tipo son de naturaleza evolutiva. En su forma actual, los requisitos de las lámparas en cuanto a voltaje de arranque y forma de onda de la corriente de operación son tales que las lámparas no se comportarán adecuadamente con la mayoría de los reactores existentes para lámparas de mercurio.

5.13 Lámparas de sodio de alta presión.

Generalidades.

Este tipo de lámparas utilizan un tubo de arco hecho de una alumina especial para transmitir la luz, y que permite operar con sodio a temperaturas mayores y presiones más elevadas que las disponibles anteriormente. Las partes de la lámpara de sodio de alta presión se muestran en la Fig. V – 38.

Aplicaciones.

Esta lámpara se aplica en alumbrado de las calles, para iluminación exterior y para alumbrado en general de áreas grandes.

Eficacia.

La eficacia de esta lámpara es de 100 a 115 lúmenes por watt, dependiendo del wattaje de la lámpara.

Duración.

Estas lámparas tienen una vida de alrededor de 10,000 horas.

Mantenimiento de la producción luminosa.

La Fig. 5 – 39 muestra el mantenimiento de la producción luminosa.

Espectro.

El espectro de éstas lámparas es continuo según se ve en la Fig. 5 – 40. Y por tanto contiene algo de todos los colores.

Arranque.

La lámpara de sodio de alta presión puede necesitar hasta 15 minutos para alcanzar su máxima potencia luminosa; en caso de una interrupción, el arco se restablecerá nuevamente uno o dos minutos después.

Voltaje.

Los requisitos de éstas lámparas tanto para su arranque como para la variación de voltaje que experimentan a lo largo de su vida son tales que se requieren reactores especialmente diseñados.

5.14 PARTES 3 – RESUMEN.

La Fig. 5 – 41 nos presenta una tabla comparativa de las diferentes cualidades de todas las clases de lámparas que hemos visto hasta ahora.

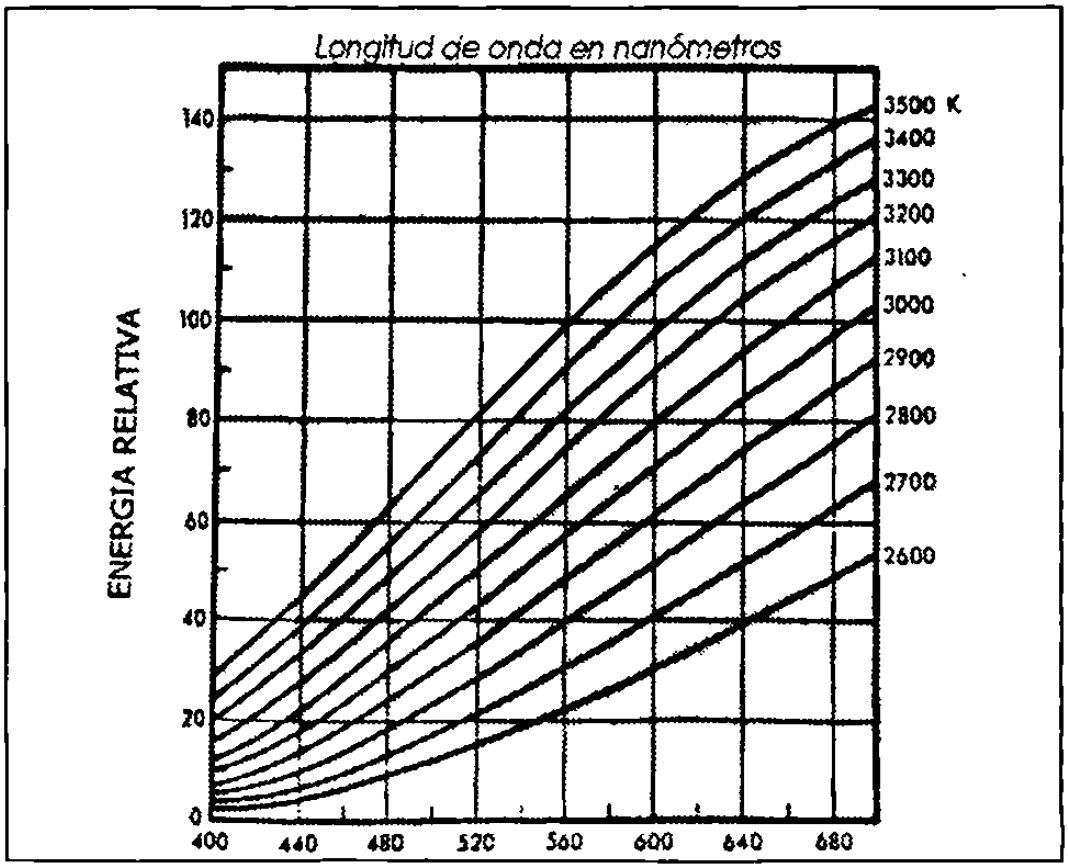


Figura 5-1-Espectro continuo. Distribución espectral de energía en la región visible característica de filamentos de tungsteno al igual wattaje, pero diferente temperatura.

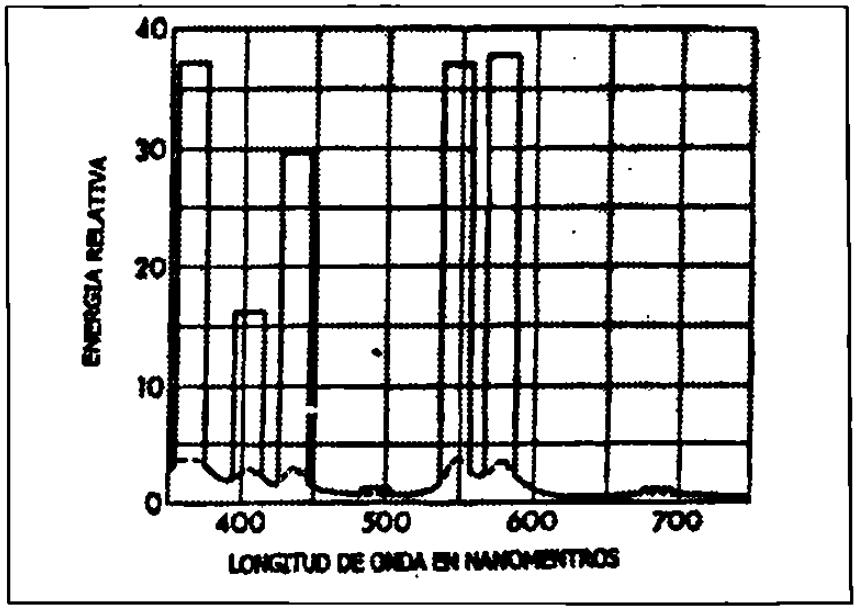
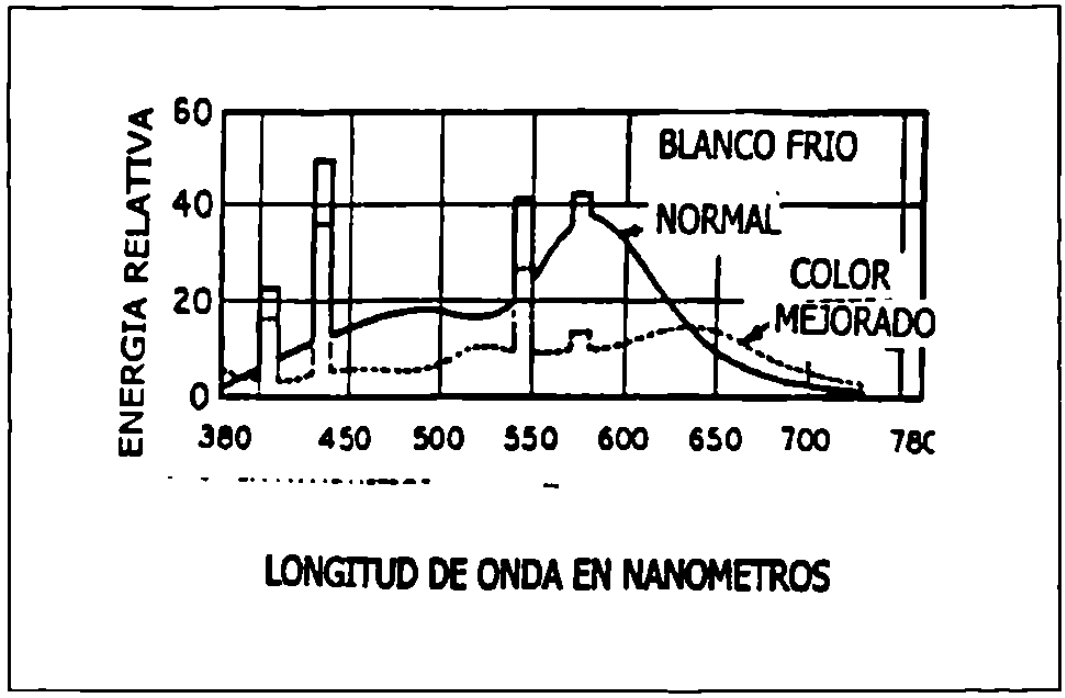


Figura 5-2-Espectro de línea. Distribución espectral típica de una lampara transparente de mercurio.



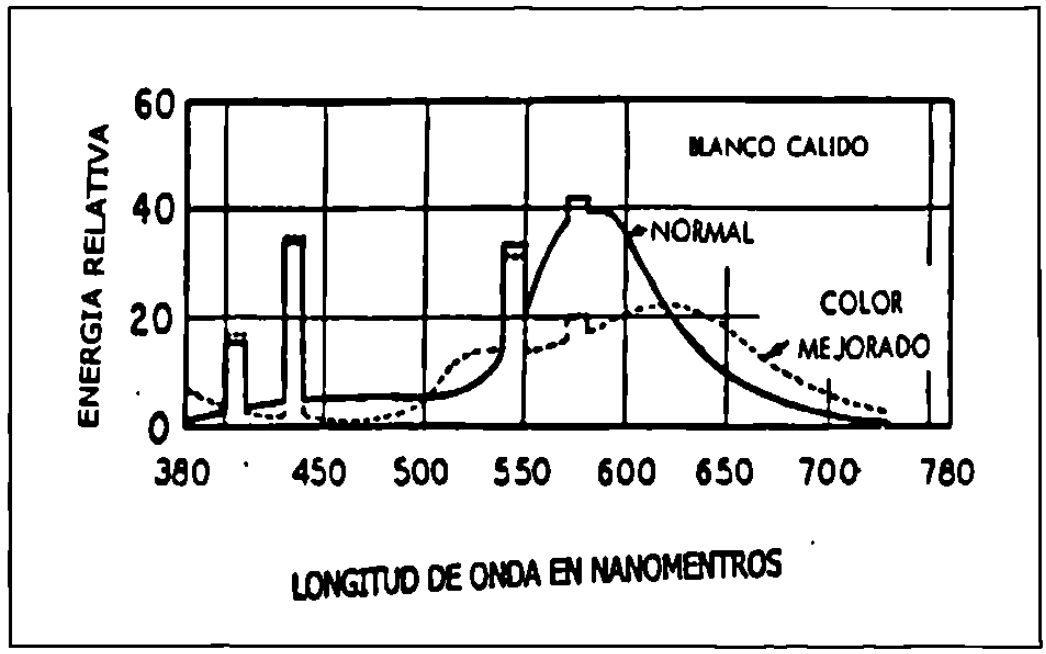


Figura 5-3-Espectro combinado continuo y de línea. Curvas de distorsión de energía en lamparas fluorescentes típicas

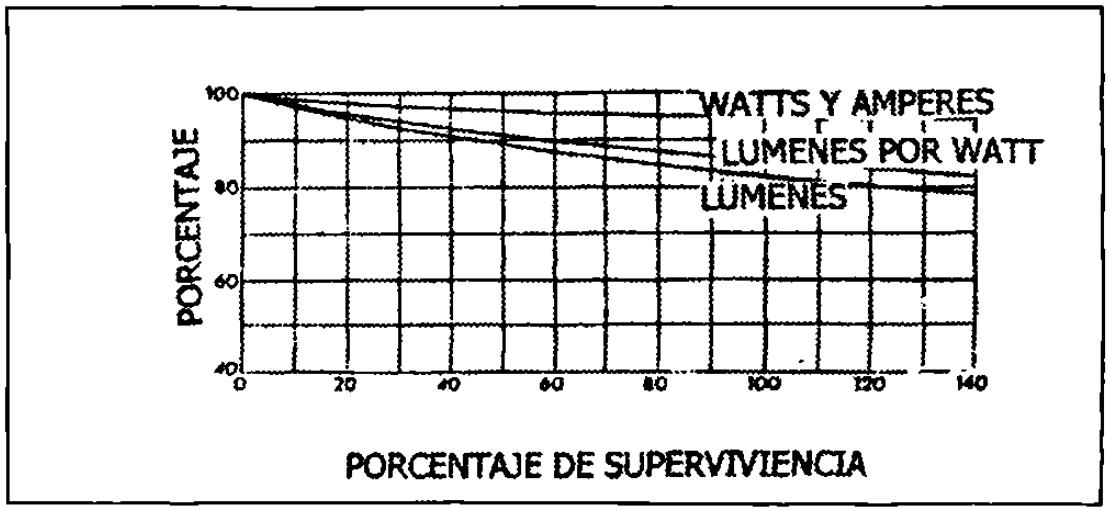


Figura 5-5.- Curva de depreciación para fuentes típicas de filamento incandescente.

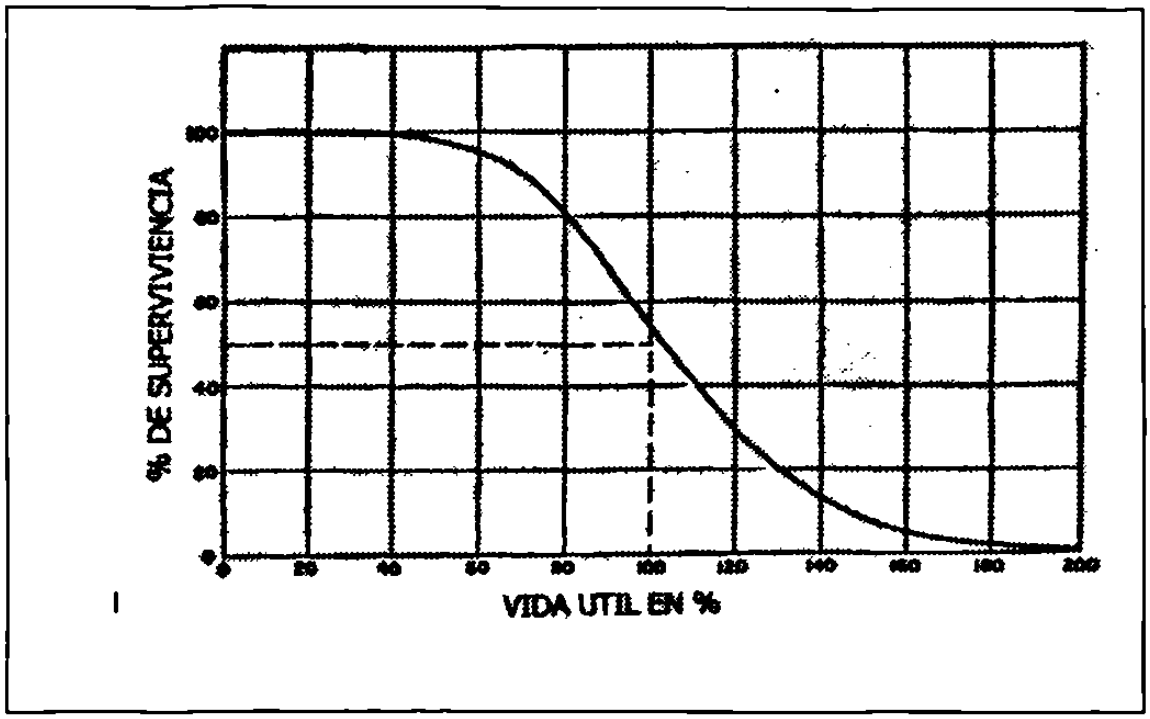


Figura 5-6.- Curva de mortalidad promedio para un grupo de lámparas de filamento incandescente.

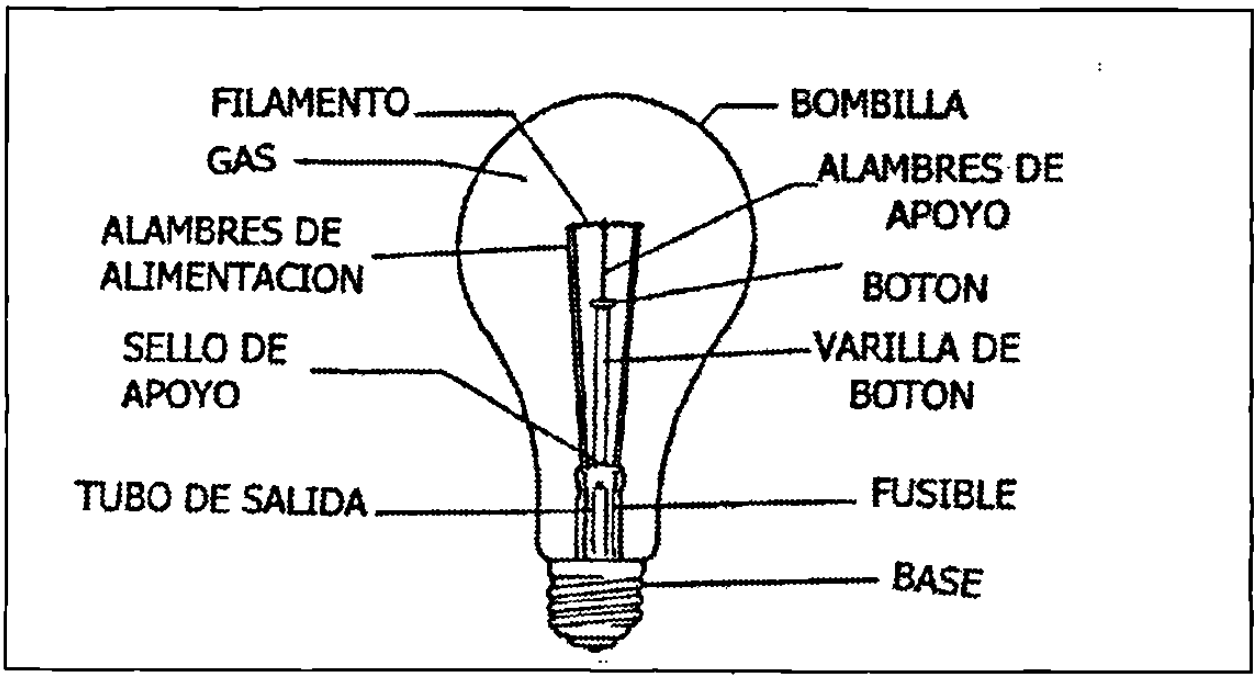


Figura 5-7.- Lámpara de filamento incandescente

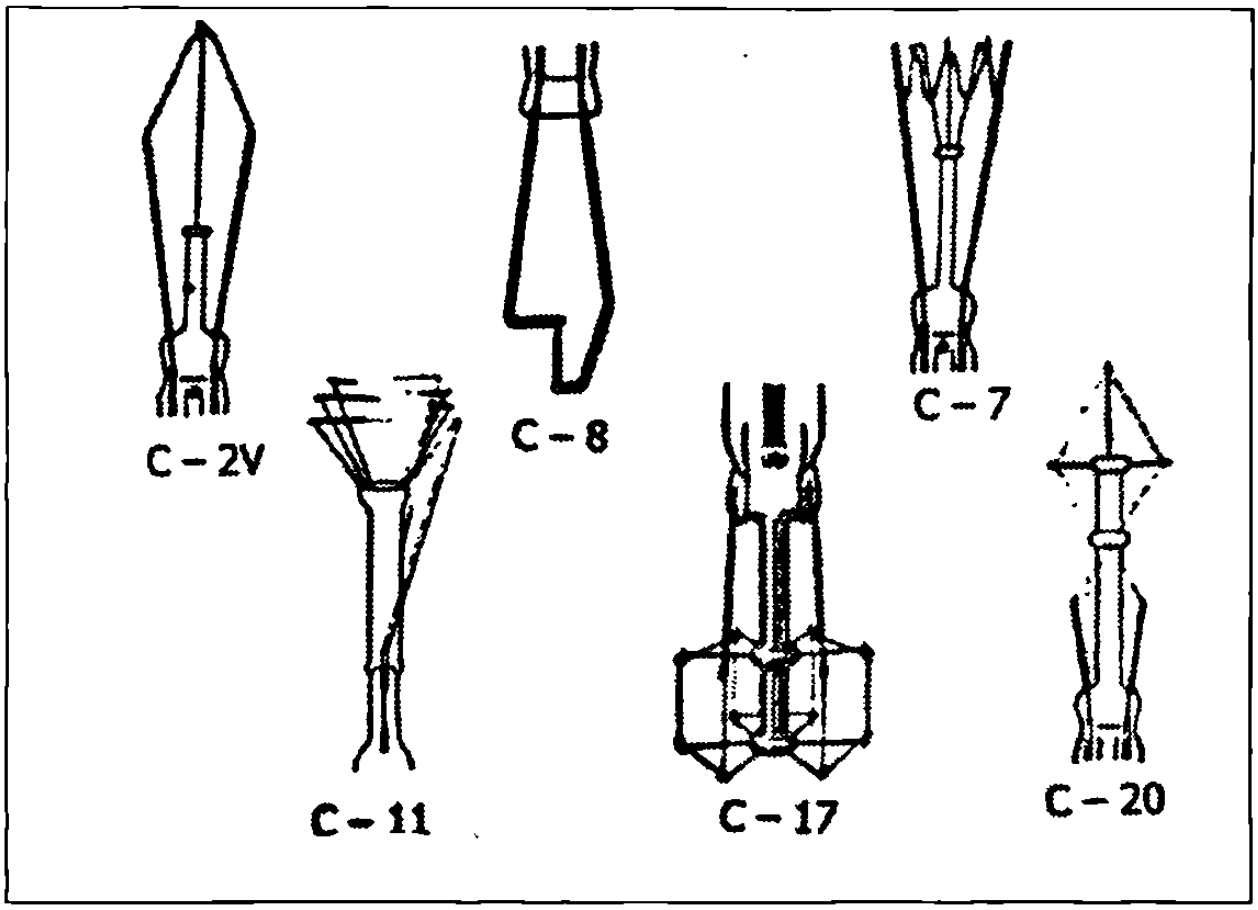
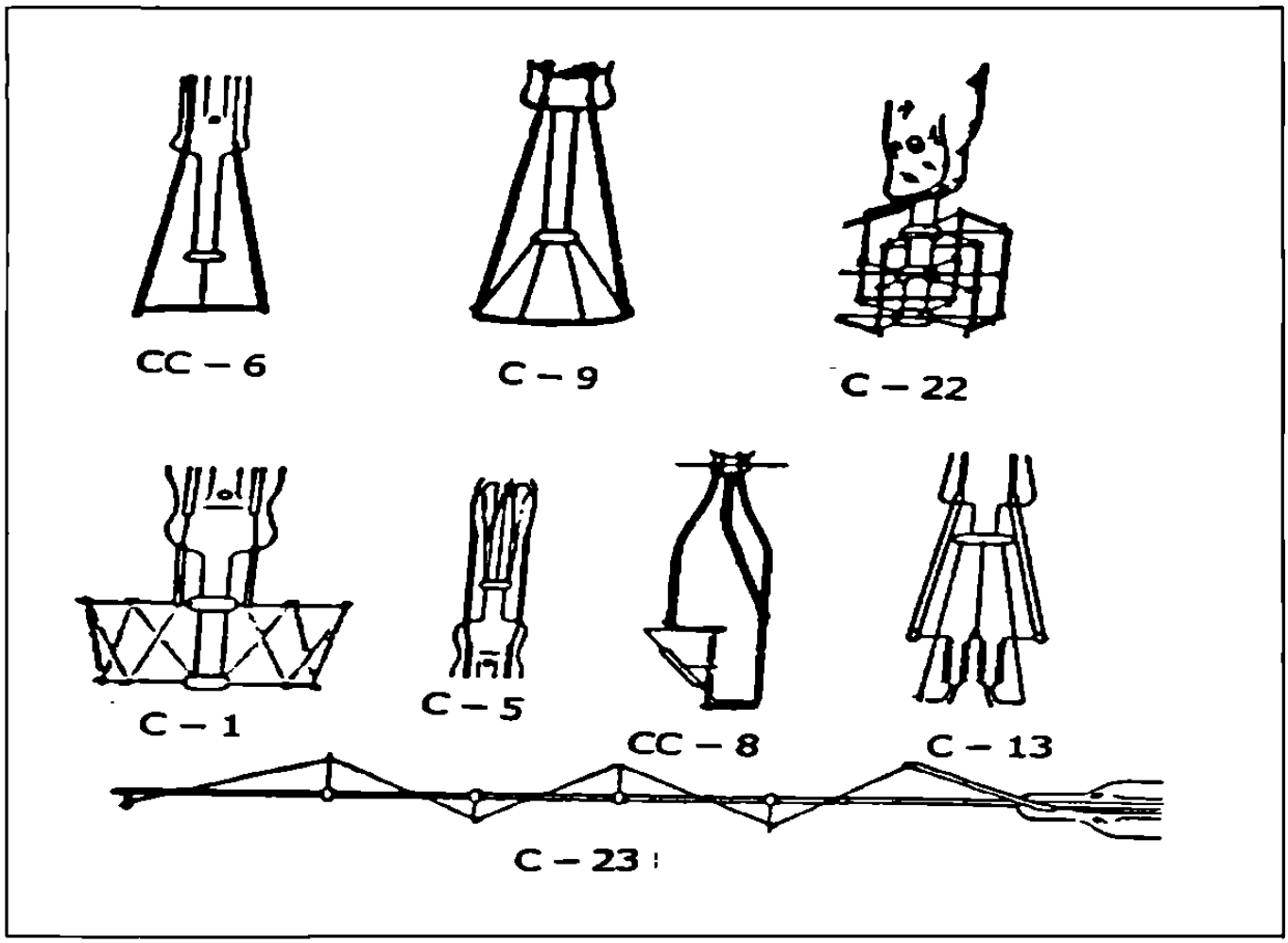


Figura 5-8.- Formas típicas de filamentos.



Los filamentos para usos generales utilizan los menos apoyos posibles, porque cada uno de ellos produce pérdidas de calor en el filamento, reduciendo la eficacia de la lámpara. Muchos tipos utilizan filamentos de bobina enrollada para reducir la longitud total. El filamento de éste tipo (CC-6) de una lámpara de 60 watts tiene 5/8 de pulgada de largo, pero contiene 21 pulgadas de alambre de tungsteno. Los filamentos resistentes a la vibración como el C-9 tiene más apoyos que los de uno general. Tienen una mayor eficacia porque los apoyos adicionales disipan calor. Los filamentos de uso rudo como el C-22 tiene aún más apoyo y en consecuencia, también menor eficiencia. Las lámparas VS y RS son de mayor wattaje y tienen una porción de alambre de piano entre los segmentos "partidos" de la varilla de cristal, con lo que tanto el filamento como la varilla resisten mejor los choques y vibraciones. Varios tipos de los otros comunes de filamento están también ilustrados para su identificación

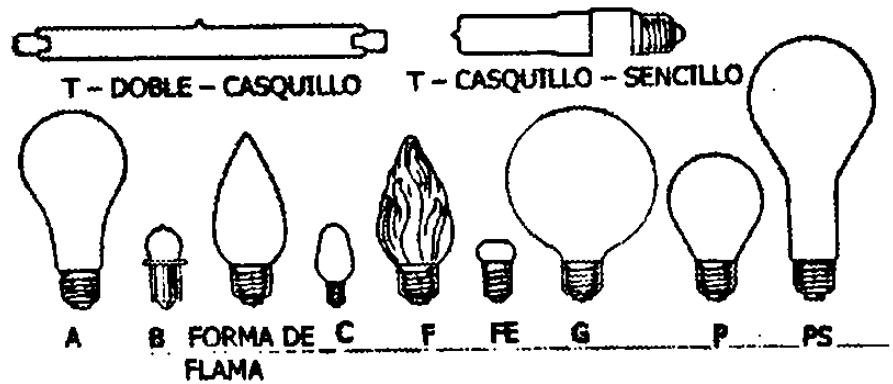
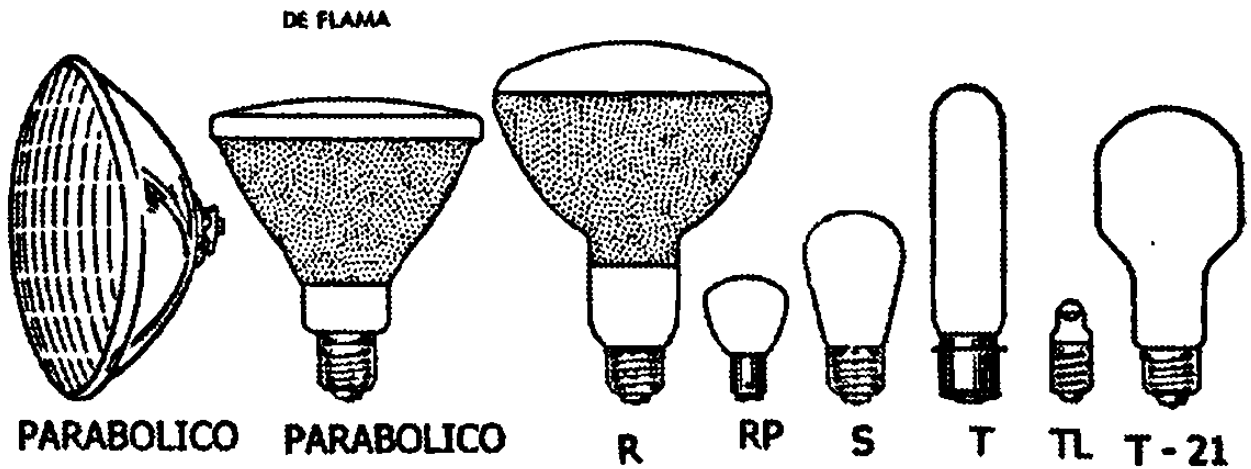


Figura 5-9.- Formas tipicas y designaciones de las bombillas (No esta a escala)

Continua en la siguiente paguina...


DE FLAMA
PARABOLICO
PARABOLICO
R
RP
S
T
TL
T-21

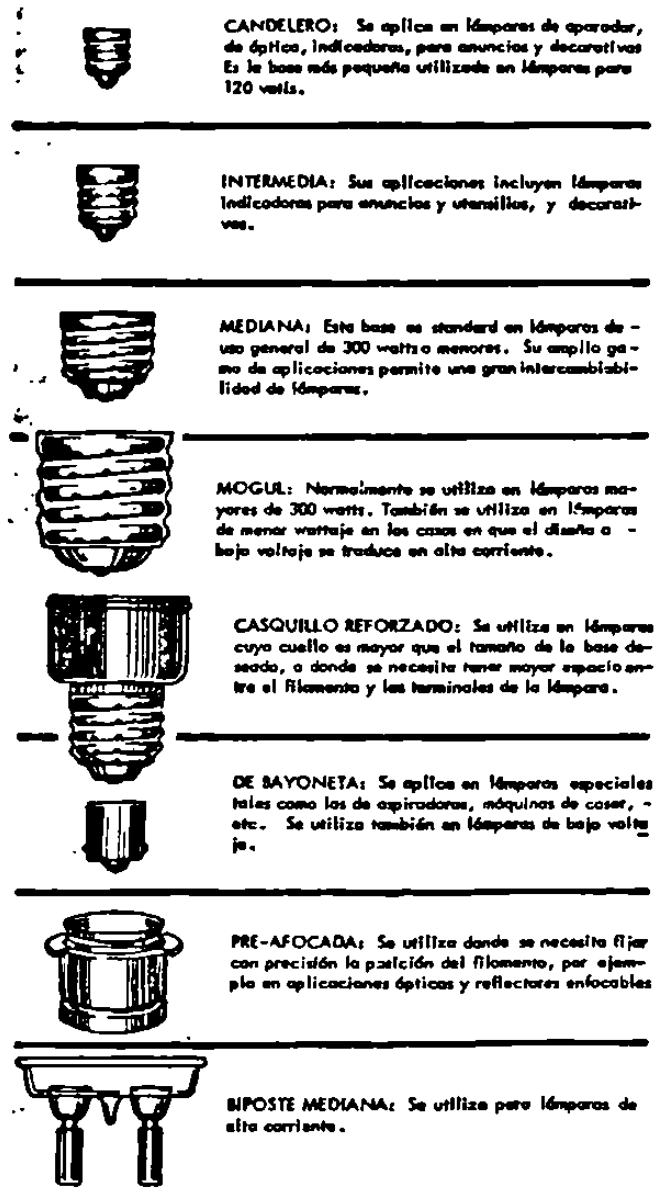


Figura V-10.- Algunas bases de lamparas incandecentes

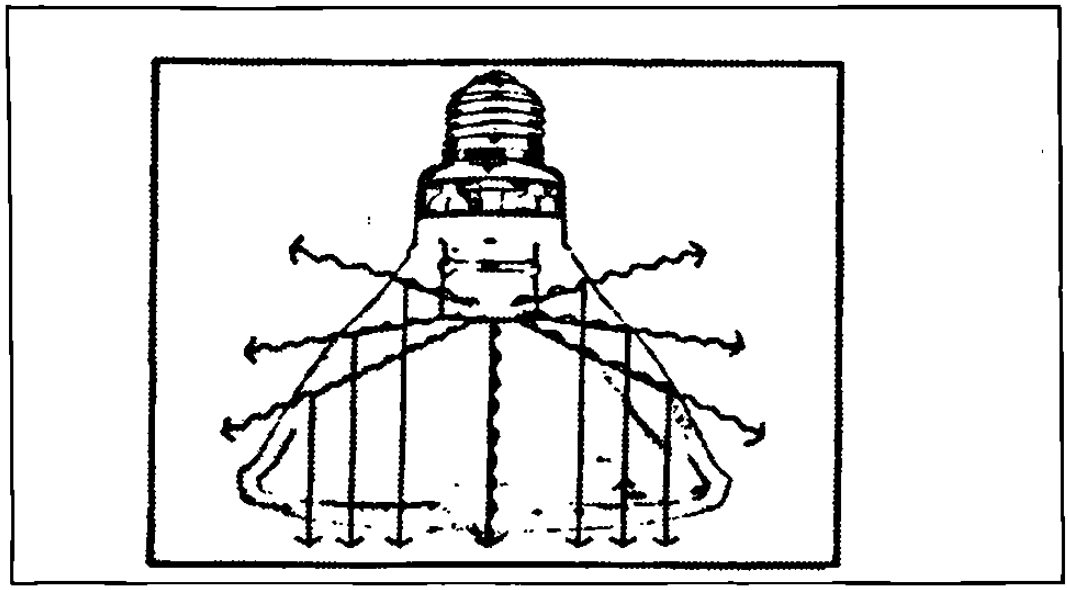


Figura 5-11.- Los filtros dicroicos de interferencia internos de las lámparas PAR les permite separar selectivamente la energía radiada por el filamento.

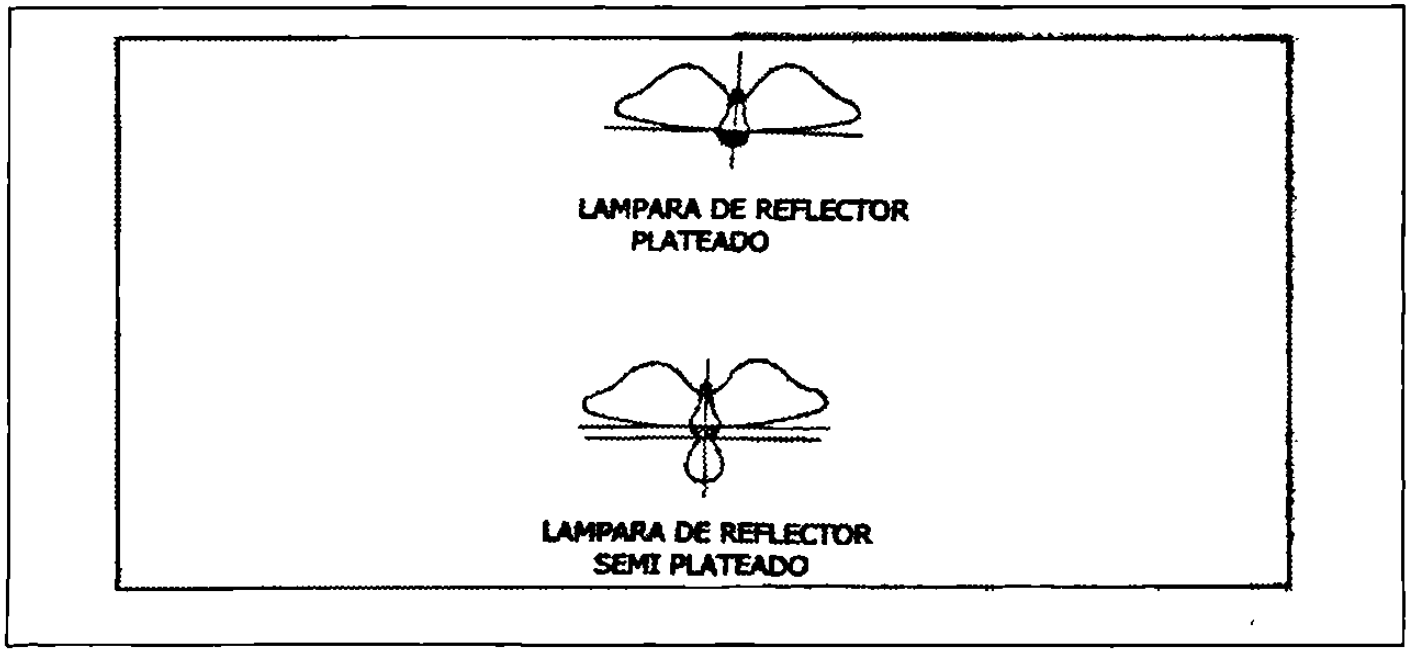


Figura 5-12.- Distribución típica de la luz en lámparas de reflector plateado

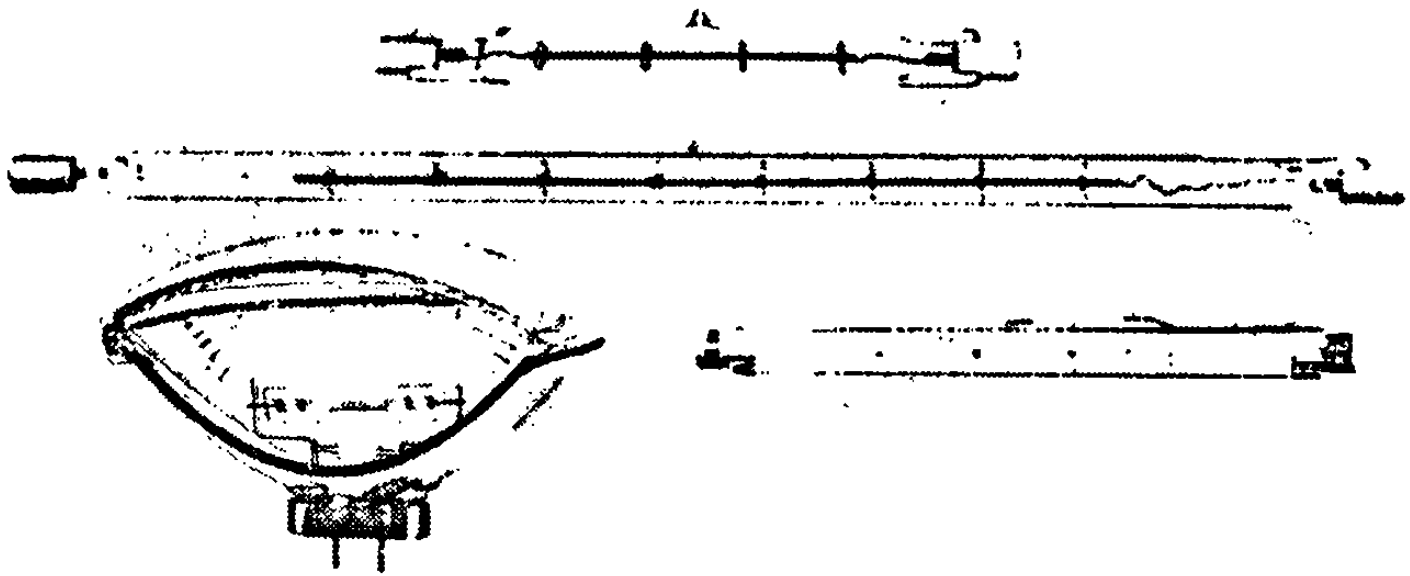


Figura V-13.- Lámparas Tungsteno – Halógeno.

Esta clase de lámpara difiere de las convencionales en tamaño y estructura.

240-volts uso rudo, 1000 horas de duración.	9.6 lm/W
120-volts uso rudo, 1000 horas de duración.	12.3 lm/W
240-volts uso general, 1000 horas de duración.	12.8 lm/W
120-volts para vibración, 1000 horas de duración.	14.2 lm/W
120-volts uso general, 1000 horas de duración.	16.8 lm/W
120-volts uso general, 1000 horas de duración.	17.5 lm/W
30-volts para ferrocarril, 1000 horas de duración.	19.0 lm/W
120-volts para impresora de películas, 50 horas de duración.	19.8 lm/W
12-volts para aviación, 100 horas de duración.	22.0 lm/W

Figura V-14.- Eficacia y vida relativa de varias lámparas de filamento de 100 watts.

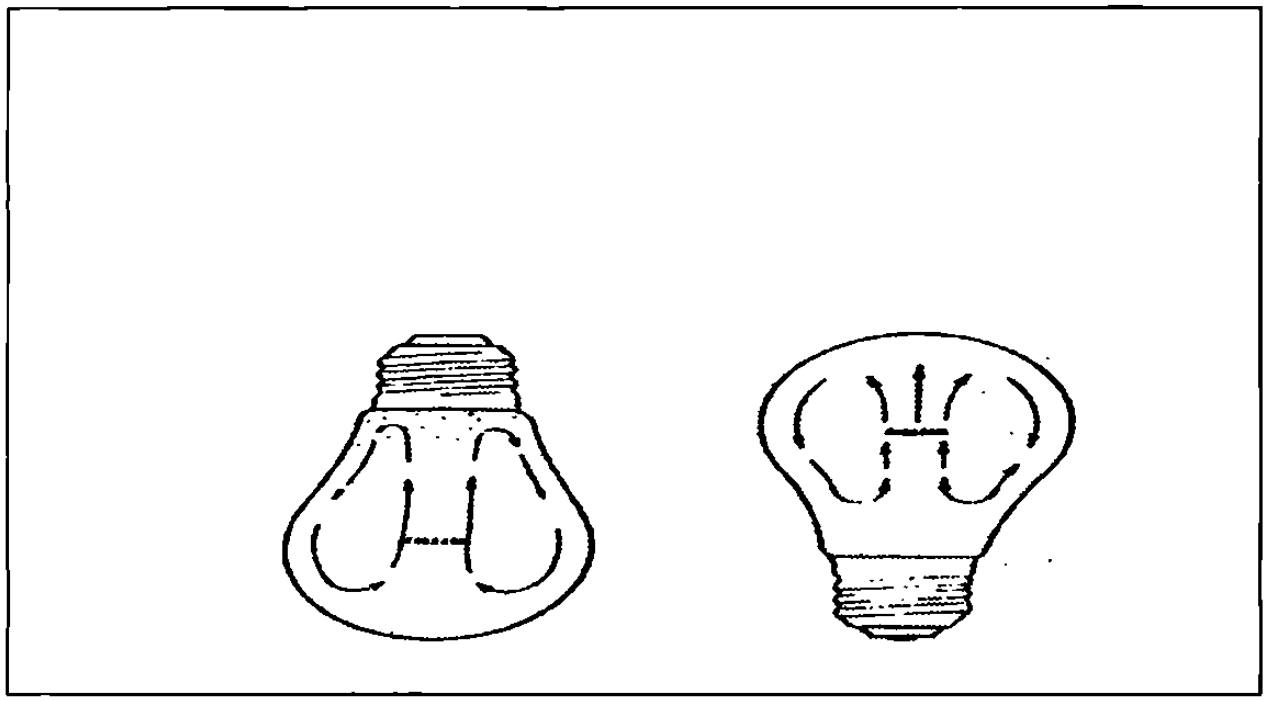


Figura V-15.- Enegrecimiento de una lampara.

Corrientes de conveccion dentro de una bombilla cn gas, mostrada a la izquierda con base hacia arriba y a la derecha con base hacia abajo.

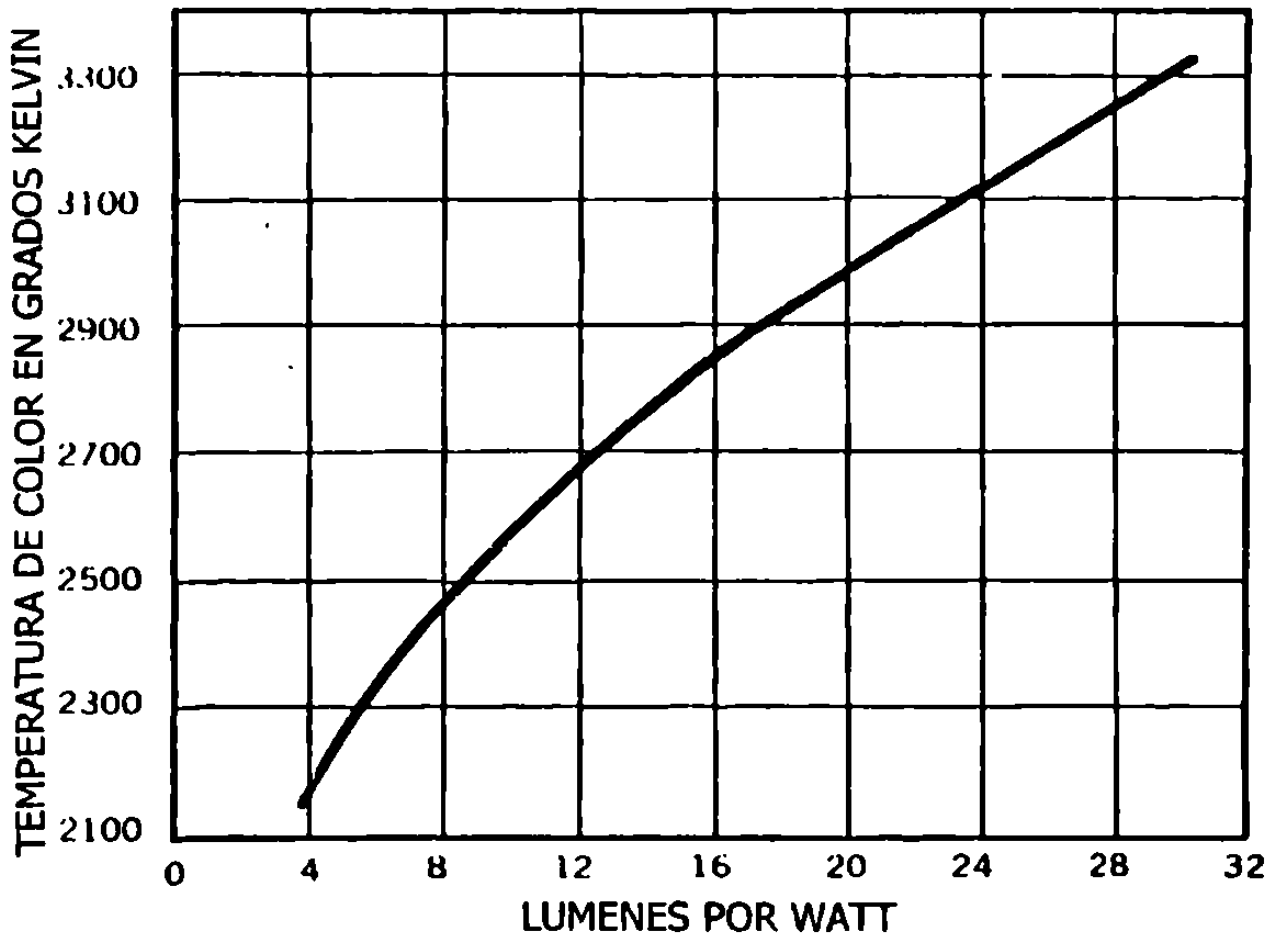


Figura 5-16.- Temperaturas de color. Los diseñadores necesitan saber la temperatura de color aparente de una fuente incandescente para su correcta aplicación. La curva de la figura expresa la relación aproximada entre la temperatura de color y eficacia de una amplia gama de lámparas. Frecuentemente se especifica la eficiencia de ellas, que puede también calcularse a partir de los lúmenes y el wattaje. Hecho esto, se utiliza la curva para estimar la temperatura de color del filamento.

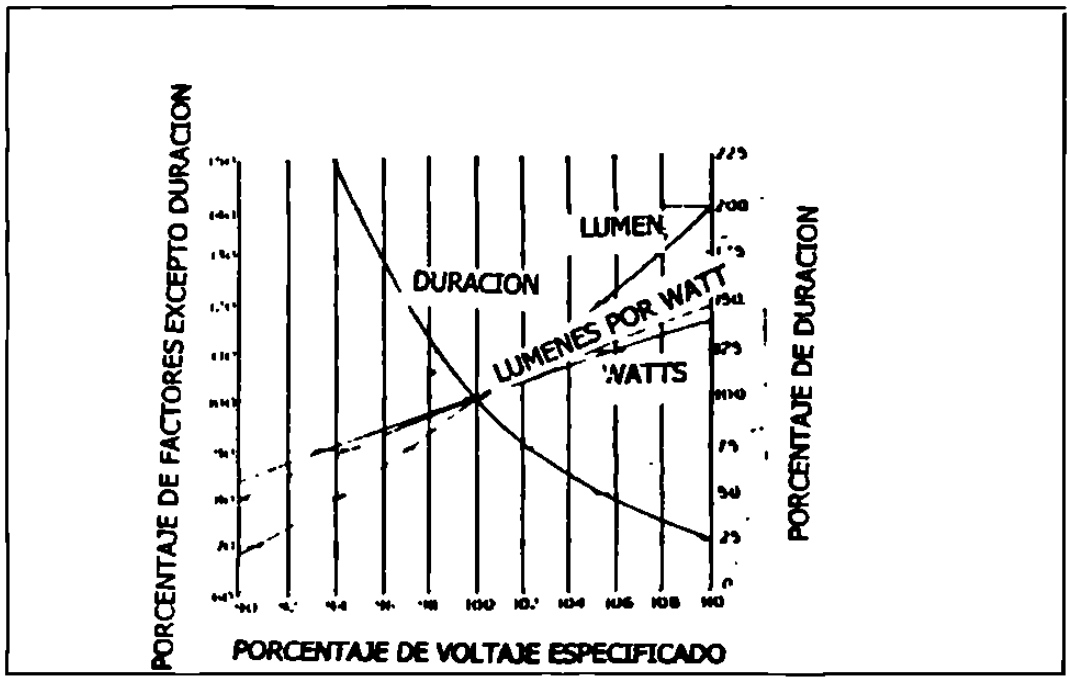


Figura 5-18.- Características típicas de lamparas incandescentes

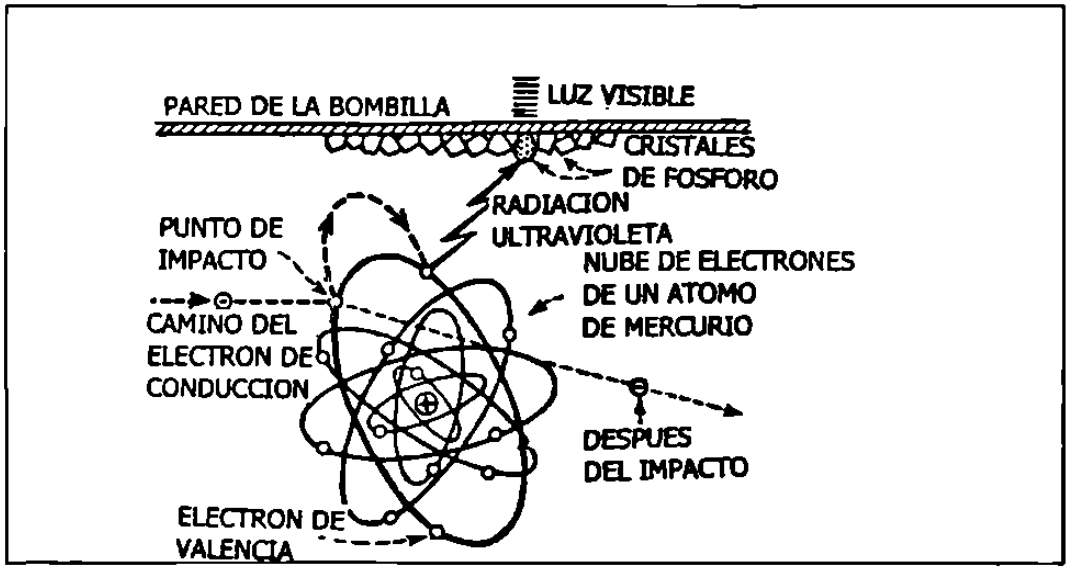


Figura 5-18.- Funcionamiento de la lámpara fluorescente:

(a) Los electrones emitidos por un electrodo situado en el extremo de la lámpara fluorescente viajan a alta velocidad a través del tubo hasta que chocan con uno de los electrones del átomo de mercurio.

(b) El impacto saca el electrón del átomo de mercurio fuera de su órbita. Al regresar bruscamente a su lugar, se produce radiación ultravioleta.

(c) Cuando la radiación ultravioleta alcanza los cristales de fósforo, el impulso se trasmite hasta uno de los centros activos del cristal, sucediendo algo similar a lo descrito en el paso.

d) Sin embargo, en esta ocasión se produce luz visible.

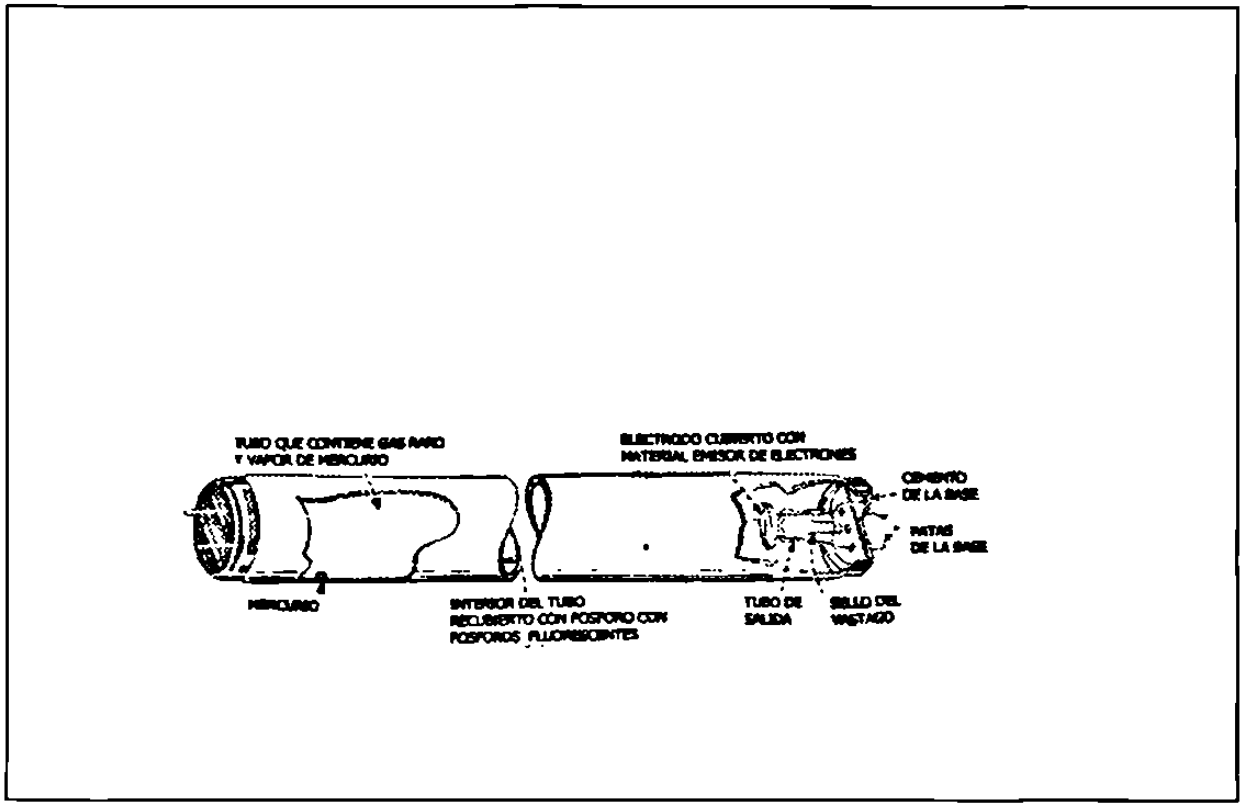


Figura 5-19.- Corte de una lámpara fluorescente del tipo de cátodo caliente y arranque pre-calentado, que muestra unos electrodos típicos.

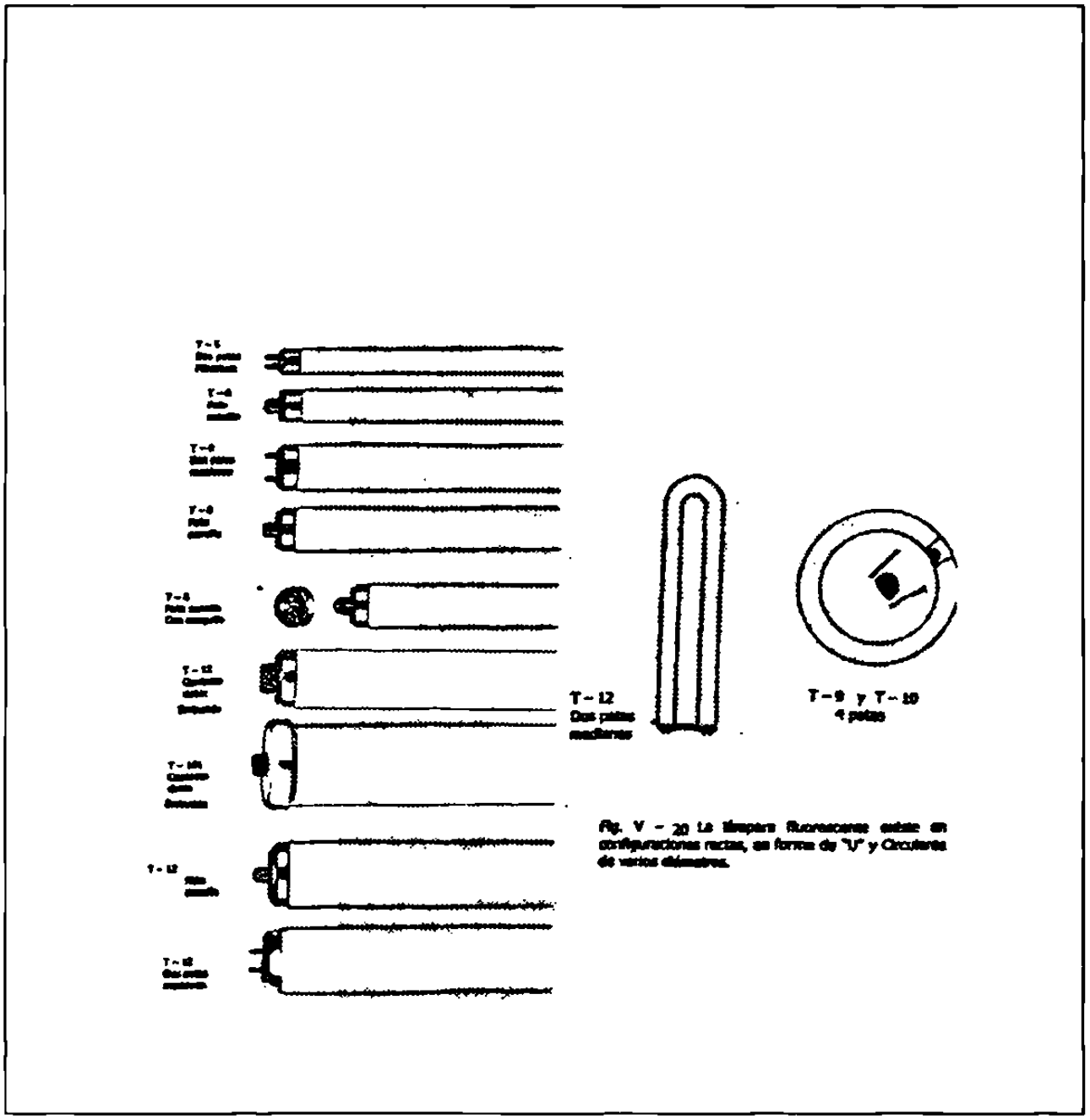


Figura 5-20.- La lámpara fluorescente existe en configuraciones rectas, en forma de "U" y circulares de varios diámetros.

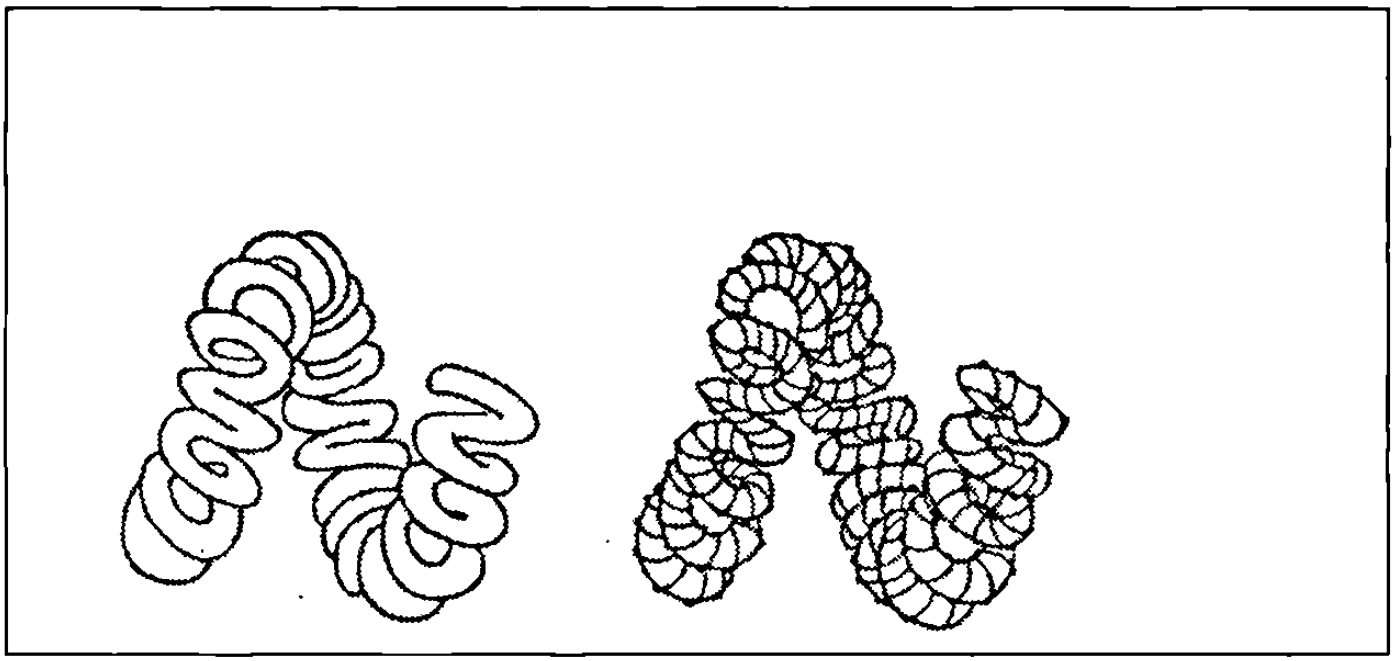


Figura 5-21.- Sección amplificado de un electrodo de cátodo caliente. Los electrodos están recubiertos con un compuesto emisor de electrones. Los filamentos de bobina enrollada(izquierda) aseguran firmemente el compuesto emisor de electrones, especialmente en el caso de los electrodos de bobina triple.

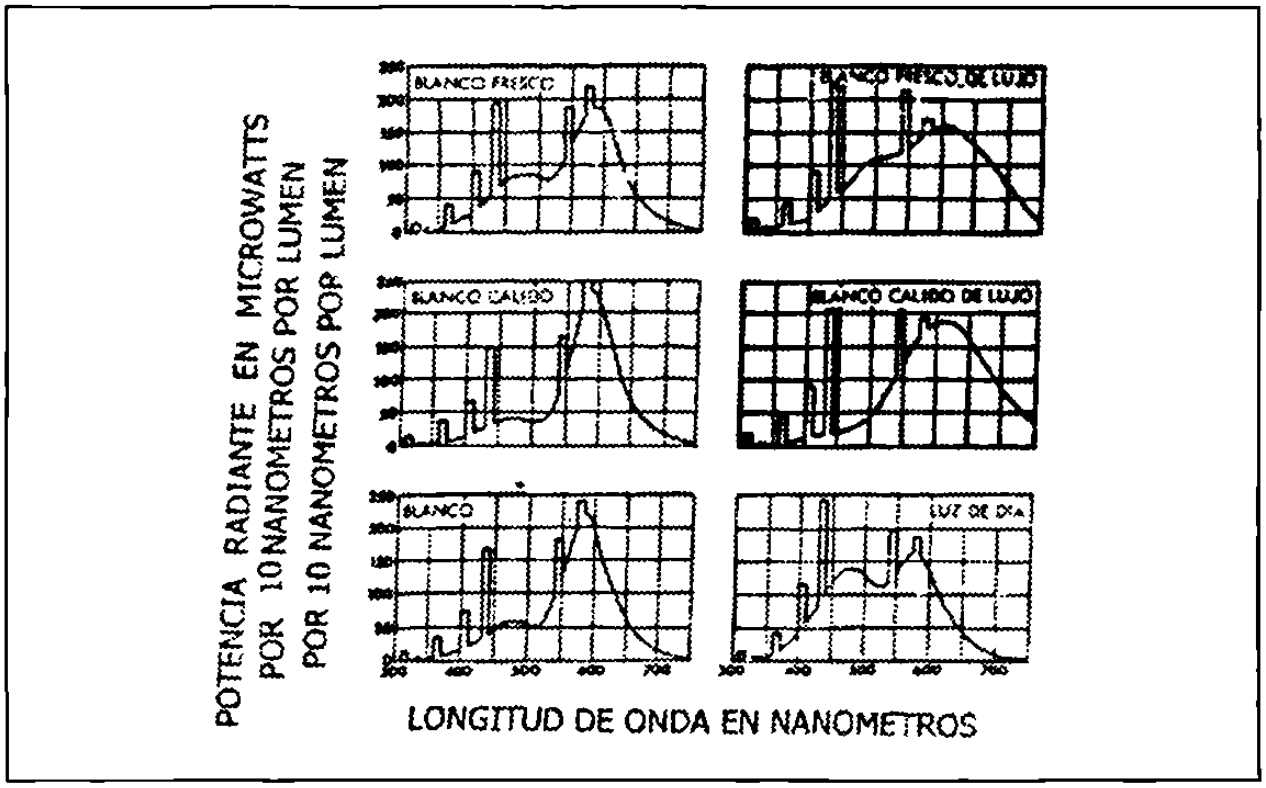
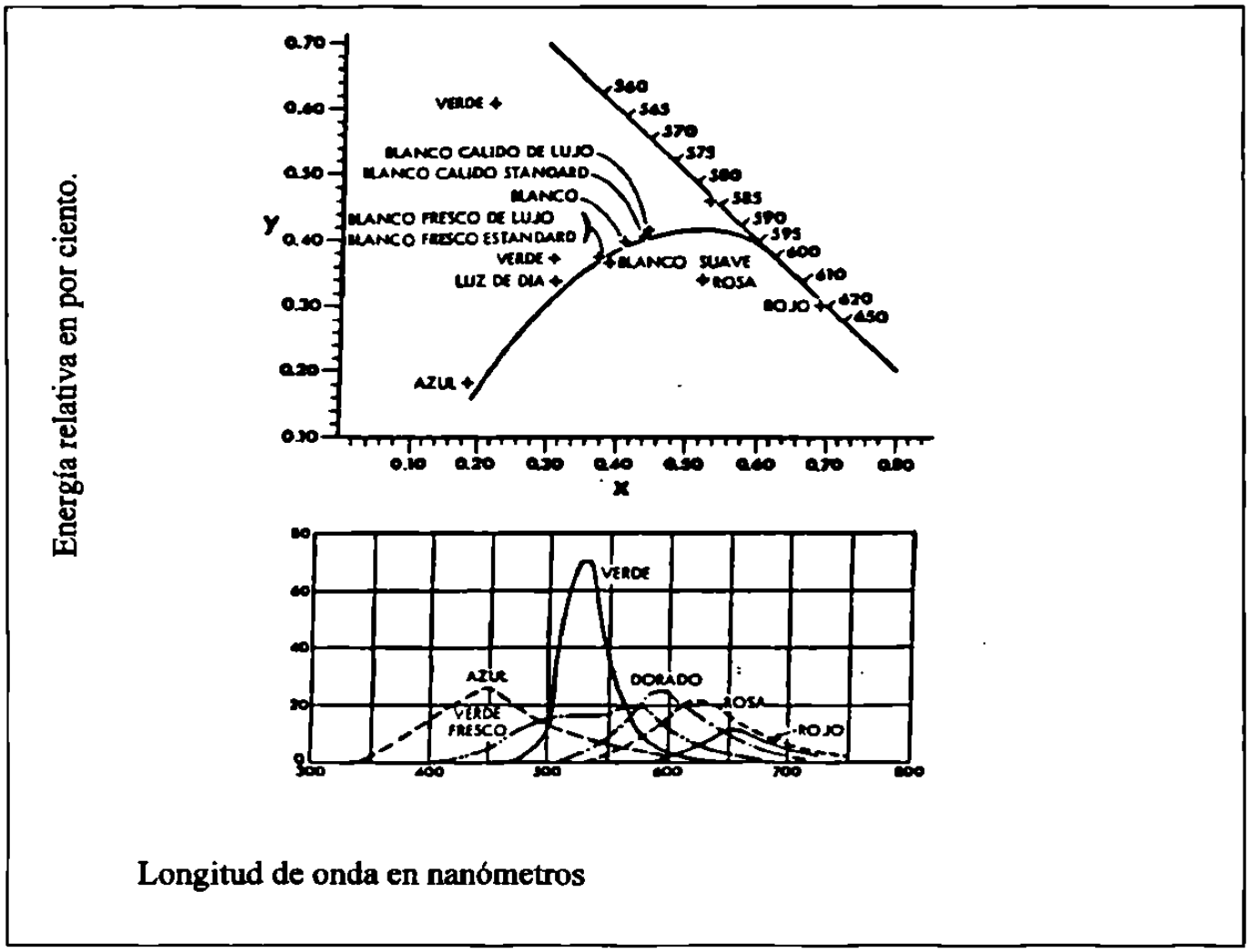


Figura 5-22.- Diagrama de cromaticidad CIE, que muestra algunas lámparas fluorescentes blancas y de color en relación con la curva de un cuerpo negro. La parte inferior de la figura muestra las curvas de distribución espectral de lámparas fluorescentes típicas.



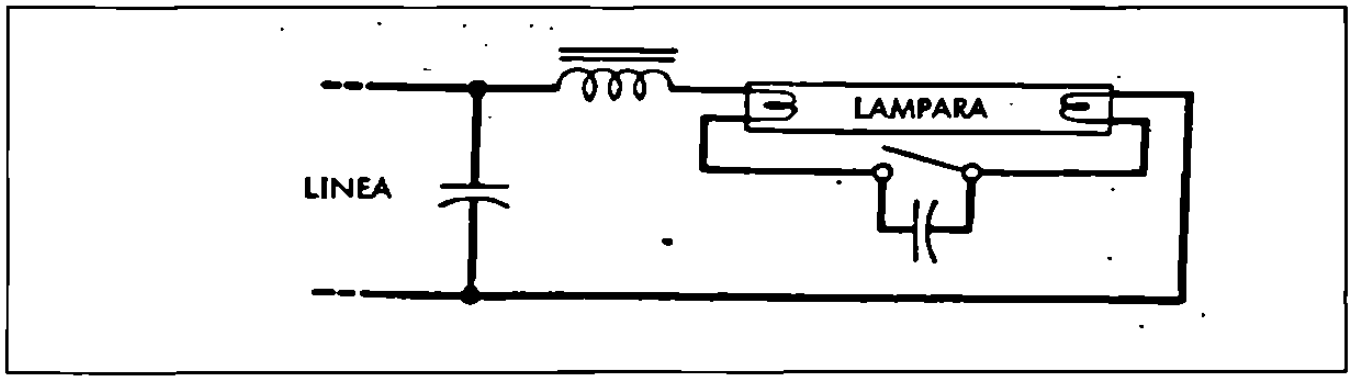


Figura 5-23.- Circuito de pre-calentado que utiliza un reactor para una sola lampara con condensador. El arrancador a través de la lámpara puede ser automática o manual.

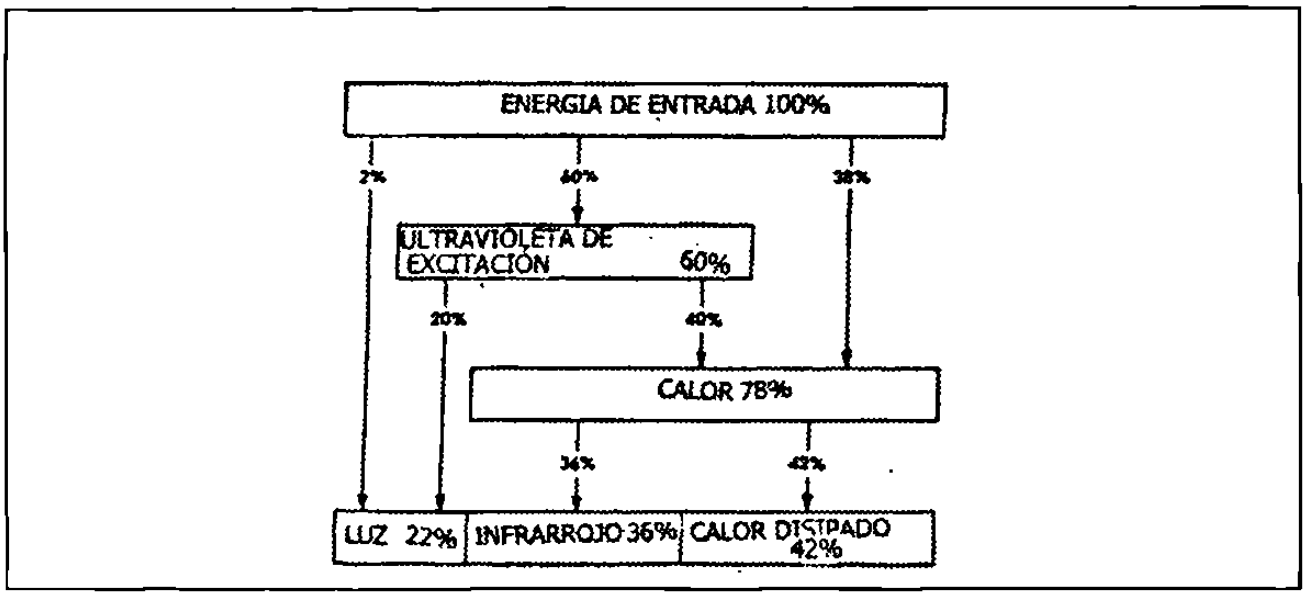


Figura 5-24.- Distribución de energía en una lámpara fluorescente de color blanco fresco.

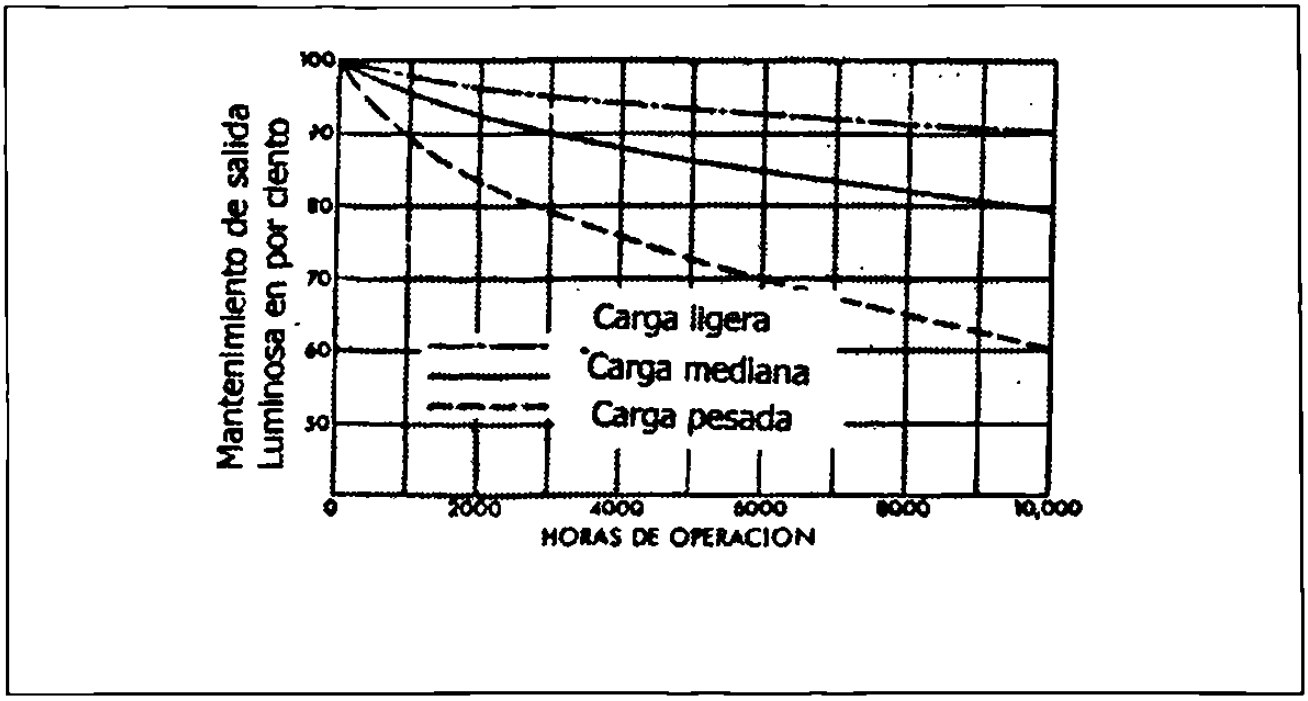
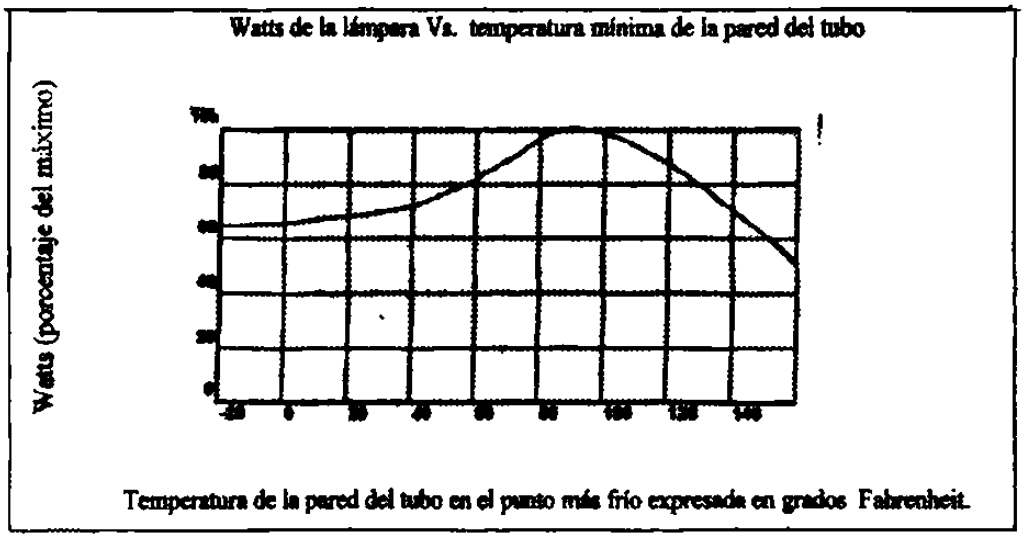


Figura 5-25.- Curva típica de mantenimiento de la salida luminosa en lámparas fluorescentes que funcionan durante tres horas cada arranque.



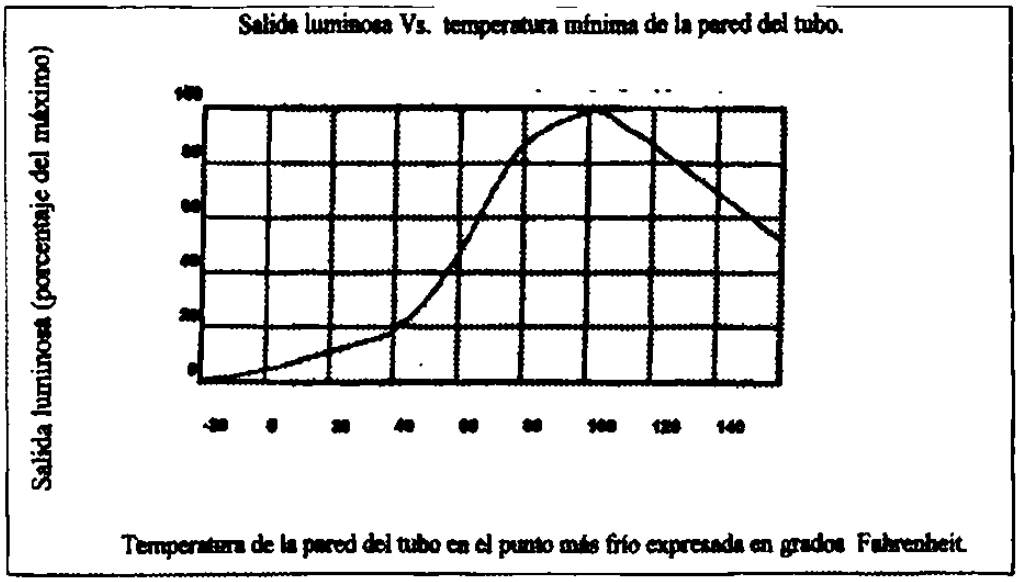


Figura 5-26.- Características típicas de temperatura de lámparas fluorescentes. La fluorescentes. La forma exacta de las curvas dependerá tanto del tipo de lámpara como de reactor; sin embargo, todos las lámparas fluorescentes tiene curvas bastante parecidas, ya que dependan de la presion del vapor de mercurio.

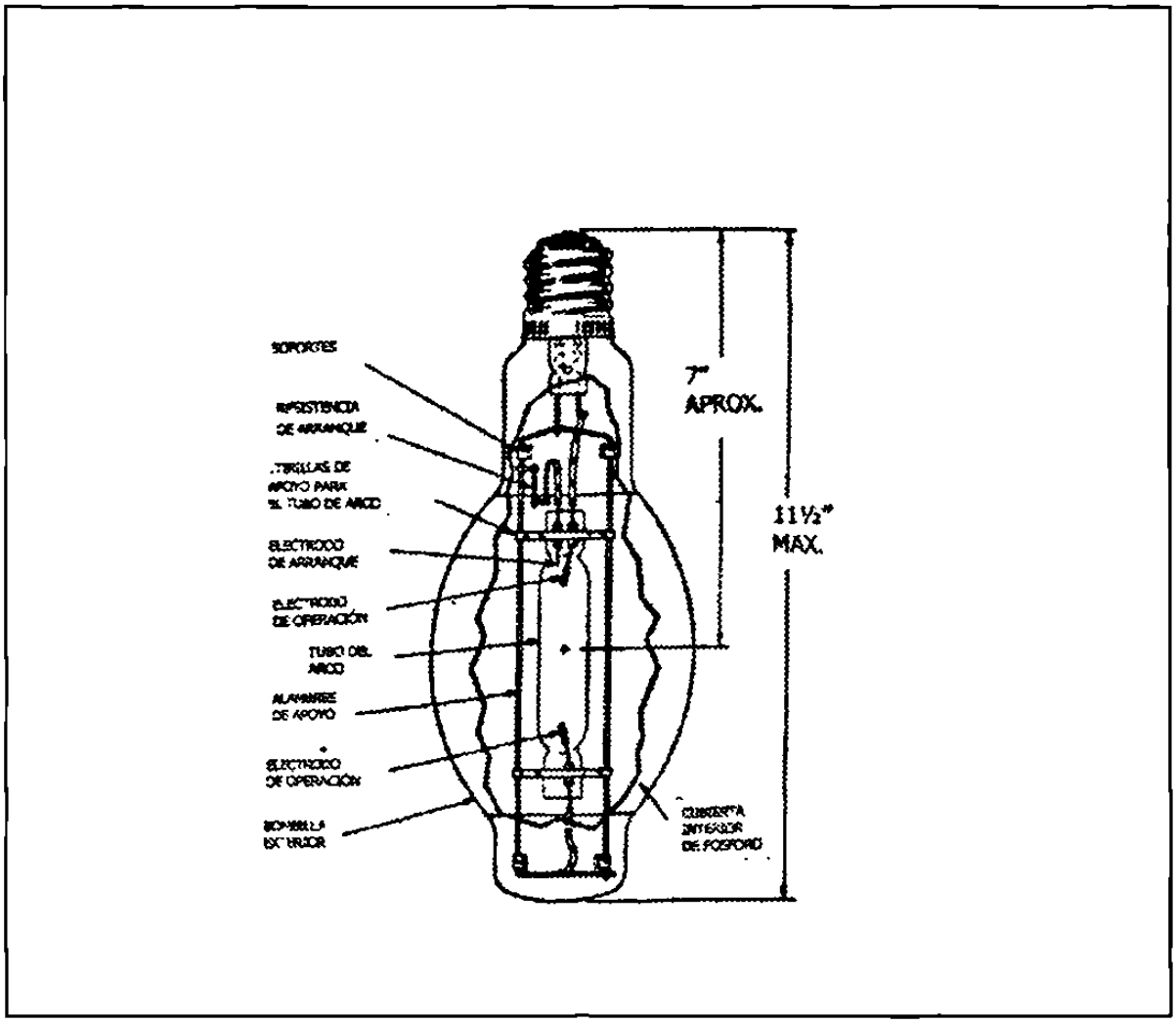


Figura 5-27.- Lámpara de mercurio con cubierta de fósforo de 400 watts.

Las lámparas de otros tamaños tienen una construcción similar.

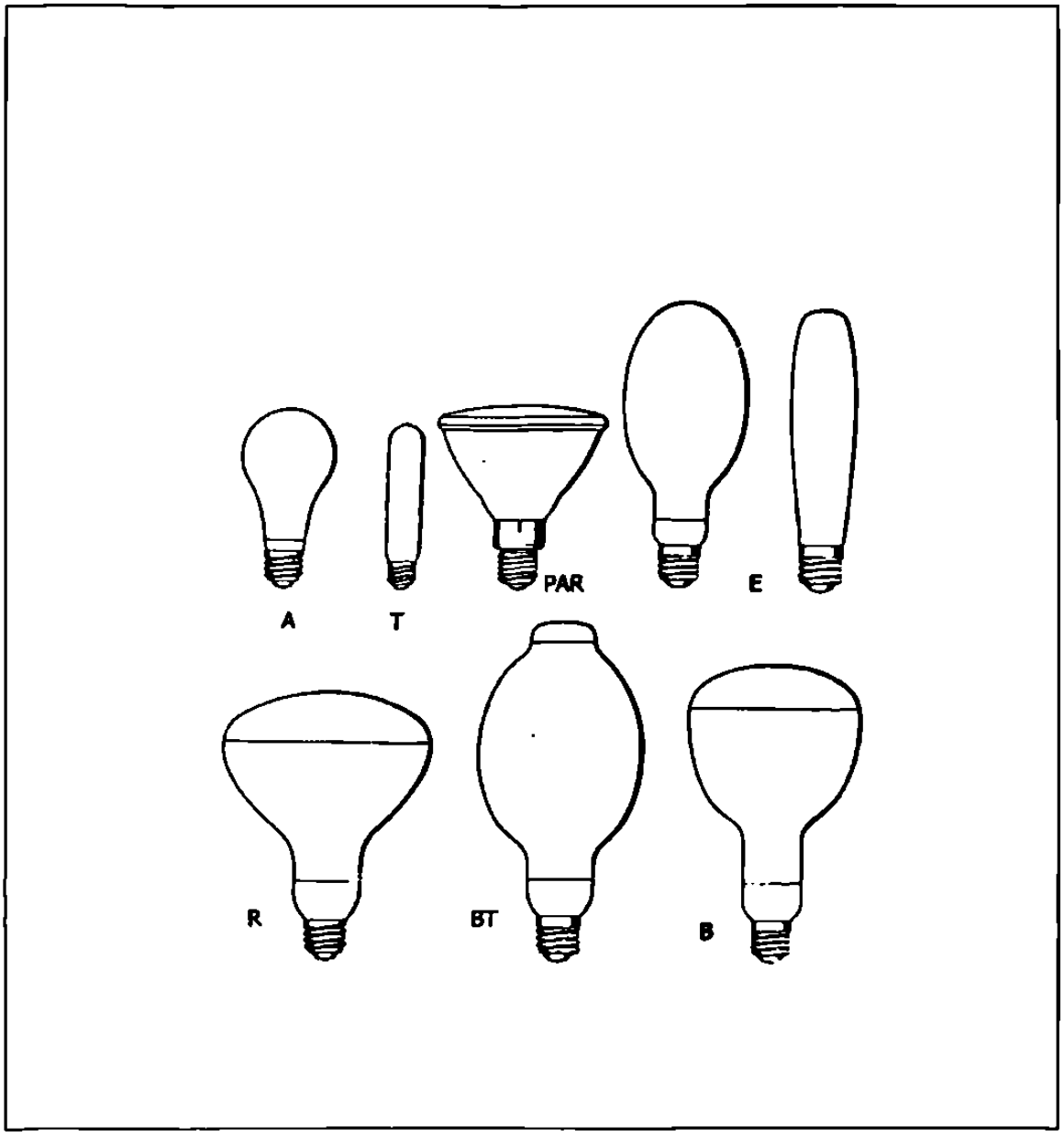


Figura 5-28.- Formas de bombillas tipicas de mercurio de lamparas de mercurio

A - Arbitraria

T – Tubular

PAR – Reflector parabólico aluminizado

E - Elíptica

R – Reflector.

BT – Bulbo tubular.

R – Reflector.

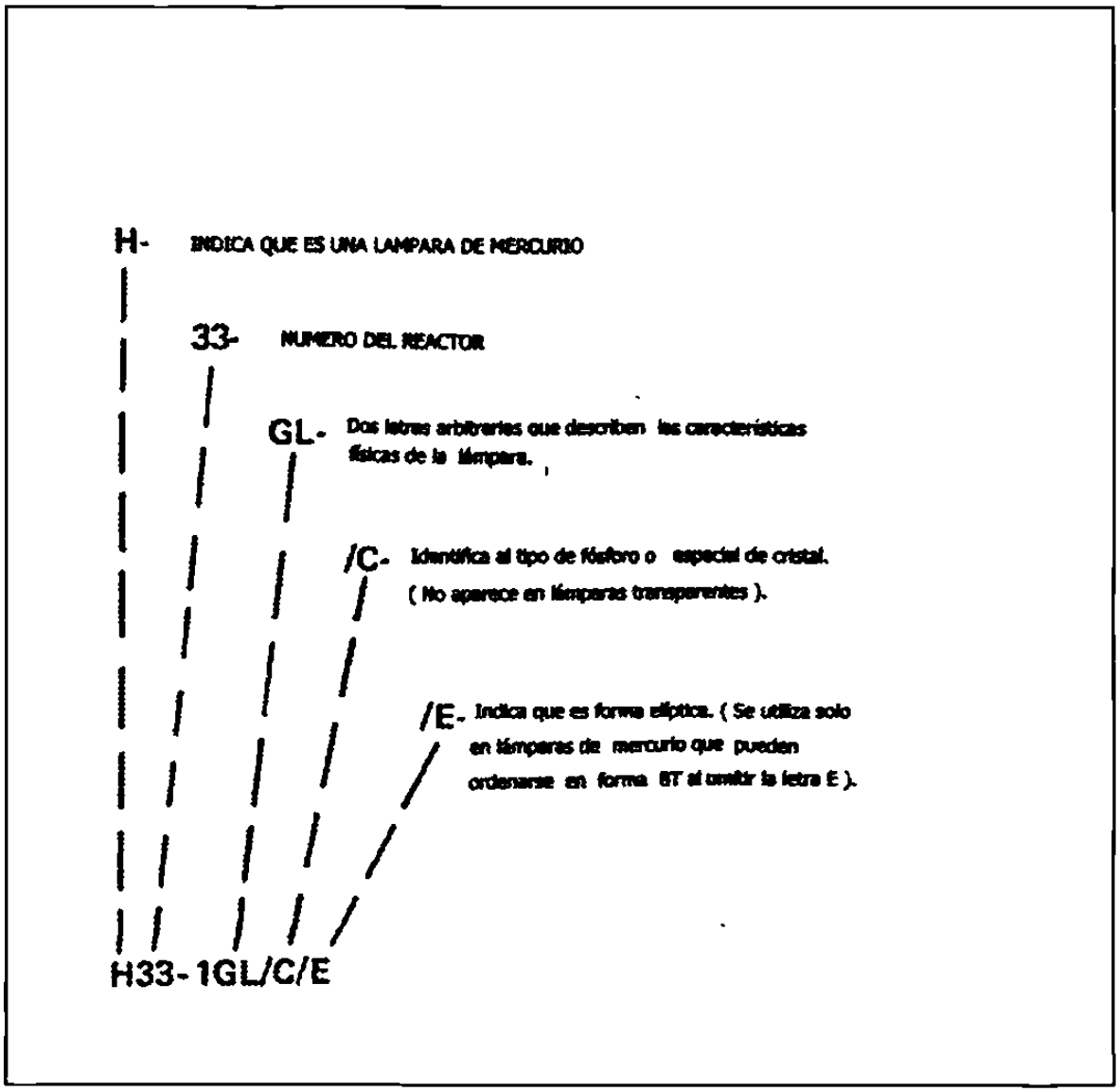


Figura 5-29.- El sistema ANSI utilizado para designar características de las lámparas.

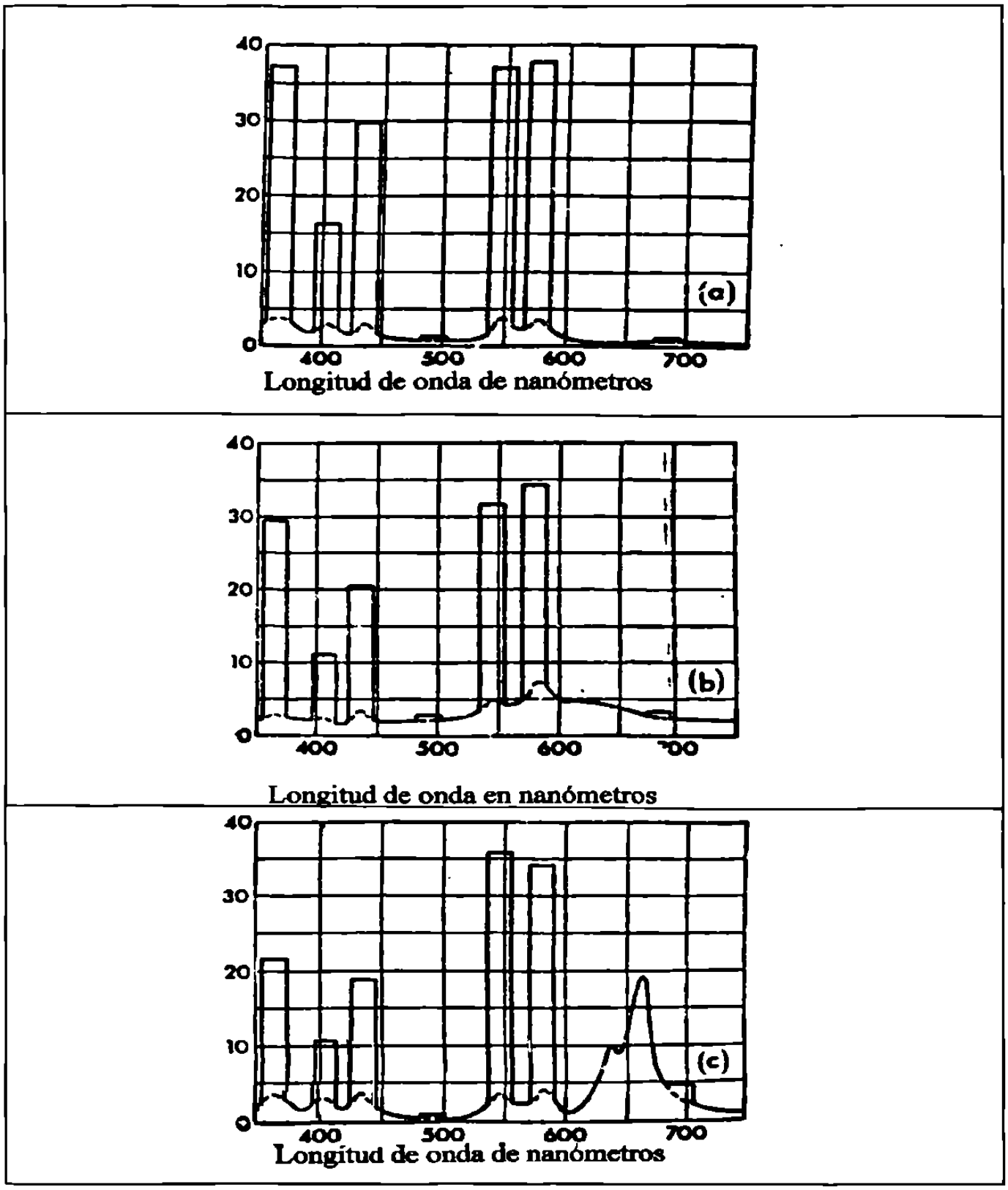


Figura 5-30.- Distribuciones espectrales de energía típica en la mayoría de las lámparas de mercurio:

(a) Lámpara transparente. (b) Lámpara cubierta de fósforo de alta eficiencia.

(c) Lámpara cubierta de fósforo con color mejorado.

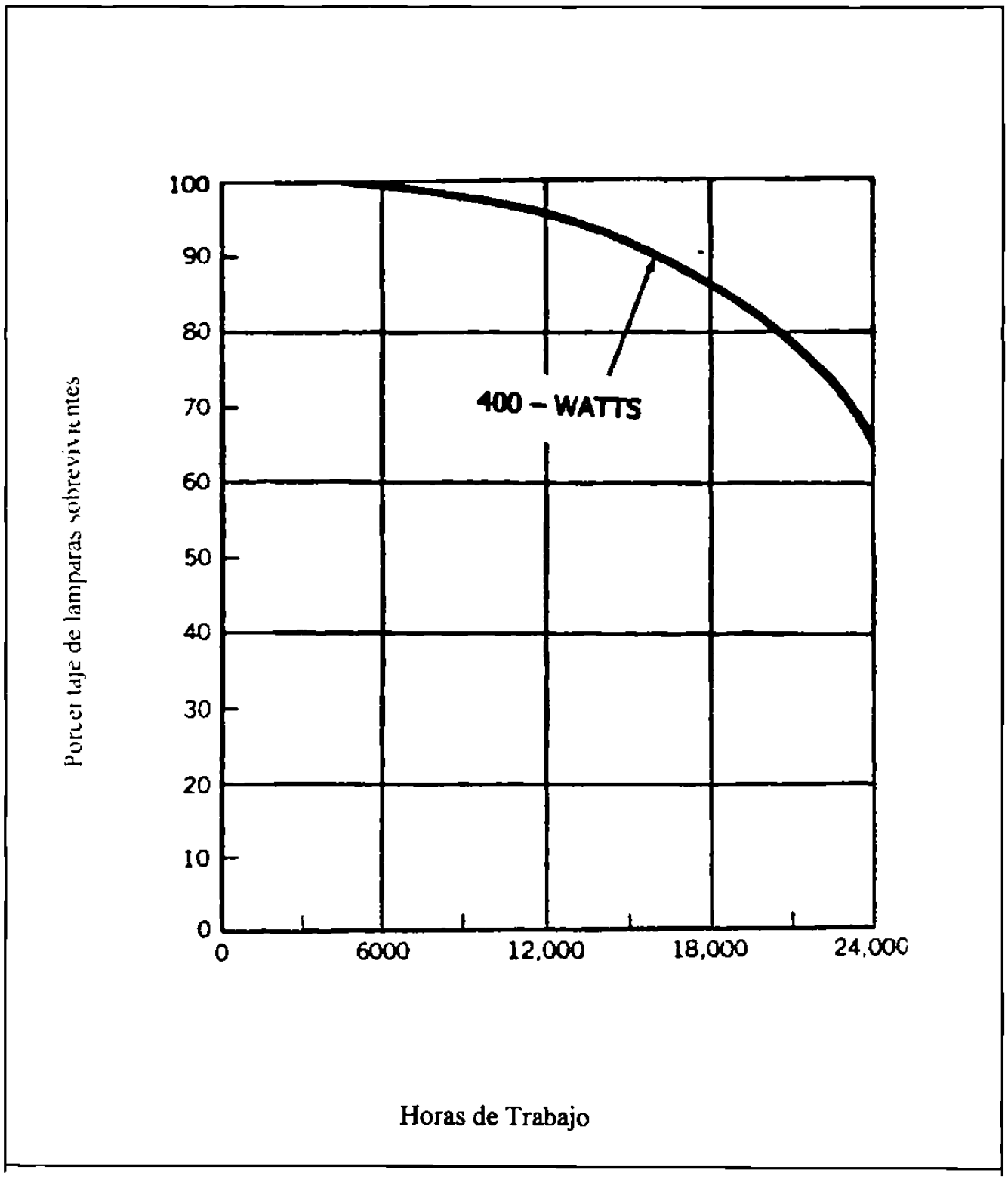


Figura V-31.- Curva de mortalidad de las lámparas de mercurio.

Su vida típica promedio es mayor de 24,000 horas.

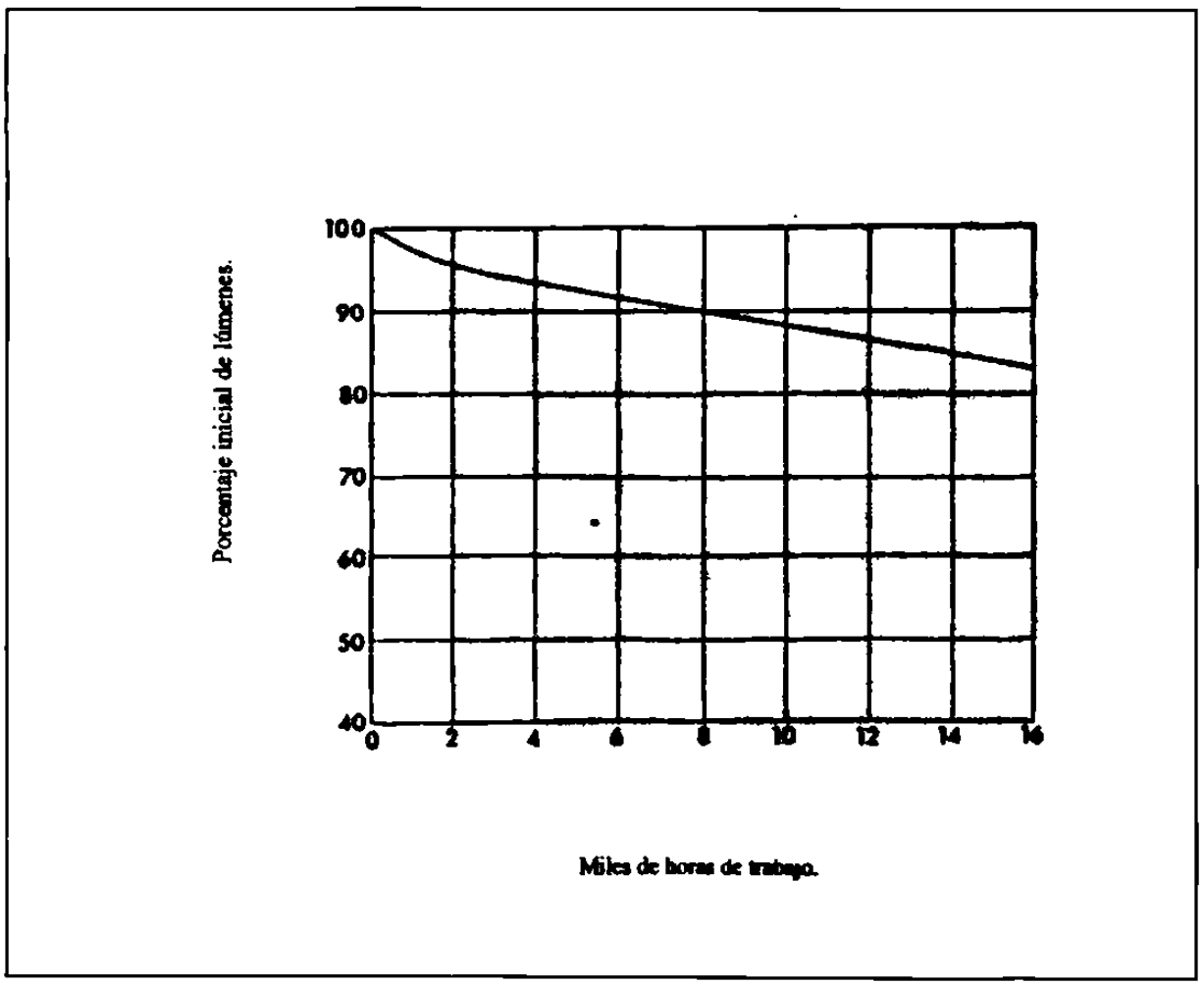


Figura V-32.- Curva de mantenimiento de la salida luminosa es una lámpara transparente de mercurio de 400 watts con un tubo de arco de cuarzo. El porcentaje de la clasificación inicial de la salida luminosa se determinó a las 100 horas.

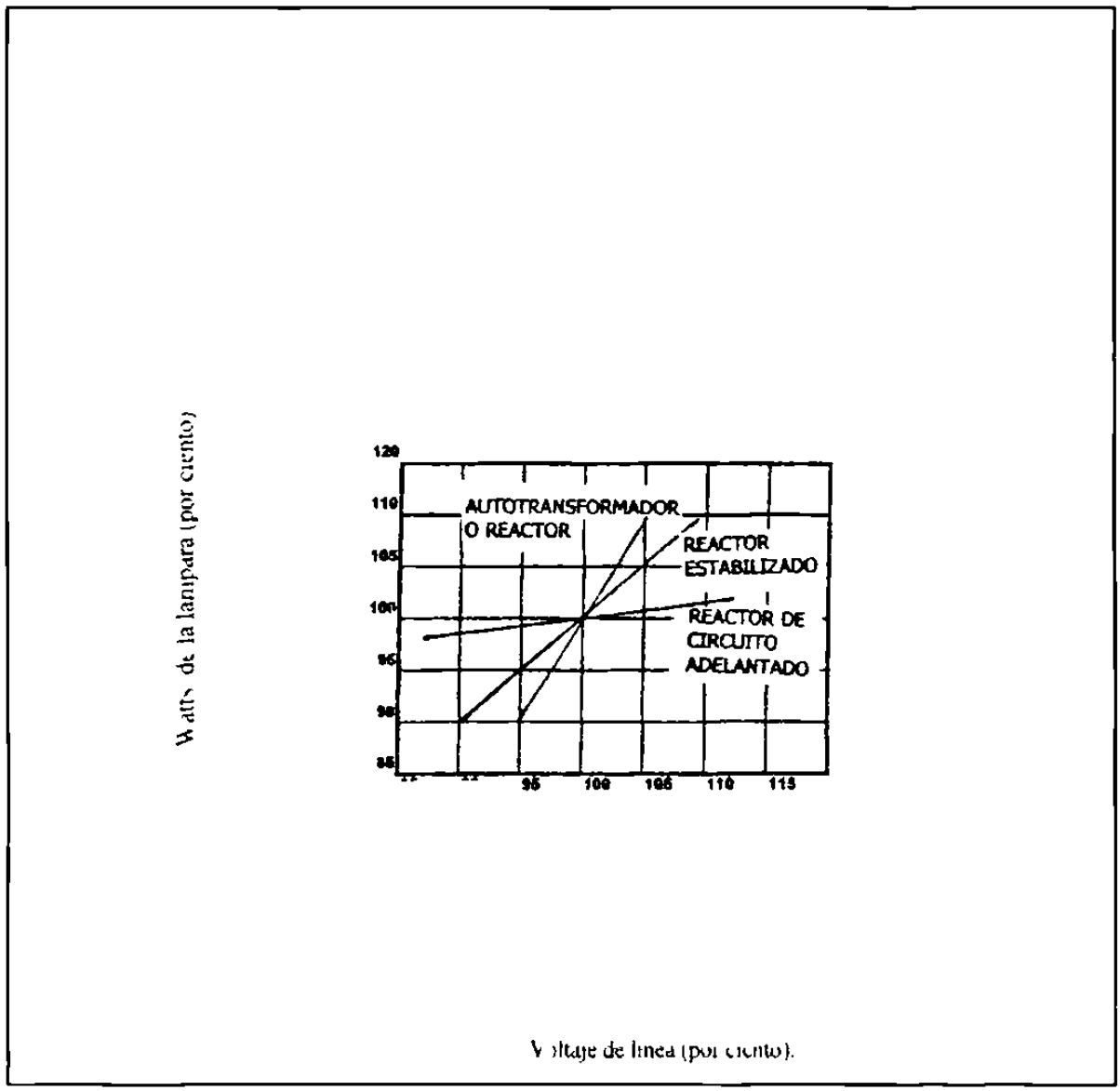


Figura V-33.- Reactores para lámparas de mercurio.

Efecto del voltaje de línea en la cantidad de watts de las lámparas.

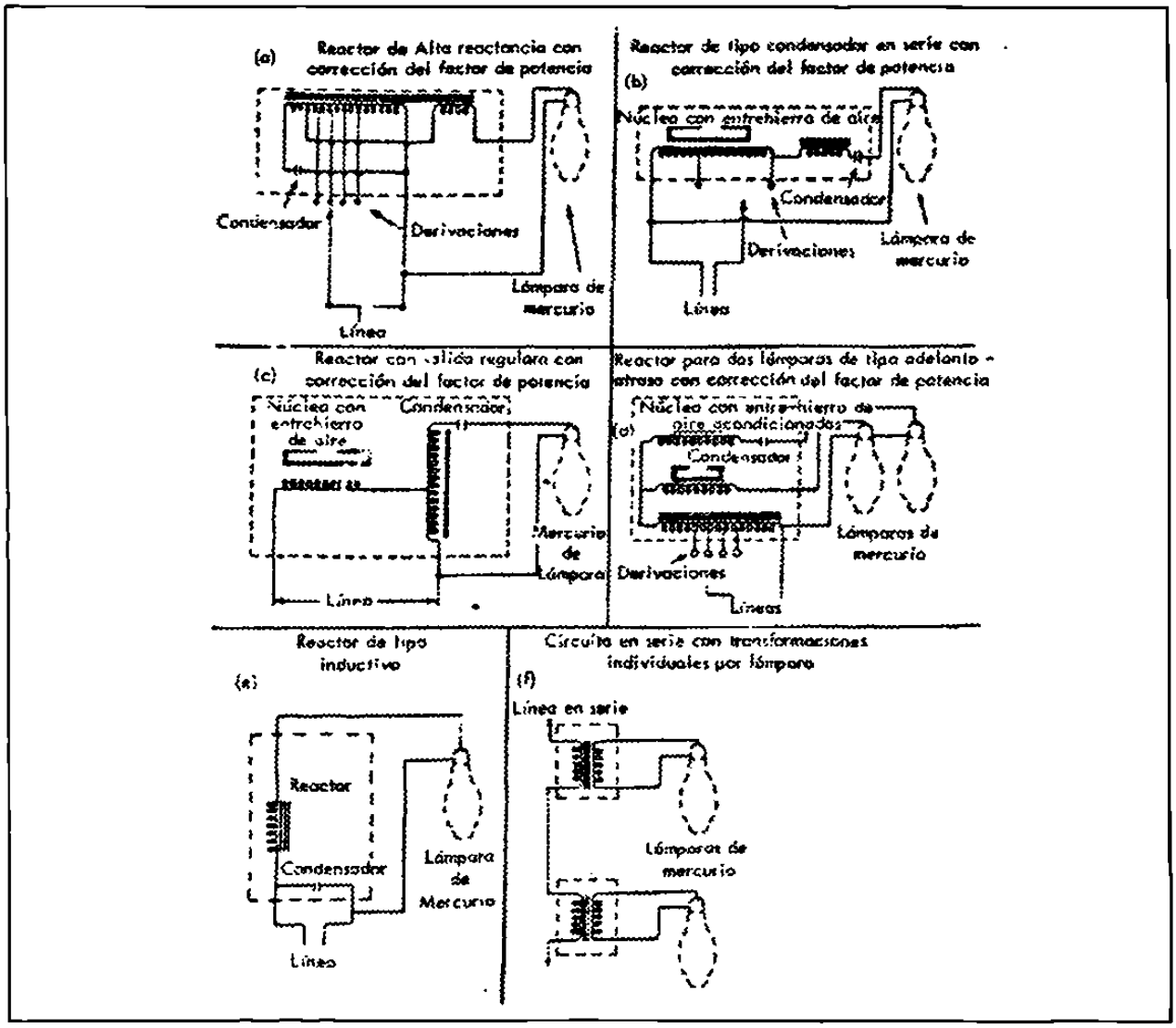


Figura 5-34.- Circuitos típicos para operar lámparas de mercurio.

Watts radiados

Tipo de lámpara	Ultra-violeta	Clara	Infra-roja	Watts Conducidos por convexión
Mercurio	8.3	64.3	207.4	120
Haluro	12.5	95.4	148.1	144
Sólido de alta presión.	0.8	120	175.2	104

Tabla 5-2.- Distribución de la potencia de entrada en lámparas típicas de descarga de alta

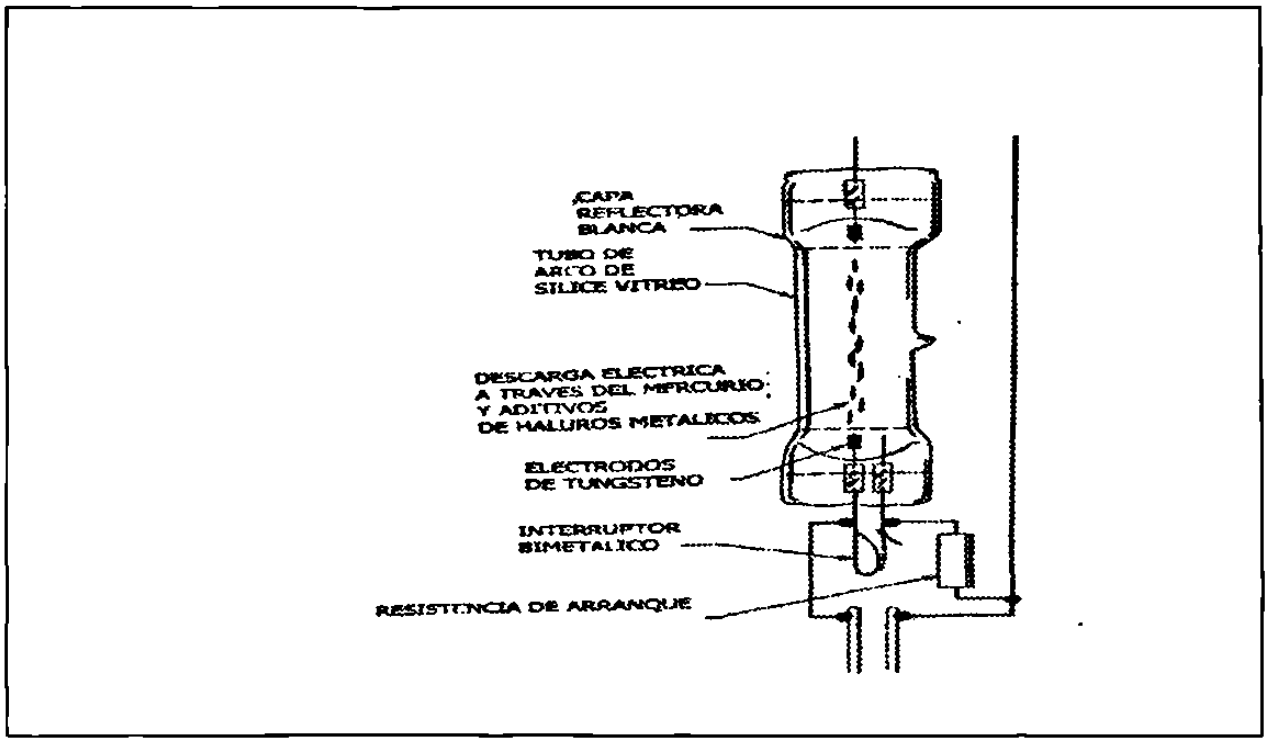


Figura 5-35.- Construcción típica de una lámpara de haluro metálico.

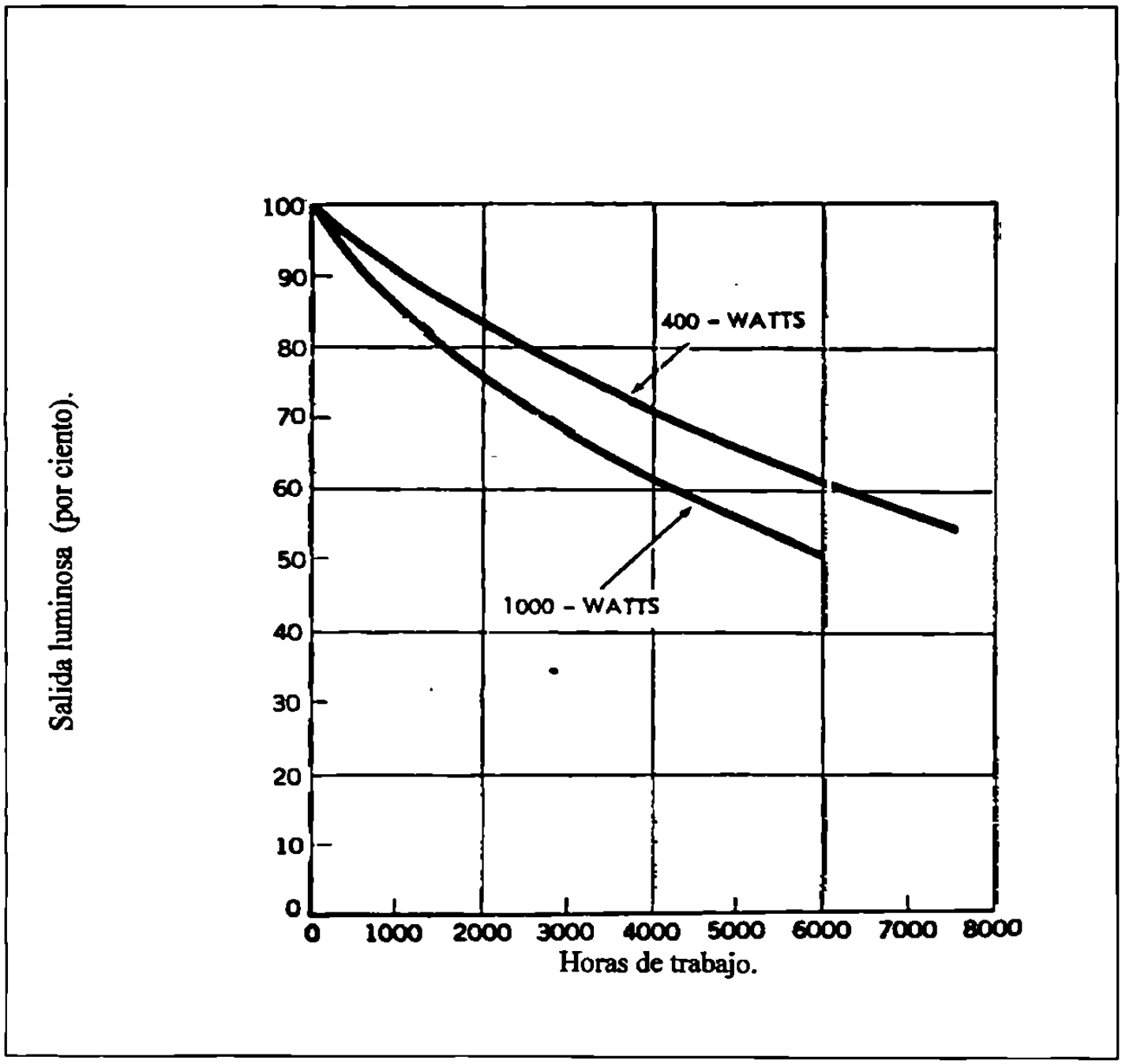


Figura 5- 36.- Curva típica de mantenimiento de salida luminosa para la lampara de haluros metálicos. El porcentaje de la clasificación inicial de salida luminosa se determino a las 100 horas.

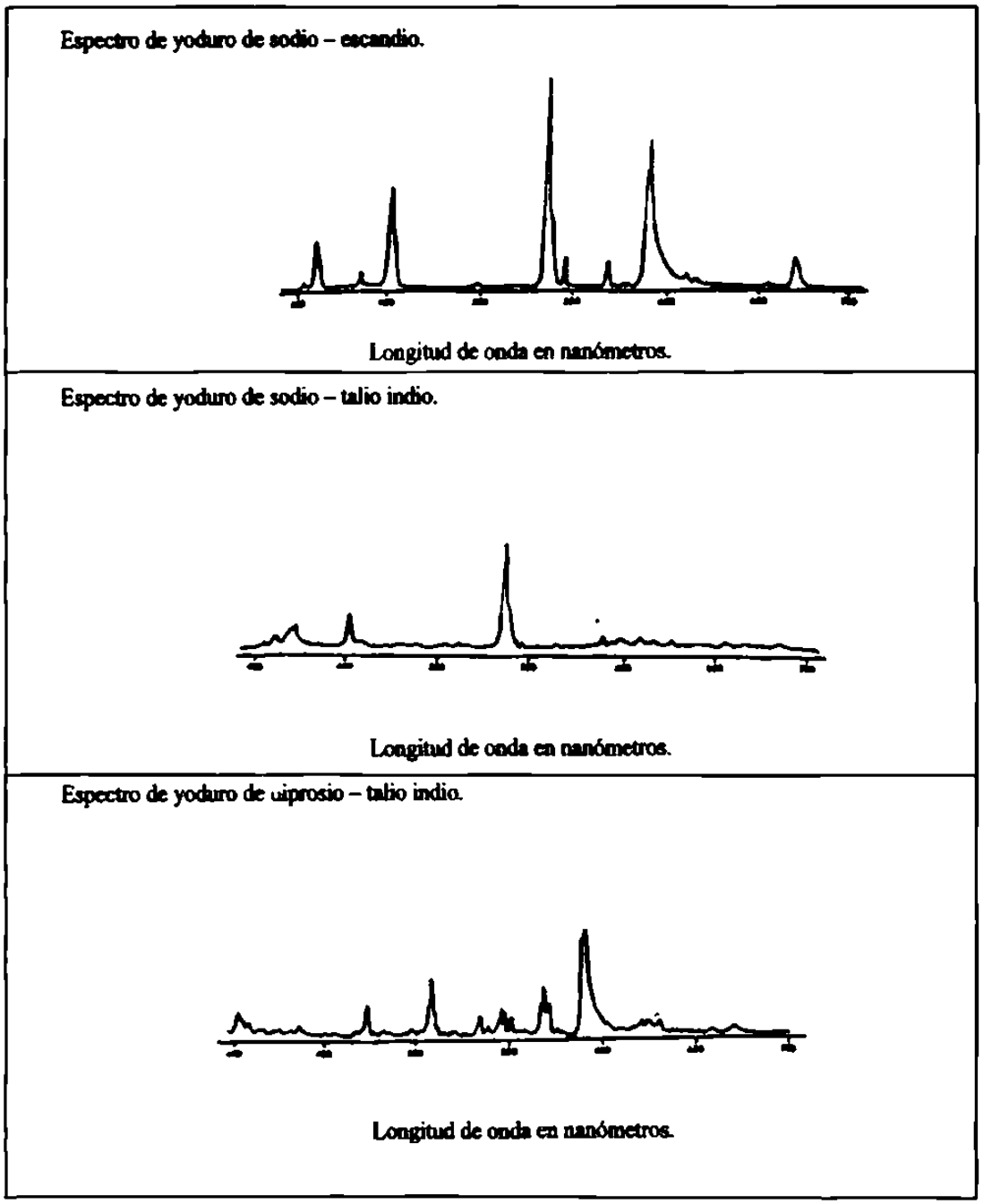


Figura 5-37.- Distribución típica de la energía espectral en las lámparas de haluros metálicos.

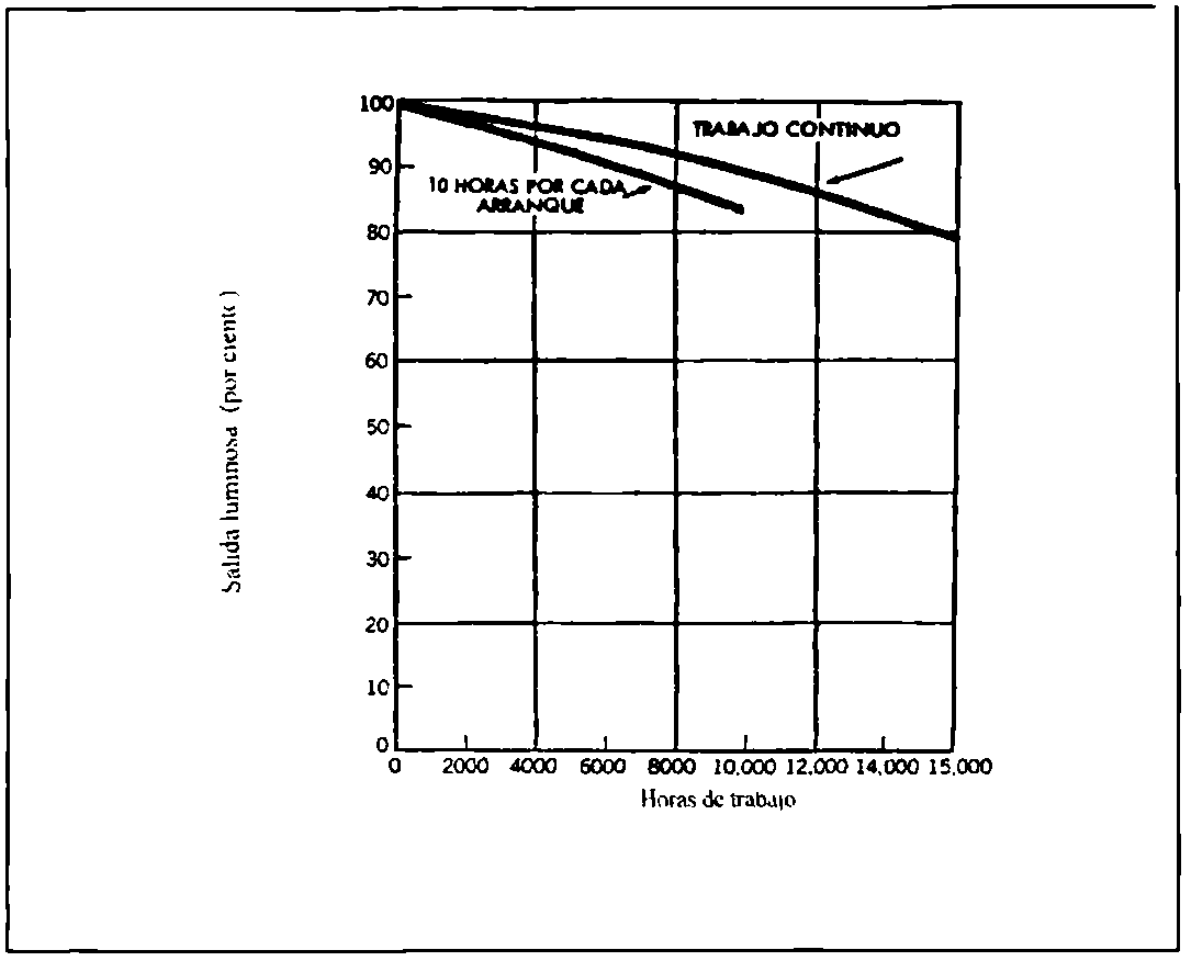


Figura 5-38.- Curva típica de mantenimiento de la salida luminosa para las lamparas de sodio de alta presión.

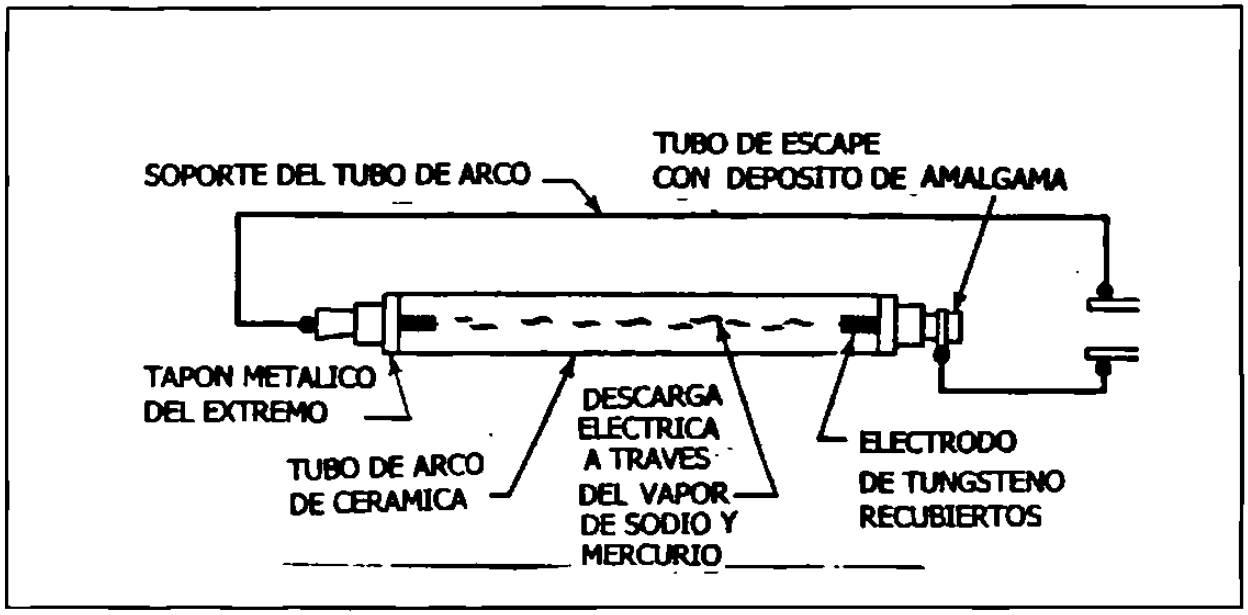


Figura 5-39.- Construcción típica de una lámpara de sodio de alta presión.

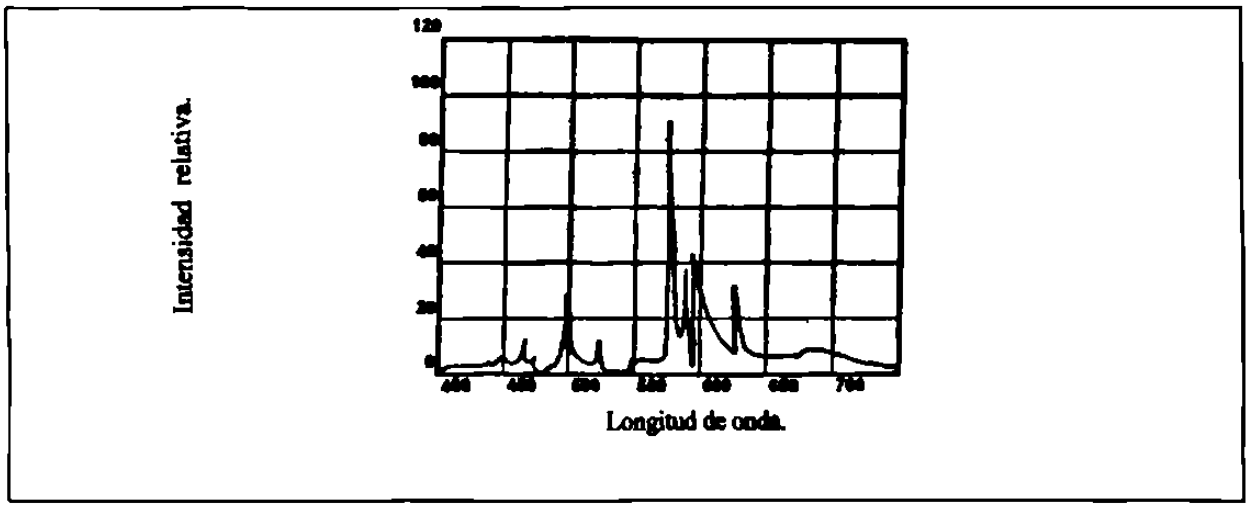


Figura 5-40.- El espectro de la lámpara de sodio de alta presión es continuo con algunos de todos los colores presentes.

	Salida luminosa por lámpara	Eficacia	Duración	Forma de aceptar los colores	Facilidad para controlar la luz	Mantenimiento de la salida luminosa
Incandescente	Regular	Baja	Baja	Alta	Alta	Buena
Tungsteno	Regular	Baja	Baja	Alta	Alta	Buena
Mercurio	Buena	Regular	Alta	Baja	Buena	Buena
Fósforo y mercurio	Buena	Regular	Alta	Regular/Buena	Regular	Regular
Haluros metálicos	Alta	Buena	Regular	Buena/Alta	Buena	Regular
Sodio de alta presión	Alta	Alta	Regular	Regular	Buena	Buena
Fluorescentes de 40 watts	Baja	Buena	Buena	Buena/Alta	Baja	Buena
Fluorescentes de alta salida	Regular	Buena	Buena	Buena/Alta	Baja	Buena
Fluorescentes de 1500 - ma	Buena	Buena	Regular	Buena/Alta	Baja	Regular

Figura 5-41.- Características comparativas de fuentes luminosas para propósitos de iluminación. Hay cuatro clasificaciones para cada característica: alta, buena, regular y baja.

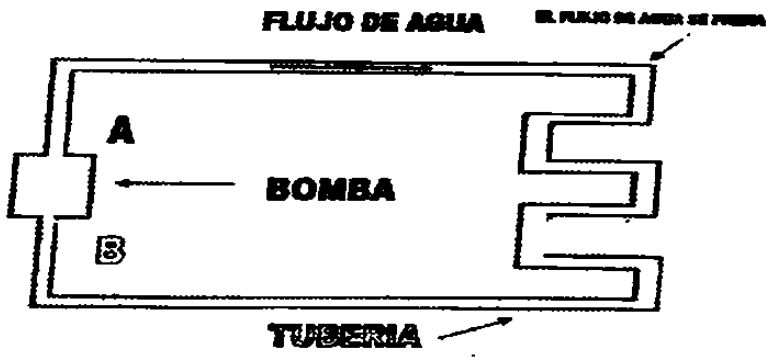
CAPITULO 6

BALASTROS H.I.D.

Balastro:

Es el dispositivo que proporciona la energía necesaria par la operación de la lámpara, y limita la corriente en su funcionamiento.

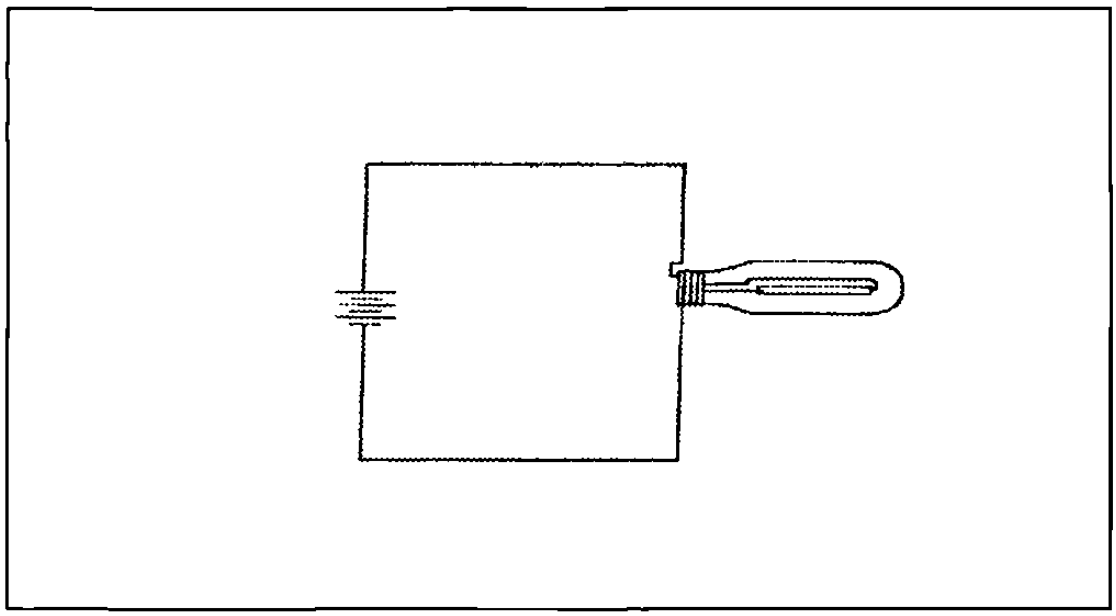
Principio de funcionamiento de un balastro



Presión de B menor que la presión de A

Si comparamos el agua con la corriente, ésta se ve limitada por los dobleces de la tubería que equivaldría al conductor de corriente. La bomba en este caso sería la fuente de poder que genera la diferencia de potencial.

Conexión lámpara HID directa a la fuente de poder.



Instalación inadecuada, requiere de un elemento que limite la corriente de operación (balastro)

Tipos más usuales de balastros:

a) **Reactor serie bajo factor.**

Ventajas:

- Tamaño reducido, bajo costo.

Desventajas:

Bajo factor absorbe las variaciones de voltaje de $\pm$ 5% en línea a un $\pm$ 13% en la lámpara produciendo una reducción en la vida de la misma.

b) **Reactor serie alto factor.**

Ventajas :

Tamaño reducido, económico, alto factor por lo que regula la corriente de operación la lámpara.

Desventajas:

- Absorbe las variaciones de voltaje de ± 5% a un ± 13% en la lámpara .

c) **Autorregulado.**

Ventajas :

- Las variaciones de voltaje de línea las reduce de un ± 10% en la línea a un ± 5% en la lámpara por lo que la vida normal de la lámpara no se ve afectada.

Desventajas:

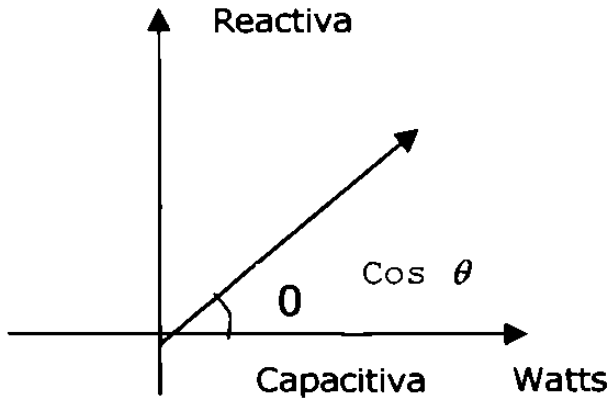
- Mas robusto y mayor costo.

Factor de potencia.

Es la relación entre la potencia real consumida y la potencia nominal.

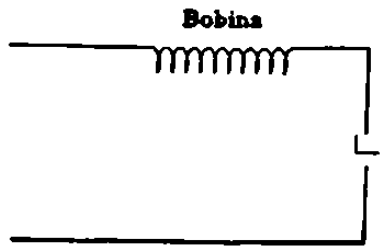
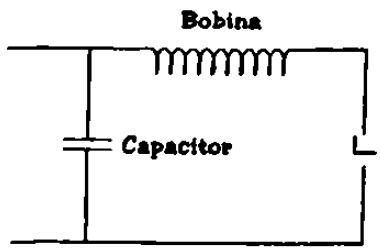
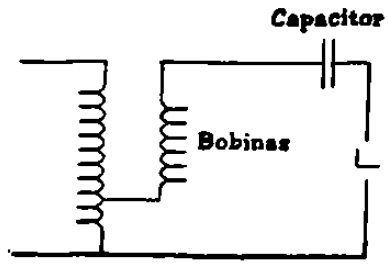
$$FP = \frac{\text{Potencia nominal}}{\text{Potencia consumida}} = \frac{\text{Potencia nominal}}{\text{Voltaje X Corriente}} = \frac{\text{Watts}}{\text{VAI}}$$

De	0.9	a	1	**AFP**	*Bueno*
<	0.9			*BFP*	*Malo*

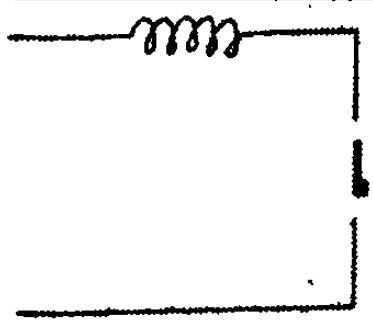
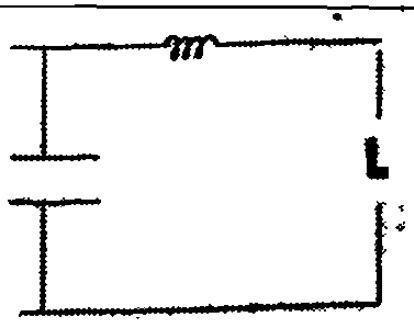
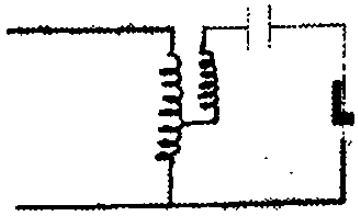


$$P\ watts = I^2 R \longrightarrow Calor$$

Tipos de balastro.

	Reactor serie bajo factor. Bobina de choque conectada en serie con la lámpara.
	Reactor serie bajo factor. Bobina de choque conectada en serie con capacitor en paralelo
	Autorregulado

Principales tipos de balastro

	Reactor serie alto factor Bobina de choque Conectada en Serie con capacitada en paralelo.
	Reactor serie bajo Factor. Bobina de choque conectada en serie con la Lámpara.
	Autoregulado

Lámparas de descarga de alta intensidad (HID)

Las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) son aquellas que tienen un tubo de descarga gaseosa, que opera a presiones y densidad de corriente suficientes para generar la radiación visible deseable para proporcionar luz. Estas lámparas se han vuelto populares principalmente por tres razones:

1. Alta eficiencia – más lúmenes por watt de potencia consumida.
2. Fuentes de luz compactas – permiten un buen control de la luz con el uso de reflectores y refractores.
3. Larga vida y mantenimiento de lúmenes – se reducen los costos de operación.

Los tres tipos de lámparas HID que actualmente se utilizan son: la de mercurio, aditivos metálicos y vapor de sodio alta presión. También se utilizan, para ciertas aplicaciones, las lámparas de vapor de sodio de baja presión.

Las eficiencias relativas para producir luz están entre 38 y 57 lúmenes por watt en el caso de las lámparas de vapor de mercurio, entre 80 y 100 para el caso de las lámparas de aditivos metálicos y entre 80 y 140 para el caso de las lámparas de vapor de sodio alta presión. Las lámparas de vapor de sodio de baja presión logran obtener eficiencias mayores que las mencionadas aunque no se trata ya de fuentes luminosas compactas y por tanto el control de su emisión luminosa se dificulta más.

Balastros para lámparas HID.

Estas lámparas HID tienen algo en común - todas tienen una resistencia negativa, lo que significa que necesitan un dispositivo externo para limitar la corriente cuando se les aplica voltaje o de lo contrario se destruirán rápidamente. El dispositivo que se utiliza para limitar esta corriente es el balastro.

Además, el balastro provee el suficiente voltaje para encender la lámpara y operarla en forma estable. En todos los casos el balastro hace que la lámpara funcione al voltaje adecuado independiente del voltaje de alimentación que se tenga. Esto se logra con el uso de un transformador que es parte integrante del balastro.

Características eléctricas de las lámparas.

Algunas características eléctricas de las lámparas tienen un efecto muy importante en la elección de los balastros y deben entenderse plenamente:

Tensión de encendido.

Las lámparas de vapor de mercurio o de aditivos metálicos tienen electrodos especiales de encendido que les permite encender a voltajes relativamente bajos. El diseño de las lámparas de vapor de sodio de alta presión no permite el uso de electrodos de encendido, por lo tanto se requiere un dispositivo especial de encendido que provee pulsos intermitentes de 2,500 volts o más para ionizar los gases en el tubo del arco y lograr que éste se inicie.

Corriente de encendido.

Esta corriente disponible para la lámpara durante el primer medio minuto de calentamiento. Si la corriente es demasiado elevada, la vida de la lámpara disminuirá.

Voltaje de operación de la lámpara.

Para el caso de las lámparas de vapor de mercurio y de aditivos metálicos, la tensión de operación de la lámpara es casi constante a través de su vida. Debido a las tolerancias normales de manufactura, algunas lámparas pueden tener una variación en el voltaje de operación. Por ejemplo, la lámpara de 400 watts de vapor de mercurio tiene un voltaje nominal de operación de 135 volts, pero el voltaje de un grupo de lámparas puede variar de 125 volts a 145 volts.

Dependerá del tipo de balastro que la potencia de la lámpara varíe considerablemente con la tensión de la lámpara. El voltaje de operación de una lámpara de vapor de sodio de alta presión continúa aumentando a través de la vida de la lámpara y el balastro debe ser diseñado muy cuidadosamente para minimizar el cambio de los watts de la lámpara de vapor de sodio de alta presión de 400 watts tiene un rango nominal de voltaje de 90 a 115 volts y aumenta hasta 140 volts al final de su vida.

Potencia de operación de la lámpara.

Una lámpara de vapor de mercurio o de aditivos metálicos operará a su potencia nominal sólo si el voltaje de la lámpara y el voltaje de la línea son nominales. Teóricamente, el efecto total de estas variables puede causar que los watts de la lámpara varíen entre $\pm$ 20 % de nominal. Sin embargo, debido a la distribución estadística de estas variables, más del 99 % de las lámparas de un grupo grande variarán no más de $\pm$ 10 % del nominal. Las lámparas de vapor de sodio de alta presión pueden variar tanto como $\pm$ 20 %, ya que el voltaje de la lámpara aumenta a través de su vida.

Factor de cresta de la onda de corriente de la lámpara.

El factor de cresta es la razón del valor pico al valor eficaz de la corriente de operación de la lámpara. Las normas para lámparas permiten un factor de cresta máximo de 2 para el caso de las de vapor de mercurio y de 1.8 para las de aditivos metálicos o vapor de sodio alta presión. Un factor de cresta muy elevado acelerará la depreciación luminosa de las lámparas.

Sistemas de vapor de mercurio.

La lámpara de mercurio es la más fácil de controlar debido a su estabilidad. La tensión de lámpara cambia muy poco durante su vida (menos de 3 %).

Designaciones de las lámparas

Todas las lámparas de vapor de mercurio tienen sus propias designaciones para identificación, totalmente distintas a las usadas en las lámparas fluorescentes e incandescentes.

Este sistema de identificación está autorizado y controlado por el "Arnerican National Standard Institute" (ANSI). Todas las designaciones de las lámparas de vapor de mercurio comien- zan con la letra "H" proveniente de la palabra griega "Hy- drargyrum", que significa mercurio.

Después se agrega el número o números que identifican las características eléctricas de la lámpara y balastro (reactor).

Si son dos números, significa que la lámpara puede funcionar con cualquiera de los dos tipos de balastros (reactores). Las dos letras qué siguen a los números sirven para identificar el tamaño, forma, acabado y otras características físicas del bulbo (con excepción del color).

Cuando el bulbo exterior tiene revestimiento interno de fósforo, se agregan una o más letras, separadas de las anteriores por una diagonal, con el propósito de especificar el color.

Por ejemplo la descripción H33 – GL / DX de una lampara de vapor de mercurio blanco de 400 vatios, representa lo siguiente (en la antigua representación) ANSI .

Tipos de balastros para lámparas de vapor de mercurio.

Reactor serie.

El más sencillo de los balastro es el reactor serie. Es simplemente una bobina de choque inductiva en serie con la lámpara, operada directamente a partir de una tensión de línea apropiada. Como este circuito es muy inductivo, se obtiene un factor de potencia bajo, de alrededor del 50 %. El factor de potencia puede corregirse colocando a través de la línea un capacitor. Como ventajas, puede decirse que el reactor serie es de bajo costo y tiene pocas pérdidas, y es comparativamente pequeño y ligero.

Provee una buena regulación de los watts de la lámpara con variaciones de los volts de la lámpara cuando hay un cambio de 11% en los volts de la lámpara. Tiene un factor de cresta muy bajo, de alrededor de 1.4 y provee una corriente de encendido elevada para que la lámpara se caliente rápidamente.

El reactor serie tiene desventajas. Tiene un factor de potencia bajo a menos de que sea corregido por medio de un capacitor bastante costoso. Los watts de la lámpara varían $\pm$12 % cuando el voltaje de línea varía en $\pm$ 5 %. Sólo puede utilizarse cuando la tensión de línea provee condiciones necesarias para un encendido confiable y estabilidad de la lámpara – esto sucede generalmente a 220 volts ó 277 volts para lámparas de baja potencia y 480 volts para lámparas de mayor potencia. La corriente de línea es mayor durante el encendido que durante la operación, lo que debe tomarse en consideración cuando se instalan fusibles o interruptores en los circuitos. Este balastro tolerará disminuciones en la tensión de línea de solamente 15 %, y en las lámparas de alto voltaje este valor disminuye hasta el 10 %. A pesar de sus inconvenientes, el reactor serie, si es adecuadamente utilizado, puede funcionar en una instalación de bajo costo con la suficiente confiabilidad.

Autotransformador de alta reactancia.

El autotransformador de alta reactancia consiste de un autotransformador más un reactor serie combinados en una sola estructura. Este balastro tiene características de operación similares a las del reactor serie, pero con la capacidad de operación a otras tensiones de línea.

Como el reactor serie, el autotransformador de alta reactancia tiene bajo factor de potencia que puede ser corregido utilizando un capacitor que opera en paralelo con un embobinado especial que permite ahorrar costos. Este balastro solamente se utiliza en aplicaciones de baja tensión de alimentación, ya que de lo contrario el costo del capacitor lo colocaría en un precio que sería más conveniente pagar para tener otros tipos de balastros que operan más satisfactoriamente.

El autotransformador de alta reactancia, disponible a 127 volts, tiene las mismas virtudes y desventajas que el reactor serie. Es inevitablemente más grande que el reactor serie, por lo que cuesta un poco más y tiene mayores pérdidas.

Autotransformador autorregulado.

El autotransformador autorregulado combina las características de un autotransformador de alta reactancia con el circuito de potencia constante. Al utilizar una parte del devanado primario en común con el secundario, se reduce su tamaño. Debido a que solamente el devanado secundario contribuye a la buena regulación, el grado de regulación depende de la cantidad de tensión del primario que esté acoplada con el secundario.

El autotransformador autorregulado es de bajo costo, tamaño moderado y tiene un peso menor que el de potencia constante. Sus pérdidas son también menores. Su regulación es muy buena, aunque peor que la del de potencia constante, generalmente alrededor de $\pm$ 5% de cambio en la potencia de lámpara cuando se tiene $\pm$10% de cambio en la tensión de alimentación. Algunas de las ventajas del de potencia constante se observan en este circuito, incluyendo un buen factor de potencia, pequeña corriente de encendido y buena tolerancia a las disminuciones bruscas de la tensión de alimentación.

Una desventaja del autotransformador autorregulado en comparación con el de potencia constante, es su conexión eléctrica entre los desvanados primario y secundario.

Transformador de potencia constante.

El balastro del circuito del transformador de potencia constante tiene los desvanados primario y secundario eléctricamente aislados entre sí, y la limitación de la corriente se logra a través de un capacitor que está en serie con la lámpara. El capacitor lo hace un circuito adelantado, en vez de un circuito atrasado. El balastro está diseñado de tal manera que la parte secundaria de la laminación trabaja a saturación magnética. La corriente del secundario permanece esencialmente constante cuando se tiene un rango amplio de tensiones de alimentación, lo que permite una regulación excelente de la potencia de la lámpara.

La tensión de alimentación puede cambiar en $\pm 13\%$ y originará solamente un cambio de $\pm 3\%$ en la potencia de lámpara.

El factor de potencia es de alrededor del 95%, y la corriente de línea durante el encendido es siempre menor que durante la operación estable. Las disminuciones abruptas de tensión de alimentación no representan un problema en este tipo de balastros, ya que aceptará disminuciones del 50% durante por lo menos 4 segundos de duración.

La virtud principal del balastro transformador de potencia constante es su facilidad de aplicación. Puede instalarse en cualquier circuito con una mínima preocupación en relación a la tensión de alimentación, a la disminución de dicha tensión, al aterrizaje o a la colocación de fusibles, y proveerá a una excelente operación.

Sistemas de aditivos metálicos.

Las lámparas de aditivos metálicos tienen una gran semejanza a las lámparas de vapor de mercurio y sus características eléctricas (tensión de operación y corriente) son muy similares a las lámparas de mercurio equivalentes. Los tubos del arco de estas lámparas contienen, además de mercurio, ciertos aditivos metálicos, generalmente compuestos de haluros de yodo, que dan a la lámpara su gran eficiencia luminosa y sus

características de color. Sin embargo, estos aditivos metálicos, debido a la naturaleza de su ionización, tienen dos efectos muy importantes en los requisitos hacia el balastro.

Primero, se requiere una elevada tensión de circuito abierto para que se inicie el arco a temperatura especificada. Segundo, durante el ciclo de calentamiento existe un periodo de baja conducción en el plasma del arco y los requisitos de la tensión de reignición para restablecer el arco en cada medio ciclo exceden los valores generalmente disponibles en un balastro estándar de vapor de mercurio. Cuando se utiliza un balastro para vapor de mercurio con una lámpara de aditivos metálicos, esta condición existe y el arco se extinguirá, la lámpara se enfriará y tratara de reencender y se continuará repitiendo este ciclo. Esta condición empeora conforme la lámpara envejece y aunque el balastro para vapor de mercurio pueda operar una lámpara nueva satisfactoriamente, generalmente habrá problemas después de unas cuantas horas de operación. Para evitar estas deficiencias, se desarrolló un balastro especial para las lámparas de aditivos metálicos. A este balastro se le conoce como balastro adelantado con pico.

Autotransformador autorregulado con pico.

El circuito eléctrico de este balastro es idéntico del autotransformador autorregulado para vapor de mercurio.

La gran diferencia está en el circuito magnético del secundario. Una parte del núcleo que está bajo el devanado secundario tiene uno o más entre hierros que proveen una restricción y una saturación localizada. Estos entre hierros producen una onda de voltaje de circuito abierto de gran factor de cresta comparada a la forma de onda sinusoidal del voltaje del circuito abierto de un balastro de vapor de mercurio.

El entrecierro en el balastro de aditivos metálicos provee un pico de alto voltaje que ayuda al encendido de la lámpara. Reduce el valor eficaz del voltaje del circuito abierto, lo que disminuye el tamaño físico del balastro, que estaría determinado por sus característica de volts – amperes.

También provee un voltaje de sostenimiento elevado hacia la lámpara de tal manera que pueda salir adelante durante el tiempo de calentamiento de la misma sin que se extinga.

Reduce el tiempo cero de la corriente de encendido, el período durante el cual la onda de corriente está cerca de cero en una parte apreciable de cada medio ciclo, con lo cual aumenta la estabilidad de la lámpara. Finalmente, provee un factor de cresta bajo que permite a la lámpara tener una larga vida.

El balastro de aditivos metálicos generalmente provee de una buena regulación que se encuentra entre la del balastro autorregulado y la del balastro reactor serie. Para cambios de tensión de alimentación $\pm 10\%$.

Este balastro exhibe casi todas las ventajas del balastro autorregulado: elevado factor de potencia, baja corriente de encendido en la línea y buena tolerancia a la disminución substancial de la tensión de alimentación.

Sistemas de vapor de sodio de alta presión.

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión son considerablemente diferentes tanto en apariencia física como en características de operación de las demás lámparas de descarga de alta intensidad. Se requieren balastros generalmente más grandes y costosos para este tipo de lámparas.

Existen dos características de la lámpara de vapor de sodio de alta presión que son la diferencia principal en lo que a requisitos del balastro se refiere. La tensión necesaria para encender la lámpara es mucho más elevada que la que se necesita para otras lámparas de descarga de alta intensidad. Esto obliga a la inclusión en el circuito de un dispositivo de arranque que provee un pulso de alta tensión de 2500 volts pico o más.

También, la tensión del arco de la lámpara aumenta con en edad en un rango bastante amplio y el balastro debe controlar la potencia de lámpara con relación a un rango específico a través del rango de la tensión de la lámpara – el trapezoide.

Los trapezoides son especificaciones por los fabricantes de lámparas.

El final de la vida de la lámpara generalmente sucede cuando el voltaje de lámpara aumenta de tal manera que la lámpara se apaga, momento en el cual la lámpara reciclará a intervalos regulares.

Reactor serie.

El reactor serie puede ser diseñado para dar una operación satisfactoria a las lámparas de vapor de sodio de alta presión. Si se utiliza con los ignitores apropiados y la tensión de alimentación es la suficiente, dará una potencia razonablemente constante a la lámpara de vapor de sodio alta presión a través de un rango específico de tensión de operación de la lámpara.

Estos balastros son de menor costo, tamaño y peso, y pueden obtenerse en alto o bajo factor de potencia. La variación permisible de tensión de alimentación iguales o superiores a las de encendido de la lámpara y exigen excelente regulación de la línea de alimentación. Operan adecuadamente dentro de las condiciones anteriores, dentro del trapezoide ANSI correspondiente.

Autotransformador de alta reactancia.

El autotransformador de alta reactancia para lámparas de vapor de sodio de alta presión tiene las mismas características de operación que el reactor serie ya que es un reactor serie en combinación con un autotransformador, que están devanados en la misma laminación. Son adecuados para variaciones de tensión de alimentación de $\pm 5\%$.

Balastro adelantado regulado.

Este balastro es similar al balastro autorregulado de mercurio, pero tienen ciertos entrehierros especiales que producen una gran reactancia de fuga y un dispositivo de arranque que provee las características de encendido que son requisito de las lámparas de vapor de sodio de alta presión.

El balastro adelantado regulado puede utilizarse con tensiones de alimentación que tiene variaciones de $\pm 10\%$.

Sistemas de vapor de sodio de baja presión.

En las lámparas de vapor de sodio de baja presión, el arco se mantiene a través de sodio vaporizado. La luz producida por el arco de sodio de baja presión es casi monocromática, consistiendo de una línea doble en la región amarilla del espectro a 589 y 589.6 nanómetros.

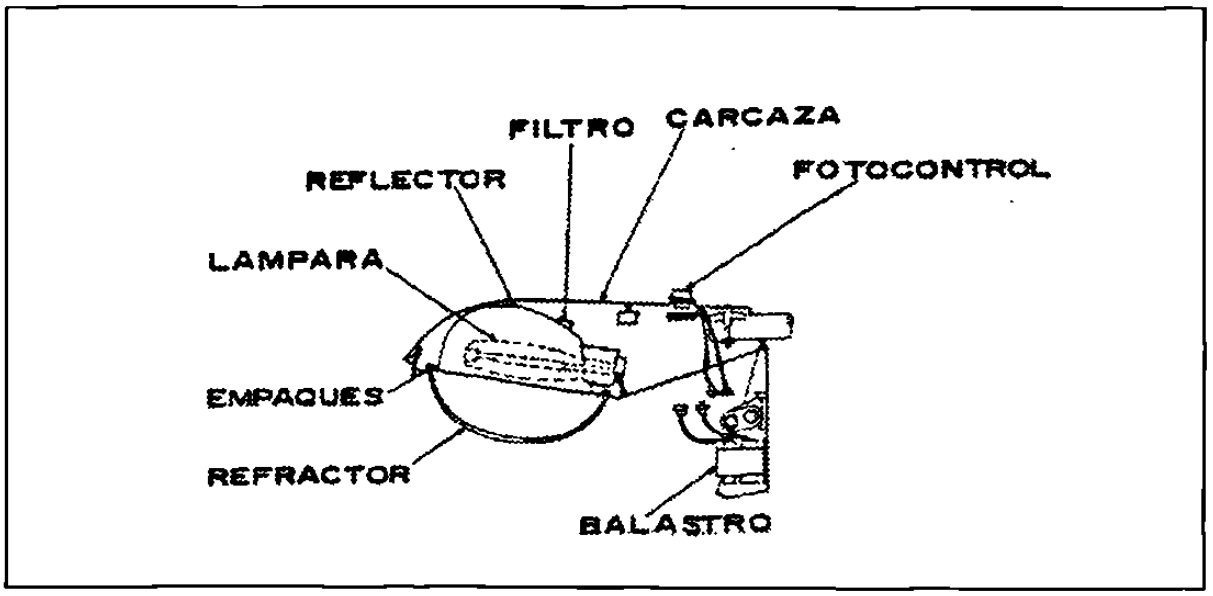
El arco de las lámparas de baja presión, igual que todas las demás lámparas de descarga de gas, tiene una característica negativa de volts – amperes y por tanto se requiere un dispositivo para limitar la corriente, generalmente un balastro reactor serie y transformador simultáneos. Este tipo de balastro generalmente son de alto factor de potencia y permiten una variación en la tensión de alimentación de $\pm$ 5% manteniendo una variación en la corriente de la lámpara de $\pm$ 5%. Debido a lo anterior la potencia de la lámpara se mantiene prácticamente constante.

CAPITULO 7

CONTROL DE LUZ

Componentes básicos de un luminario típico de alumbrado público. Figura 7-1.

a) **Reflector.**
b) **Refractor.**
c) **Carcaza.**
d) **Empaques y filtros.**
e) **Balastros.**
f) **Lámpara.**



Luminario: construcción características y aplicaciones.

El conjunto óptico es el elemento que nos sirve para aprovechar la luz emitida por la lámpara al máximo y canalizar el haz luminoso hacia el área donde se desee y con la intensidad que se requiera. Los principales componentes son reflector y lámpara.

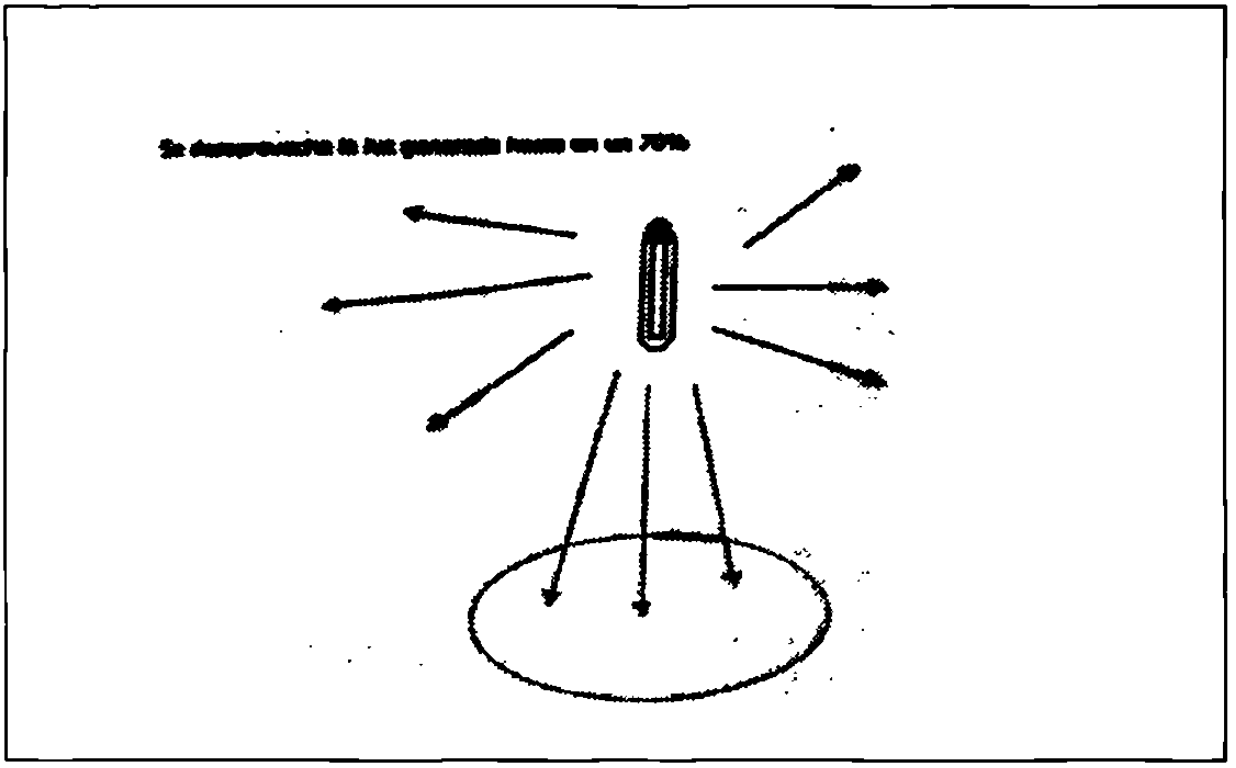
Dependiendo de las características de estos componentes, harán que la luz se distribuya hacia el área, con la intensidad, uniformidad y el color de luz adecuado a las condiciones de trabajo.

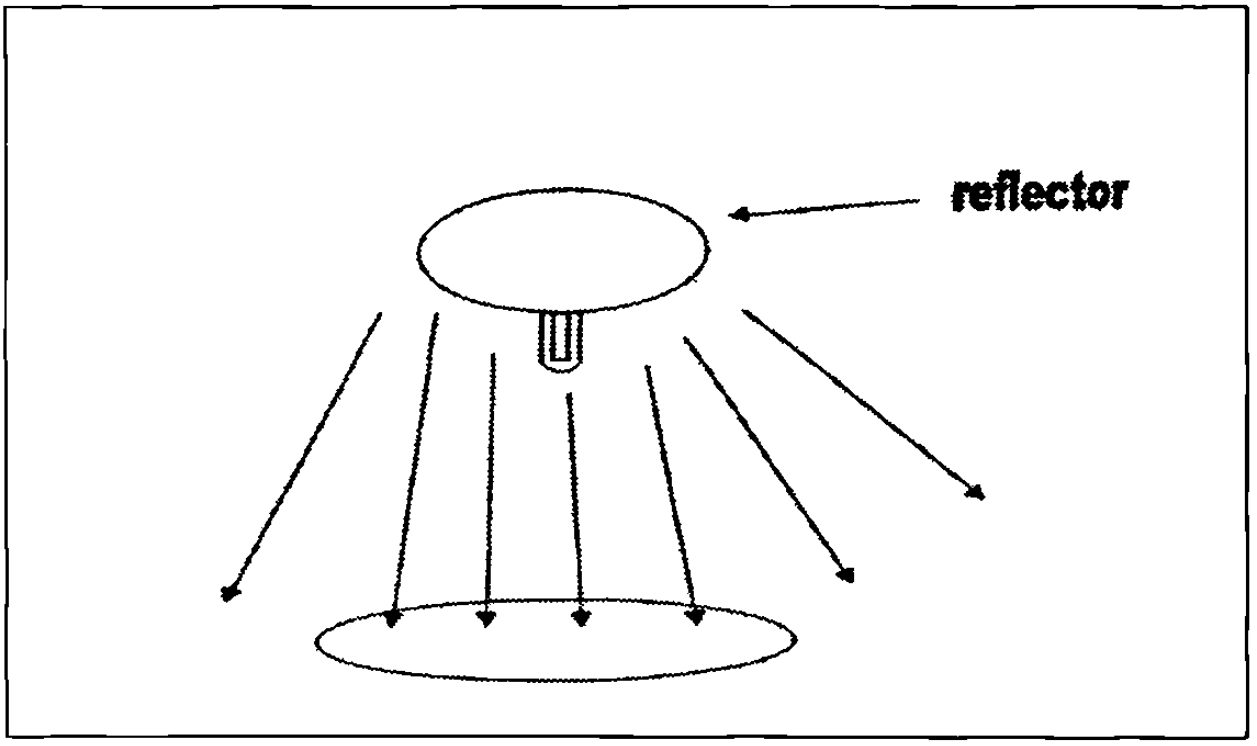
Una lámpara en posición vertical emite el 30% de los rayos luminosos hacia arriba y el 70% restante hacia los lados y hacia abajo; por lo tanto para aprovechar los rayos luminosos generado, colocamos un elemento reflector. El refractor es un elemento adicional que tiene, además de la función de control de luz, funciones adicionales como evitar el deslumbramiento, brindar protección al foco etc.

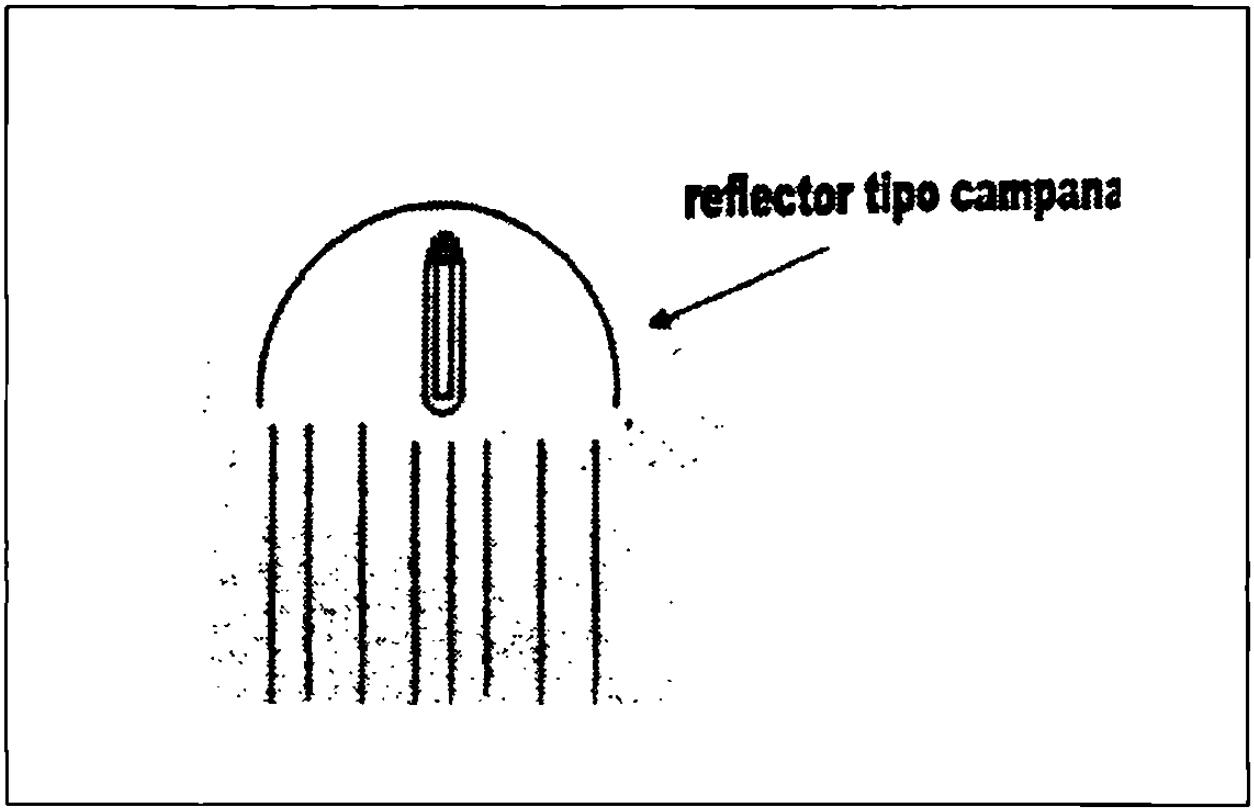
Los materiales más comúnmente utilizados para la fabricación de los refractores son: vidrio, borosilicato, acrílico, fibra de vidrio y en general cualquier plástico con ciertas características de resistencia principalmente al calor generado por la lámpara.

El portabalastro debe de ser ligero, ya que esto facilita su manejo en la instalación. Además de difundir o disipar el calor generado por el balastro. Para que el portabalastro reúna todas estas propiedades, debe estar construido de aluminio y contar con "aletas" disipadoras de calor.

El balastro, como ya lo estudiamos es el dispositivo que proporciona la energía necesaria para la operación de la lámpara y limita la corriente en su funcionamiento. Aprovechamiento de la luz generada por una lámpara.




reflector

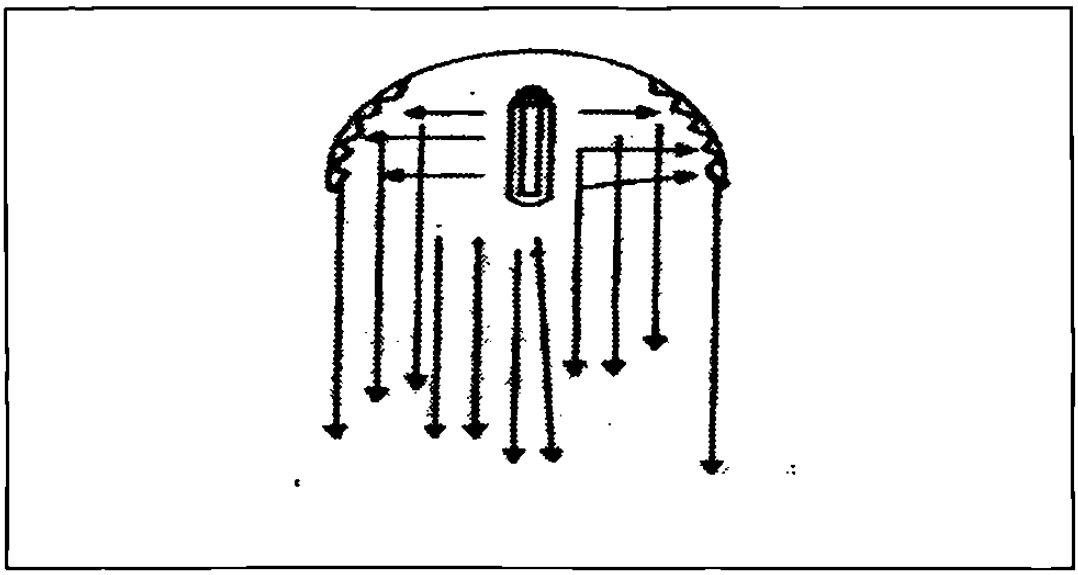


Aprovechamiento al máximo de los rayos luminosos en el área a iluminar = 80 %.

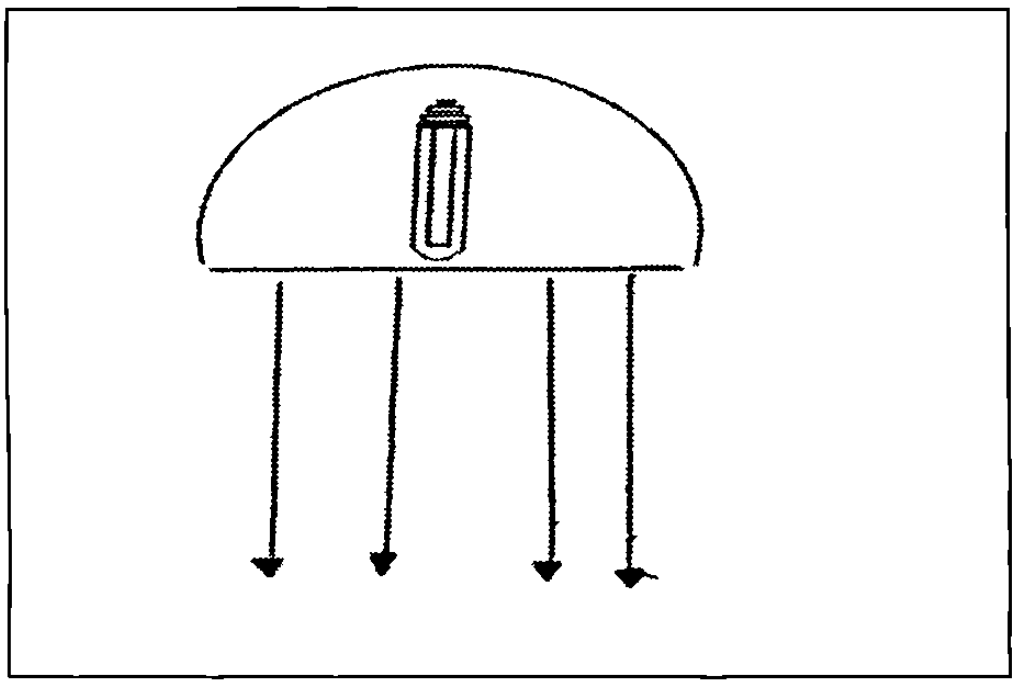
Reflector de facetas:

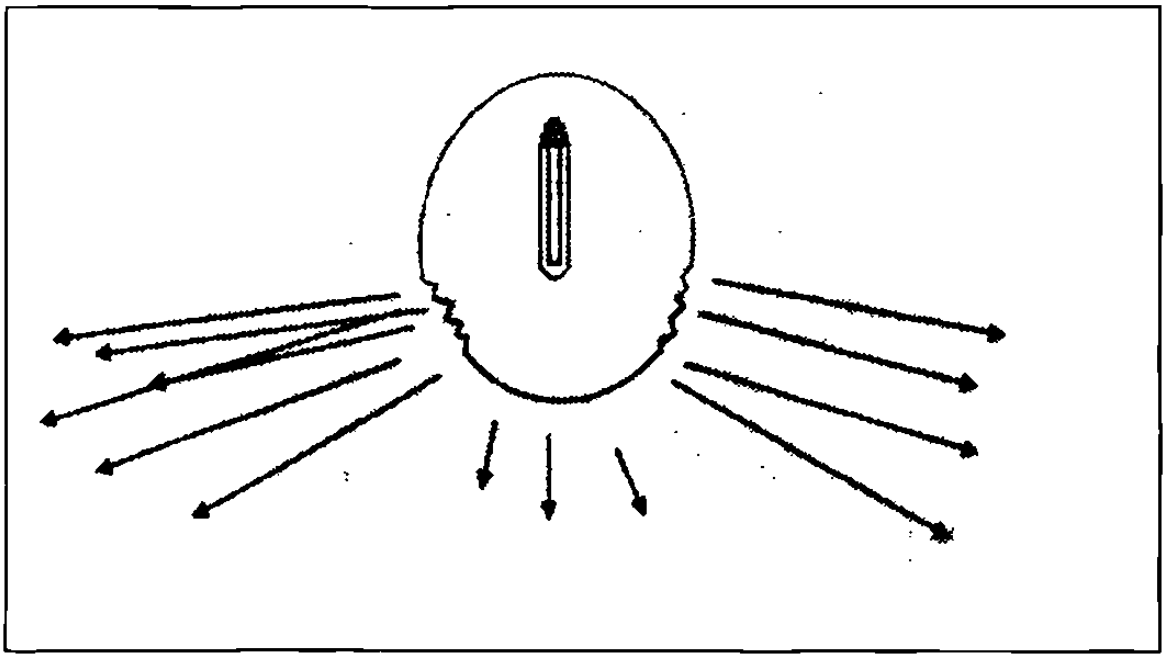
Evita el calentamiento excesivo del reflector y evita que los rayos incidan de rebote en el tubo de descarga de la lámpara alargando su vida útil.

Todos los rayos son luminosos son canalizados hacia fuera del reflector (no hacia el tubo de arco de la lámpara).



1. Refractor plano: Rayos más rápidos y concentrados hacia abajo.



Reflector facetado:

Rayos más concentrados y dirigidos hacia el lado calle.