

26
Ley



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
“ARAGON”

“Análisis y Aplicación
de Lámparas de
Descarga”

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta:
RENE JAIMES LOPEZ

San Juan de Aragón, Estado de México 1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ANALISIS Y APLICACION DE LAMPARAS DE DESCARGA

- INTRODUCCION: COMENTARIO ACERCA DE LA IMPORTANCIA Y UTILIDAD QUE TIENEN LAS LAMPARAS DE DESCARGA.

CAP. I.- PRINCIPIOS DE ILUMINACION. RESUMEN HISTORICO DE LA EVOLUCION DE LAS LAMPARAS.

CAP. II.- VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION.

II.I.- PRINCIPIO BASICO DE LA DESCARGA EN VAPOR DE MERCURIO.

II.II.- CARACTERISTICAS DE LA RADIACION PRODUCIDA POR LA -
DESCARGA EN VAPOR DE MERCURIO.

II.III.- CONSTITUCION DE LAS ACTUALES LAMPARAS.

II.IV.- FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS.

II.V.- APLICACION DE LAS LAMPARAS.

CAP. III.- HALOGENUROS METALICOS.

III.I.- CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS.

III.II.- CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.

III.III.- APLICACION DE LAS LAMPARAS.

CAP. IV.- LUZ MEZCLA (MIXTA).

IV.I.- CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS.

IV.II.- CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.

IV.III.- APLICACION DE LAS LAMPARAS.

CAP. V.- VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION.

V.I.- CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS.

V.II.- CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.

V.III.- APLICACION DE LAS LAMPARAS.

CAP. VI.- VAPOR DE SODIO A ALTA PRESION.

VI.I.- CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS.

VI.II.- CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.

VI.III.- APLICACION DE LAS LAMPARAS.

BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

En los últimos años, las lámparas eléctricas han tenido un gran desarrollo, pues éstas no solo se asocian con las comodidades que nos brindan en nuestro hogar, en la oficina, en el trabajo, en los espectáculos y diversiones, con la seguridad que nos proporcionan al contar con vías de comunicación, accesos y zonas para transitar bien iluminadas, ya que estos espacios sin alumbrado son causa de accidentes y campo para la delincuencia.

De esta manera vemos que las lámparas eléctricas desempeñan un papel muy importante en nuestra vida, pues tienen una infinidad de aplicaciones ya que las utilizamos cuando no es posible aprovechar la luz del día y deseamos continuar con nuestras labores.

Este trabajo está enfocado al análisis de las lámparas de descarga, pues son lámparas de una gran eficiencia (más lúmenes por watt), compactas y con diferentes tipos de cromaticidad de color.

En la mayoría de los casos solo vemos la aplicación de las lámparas de descarga tanto en alumbrado público así como el industrial, sin siquiera imaginarnos como funcionan, que es lo que sucede en el interior de ellas, como están constituidas y de que mejor manera se pueden utilizar.

El trabajo se ha dividido en 6 capítulos, en el capítulo 1 que es el correspondiente a Principios de Iluminación, hablamos acerca del comportamiento del ojo humano con respecto a la luz, magnitudes utilizadas en

Luminotecnia, algunos instrumentos de medición, fenómenos físicos de la luz, un resumen histórico de la evolución de las lámparas, para terminar con un glosario de términos utilizados en Luminotecnia.

En el capítulo II trataremos las lámparas de Vapor de Mercurio en donde se hablará del principio básico de la descarga en vapor de mercurio, diferentes tipos de radiación, constitución de las lámparas de vapor de mercurio, funcionamiento y aplicación de las mismas.

En el capítulo III trataremos las lámparas de Halogenuros Metálicos, aquí hablaremos de que es lo que caracteriza a estas lámparas, como están constituidas, como funcionan y su diversidad de aplicaciones, pues son lámparas que actualmente se aplican en Europa (principalmente en Alemania) y aquí en México muy pronto se utilizarán ya que están revolucionando los conceptos modernos en iluminación, pues otra de sus características es que son las lámparas de descarga más pequeñas del mundo.

En el capítulo IV, toca el turno a las lámparas de Luz Mixta ó Mezcla (llamadas así por la combinación de un tubo de cuarzo y un filamento), que elementos las constituyen, como funcionan y sus aplicaciones.

En el capítulo V, analizaremos las lámparas de Vapor de Sodio a baja presión, su constitución, funcionamiento y las diversas aplicaciones que se les dan.

Y para terminar, en el capítulo VI hablaremos de las lámparas de Vapor de Sodio a alta presión, se describirá la diferencia que existe entre

éstas lámparas y las de Vapor de Sodio a baja presión, sus componentes, funcionamiento y aplicaciones.

Debido a que es muy difícil encontrar una publicación que agrupe todos los tipos de lámparas de descarga sobre todo porque existe poca información al respecto, con este trabajo se pretende contribuir como un material de apoyo a todas aquellas personas que de una u otra forma están relacionadas con la Luminotecnia, así como dar un panorama más amplio de las lámparas de alta intensidad de descarga.

CAPITULO I.- PRINCIPIOS DE ILUMINACION

El Ojo Humano

Las sensaciones de luz y color se realizan a través del ojo humano que es un órgano fisiológico. Este órgano recibe la energía luminosa por medio del fenómeno denominado sensación visual, y la envía al cerebro a través del nervio óptico.

En la fig. 1.1. podemos apreciar la constitución anatómica del ojo humano.

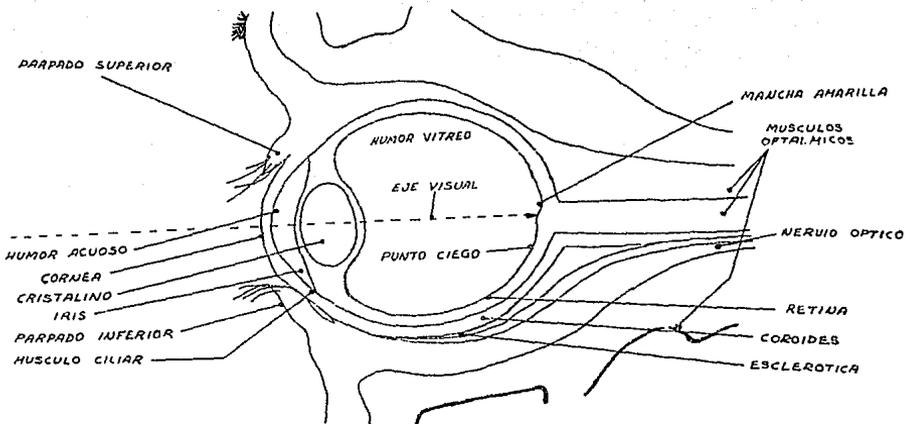


FIG. 1.1

Al ojo lo podemos comparar con una cámara fotográfica aunque el ojo es mucho más perfecto.

Haciendo esta comparación:

En el ojo el "objetivo" es la córnea, el humor acuoso y el cristalino; el "diafragma" es el iris, y la película fotosensible la retina, como se aprecia en la fig. 1.2

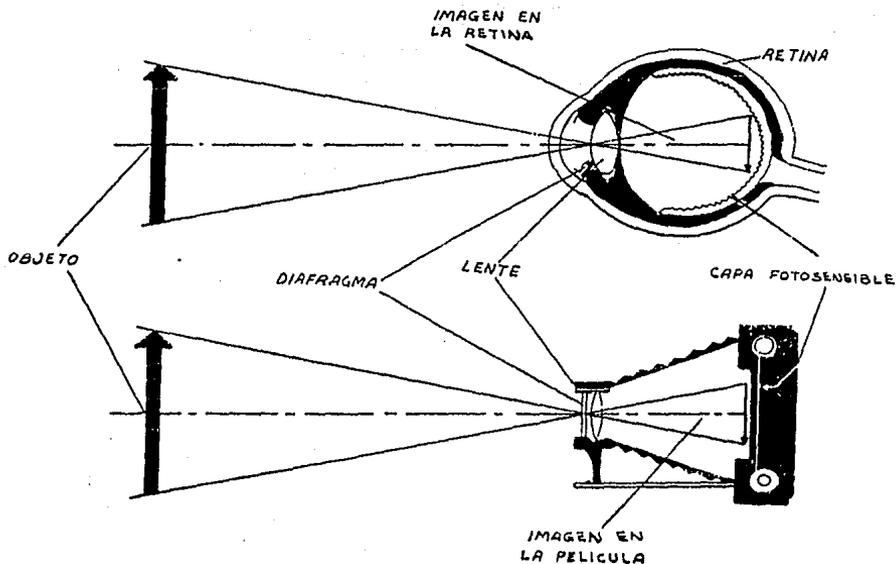


FIG. 1.2

Las partes principales del ojo humano, se explican a continuación:

Córnea.- Su función es proteger al ojo y está compuesto por una membrana transparente, esta membrana se encuentra situada en la parte frontal del ojo junto con los órganos adyacentes como son: las pestañas, párpados y cejas.

Iris.- Este órgano se encuentra detrás de la córnea y gradúa la apertura de entrada de luz en el ojo mediante la pupila. El iris y la pupila son análogos en su funcionamiento al diafragma de una cámara fotográfica pero en forma más perfecta ya que se adaptan mucho mejor a la cantidad de luz recibida.

Cristalino.- También es una membrana transparente y su misión es parecida al objetivo de una cámara fotográfica, es decir, enfocar los rayos luminosos sobre la retina, este órgano por medio de los músculos ciliares puede variar su curvatura, acomodando la visión para diferentes distancias, a esta propiedad del ojo se le denomina acomodación.

Retina.- Esta es una membrana extremadamente delgada que se extiende sobre la coroides. En este órgano se forman las imágenes luminosas que quedan impresas en forma semejante a las imágenes de una película fotográfica.

Nervio Optico.- Las imágenes que se forman y quedan impresas en la retina son conducidas al cerebro por medio del nervio óptico, en el cerebro

tiene lugar la verdadera percepción luminosa, ya que este es capaz de interpretar las imágenes.

En la retina existen un gran número de elementos foto-receptores o dicho de otra manera de pequeñas fibras nerviosas. Estos elementos son los conos y bastoncillos, reciben el nombre de conos por su forma cónica y el de bastoncillos por su forma cilíndrica.

Los bastoncillos son muy sensibles a la luz y casi insensibles al color, mientras que los conos son muy sensibles a los colores y casi insensibles a la luz.

En toda la retina existen aproximadamente 130 millones de bastoncillos y unos 8 millones de conos, a cada fibra nerviosa corresponde, por término medio unos 100 bastoncillos y unos 8 conos.

Pero estas células se encuentran distribuidas irregularmente porque en el borde exterior de la retina hay muchos bastoncillos y muy pocos conos; en el punto de entrada del nervio óptico existe el llamado punto ciego donde no hay ni bastoncillos ni conos. En el centro de la retina existe una región llamada mancha amarilla donde el número de conos es de unos 4,000 y no existe ningún bastoncillo.

En la fig. 1.3 podemos apreciar en forma ampliificada una parte de la retina en donde se pueden ver a estos elementos.

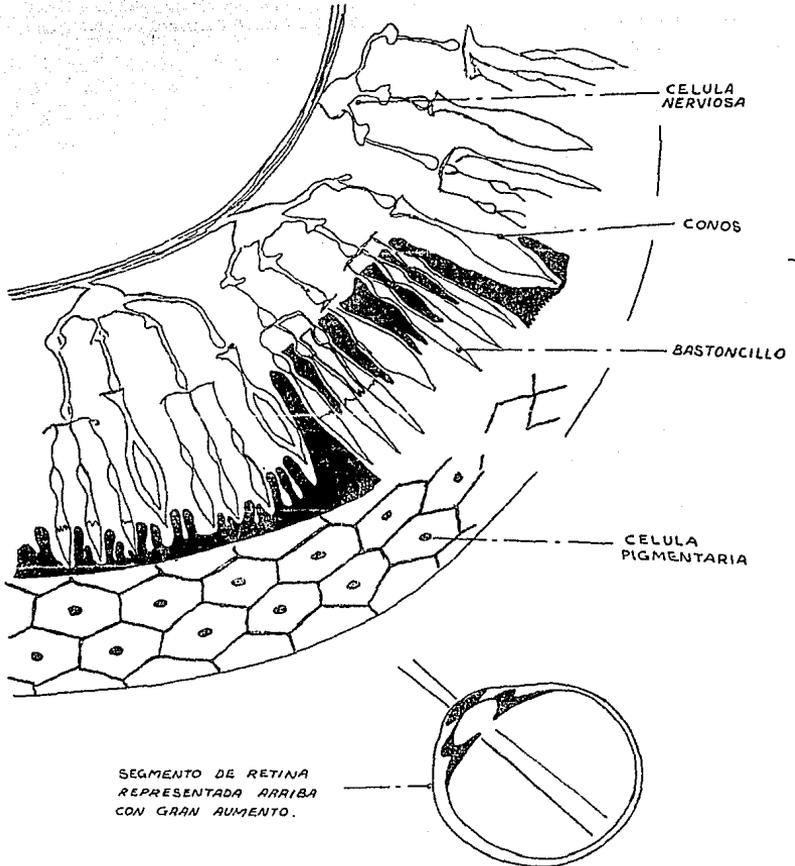


FIG. 1.3

Adaptación

El ojo humano tiene la capacidad de ajustarse a las diferentes iluminaciones de los objetos, este ajuste se lleva a cabo con un movimiento de cierre y apertura realizado por la pupila.

Haciendo la analogía con una cámara fotográfica, la adaptación se hace por medio del diafragma.

Si se tiene una iluminación muy intensa, la pupila se contrae o reduce a un diámetro de aproximadamente 2 mm. reduciendo así la luz que llega al cristalino.

Si por el contrario, se tiene una iluminación muy deficiente, la pupila se dilata o se abre a un diámetro aproximado de 8 mm, para una mejor comprensión en la fig. 1.4 se muestra lo que se ha dicho.



JAIS



*ALUMBRADO
INTENSO*



DIAFRAGMA

*ALUMBRADO
DEBIL*

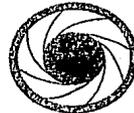


FIG. 1.4

En la gráfica de la fig. 1.5 podemos ver el tiempo de adaptación que necesita el oio al pasar de una habitación bien iluminada a otra de iluminación deficiente.

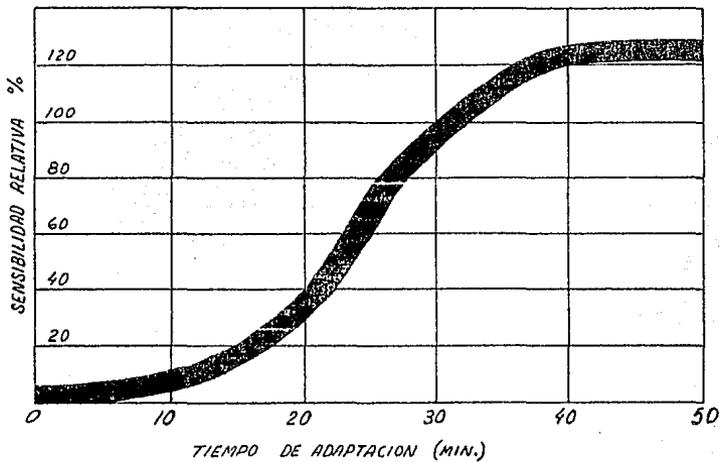


FIG. 1.5

Sensibilidad del ojo humano.

El ojo humano es sensible a las radiaciones luminosas, es decir, que el ojo percibe las radiaciones de la luz las cuales están comprendidas en una zona del espectro electromagnético y cuyas longitudes de onda van desde 380 a 780 n m.

Estos valores corresponden a los límites de sensibilidad del ojo humano a la luz, fuera de estos límites el ojo es ciego, es decir, que no percibe ninguna clase de radiación.

Si representamos mediante una gráfica la sensibilidad del ojo humano para las distintas longitudes de onda de la luz del mediodía soleado, se obtendrá una curva acompañada que se denomina "Curva de sensibilidad luminosa del ojo humano".

En la gráfica de la fig. 1.6 observamos que el ojo tiene la mayor sensibilidad para una longitud de onda de 555 nm que corresponde al color amarillo-verdoso y la menor a los colores rojo y violeta.

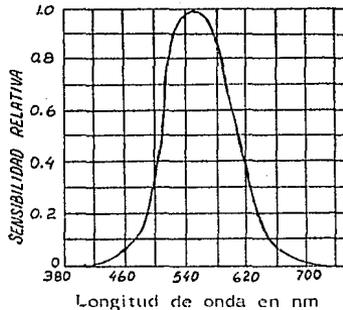


Fig. 1.6. Curva de sensibilidad luminosa

Efecto Purkinje

En la visión escotópica (cuando es realizada por los bantoncillos), el máximo de sensibilidad se desplaza hacia longitudes de onda menores, como se observa en la figura 1.7.

Este fenómeno es conocido como "Efecto Purkinje", y consiste en que las radiaciones de menor longitud de onda (violeta y azul) producen mayor intensidad de sensación con baja iluminación. Por el contrario, las radiaciones de mayor longitud de onda (anaranjado y rojo) producen mayor intensidad de sensación con alta iluminación.

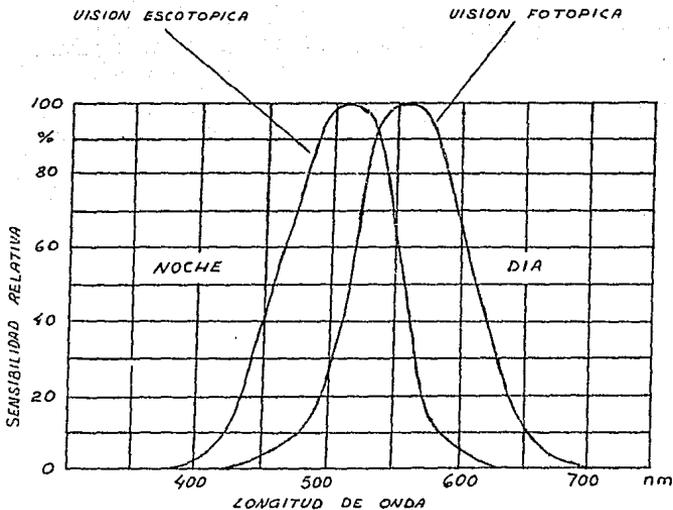


Fig. 1.7 Efecto Purkinje

Terminología utilizada en iluminación.

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

Así pues, una "candela" o "bujía", que es la unidad de intensidad luminosa, en realidad era una vela.

La cantidad de luz proyectada por una "candela" patrón sobre un área de un metro cuadrado de una esfera con un metro de radio, es una "candela metro" o "lux" que viene siendo la unidad de iluminación. Esta unidad en el sistema inglés es la "candela-pie" ("footcandle"). Una "candela-pie" es equivalente a 10.765 lux.

Flujo Luminoso

Las fuentes luminosas (lámparas eléctricas) transforman parte de la energía debido a que no se puede aprovechar en forma total para la producción de luz. Por ejemplo, una lámpara incandescente consume una determinada energía que transforma en energía radiante de la cual un 90% se pierde en calor y solo un 10% es percibida por el ojo en forma de luz.

Entonces se le llama flujo luminoso a la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa. La unidad del flujo luminoso es el lumen (lm) y se representa por la letra griega ϕ (fi).

Rendimiento Luminoso

También conocido como coeficiente de eficacia luminosa de una fuente de luz, indica el flujo que emite la misma fuente por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. La unidad del rendimiento luminoso es el lm/W (lumen por watt) y se representa por la letra griega η (eta).

Intensidad luminosa

Así como a una magnitud de superficie corresponde un ángulo plano que se mide en radianes, a una magnitud de volumen le corresponde un ángulo sólido (ω) o estéreo que se mide en estereorradianes.

El radián se define como el ángulo plano que corresponde a un arco de circunferencia de longitud igual al radio. Ver fig. 1.8

Así mismo, el estereorradian se define como el ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico cuya superficie es igual al cuadrado del radio de la esfera. Ver fig. 1.9.

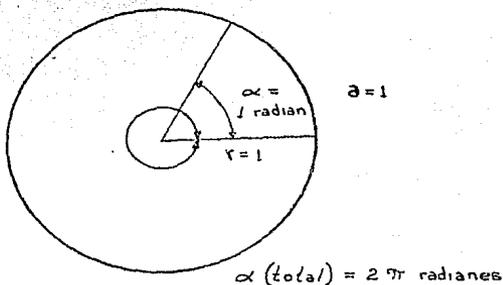


Fig. 1.8. Angulo Plano

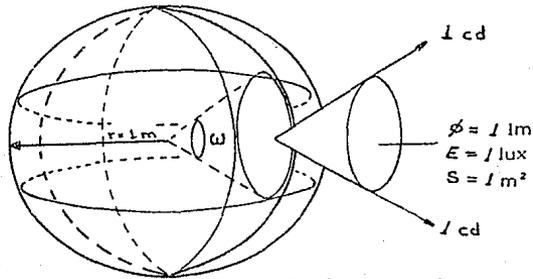


Fig. 1.9. Angulo Sólido

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una determinada dirección es igual a la relación entre el flujo luminoso contenido en un ángulo cualquiera cuyo eje coincida con la dirección considerada y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes.

La unidad de la intensidad luminosa es la candela (cd) y se representa por la letra I .

La candela se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradian.

La fórmula que expresa la intensidad luminosa es:

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

y una candela:

$$\text{cd} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ Sr}}$$

donde Sr. Estereorradian

Dentro de la rama de la iluminación se requieren realizar mediciones por lo que enseguida se describen algunos de los instrumentos más empleados para este efecto y que usaremos para explicar un poco más los principios de iluminación.

LUXOMETRO

Este es el instrumento que más se utiliza en el área de Iluminación y que también recibe el nombre de fotómetro.

Este instrumento está formado por una fotocelda que convierte energía luminosa en energía eléctrica y un microamperímetro que mide la corriente que fluye a través de la fotocelda. El movimiento de la aguja es proporcional a la intensidad de luz que incide sobre la fotocelda. Cuando el luxómetro se coloca en posición horizontal mide el nivel de iluminación de ese punto en el plano horizontal, y cuando se coloca en posición vertical, mide el nivel de iluminación de ese punto en el plano vertical. De manera similar se utiliza el luxómetro cuando se requiere medir la iluminación sobre un plano en cualquier ángulo.

Las recomendaciones al efectuar las mediciones son las siguientes: Cuando se está haciendo una medición, el operador se debe colocar lo suficientemente alejado de la fotocelda para no afectar el resultado. Si se coloca muy cerca, podría arrojar sombra sobre la fotocelda, lo que causaría que la lectura fuera menor que el valor verdadero. Por otro lado, si la fotocelda se coloca cerca de una camisa blanca, entonces la lectura que se obtenga será alta debido a la luz reflejada por la camisa.

MEDIDORES CON CORRECTOR DE COLOR

La fotocelda de un medidor de luz tiene una sensibilidad o respuesta espectral muy diferente a la del ojo humano.

La fig. 1.10 muestra algunas curvas comparativas.

Cuando las mediciones estaban limitadas a iluminación incandescente, era posible calibrar el medidor para obtener lecturas correctas. Pero cuando las lámparas fluorescentes hicieron su aparición, el medidor calibrado para medir este tipo de luz no podía medir correctamente la iluminación producida por una lámpara incandescente.

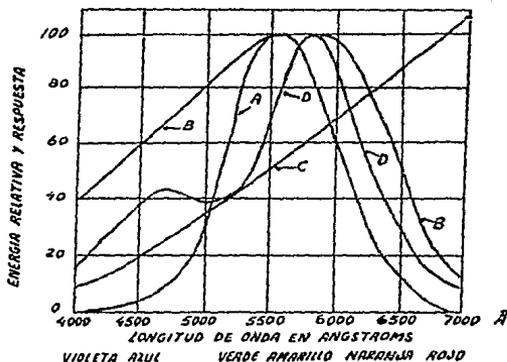


Fig. 1.10 Relación espectral de ojo humano, fotocélula, y dos fuentes de luz: (A) respuesta del ojo humano medio; (B) respuesta de una fotocélula de selenio no corregida; (C) distribución de energía espectral de una lámpara incandescente de 500-w; (D) distribución de energía espectral de una lámpara fluorescente blanco fresco.

Si observamos la fig.1.10 podemos encontrar la razón.

Por ejemplo, si consideramos una longitud de onda de 450 nm, podemos ver que la respuesta del medidor es mucho mayor que la del ojo humano, y por lo tanto, la energía producida por una lámpara fluorescente sería errónea en comparación con una lámpara incandescente.

A una longitud de onda de 550 nm, la respuesta del medidor es inferior a la del ojo, y la lectura del medidor estaría de nuevo equivocada.

La solución a este problema fué el desarrollo del medidor con corrector de color. En algunas ocasiones, el medidor trae marcada la leyenda "Corregido para respuesta visual". Lo que sucede en estos medidores, es que sobre la fotocelda se ha colocado un filtro que cambia su sensibilidad hasta una aproximación razonable a la sensibilidad del ojo humano normal, como se observa en las curvas de la fig. 1.11.

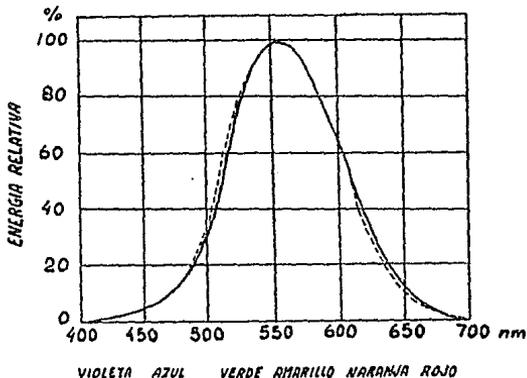


Fig.1.11

Como la respuesta del medidor es prácticamente idéntica a la del ojo, las lecturas que se obtengan serán correctas, no importando el color de la fuente de luz.

PRECISION DEL MEDIDOR

Un medidor de bolsillo tiene una precisión de $\pm 5\%$ cuando sale de la fábrica. Aún cuando no haya sido golpeado ó dañado, debe ser calibrado cada dos años.

FUENTES DE ERROR.

La evaluación de una instalación de luz con un fotómetro o luxómetro - está sujeto a errores y aproximaciones.

Supongamos que se desea medir el nivel de iluminación de una nueva instalación fluorescente. La emisión luminosa de una lámpara fluorescente decrece rápidamente durante sus primeras horas de uso, y que la capacidad indicada por el fabricante es de 100 horas de uso.

Si la medición se efectúa antes de las 100 horas de encendido, el resultado es en gañosamente alto y si las mediciones se hacen mucho tiempo después de las 100 horas, habrá algo de polvo en las lámparas y el resultado será bajo.

Para el caso de las lámparas incandescentes, el voltaje debe corresponder al voltaje nominal de las lámparas, si esto no se cumple las lecturas estarán - por arriba o por debajo del valor nominal de las lámparas de acuerdo con el - voltaje real de la línea.

A la hora de efectuar las mediciones, algunas personas caminan alrededor del cuarto y colocan el fotómetro en distintas posiciones y toman un promedio de los valores leídos.

Cualquiera que sea el método utilizado, a continuación se tiene una buena sugerencia: Cuando se hagan mediciones durante el día:

Primero, se toman las mediciones combinando la luz eléctrica y la luz del día. Luego se apagan las luces y se repiten las mediciones solamente con la luz del día. Restando los resultados obtenidos, podremos conocer la iluminación debida a la luz eléctrica.

En una instalación con lámparas fluorescentes se debe esperar media hora por lo menos, antes de hacer las mediciones para que las lámparas se calienten y puedan llegar al punto de máxima emisión luminosa.

Pese a las limitaciones que se tiene en el uso del fotómetro, este sigue siendo un instrumento indispensable en trabajos de iluminación, pues en la actualidad no existe otro instrumento más práctico que lo sustituya, por eso se tiene que seguir usando.

PRINCIPIO DE LA ESFERA DE ULBRICHT

El flujo luminoso también se mide por medio de un aparato llamado Esfera de Ulbricht. Este fotómetro está formado por una esfera hueca que en su pared interior está pintada de un color mate blanca, esto con el fin de que todos los puntos dentro de la esfera reflejan la luz hacia todos lados, a fin de que la iluminación de cualquier punto esté formado por dos componentes:

- a) El flujo que llega directamente de la fuente.
- b) El reflejado por las otras partes de la pared.

De acuerdo a esta suposición, la iluminación de cualquier punto de la esfera será proporcional al flujo luminoso irradiado por la fuente, cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- 1) El factor de reflexión de la pintura aplicada deberá ser alto y uniforme -- (esto significa que la esfera deberá pintarse con gran frecuencia para contrarrestar la suciedad).
- 2) La esfera deberá ser grande y la pantalla pequeña (la pantalla se utiliza para enmascarar la fuente y su flujo no incida directamente en el medidor).
- 3) La pantalla deberá ser difusamente traslúcida. (Esto con el fin de que el flujo luminoso de la lámpara no incida sobre la fotocelda).

Una vez que se ha calibrado el fotómetro con una lámpara patrón. Se sustituye la lámpara patrón por la lámpara que se desea medir, ésta lámpara se coloca suspendiéndose en el interior de la esfera.

En la Fig. I.12 , se representa la manera en que se efectúa la medición, la letra "K" representa la esfera, "L" la lámpara, "M" el punto de medida y "S" la pantalla que oculta los rayos directos de la lámpara "L" en dirección al punto de medida "M", V la ventanilla.

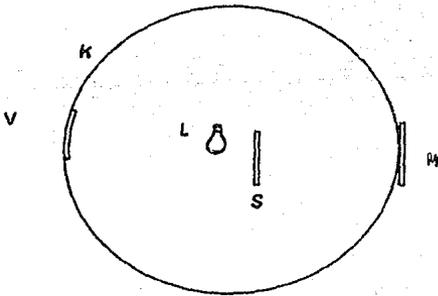


Fig. I.12 Fotómetro de esfera de Ulbricht

En la Fig.1.12 la parte posterior de la esfera tiene un orificio donde va colocado un vidrio opalino, detrás de este vidrio se encuentra la celda foto - eléctrica que va a recibir la intensidad luminosa de la lámpara a medir.

La parte frontal de la esfera se le conoce con el nombre de ventanilla.

De lo dicho anteriormente, podemos decir que la esfera de Ulbricht es el aparato esencial en el laboratorio de fotometría, pues en el se miden los flujos luminosos de las lámparas eléctricas comparadas con una lámpara patrón tanto para lámparas incandescentes así como las de descarga.

Distribución luminosa. Curva fotométrica

El conjunto de la intensidad luminosa de un manantial constituye lo que se llama distribución luminosa. Las fuentes de luz artificial utilizadas en la práctica se ven afectadas en su distribución luminosa por la propia construcción de la lámpara, presentando diversos valores en distintas direcciones. Por medio de aparatos especiales se efectúan mediciones para determinar la intensidad luminosa de una lámpara en todas las direcciones del espacio con relación a un eje vertical; de esta manera y por medio de vectores espaciales cuya magnitud es proporcional a las correspondientes intensidades luminosas expresadas, por ejemplo en candelas, se obtiene así un sólido - fotométrico. Ver fig. 1.13

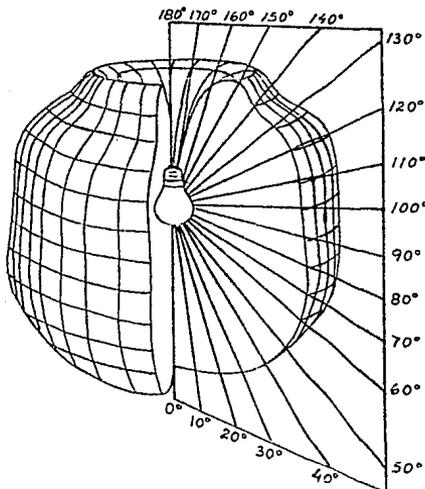


Fig. 1.13 Sólido fotométrico de una Lámpara Incandescente .

de 5 mm y se considera que representa una intensidad luminosa de 20 candelas; por lo tanto la escala será:

$$1 \text{ mm} = 4 \text{ candelas}$$

Los vectores que se representan en la figura 1.11 son las intensidades luminosas de la lámpara en las direcciones $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots, 360^\circ$ comprendidos en un plano vertical.

Ahora, si unimos los extremos de los vectores mediante una línea curva cerrada, obtendremos la curva de distribución luminosa de la fig. 1.15.

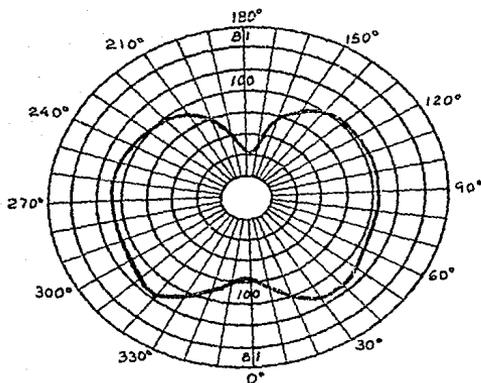


Fig. 1.15 . Curva de distribución luminosa obtenida de la figura anterior.

CONTROL DE LA LUZ

Debido a la gran luminancia que presentan las actuales lámparas, éstas no realizan por sí mismas una distribución del flujo luminoso que permita su aplicación directa, sino que utilizan dispositivos que modifican o controlan su luz.

Para modificar estas características luminosas se aprovechan varios fenómenos físicos, que son:

- a) Reflexión.
- b) Refracción.
- c) Absorción.
- d) Transmisión.
- e) Difusión.

a) REFLEXION

Cuando una superficie devuelve la luz que incide sobre ella, se dice que refleja la luz. La reflexión de luz depende de tres factores:

- 1.- Condiciones moleculares de la superficie reflectante, esto es, que una superficie lisa refleja mejor la luz que una superficie rugosa.
- 2.- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.
- 3.- Color de los rayos incidentes. La luz blanca se refleja mejor que la luz coloreada.

Existen diferentes tipos de reflexión:

-Dirigida o especular, esto es producida por superficies completamente lisas y brillantes. Por ejemplo, espejos de vidrio azogado y metales - pulimentados. Ver. Fig. I.16.

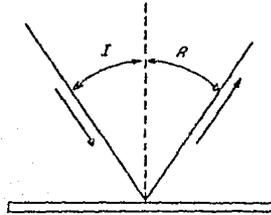


Fig. I.16

-Difusa, producida por superficies rugosas y mates, por ejemplo, la tela blanca y el yeso. Ver Fig. I.17

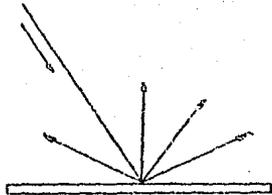


Fig. I.17

-Semidirigida, producida por superficies rugosas y brillantes, como el papel estucado. Ver Fig. I.18

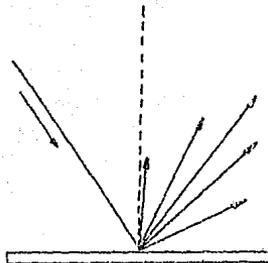


Fig. I.18

-Semidirigida, producida por superficies blancas y esmaltadas.

Ver Fig. 1.19

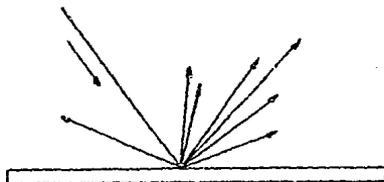


Fig. 1.19

En la reflexión dirigida o especular, cuando un haz de rayos luminosos choca contra una superficie, por ejemplo, en un espejo, una parte de la luz rebota como una pelota arrojada contra la pared, como lo demuestra la -- Fig. 1.16 . En forma más específica "el ángulo de incidencia (I), es igual al ángulo de reflexión (R)." Este es el enunciado de la ley fundamental de la reflexión. Donde se entiende por ángulo de incidencia el ángulo (I) que forma el rayo incidente con la vertical en el punto de incidencia -- cuando éste choca con la superficie, y por ángulo de reflexión al ángulo (R) que forma el haz de rayos luminosos ya reflejado, con la vertical en el punto de incidencia, cuando se aleja de la superficie. Esto solamente es en -- teoría, pues lo que sucede en la práctica solo se cumple cuando la superficie sobre la que incide el rayo luminoso es absolutamente lisa y brillante como -- en el caso del espejo.

Por otro lado se tiene una reflexión difusa cuando el rayo incidente se refleja por igual en todas las direcciones del espacio, y por lo tanto, no se cumple con la ley de la reflexión, como se aprecia en la Fig. 1.17 .

En la reflexión semidirigida, cuando la superficie sobre la que incide el haz luminoso es rugosa y brillante, tomando por ejemplo el papel couché, a-

cada rayo incidente corresponderán varios rayos reflejados que cumple solo en forma aproximada con la ley de la reflexión. Ver Fig.1.18.

Y por último, la reflexión semidifusa, normalmente se presenta cuando la superficie donde incide el rayo luminoso, es opaca con una capa de barniz - (superficies vidrificadas), como por ejemplo: la porcelana. Ver Fig. 1.19.

b) REFRACCION

Cuando el haz de rayos luminosos pasa de un medio a otro de diferente densidad, la dirección de éstos rayos luminosos queda modificada; a éste fenómeno físico se le llama refracción. En la Fig. 1.20, se aprecia éste fenómeno.

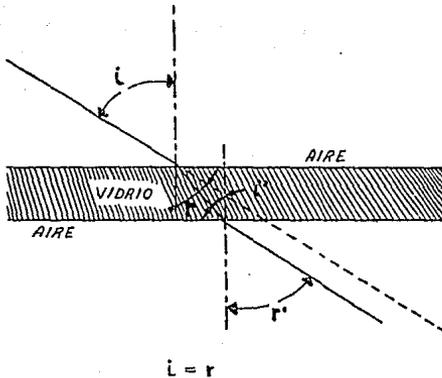


Fig. 1.20

Llamaremos ángulo de incidencia al ángulo que forma el rayo luminoso con la vertical en el punto de incidencia, cuando dicho rayo choca con la superficie, y ángulo de refracción al ángulo que forma el rayo luminoso con la vertical en el mismo punto de incidencia, cuando dicho rayo luminoso se aleja de la superficie.

Índice de refracción es la relación entre la velocidad de la luz a través del aire y su velocidad, a través del medio o sustancia correspondiente; por lo tanto, el índice de refracción del aire es la unidad y cuando las sustancias son más densas que el aire, lo que es el caso más general, su índice de

refracción es mayor que la unidad, lo que quiere decir que la velocidad de la luz es tanto menor cuando mayor sea la densidad del medio que atravieza.

Analizando la Fig. I.20 , podemos observar que si hacemos pasar - el rayo luminoso del aire al vidrio y de éste nuevamente al aire, éste rayo luminoso al pasar por segunda vez al aire, su dirección será paralela a la del rayo incidente antes de pasar a través del vidrio, es decir, que:

Angulo $i =$ Angulo r'

Angulo $r =$ Angulo i'

c) ABSORCION

Tanto en los fenómenos de reflexión y transmisión, según sea la constitución de los materiales que los componen, parte de la luz que incide sobre ellos es absorbida en mayor o menor proporción. Es por eso que los fenómenos de reflexión, transmisión y absorción se relacionan entre si.

d) TRANSMISION

Se conoce con el nombre de transmisión de la luz a su propagación a través de los cuerpos transparentes o traslúcidos.

Dependiendo de las variaciones que sufre el haz luminoso al pasar a través de estos cuerpos, la transmisión puede ser:

- Transmisión dirigida
- Transmisión difusa

TRANSMISION DIRIGIDA

Si el haz luminoso sufre solamente la variación debida a la refracción normal; se consigue ésta clase de transmisión utilizando cristales claros (es decir, transparentes), y produce intenso deslumbramiento debido a la gran luminancia de los rayos luminosos incidentes.

En la Fig. 1.21 se observa éste fenómeno.

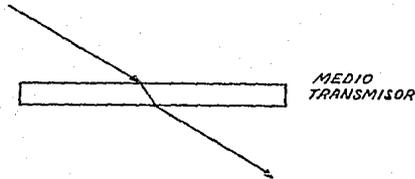


Fig. 1.21

TRANSMISION DIFUSA

En este tipo de transmisión, el haz luminoso incidente queda dispersado al chocar con el material, de manera que queda iluminada en forma uniforme toda la superficie del cuerpo de que se trate (ver Fig. 1.21') Se puede conseguir una transmisión difusa utilizando cristales opalinos, mateados, etc., es decir, cuerpos translúcidos.

En este caso, la luminancia es constante en todas las direcciones del espacio y el deslumbramiento es mucho menor que en el caso anterior.

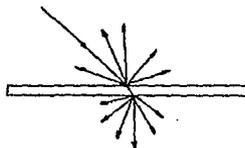


Fig. 1.21'

e) DIFUSION

Este fenómeno se realiza debido a la rugosidad de la superficie que refleja -o en su caso que transmite- el flujo luminoso, éste se esparce en todas las direcciones del espacio; y a éste fenómeno se le da el nombre de difusión. Ver Fig.1.22.

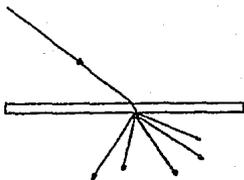


Fig.1.22.

Basados en estos principios que se han mencionado se diseñan las luminarias (en todas sus formas), reflectores, etc. para una mejor utilización de la luz emitida por la lámpara.

Para comprender mejor los términos que se mencionan más adelante, se ha incluido un glosario de términos y su significado.

G L O S A R I O

Absorción

Un término general para el proceso por el cual el flujo incidente es disipado, es decir, que parte de la luz que incide sobre los cuerpos es absorbida en mayor o menor proporción según la constitución de los materiales que los componen.

Alumina

Oxido de aluminio ($Al_2 O_3$), el cual se encuentra en estado natural como corindón y en formas hidratadas semejantes como la bauxita ($Al_2 O_3 \cdot 2 H_2 O$). Alúmina policristalina es el material usado por el tubo de arco para las lámparas de sodio a alta presión.

Angstrom (A)

Otra unidad de longitud que también se emplea en Luminotecnia es el angstrom, equivalente a una diezmillonésima parte del milímetro, es decir:

$$1 \text{ Angstrom} = 0.000\ 000\ 1 \text{ milímetros}$$

El Angstrom se representa así:

$$1 \text{ Angstrom} = 1 \text{ \AA}$$

Arco

Una descarga luminosa de electricidad a través de un gas ionizado.

Argón

El elemento del grupo de los gases raros, gas inerte, incoloro e inodoro que forma parte del aire (casi 1% de volúmen). Símbolo Ar. p.a. 39.95. Este gas es usado para llenar lámparas incandescentes y usado también en muchas lámparas fluorescentes y otras lámparas de alta intensidad de descarga.

Atomo

La palabra átomo se deriva del griego átomos, que significa indivisible. Todos los átomos son agrupaciones más o menos complejas de partículas subatómicas. Los constituyentes de los cuáles están formados los átomos, son tres: el electrón, el protón y el neutrón.

Autotransformador

Transformador en que una parte del embobinado está a la vez en el circuito primario y en el secundario.

Balastro

Es un dispositivo que se utiliza para limitar la corriente, además que provee el voltaje suficiente para encender la lámpara y operarla en forma estable. En todos los casos el balastro hace que la lámpara funcione al voltaje adecuado independientemente del voltaje de alimentación que se tenga.

Base

Son accesorios contruídos casi siempre de porcelana ó de materiales plásticos que utilizan las lámparas fluorescentes. La forma de ésta base y el dispositivo para empotrar las lámparas, varía de unos fabricantes a otros, pero es generalmente utilizado el sistema de empotre mediante rotación de la lámpara en un cuarto de vuelta.

Candela

Es la unidad que expresa la intensidad luminosa (cd).

Capacitor

Una pieza eléctrica consistente en dos placas conductoras separadas por una capa de material aislante.

Cátodo

Terminal negativa de una fuente de electricidad.

Carga

La cantidad de electricidad en un cuerpo, es decir, el exceso o deficiencia de electrones.

Cromaticidad de color

Consiste de longitudes de onda complementarias y aspectos de pureza del color en forma conjunta.

Electrodo

Conductor por el que la corriente eléctrica es conducida a un líquido (como en una celda electrolítica), o a un gas (como en una descarga eléctrica en un tubo de cuarzo para las lámparas de descarga.)

Energía relativa

Energía captada por una fotocelda cuando recibe el flujo luminoso emitido por la lámpara eléctrica.

Espectro electromagnético

Una gran gama de energía radiante que se desplaza a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas.

Filamento

El elemento que emite luz en una lámpara incandescente formado por una espiral de alambre de tungsteno.

Flujo luminoso

A la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa. El flujo luminoso se representa por la letra griega ϕ (phi), siendo su unidad el lúmen (lm).

Getter

Consiste en una pasta de fósforo o circonio que cubre el filamento para anular los residuos de oxígeno, hidrógeno o vapor de agua que hayan quedado dentro del bulbo al provocarle el vacío.

Incandescencia

La emisión (por sí misma) de energía radiante en el espectro visible debido a la excitación térmica de átomos o moléculas.

Iluminancia

La iluminancia ó iluminación de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su extensión.

La iluminancia se representa por la letra E, siendo su unidad el Lux.

Lámpara

El término es utilizado para indicar una fuente luminosa artificial construída para producir luz.

Luminaria

Es un aparato que distribuye, filtra ó controla la luz originada por una lámpara y que incluye los accesorios necesarios para fijar, operar y proteger estas lámparas y para conectarlos a la red de alimentación.

Luminancia

Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente.

La luminancia se representa por la letra L, siendo su unidad la candela por metro cuadrado (cd/m^2) llamada nit (nt), y la candela por centímetro cuadrado (cd/cm^2) ó stilb, es empleada para fuentes con elevadas luminancias.

Luz

Puede definirse como radiación capaz de producir directamente sensación visual.

Molibdeno

Elemento metálico del grupo del cromo. Mo, p.a. 96.0. Usado como soporte del filamento en lámparas incandescentes, así como también en

lámparas de vapor de mercurio de luz mixta.

Nanómetro

Unidad de longitud de onda igual a 10^{-9} metros.

Neón

Elemento gaseoso inerte, Ne, p.a. 20.2, densidad 0.69.

El neón es usado en lámparas de incandescencia.

Papel estucado

Papel que lleva un recubrimiento de yeso blanco y pegamento de cola.

Reflexión

Es la relación entre el flujo luminoso reflejado y el incidente. Es designado por la letra griega ρ (ro).

Reflector

Es un dispositivo que sirve para modificar la distribución espacial del flujo luminoso de una lámpara.

Sensibilidad relativa

La facultad que posee el ojo humano para percibir la luminosidad.

Sodio

Elemento metálico alcalino, blando, ceroso, blanco de plata, Na, p.a. 23, densidad 0.97.

Sólido fotométrico

Es la representación por medio de vectores de la intensidad luminosa producida por una lámpara eléctrica.

Temperatura de color

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

Torio

Un elemento metálico radioactivo -gris oscuro- en el cuarto grupo del sistema periódico. Th. p.a. 232.4, densidad 11.1.

Tungsteno

Llamado también Wolframio, elemento raro del grupo del cromo, W. p.a. 184.0, densidad 6.6 a 19.0.

Utilizado como filamento en lámparas eléctricas.

Vaporización

La conversión de un líquido ó un sólido a vapor.

Visión escotópica

Se refiere a la visión nocturna.

Visión fotópica

Se refiere a la visión diurna ó durante el día.

Xenón

Elemento gaseoso inerte, X, p.a. 130.2, densidad 3.52 pertenece a los gases raros.

RESUMEN HISTORICO DE LA EVOLUCION DE LAS LAMPARAS ELECTRICAS

La primera luz eléctrica fue producida mediante un arco formado entre electrodos de carbón en un experimento desarrollado por el químico inglés -- Sir Humprey Davy en 1801. La fuente de corriente eléctrica en ese tiempo era la pila catódica o batería.

Sin embargo, no hubo ninguna aplicación práctica de la lámpara de arco sino hasta el desarrollo de la dínamo lograda por el electricista belga -- Grame en 1872, ya que entonces se pudo disponer de una fuente de corriente eléctrica que fuera estable.

DESARROLLO DE LA ILUMINACION PUBLICA

El empleo del gas con el propósito de iluminar se desarrolló después de muchos años de realizar numerosos experimentos y la primera instalación de alumbrado industrial fue efectuada en 1799 por William Murdock en Soho, - Birmingham, Inglaterra.

En 1803 se utilizaron lámparas con gas para iluminar los muelles de la ciudad de Filadelfia y la primera instalación de alumbrado de calles con lámparas de gas fue hecha en Londres en 1807, seguida por el alumbrado de -- Pall Mall en 1809, y Westminster Bridge en 1813.

En los E.E.U.U. la primera instalación de éste tipo fue en las calles de Baltimore en 1821, siguiendo Boston en 1822, Nueva York en 1823 y finalmente en 1832, Filadelfia.

Después de 1836 el uso de alumbrado en las calles se generalizó en los E.E. U.U.

No solamente en Inglaterra y los E.E. U.U., se aceptó el alumbrado público, sino también en Francia, Alemania y México.

En 1826, en Berlín, la Avenida Unter den Linden de Berlín, fue iluminada con lámparas de gas; en abril de 1828 se iluminaron las principales calles en Dresde, el 31 de Octubre de 1850 se inauguró el alumbrado público compuesto por 1148 faroles en Munich, y para el año de 1868 ya eran 530 las ciudades alemanas alumbradas con lámparas de gas.

Con éstos hechos, vemos que las lámparas de gas tuvieron gran aceptación y que rápidamente se popularizaron.

La Ciudad de México en 1801 dispone de 1200 faroles que daban luz por la combustión del aceite de nabo o ajonjolí. En 1840 se aumentó a 450 el número de faroles, pero éstos alimentados con trementina; para 1855 llegó a 1000 el número de faroles que consumían éste combustible.

En 1876, París, que es considerada como una ciudad pionera en alumbrado público, empleó la primera lámpara de arco eléctrico, conocida como -- "Bujía Jablochkoff", inventada por el ruso Paul Jablochkoff. Esta lámpara -- estaba compuesta de dos varillas paralelas de carbón separadas por un material aislante, y el arco que se formaba en su extremo iba consumiendo gradualmente el electrodo, que requería su reemplazo regularmente.

En París, en 1877, la Avenida de la Opera fue iluminada por 46 lámparas abastecidas de energía por tres dinamos. Poco tiempo después la Bujía Jablochkoff se extendió por Gran Bretaña.

La fabricación de la primera lámpara con filamento de carbón artificial se debe al óptico y relojero Heinrich Goebel. En 1854 Heinrich Goebel construyó una lámpara en la que acertó poner un material muy adecuado: una fibra de bambú carbonizada. Esta lámpara, para su época, tenía una vida promedio de 400 horas, que era un buen rendimiento.

En su tiempo, éstos experimentos despertaron una gran expectación, pero pronto cayeron en el olvido, pues no se pensó en la explotación comercial de su descubrimiento.

Debe acreditarse a Edison (1847-1931) parte del mérito por el desarrollo de la lámpara con filamento de carbón, pero en realidad los iniciadores fueron otros, como Sawyer y Man de Inglaterra, que en 1877 obtuvieron una patente por la utilización del alambre de platino como filamento.

Edison en 1877 carbonizó tiras de papel que hacían funcionar dentro de recipientes de vidrio en los que en forma deficiente les había hecho el vacío, y en 1879 exhibió una lámpara que contenía en su interior una fina varilla de carbón.

A fines de ese año, Edison ofreció una demostración práctica de sus lámparas, haciéndolas funcionar mediante su propio sistema de alumbrado en su laboratorio; éstas lámparas tenían un flujo luminoso de 2 lm/W, y una duración de 100 horas.

La primera instalación de lámparas de arco fue la de la Plaza Pública de Cleveland, Ohio.

En la Ciudad de México, en 1881 se instalan las primeras lámparas de arco y cinco años más tarde, es decir, en 1886, el Ayuntamiento de la Ciudad y la Compañía Nacional de Electricidad firman contrato para instalar 600 lámparas.

En 1890 desaparece en la Ciudad de México el alumbrado público con aceite de nabo, para dar paso a las lámparas de arco; ésto sucede justo - un siglo después de la inauguración de dichas lámparas de aceite de nabo, y hasta esa época es cuando se principia a usar cable aislado y se mejora - el aspecto de los postes a la manera europea.

Volviendo al invento de la lámpara cuyo filamento tenía la forma de una herradura y era hilo de algodón impregnado en carbón, se modificó el filamento de bambú carbonizado, y éste a su vez por celulosa carbonizada; dichos filamentos, debido al progreso, fueron sustituidos en 1907 por tungsteno, el cual hasta la actualidad se usa universalmente.

A manera de comentario diremos que, el elemento tungsteno fue descubierta por Scheele en 1781 y estaba destinado a revolucionar la iluminación artificial. (En Alemania y otros países, se le conoce como Wolframio).

En el año de 1913 el científico americano Irving Langmuir inventó la lámpara de filamento llena con un gas inerte; es aquí donde se utiliza una mezcla de argón y nitrógeno, la cual brindó una mayor eficiencia y una luz de color más blanco; ésto originó que se produjeran y emplearan lámparas - de filamento de mayor capacidad.

En 1867, un físico francés llamado Becquerel, hizo las primeras lámparas fluorescentes, y aunque éstas representaban solo una mera curiosidad en su época, ya eran un presagio de adelantos posteriores.

Hacia el año de 1936 las lámparas fluorescentes fueron presentadas por primera vez en la Exposición Mundial de París.

Fue en el año de 1933 cuando se introdujo la primera lámpara de vapor de mercurio a alta presión (en ese mismo año, también se implantó la lámpara de Vapor de Sodio a baja presión).

En 1950 se incorporó al mercado norteamericano la lámpara de vapor de mercurio fluorescente; ésto sucedió después de que éstos alumbrados ya eran utilizados en Alemania e Inglaterra.

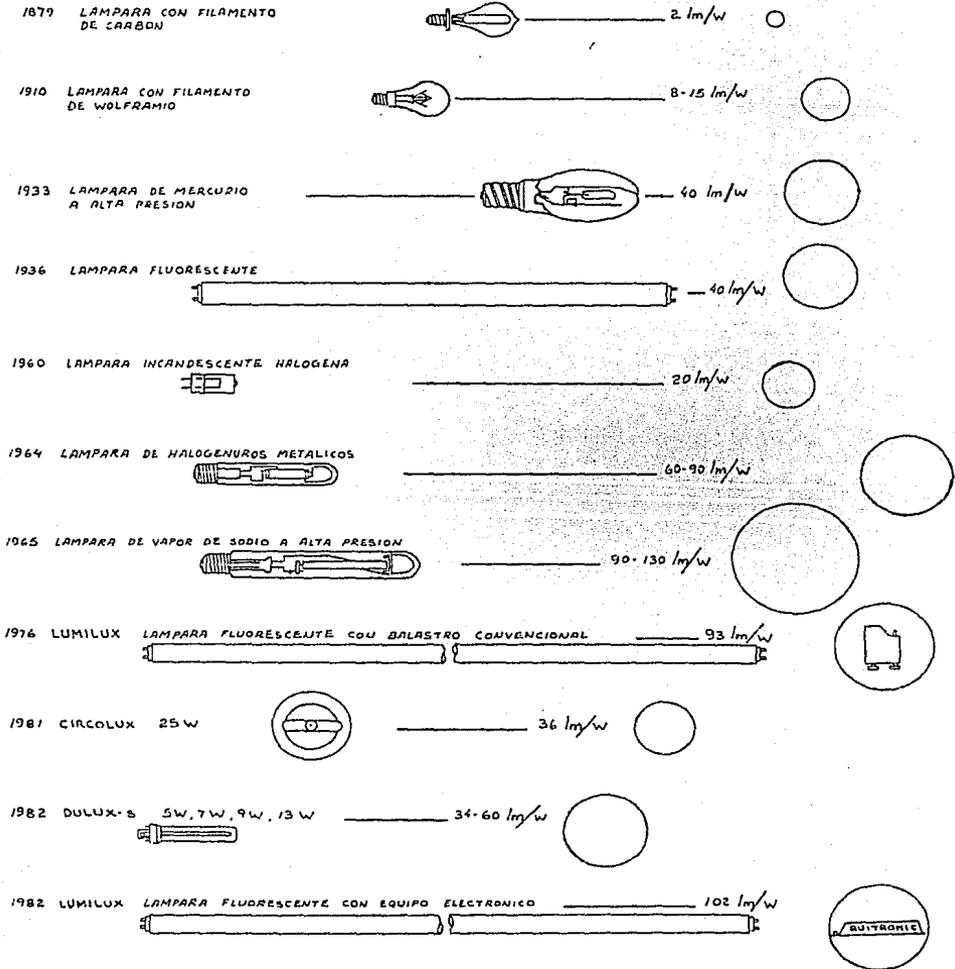
En marzo de 1958 se instalaron las primeras lámparas de vapor de mercurio de 400 Watts en la Ciudad de México, las cuales sustituían a las lámparas incandescentes; la calle 5 de Mayo fue la primera en utilizar éste tipo de alumbrado.

Como lo habíamos dicho antes, la lámpara de vapor de sodio se desarrolló en 1933, después que se hicieron ciertas mejoras en cuanto a la tecnología del vidrio, ya que éste tenía que resistir los efectos del vapor de sodio.

La lámpara de halogenuros metálicos aparece en el año de 1964, a la que se han agregado algunos yoduros de tierras raras, lo cual hace que tenga ventaja sobre las lámparas de vapor de mercurio en cuanto a su eficiencia lumínica.

En el cuadro siguiente se muestra la evolución que han tenido las lámparas eléctricas desde la primera lámpara de carbón hasta la actualidad.

DESARROLLO DE LAS LAMPARAS ELECTRICAS A TRAVES DEL TIEMPO



La investigación y desarrollo de mejores condiciones de iluminación han dado una primordial importancia a la tecnología y desarrollo de las lámparas que reciben en la actualidad un impulso muy grande. Actualmente, los continuos avances en el mundo de la iluminación traen nuevas exigencias a las fuentes de luz eléctrica, como por ejemplo:

- Las oficinas de gran amplitud, que continuamente están iluminadas requieren lámparas que sean esencialmente económicas.
- La miniaturización en la industria, es decir, trabajos que requieren gran precisión, exigen un nivel de iluminación muy alto.
- Los puestos de trabajo con pantalla de tubos de rayos catódicos son exigentes con la distribución de la iluminación para evitar reflejos incómodos a la vista.
- Vías de comunicación iluminadas por lámparas eléctricas de gran eficiencia.

Pero sobre todo influye bastante la situación creada por los costos de energía eléctrica que cada día se incrementan más, esto trae como consecuencia tanto en el sector arquitectónico, urbano y como en el de oficina, la utilización de lámparas no solo de una luz creativa sino de bajo consumo de potencia pero de gran flujo luminoso.

Si analizamos el cuadro esquemático anterior podemos darnos cuenta del desarrollo que han tenido las lámparas eléctricas desde 1879 que utilizaba filamento de carbón y que tenía una eficiencia de 2 lm/w, hasta las modernas lámparas de vapor de sodio de alta presión que actualmente llegan alcanzar hasta más de 100 lm/w.

CAPITULO II.- VAPOR DE MERCURIO
A ALTA PRESION

CAP. II.- LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION

GENERALIDADES.

La iluminación mercurial ha tenido un crecimiento acelerado desde que la primera lámpara práctica de vapor de mercurio fué inventada en 1901 por Peter Cooper Hewitt, la cuál producía luz indistintamente en color verde-azulado que tenía alta eficacia comparada con las lámparas incandescentes de esos días.

Grandes adelantos técnicos y nuevas aplicaciones han acelerado su uso en los últimos años, ya que la primera lámpara de mercurio de alta presión, similar a las que se usan todavía, fué introducida en 1934 en 400 W. de potencia.

Estas lámparas están clasificadas como lámparas de descarga de alta intensidad (HID), es decir tienen un tubo de descarga gaseosa que opera a presiones y densidades de corriente suficientes para generar la radiación visible deseable para proporcionar luz.

Su popularidad radica principalmente por tres razones:

- 1.- Alta eficiencia - más lúmens por watt de potencia consumida.
- 2.- Fuentes de luz compactas - permiten un buen control de la luz con el uso de reflectores y refrectores.
- 3.- Larga vida y mantenimiento de lúmens - reducidos costos de operación.

Los tres tipos principales de lámparas HID que actualmente se utilizan son:

- De Mercurio
- Aditivos Metálicos
- Vapor de Sodio a alta presión.

II.I. Principio básico de la descarga en la lámpara de Vapor de Mercurio.

La producción de luz en las lámparas de Vapor de Mercurio está basada en el principio de la luminiscencia obtenida por la descarga eléctrica en una atmósfera de mercurio. Con el nombre de luminiscencia se conocen aquellos fenómenos luminosos cuya causa no obedece exclusivamente a la temperatura de la sustancia fluorescente.

Dichos fenómenos se caracterizan porque sólo ciertas partículas de los átomos de la materia, es decir, sus electrones, son incitados a producir radiaciones electromagnéticas.

Luz producida por la descarga eléctrica en un gas.

En todos los gases, principalmente en los que contienen las lámparas de descarga, además de los átomos de gas neutrales, se encuentran siempre algunas cargas eléctricas libres (electrones), desprendidas del cátodo.

Si en un tubo de descarga, como el de la Fig. II.I.1

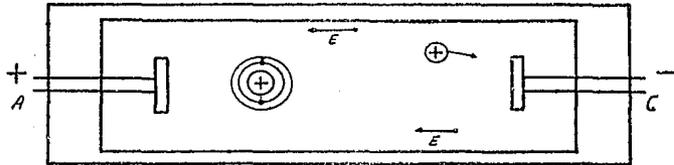


Fig. II.I.1.

Se aplica una diferencia de tensión al ánodo A(+) y al cátodo C(-), se crea entre A y C un campo eléctrico que acelera las cargas libres (electrones) y las precipita hacia el ánodo. Cuando un electrón alcanza una determinada velocidad, entonces posee energía cinética suficiente para "excitar" un átomo de gas.

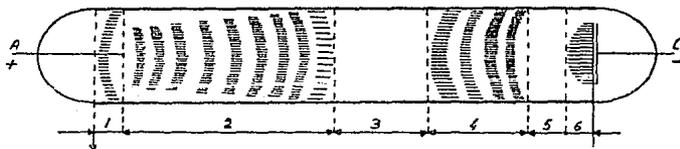
Si la velocidad del electrón al chocar con el átomo de gas es muy grande, el impacto puede provocar incluso el desprendimiento de un electrón de la corteza atómica, con lo cual el átomo queda con un electrón menos en su configuración, es decir, se obtiene un ión positivo; este fenómeno se denomina -- "ionización por choque". De esta forma aumenta aún más el número de electrones libres pudiendo llegar incluso a aumentar gradualmente, por lo que hay que tener precaución de limitar esa corriente eléctrica mediante una resistencia (estabilizador).

Junto con los electrones (-) libres o desprendidos, se encuentran también iones positivos que se desplazan en sentido contrario al de los electrones, es decir, hacia el cátodo (-), aunque debido a su pequeña velocidad no pueden provocar ninguna excitación de otras partículas gaseosas, sino que, por el contrario, transcurrido un corto período de tiempo, toman de nuevo un electrón a cambio de una emisión de energía.

En función del gas noble o vapor metálico con que se llene el tubo de descarga se obtendrán, mediante la excitación atómica anteriormente citada, los espectros de líneas ó colores de luz característicos del elemento químico elegido. Por ejemplo, si el gas es neón, el color de la luz es rojo-anaranjado,

y si es vapor de mercurio blanco-azulado.

Todos estos hechos tienen lugar dentro de un volúmen comprendido entre los dos electrodos, que queda limitado por la pared del tubo de descarga. Este volúmen forma una columna gaseosa de descarga, pero no toda ella produce luz sino que se pueden distinguir distintas zonas, como se muestra en la Fig.II.1.2.



- 1- LUZ ANODICA
- 2- COLUMNA POSITIVA
- 3- ESPACIO OSCURO DE FARADAY
- 4- COLUMNA NEGATIVA
- 5- ESPACIO OSCURO
- 6- LUZ CATODICA

FIG. II.1.2.

La mayor de estas zonas recibe el nombre de "columna luminiscente positiva" y es donde realmente tiene lugar la producción de luz mediante la descarga.

Si la alimentación del tubo de descarga se hace con corriente alterna en vez de continúa, los electrodos cambian periódicamente su función, actuando - unas veces de ánodo y otras de cátodo; pero, por lo demás el fenómeno de la producción luminosa sigue siendo el mismo.

Las condiciones de la descarga eléctrica en el seno de un gas, para la producción de luz, dependen fundamentalmente de la presión del gas o vapor que - exista en el interior del tubo de descarga, de ahí que se distingan tres tipos de descarga:

- . Descarga a baja presión
- . Descarga a alta presión
- . Descarga a muy alta presión

Cuanto más elevada es la presión, las líneas espectrales se ensanchan formando bandas cada vez mayores, con lo cual mejora el espectro cromático, como ocurre con el espectro de las lámparas de sodio a alta presión respecto al - de las de baja presión. Lo cierto es que, a presiones más altas se necesitan mayores tensiones de encendido.

En las lámparas de vapor metálico se requiere además vaporizar primero - mente el metal, que en frío se encuentra en estado sólido ó líquido; por ello se llenan estas lámparas con gas noble que, después de iniciada la descarga es

el primero que se inflama, suministrando el calor necesario para la vaporización del metal.

Descarga Eléctrica de arranque a alta tensión entre electrodos fríos.

Para suministrar la cantidad suficiente de electrones libres en este tipo de descarga, se utilizan electrodos fríos construídos la mayoría de las veces de chapa de cromo níquel.

El llenado del tubo de descarga se hace con gases nobles como son: el neón, que emite una luz intensa de color rojo-anaranjado; el helio que emite una luz de color rosa-claro, también con vapores metálicos; especialmente el vapor de mercurio que emite una luz blanco-azulado y, mezclado con el gas neón, produce una luz de color azul intenso. Las tensiones de arranque y de funcionamiento son elevadas, necesitándose de 600 a 1,000 volts.

Descarga eléctrica de arranque a baja tensión entre electrodos calientes.

Si se introduce en un tubo de vidrio previamente evacuado, es decir, al vacío una cierta cantidad de sodio sólido o mercurio líquido, el gas noble con que se llena logra transformar el sodio o mercurio en vapor al producirse la descarga eléctrica, obteniéndose una descarga de vapor metálico en el seno de un gas.

De todo lo que hemos expuesto hasta ahora, podemos deducir que la luz emitida por las lámparas de vapor metálico dependen de forma decisiva del espectro de líneas de vapor metálico elegido; así pues, la lámpara de vapor de sodio dá una luz monocromática de color amarillo anaranjado, y la de vapor

de mercurio una luz blanco-azulada.

Los espectros discontinuos de estas lámparas se logran mejorar por distintos medios:

En las de mercurio:

- . Por combinación con luz incandescente (lámparas de luz mezcla o mixta).
- . Por combinación con una capa fluorescente (lámparas de vapor de mercurio color corregido).
- . Añadiendo halógenos metálicos (lámparas de vapor de halógenos metálicos)

Para comprender mejor los siguientes temas, hablaremos acerca de la radiación y sus diferentes clases, a manera de introducción.

Radiación

La radiación se define como una emisión o transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o corpúsculos.

Radiación del Cuerpo Negro

Sabemos que un cuerpo es tanto mejor emisor de radiaciones, cuando más radiaciones absorba previamente, también sabemos que cuando más oscu-

ro es un cuerpo, mayor es su poder de absorción, y que los cuerpos que llamamos negros, absorben casi totalmente todas las radiaciones. Por lo tanto, serán estos cuerpos negros los que emitan mayor cantidad de radiaciones, por esta misma razón, si nosotros calentamos a la misma temperatura un trozo de carbón y un trozo de yeso, el carbón emite mucha mayor energía luminosa y calorífica que el yeso.

Si consideramos un cuerpo que absorba toda la energía radiante que recibe, a todas las longitudes de onda, este cuerpo será el mejor emisor posible. Si un cuerpo tuviera estas características, se le llamaría cuerpo absolutamente negro, o más abreviadamente cuerpo negro.

En la naturaleza no existe ningún cuerpo absolutamente negro, el que más se aproxima es el negro de humo, que absorbe aproximadamente un 99% de energía radiante que recibe.

El color del cuerpo negro cambia a medida que se aumenta su temperatura, poniéndose primero rojo oscuro y después rojo claro, naranja, amarillo y finalmente blanco, blanco azulado y azul. Este fenómeno ha servido de base para clasificar las diferentes tonalidades de color de luz regidas a las temperaturas con las que se obtienen esas tonalidades al calentar el cuerpo negro.

Esta clasificación se ha introducido en Luminotecnia con el nombre de temperatura de color, este término se usa para describir el color de una fuente luminosa comparándola con el de un cuerpo negro, que es el teóricamente "radiante perfecto."

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

Radiación visible (luz)

La luz puede definirse como radiación capaz de producir directamente sensación visual.

Las ondas luminosas ocupan solo una parte muy pequeña del espectro de ondas electromagnéticas, como vemos en la Fig. II.1.3.

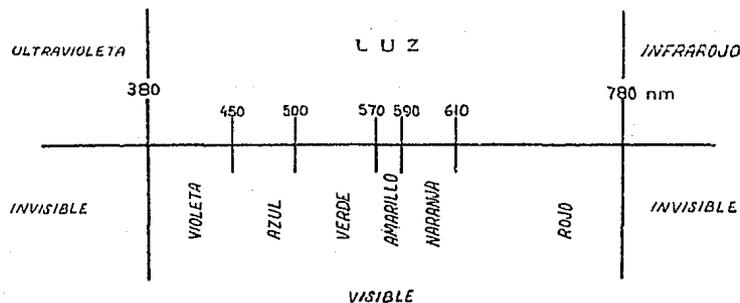


Fig. II.1.3. Límites Aproximados de Radiación de los Diferentes Colores del Espectro Visible.

El espectro visible se puede dividir de modo aproximado, en una serie de intervalos de longitud de onda; según la impresión de color que producen en el ojo humano:

380 - 450 nm violeta	570 - 590 nm amarillo
450 - 500 nm azul	590 - 610 nm naranja
500 - 570 nm verde	610 - 780 nm rojo

Radiación Ultravioleta e Infrarroja

Las radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda cercanas a los extremos, o sea, violeta y rojo del espectro visible se conocen respectivamente como radiación ultravioleta e infrarroja.

Los límites del intervalo espectral de las radiaciones ultravioleta e infrarroja no están bien definidos, pero el primero se considera en general entre 100 y 400 nm y el segundo entre 780 y 10^6 nm.

La gama de ondas en la región ultravioleta se subdivide en tres bandas.

- UV - A desde 315 hasta 400 nm
- UV - B desde 280 hasta 315 nm
- UV - C desde 100 hasta 280 nm

donde UV = Ultravioleta.

La radiación en la banda UV-A atraviesa casi todos los tipos de vidrio y prácticamente no produce eritema alguno, es decir, enrojecimiento de la -

piel.

La radiación en la banda UV-B afecta a la piel, causando eritema y pigmentación o bronceado de la piel. También forma en el cuerpo humano la vitamina D, de efectos antirraquíticos. Esta forma de radiación se emplea principalmente en terapéutica.

La radiación en la banda UV-C tiene un fuerte efecto germicida. Puede también producir el fenómeno de luminiscencia en ciertos materiales. Origina eritema superficial y conjuntivitis.

Radiación Infrarroja

Igual que en el caso de la radiación ultravioleta, los límites de la banda espectral de la radiación infrarroja no están bien definidos, pero se establecen normalmente entre 780 y 10^6 nm. A su vez, esta gama de ondas se subdivide en tres partes:

- IR - A desde 780 hasta 1,400 nm (ondas infrarrojas cortas)
- IR - B desde 1400 hasta 3,000 nm (ondas infrarrojas medianas)
- IR - C desde 3000 hasta 10^6 nm (ondas infrarrojas largas).

Donde IR = Infrarroja.

Toda radiación puede ser absorbida y transformada a calor, como lo vimos anteriormente, pero la banda de ondas infrarrojas, especialmente las de la región de ondas cortas, tiene el efecto calórico más elevado de todos los tipos de radiación.

La radiación infrarroja en ondas cortas es invisible al ojo humano, no puede verse, pero se percibe en forma de calor. Atraviesa el vacío y el aire puro sin pérdida apreciable de energía. Solamente si la radiación choca con un objeto es absorbida y, al ser absorbida, se convierte en calor.

La radiación infrarroja corta se comporta en muchos aspectos como luz visible. Puede ser reflejada y concentrada en un área determinada, evitando así muchos de los problemas de pérdida de calor que encontramos con otros métodos de calefacción.

II.II. Características de la radiación producida por la descarga en Vapor de Mercurio.

El rendimiento luminoso de la descarga en vapor de mercurio y también las características de la misma, dependen principalmente de la presión del vapor y de la intensidad de la corriente del arco.

En la Fig. II.II.1 vemos representada la curva del rendimiento de la descarga en función de la presión del vapor con una corriente constante, en la que podemos observar que a la presión de 0.1 mm de mercurio en la zona de baja presión, se obtiene un rendimiento luminoso, máximo de 20 lm/W, y que en la zona de alta presión los rendimientos luminosos aumentan con la presión hasta alcanzar valores de 60 lm/W.

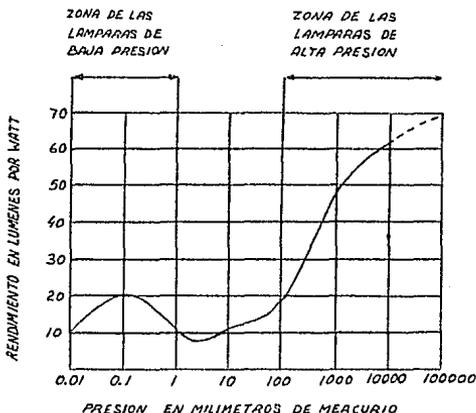


FIG. II. II. 1

A bajas presiones, el vapor de mercurio emite casi exclusivamente radiaciones ultravioleta, (invisibles) con longitud de onda de 253.7 nm que se emplean para excitar sustancias luminiscentes en lámparas fluorescentes.

Aumentando la presión, dichas radiaciones ultravioletas tienden a desaparecer, destacando otras de mayor longitud de onda que se encuentran más proximas a la zona visible del espectro, en la cual aparecen cuatro rayas principales -- con longitudes de onda de 405 nm (violeta), 436 nm (azul), 546 nm (verde), -- 577 y 579 nm (amarillo), éstas dos últimas formando una sola línea por su gran proximidad, como podemos apreciar en la Fig. II.11.2 Sin embargo, el espectro del vapor de mercurio carece de radiaciones rojas que de tenerlas, se encontrarían entre 610 y 780 nm, de aquí que la luz emitida tenga un color blanco-azulado.

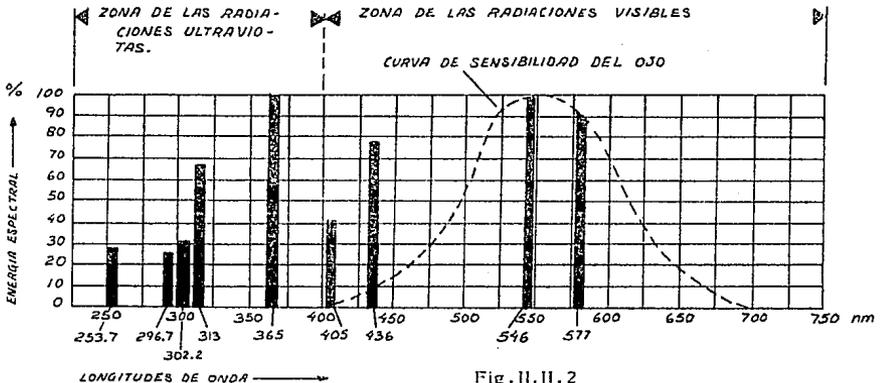


Fig. II.11.2

Podemos también ver que en la zona ultravioleta y a una longitud de onda de 365 nm aparece una raya intensa que se aprovecha para la producción de la luz negra, esto se hace filtrando la radiación de la descarga en vapor de mercurio mediante un vidrio especial (vidrio de Wood), este vidrio tiene la propiedad de absorber todas las radiaciones excepto la de esta longitud de onda (lámparas de luz negra). Por otra parte, las rayas correspondientes a 313 y 296.7 en la región ultravioleta media se emplean con filtros de cristal de cuarzo que transmiten esas longitudes de onda, para producir luz solar artificial y aprovechar sus efectos como lo habíamos mencionado en el tratamiento antirraquítico, formación de vitamina D y bronceado de la piel

II.III. Constitución de las actuales lámparas de vapor de mercurio a alta presión.

Estas lámparas están constituídas por dos bulbos (bombillos), uno exterior, a manera de "cubierta" y otro interior, que es el tubo de arco.

El tubo de arco fabricado de cuarzo contiene a los dos electrodos principales que van colocados en sus extremos, estos electrodos están constituidos de tungsteno y en cuyas cavidades van rellenas de un producto emisor de electrones, por ejemplo: torio, óxido de bario, etc.

En las inmediaciones de cada electrodo principal va colocado un electrodo auxiliar o electrodo de encendido constituido este, de tungsteno ya que es un metal de alto punto de fusión.

Uno de estos electrodos auxiliares va conectado a un electrodo principal por medio de una resistencia de 10 000 Ω (ohms).

En el interior del tubo de cuarzo existe un gas noble, generalmente argón a una presión de 10 mm de columna de mercurio y una cantidad de mercurio que se encuentra entre 10 y 300 mgr. según la potencia de la lámpara y cuya presión, estando la lámpara en pleno funcionamiento, es de 1000 mm a 10 000 mm de columna de mercurio.

La ampolla exterior, de forma elipsoidal está fabricada de vidrio borosilicato (duro) que además de ser resistente a los cambios bruscos de temperatura, sirve de soporte al tubo de descarga, proporcionándole un aislamiento térmico a la vez que evita la oxidación atmosférica de las partes metálicas. Interiormente está recubierta de una sustancia fluorescente (Vanadato de itrio) que, activada por las radiaciones ultravioleta del arco de mercurio, emite radiaciones rojas las cuáles se suman a las propias del espectro del mercurio.

El espacio que se encuentra entre el tubo de cuarzo y la ampolla exterior está relleno de un gas neutro, generalmente nitrógeno a una presión bastante elevada pero que no sobrepasa la presión atmosférica, ya que esto evita la formación de arco entre las partes metálicas internas de la ampolla.

Finalmente, la lámpara lleva un casquillo de bronce niquelado y que generalmente es de rosca Edison, de donde se lleva la corriente a los dos electrodos principales por medio de bandas conductoras de molibdeno, que tam -

bién aseguran el cierre hermético del tubo de cuarzo.

En la Fig.II.III.1, vemos los componentes que constituyen éstas lámparas

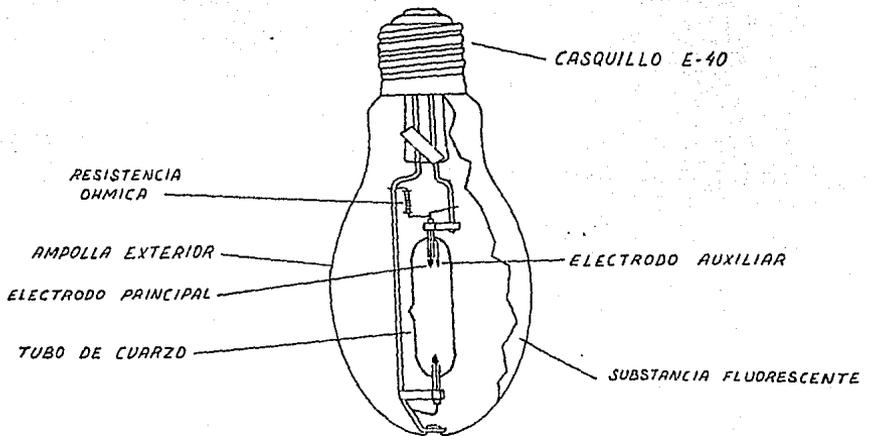


Fig- II. III. 1

II.IV.

Funcionamiento de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión.

Para entender mejor el funcionamiento de estas lámparas hemos representado la conexión de las mismas en la siguiente figura, en donde vemos que se aplica una tensión de red de 220 volts. Ver Fig.II.IV.1

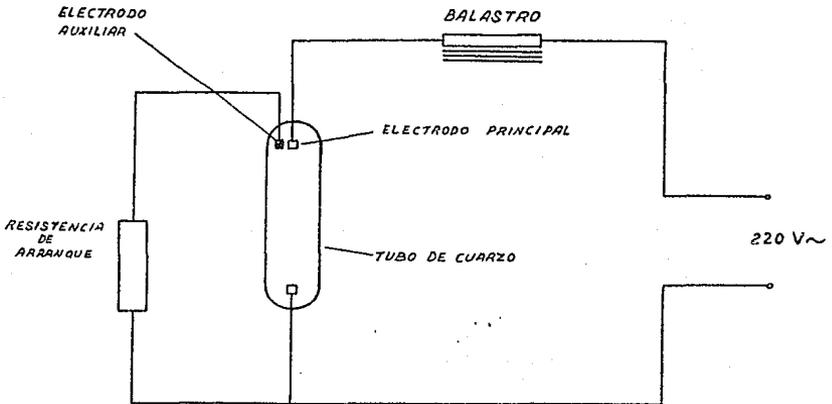


Fig.II.IV.1

Cuando se aplica la tensión de la red, la lámpara no se enciende en forma espontánea sino que, al principio, esta tensión se encuentra aplicada entre el electrodo auxiliar y el electrodo principal que, como hemos dicho antes, están muy próximos.

Debido a la presencia de la resistencia de arranque, la tensión entre ambos electrodos, o sea el auxiliar y el principal es de unos 20 volts. Entonces se establece una descarga entre ambos electrodos, el auxiliar y el principal, esta descarga provoca la ionización del gas argón contenido en el tubo de descarga y que inicia la descarga principal.

En el momento en que se establece esta descarga principal, el mercurio está todavía a la temperatura ambiente y su presión corresponde a la tensión del vapor del mercurio a dicha temperatura ambiente, o sea a 0.001 mm de columna de mercurio; la tensión en los bornes de la lámpara es, como hemos dicho, de unos 20 volts.

Cuando ocurre la descarga eléctrica, primero se calienta el mercurio y se volatiliza gradualmente, esto hace que aumente la presión en el interior del tubo de descarga y también la tensión en los bornes de la lámpara. Como la temperatura aumenta uniformemente, va a llegar un momento en que la caída de tensión entre los electrodos va a ser igual a la tensión de la red y en este caso la descarga eléctrica cesaría inmediatamente. Para evitar esto, se dosifica muy exactamente la cantidad de mercurio introducida en el tubo, de tal manera que la presión del vapor y, por tanto, la tensión entre los electrodos, no puedan sobrepasar cierto valor previamente calculado.

Debido a esta circunstancia la lámpara es muy poco sensible a las fluctuaciones de tensión.

Vida de la lámpara.

Una de las características sobresalientes de las lámparas de vapor de mercurio es su larga vida. Casi todas estas lámparas usadas en alumbrado general, de 100 a 1,000 watts, tienen una vida promedio de 24,000 hrs. La vida económica o útil de una lámpara también es afectada por diversas condiciones de funcionamiento, que puede ser la temperatura ambiental excesivamente alta, el voltaje de la línea y el diseño del balastro.

Puesto que la emisión luminosa puede bajar ligeramente durante las primeras horas de vida, el flujo inicial nominal de las lámparas de mercurio se fija pasadas las primeras 100 hrs. de servicio, debido en gran parte, a la "limpieza" de impurezas efectuada durante ese lapso.

En la siguiente figura vemos la curva de la depreciación luminosa de estas lámparas. Ver Fig. II. IV. 3

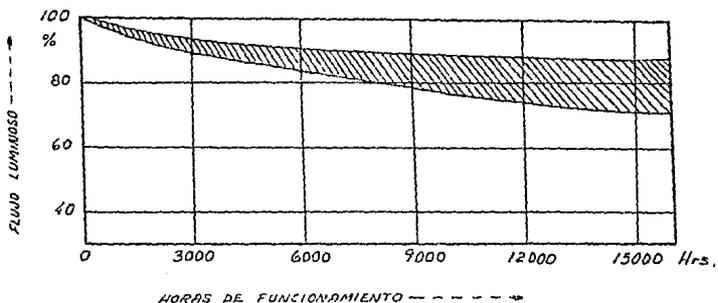


Fig. II. IV. 3

II.V. APLICACIONES DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESION.

Debido a la gran economía que representan sobre todo por su elevado rendimiento luminoso, es decir una gran eficiencia luminosa (más lm/watt) y buen promedio de vida (24000 hrs.). Pero debe tenerse en cuenta que se debe utilizar el equipo apropiado y que la instalación eléctrica se deberá encontrar en óptimas condiciones para que la lámpara pueda rendir en toda su magnitud; todo esto que se ha mencionado se debe aplicar para todas las lámparas de descarga. Si se cumplen con estos requisitos vamos a obtener de la lámpara una luz abundante con una aceptable reproducción cromática.

El empleo de estas lámparas está dirigido para alumbrado exterior, es decir alumbrado de calles (las lamparas de 100, 175, y 250W se utilizan para alumbrados de calles de segundo y tercer orden, y las lámparas de 400, 700 y 1000W para calles de primer orden y carreteras).

Para el alumbrado de interiores son recomendables para naves de fabricación, talleres, almacenes, etc., aquí es importante mencionar que en lugares donde se utilizan tableros de control (salas de máquinas), la reproducción cromática es primordial puesto que estos tableros utilizan botones de diferentes colores los cuales tienen funciones específicas y debido a esto las lámparas de Vapor de mercurio a alta presión son recomendables para iluminar estas áreas porque no distorsionan los colores.

La iluminación de parques y jardines implica iluminar árboles, arbustos y posiblemente lagos y fuentes, el objetivo esencial de la ilumina-

cion es el de acentuar durante la noche la belleza del escenario y eliminar las zonas oscuras.

Cuando nosotros proyectamos la iluminacion de estos lugares debemos hacer algunas consideraciones, por ejemplo:

- ¿ Cuáles son los objetos mas importantes, hacia los cuales se debe llamar la atención y como pueden mostrarse mejor ?
- ¿ Qué color de luz resaltará mejor los objetos y producirá el efecto más llamativo ?.

Para lograr una iluminacion que logre estos objetivos, es recomendable utilizar luminarias o reflectores que iluminen el follaje desde corta distancia o colocarse próximos a los troncos de los árboles, iluminando las ramas desde abajo.

Por ejemplo, se pueden lograr hermosos efectos utilizando luces de diferentes lámparas. Las hojas que generalmente son verdes o amarillas, pueden iluminarse con luz amarilla de sodio. En los árboles cuyo follaje es intensamente verde se recomiendan precisamente las lamparas de Vapor de mercurio.

Las lámparas de Vapor de mercurio de alta presión tienen un gran campo de aplicacion en industrias y campos deportivos. Su alta eficiencia luminosa y su reproducción cromática justifican su uso en las grandes naves de fabricación y porque además proporcionan un nivel apropiado de iluminacion en el resto del local. Otra razón para preferir estas fuentes de luz es que ocupan un espacio menor en la superficie del techo que las luminarias de lámparas fluorescentes.

CAPITULO III.- HALOGENUROS METALICOS.

CAP. III. LAMPARAS DE HALOGENUROS METALICOS

Estas lámparas son en sí las de vapor de mercurio, pero tienen en el interior de su quemador o tubo de descarga diversos halogenuros de las tierras raras, estos halogenuros son: Dysprosio (Dy), Holmio (Ho), y Tulio (Tm), -- con estos halogenuros se consiguen rendimientos luminosos más elevados y además una mejor reproducción cromática que viene siendo superior a las que se obtienen con las lámparas de vapor de mercurio convencionales.

Estas lámparas presentan una mayor continuidad en su distribución espectral, como observamos en la Fig.III.

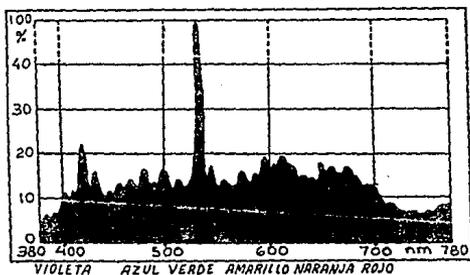


Fig. III.

Distribución espectral de las lámparas
de Halogenuros Metálicos

A manera de aclaración diremos que un halogenuro es una sal formada por un halógeno que viene siendo flúor, cloro, bromo o yodo y un metal, que en este caso son las tierras raras.

III.1. Constitución de las lámparas de Halogenuros metálicos

En éstas lámparas la constitución de sus elementos es similar a las de vapor de mercurio a alta presión, es decir que el tubo de descarga es también de cristal de cuarzo en forma tubular, este tubo lleva colocados en sus extremos un electrodo de tungsteno en el que va depositado un material emisor de electrones y que generalmente es óxido de Torio. Ver Fig. III.1.1.

La corriente llega a los electrodos por medio de unas laminillas de Molibdeno que van selladas herméticamente con el cristal de cuarzo.

El tubo de cuarzo lleva en su interior Mercurio, yoduro tálico y uno o varios de los halogenuros de las tierras raras como son el Dysprosio, Holmio, Tulio y Argón a una presión de 30 Torr, que sirve como gas para el arranque.

Debido a que en los extremos del tubo de descarga se encuentran los puntos más fríos, estos extremos van cubiertos por una capa exterior de óxido de Circonio que sirve como estancador térmico.

Cuando está en funcionamiento la lámpara, el tubo de descarga se encuentra a una temperatura de alrededor de 6000° C.

Fig. III.1.1 .Esquema que muestra las partes que constituyen la lámpara de Halogenuros Metálicos.

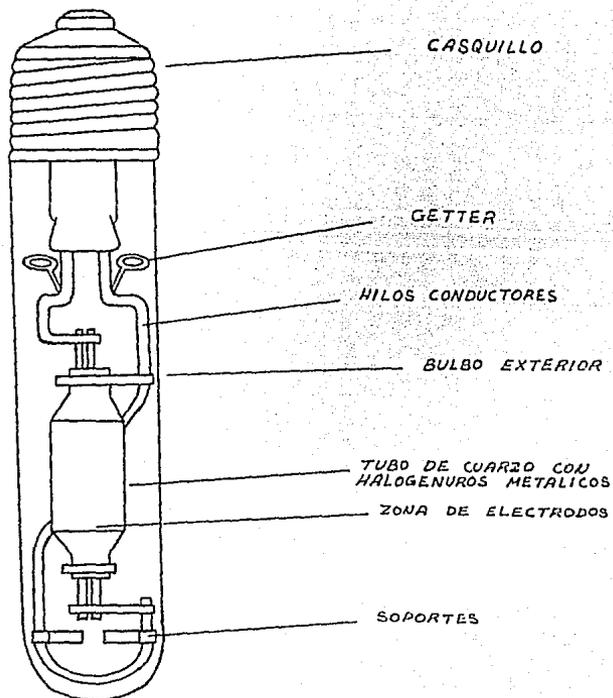


Fig. III.1.1.

Cuando el tubo de descarga se encuentra a esta temperatura los halógenos de las tierras raras se encuentran como vapores a una presión de 10^{-3} a 10^{-2} atmósferas, es decir que están por encima de la fase líquida sin que estos lleguen a gasificarse, pero todas las demás sustancias como el mercurio, el yoduro tálico y el argón se evaporan completamente.

La ampolla exterior que protege al tubo de descarga está construido de borosilicato, es decir un vidrio duro para que pueda resistir los cambios bruscos de temperatura.

Existen algunos tipos de lámparas, generalmente los de forma elipsoidal cuyo bulbo exterior, es decir la ampolla va recubierto por una capa de sustancia difusora que sirve para reducir la luminancia y así pueden ser empleadas en las mismas luminarias que las de vapor de mercurio a alta presión que tienen el mismo recubrimiento, debido a esta capa difusora, el rendimiento luminoso en las lámparas de Halógenos metálicos se reduce aproximadamente un 8% por la absorción de la misma capa.

III. II.

Condiciones de funcionamiento de las lámparas de Halógenos Metálicos.

El funcionamiento de éstas lámparas es parecido a las de vapor de mercurio, esto es, van conectadas a un balastro y alimentadas con una tensión de red de 220 volts.

Estas lámparas necesitan una tensión de encendido bastante elevada debido a los halógenos y para esto necesitan del empleo de un cebador.

En las Figs. III. II. 1 y III. II. 2 hemos indicado las curvas de encendido para estas lámparas.

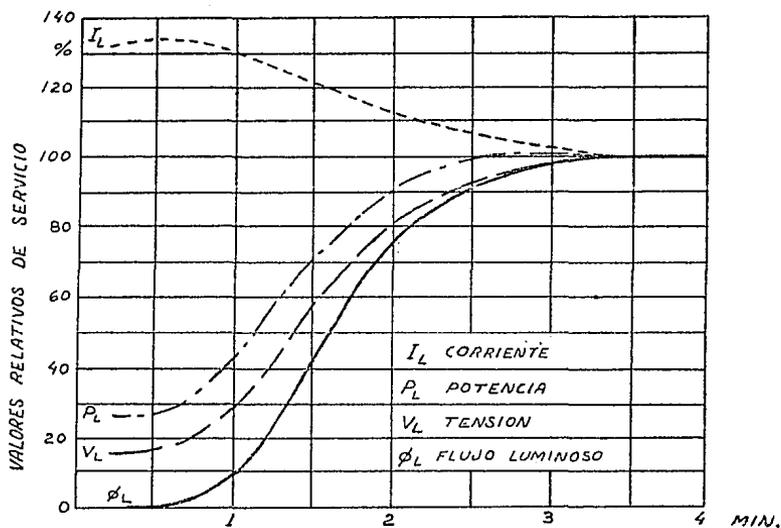


Fig. III. II. 1.

Curvas de encendido de
las lámparas de Halogenuros
Metálicos, 250 y 400 W.

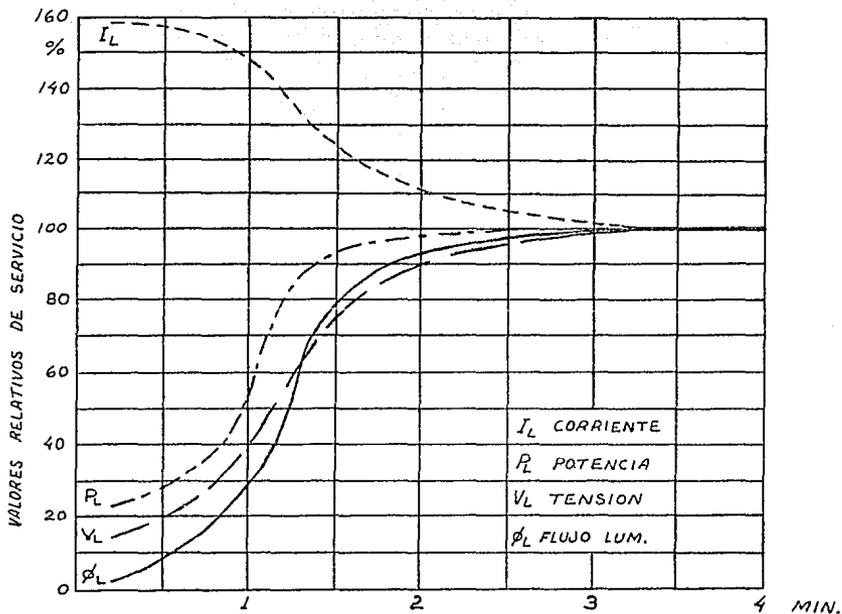


Fig. III. II. 2
Curvas de encendido
de las lámparas de
Halogenuros Metálicos
3,500 W.

III.III.

Aplicaciones de las lámparas de Halogenuros Metálicos.

Estas lámparas tienen un gran campo de aplicación, tanto en interiores como en exteriores, ya que tienen como lo habíamos dicho un elevado rendimiento luminoso, alta temperatura de color y una excelente reproducción cromática.

En el siguiente cuadro esquemático podemos ver que aplicaciones se les dan a estas lámparas en función de su potencia.

POTENCIA DE LAMPARA	INTERIORES	EXTERIORES
3500 W	ESCENARIOS PARA CINE	ESTADIOS DEPORTIVOS
2000 W		INDUSTRIAS AEROPUERTOS
1000 W	EXHIBICIONES DEPORTIVAS	CALLES PUBLICAS
400 W	INDUSTRIAS	
250 W	COLEGIOS	REFLECTORES
150 W	ESCAPARATES DE JOYERIAS	LUZ DE SEGURIDAD
70 W	SALAS DE UENTA	
35 W	ACUARIOS	

CAPITULO IV.- LUZ MEZCLA (MIXTA)

CAP.IV.- LAMPARAS DE LUZ MIXTA.

Debido a la luz azulada de las lámparas de vapor de mercurio, ha sido motivo para realizar investigaciones y experimentos para corregir éste tipo de luz, lo cual ha dado origen a las lámparas de mercurio de luz mixta. En éstas lámparas, la carencia de radiaciones rojas de mercurio se suple colocando dentro de la misma ampolla un filamento incandescente de tungsteno, ya que el filamento incandescente introduce colores amarillo, naranja y rojo, lo que proporciona una mejor identificación de colores, es decir, una mejor reproducción cromática. (Ver Fig. IV.)

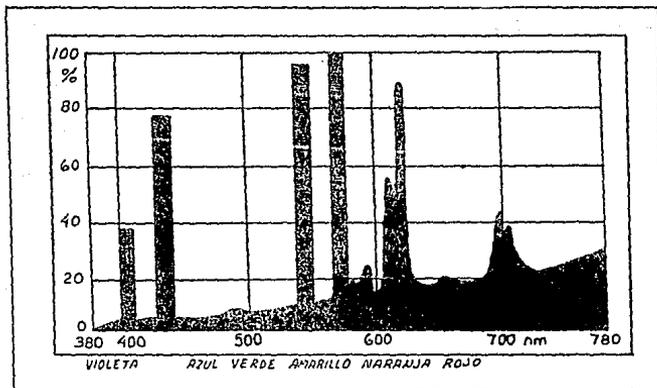


Fig. IV.

En la Fig. IV. , vemos representado el espectro luminoso que se consigue con éstas lámparas, este espectro está constituido en base al espectro luminoso formado por el vapor de mercurio, pero a la vez está complementado por el espectro que origina el filamento incandescente donde se aprecian radiaciones rojas e infrarrojas..

IV.1. COMPONENTES DE UNA LAMPARA DE LUZ MIXTA.

Un avance positivo y una mejor técnica considerable representó el haber recubierto la parte interior de la ampolla con una capa de materia fluorescente denominada Vanadato de Itrio, que es la misma que se utiliza en las lámparas de vapor de mercurio; con esta materia fluorescente no solo se ha conseguido mejorar el color de su luz, con adecuada reproducción cromática, sino también el rendimiento luminoso.

Una característica que hace destacar a este tipo de lámparas es que su encendido no requiere el empleo de balastro, ya que el filamento actúa como balastro para la descarga, estabilizando la corriente de la lámpara, es decir, como resistencia estabilizadora de la descarga del vapor de mercurio.

Las partes componentes de las lámparas de luz mixta, son las mismas que utilizan las lámparas de vapor de mercurio, a excepción del filamento incandescente, esto es, consiste en un tubo de arco o descarga, soporte y conectores internos, resistencia de arranque, el mismo filamento de tungsteno, atmósfera de nitrógeno entre el tubo de arco y la ampolla exterior, base o casquillo y recubrimiento de Vanadato de Itrio en la pared interior de la ampolla (Ver figura IV.1.1)

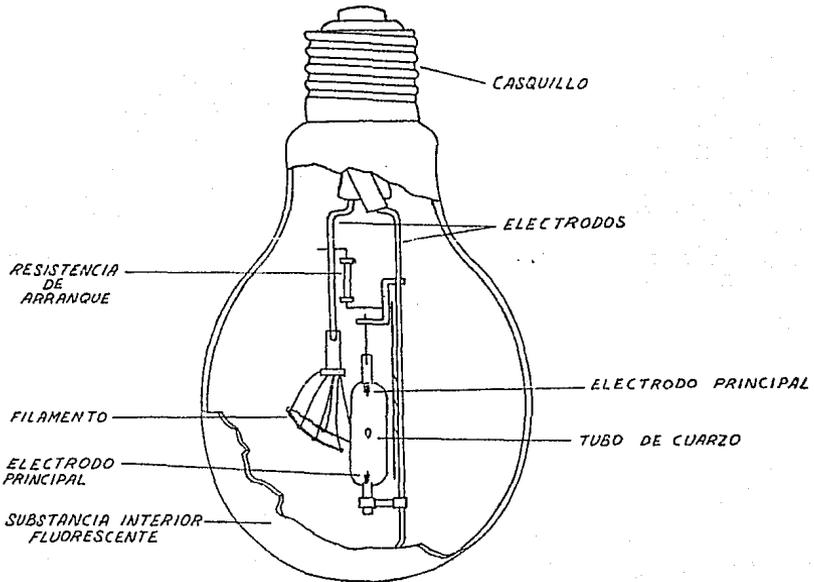


Fig. IV.1.1.

El tubo de arco, consiste a su vez de un tubo de cuarzo cerrado en sus extremos, dentro del cual se encuentran dos electrodos de operación (de tungsteno, con cavidades rellenas de un producto emisor de electrones, por ejem -

plo: Torio, óxido de Bario, etc., que pertenecen a la familia de las tierras raras; estos electrodos van colocados en los extremos del tubo de cuarzo, también un electrodo de arranque, y la atmósfera que es una mezcla de argón y vapor de mercurio.

La ampolla exterior sirve como protección física del tubo de arco, envoltura para contener el nitrógeno y que lleva impregnado en su parte interior una sustancia fluorescente (Vanadato de Itrio).

El nitrógeno tiene la función de proteger el tubo de arco, contra agentes corrosivos, y de regular la temperatura del mismo tubo con respecto a variaciones externas.

Electrodos.

Un pequeño electrodo, llamado de arranque, introduce el voltaje para que se establezca el primer arco, y los otros dos, llamados de operación, están situados en los extremos del tubo de cuarzo, éstos últimos actúan como terminales para el arco de descarga y continuamente emiten electrones.

IV.II. FUNCIONAMIENTO DE LA LAMPARA DE LUZ MIXTA

Como habíamos mencionado anteriormente, dentro de la misma ampolla se sitúa un tubo de descarga fabricado de cuarzo, relleno de vapor de mercurio y argón y un filamento

de tungsteno, conectado en serie con el tubo de cuarzo y rodeando a éste. Las características técnicas de éste filamento han sido calculadas de tal manera que su resistencia óhmica pueda estabilizar la descarga eléctrica en el tubo de descarga; de ésta manera, como lo habíamos dicho, se evita la utilización del balastro, con lo que éste tipo de lámpara puede conectarse a la red de distribución general, siempre que la tensión sea, aproximadamente de 220 V, ya que la tensión de encendido es de unos 180 Volts.

El gas en una lámpara de vapor de mercurio de luz mixta se obtiene precisamente vaporizando el mercurio. Si tomamos el tubo de cuarzo y lo observamos, se pueden ver pequeñísimas gotas de mercurio en estado líquido, adheridas en su parte interna.

Para que la lámpara pueda operar, se necesita calentar el mercurio hasta que vaporice. El calor de éste arco eléctrico empieza a vaporizar el mercurio. A medida que el mercurio cambia su estado líquido a gaseoso, la presión aumenta dentro del tubo y el vapor de mercurio sirve de conductor eléctrico entre los electrodos de operación.

La luz débil que al principio del encendido se observa es producida principalmente por el argón en estado ionizado.

Las conexiones de la lámpara están indicadas en la Fig. IV. II. 1 , y su encendido es parecido al de la lámpara de vapor de mercurio. Como en ésta, después de apagada la lámpara, es preciso dejar pasar de 2 a 4 minutos para que se enfríe, antes de volverla a encender.

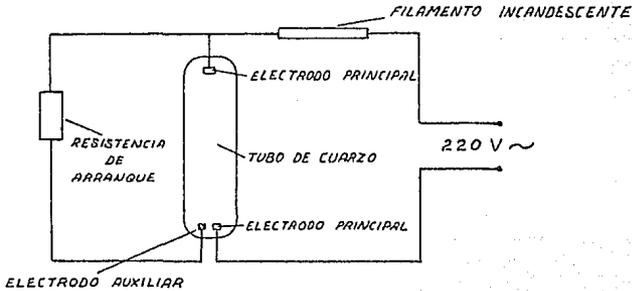


Fig. IV. II. 1.

Al conectar la lámpara a la red de alimentación, se inicia el proceso de encendido del tubo de descarga. En éste instante, el filamento tiene un flujo luminoso máximo, como consecuencia de que prácticamente toda la tensión de la red está aplicada a sus extremos. A medida que en el tubo de descarga va creciendo el flujo luminoso (esto es debido a que la tensión va aumentando entre sus electrodos principales), entonces lo que sucede en el filamento es que el flujo luminoso emitido por éste se va reduciendo a consecuencia de que la tensión va disminuyendo en sus extremos, hasta que después de transcurridos tres minutos, tanto el tubo de descarga como el filamento de tungsteno alcanzan sus valores nominales, es decir, alcanzan el 50% de flujo luminoso cada uno de ellos.

También decrecen la intensidad de corriente y la potencia, según podemos apreciar en la gráfica de la Fig. IV. II. 2.

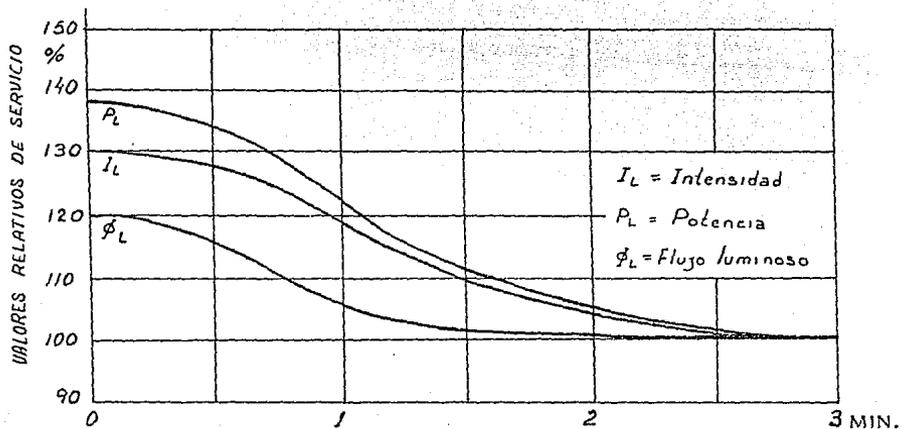


Fig-IV.II.2.

CURVAS DE ENCENDIDO DE LAS
LAMPARAS DE LUZ MIXTA.

Una vez apagada la lámpara, se deben dejar transcurrir de 2 a 4 minutos (tiempo de enfriamiento), generalmente igual al de calentamiento; ésto es necesario para que la presión en el tubo de descarga descienda para que pueda iniciarse nuevamente la descarga.

En la Fig.IV.II.3, se ha representado la curva fotométrica de una lámpara de ese tipo.

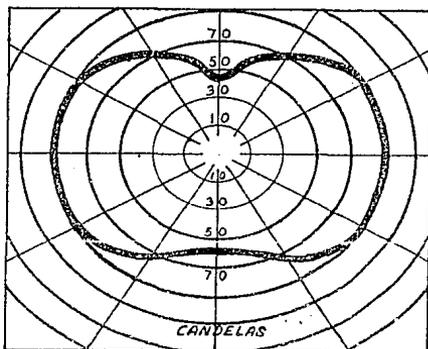


Fig.IV.II.3.

El rendimiento luminoso es de 18 a 25 lúmenes por Watts; la lámpara de vapor de mercurio usual, tiene un rendimiento de flujo luminoso de, por lo menos el doble.

Este bajo rendimiento de flujo luminoso se debe a que la mitad de la potencia disponible se utiliza en el filamento incandescente, y la otra mitad en el arco de mercurio. Además, las lámparas de Luz Mixta presentan los siguientes inconvenientes:

1.- Durante el encendido, el tubo de descarga está sometido a una tensión muy pequeña (unos 20 V). Entonces, lo que sucede es que la mayor -- parte de la tensión de alimentación, se aplica al filamento incandescente, que por esta razón, queda sometido a una sobretensión.

2.- Durante el régimen normal de funcionamiento, el filamento incandescente está sometido a variaciones de tensión más importantes que el de -- una lámpara normal de incandescencia.

En la curva de la Fig. IV.II.4. podemos apreciar la depreciación del -- flujo luminoso de éstas lámparas en donde a las 6000 hrs. en un grupo de lámparas ha disminuído en un 20% el flujo luminoso.

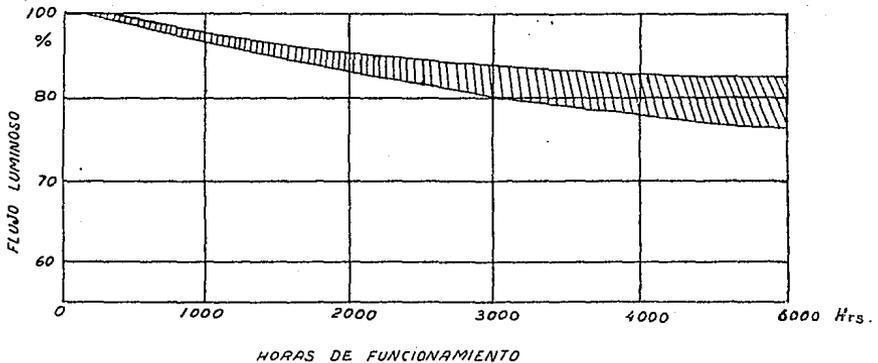


Fig. IV.II.4.

En la Fig.IV.II.5, se aprecia la curva de mortalidad de éstas lámparas, en donde a las 6000 hrs. de funcionamiento, arriba de un 80% de un grupo de lámparas siguen funcionando; la corta vida de estas lámparas se debe a la inclusión del filamento; esta inclusión del filamento tiene sus ventajas y -- desventajas. Su ventaja radica en que no utilizan accesorios auxiliares para su funcionamiento (balastro) y la desventaja es su corta duración.

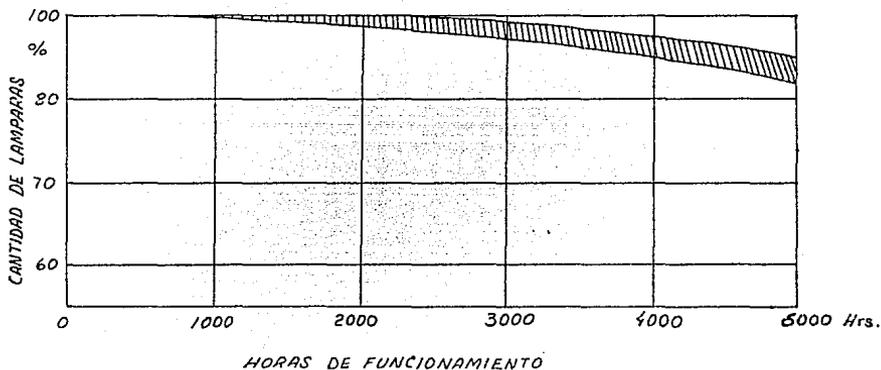


Fig. IV. II. 5.

MORTALIDAD DE LAS LAMPARAS
DE LUZ MIXTA.

II III APLICACION DE LAS LAMPARAS DE LUZ MIXTA

Estas lámparas se utilizan tanto para alumbrado de interiores así como de exteriores.

Debido a que no utilizan equipo auxiliar de funcionamiento (balastro), estas lámparas sustituyen a las incandescentes (grandes watajes) con la gran ventaja de que producen un mayor flujo luminoso y sobre todo una duración de vida mucho mayor, esto viene representando una gran economía para el usuario (porque la reposición de las lamparas serian en intervalos de tiempo más prolongados.

Estas lámparas son recomendables en aquellos lugares que estan alumbrados por lámparas incandescentes, por ejemplo: talleres, almacenes, garages de vehículos de motor, cuartos de máquinas, plataformas para cargas de camiones, talleres de soldadura, talleres mecánicos, andenes, bodegas, calles, jardines, parques de diversiones, explanadas, etc

Por la razon de que en su interior se encuentra un filamento de tungsteno conectado en serie con el tubo de cuarzo (que adiciona radiaciones naranjas y rojas) tiene una excelente reproducción cromática siendo aconsejable utilizarlas donde la importancia de los colores sea vital, por ejemplo: en las salas de control donde existen códigos de colores para los tableros.

CAPITULO V.- VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

CAP. V.- LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

En éstas lámparas la descarga eléctrica se produce a través del metal sodio vaporizado a baja presión, la cual provoca la emisión de una radiación visible casi monocromática, es decir, constituida por dos rayas muy próximas entre sí, y cuyas longitudes de onda son 589 y 589.6 nanómetros (nm). El rendimiento luminoso máximo de éstas lámparas se presentará cuando la presión del vapor de sodio sea muy pequeña, aproximadamente de 0.1 mm de columna de mercurio.

Debido a la presencia de esas dos rayas amarillas en el espectro luminoso del vapor de sodio, el rendimiento de las lámparas es muy elevado, alcanzando valores de hasta 183 lm/W. Ver Fig. V.

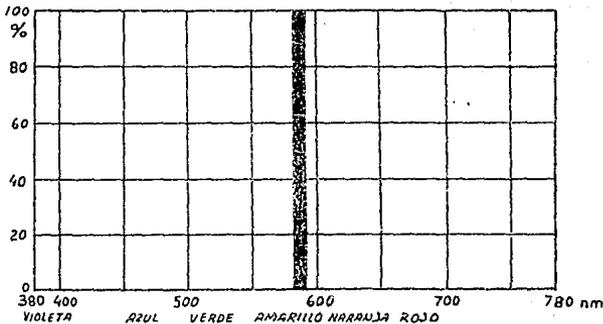


Fig. V.

Distribución espectral de las lámparas de vapor de sodio a baja presión.

V.1.

CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

Las lámparas de vapor de sodio a baja presión están constituidas principalmente por un tubo de vidrio en forma de horquilla, en el cual se realiza la descarga. Este tubo se encuentra dentro de una ampolla tubular de vidrio, que le sirve de protección mecánica y térmica; ésta ampolla tubular está reforzada por el vacío que se forma entre el tubo de descarga y la misma ampolla.

Debido a que el sodio ataca el vidrio ordinario, la pared interna del tubo de descarga se protege con una fina capa de vidrio al bórax.

Como habíamos dicho antes, entre el tubo y la ampolla se hace el vacío, ya que para obtener la presión conveniente del vapor, la pared del tubo de descarga ha de estar a una temperatura aproximada de 180°C ; y la ampolla exterior actúa de aislante térmico, con lo que se evitan las pérdidas de calor por radiación. En la Fig.V.1.1, vemos los componentes de una lámpara de vapor de sodio a baja presión .

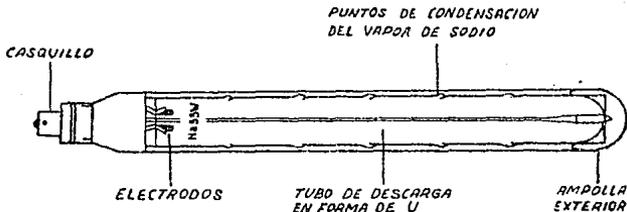


Fig.V.1.1.

Constitución de una lámpara de vapor de sodio a baja presión.

En las lámparas actuales el tubo y la ampolla no son desmontables, sino de una sola pieza, es decir, vienen integradas, y además en la pared interna de la ampolla exterior, se ha incluido una delgada capa de óxido de estaño ó de óxido de indio, que refleja más del 90% de las radiaciones infrarrojas emitidas por el tubo de descarga; ésto ha permitido aumentar el rendimiento luminoso en un 25%.

En uno de los extremos del tubo de descarga se encuentran dos electrodos, formados por un filamento doble o triple de espiralado de tungsteno, en cuyos intersticios se deposita un material emisor de electrones (generalmente óxido de torio). El interior del tubo contiene además un gas noble -neón-, que favorece el encendido de la lámpara y una cantidad de sodio en forma de pequeñas gotas que se depositan una vez condensado después de la descarga, en unas pequeñas cavidades existentes en la periferia del tubo, es decir, éstas pequeñas cavidades vienen en la superficie interior del tubo.

V. II.

FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESION

La tensión de encendido de la lámpara depende de las diferentes potencias de las mismas, que va de 340 a 400 V, y como la tensión de la red de alimentación es de 220V, ésta lámpara necesita de un aparato de alimentación con autotransformador, para elevar la tensión de la red hasta el valor de la tensión de encendido.

En la Fig.V.II.1 hemos representado la curva de distribución luminosa para éstas lámparas.

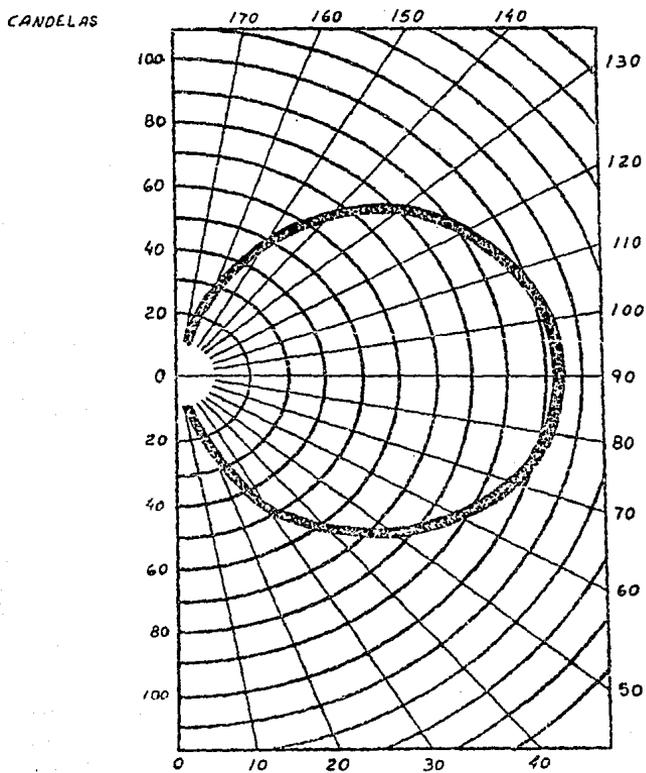


Fig. V. II. 1.

En la Fig.V.II.2. vemos el esquema de conexiones para una lámpara de vapor de sodio con autotransformador y condensador; éste condensador sirve precisamente para mejorar el factor de potencia de la red; en éste caso, el condensador no necesita de resistencia de descarga, porque al desconectar la lámpara de la red, el condensador se descarga sobre el arrollamiento primario del autotransformador, que así actúa como reactancia de descarga.

K = CONDENSADOR DE COMPENSACION

L = LAMPARA

St₁ = TRANSFORMADOR DE CAMPO DE DISPERSION

V = TENSION DE RED

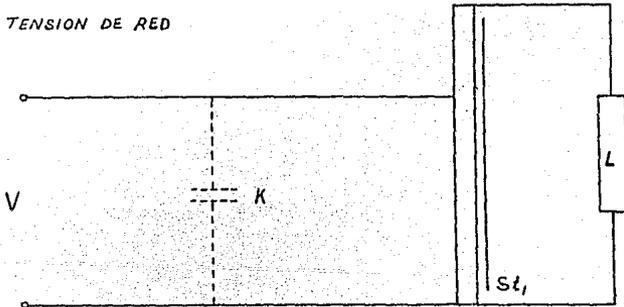


Fig. V. II. 2.

La lámpara de vapor de sodio tarda en encender entre 5 y 15 minutos. Durante ese tiempo se inicia la descarga en el gas neón que rellena el tubo y la lámpara adquiere la tonalidad rojiza característica de dicho gas; debido al paso de la corriente que genera calor en el tubo de descarga, el sodio se volatiliza, convirtiéndose en vapor e iniciando así la descarga en arco del vapor de sodio.

En el período inicial de arranque, la lámpara va adquiriendo el tono amarillo característico del sodio, hasta que, hacia el final de éste mismo período, la luz amarilla del sodio domina completamente el tono rojizo producido por el neón.

Al cabo de un tiempo de aproximadamente 15 minutos, la lámpara alcanza sus valores nominales, o sea sus valores normales de trabajo. Ver Fig. V.II.3.

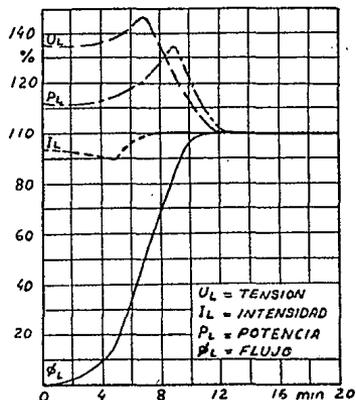


Fig. V. II. 3.

Curvas de encendido de las lámparas de vapor de sodio a baja presión.

El tiempo de reencendido es aproximadamente de 3 a 7 minutos.

La Lámpara de vapor de sodio de baja presión tiene una larga vida promedio, como se muestra en la curva de la Fig. V.II.4 , en donde vemos que al transcurrir 10 000 hrs. de funcionamiento, el 70% de las lámparas siguen encendidas.

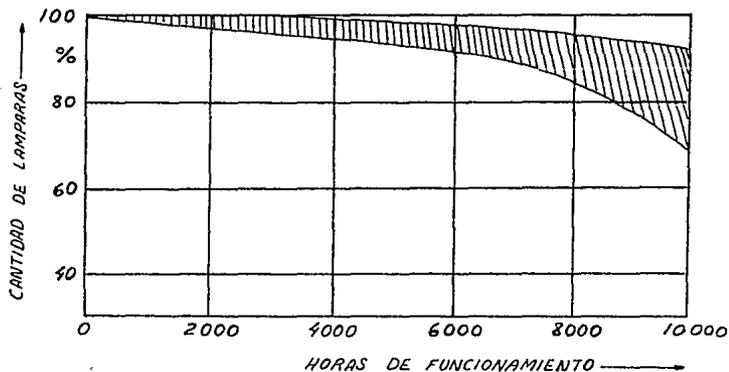


Fig. V.II.4. Mortalidad de las Lámparas de Vapor de Sodio a Baja Presión.

Por otro lado, en la curva de la Fig. V.II.5, la producción luminosa decae en forma gradual en el curso de sus horas de actividad.

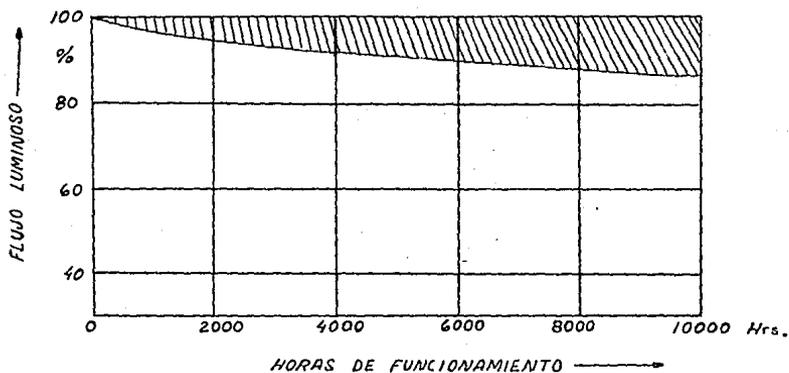


Fig. V.II.5. Depreciación del Flujo Luminoso de las Lámparas de Vapor de Sodio a Baja Presión.

V.III. APLICACIONES DE LAMPARAS DE SODIO DE BAJA PRESION

Como se había mencionado anteriormente, las lámparas de Sodio de baja presión permiten intensidades luminosas más altas (llegan a alcanzar hasta 190 lm/watt) que con otras lámparas de descarga.

Podemos concluir que la luz de Sodio de baja presión, comparada con otros tipos, produce:

- mayor agudeza visual
- una impresión de mayor luminosidad para determinada luminancia del pavimento.
- mayor rapidez de percepción.
- menor deslumbramiento molesto.

La comodidad visual en una vía iluminada depende también del rendimiento en color de las lámparas instaladas. Las lámparas de Sodio de baja presión producen una luz monocromática y, por consiguiente, no pueden ser usadas donde se desean distinguir los colores.

Las lámparas de Halogenuros metálicos, Luz mixta, Vapor de mercurio y Sodio de alta presión tienen un rendimiento en color bastante mejor.

Por consiguiente, las lámparas de Sodio de baja presión tienen preferente aplicación en el alumbrado de carreteras, por ejemplo:

Entre la Ciudad de México y la Ciudad de Toluca que pasa a través de La Marquesa, donde los postes van espaciados 40 metros entre sí a ambos lados de la carretera y con una altura de montaje de 13 metros, utilizando 2 luminarios por poste y por cada luminario una lámpara de

Sodio de baja presión de 135W.

Otros ejemplos los podemos ver en la carretera México-Querétaro. Para otras aplicaciones como en ciudades, con tráfico o peatonales es normal el uso de lámparas de Sodio de alta presión.

También se utilizan en muelles de carga y descarga, es decir, en instalaciones portuarias, y en los exteriores de las minas.

Como vemos la aplicación de estas lámparas es la más limitada de entre todas las lámparas de descarga sobre todo por su luz completamente amarilla. Pero a pesar de su color se aplican también en iluminación arquitectónica (templos, monumentos, etc) ya que debido a su color, los detalles se perciben en forma más nítida.

CAPITULO VI.- VAPOR DE SODIO A ALTA PRESION

CAP. VI.- LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESION

Con el fin de mejorar el tono de luz y también la reproducción cromática de las lámparas de vapor de sodio a baja presión, se crearon las lámparas de vapor de sodio a alta presión.

Estas lámparas, además de que tienen un alto rendimiento luminoso, la presión en el interior del tubo de descarga es más elevada y con esto se destacan en el espectro otros colores además del amarillo (que es característico del sodio); esto hace que el espectro tenga cierta continuidad, destacándose de esta composición de colores una luz de color blanco-dorado; esta luz es mucho más agradable para la vista y además permite distinguir los objetos con una reproducción más fiel de sus colores. Ver Fig. VI.

En la siguiente figura vemos la distribución espectral para esta lámpara.

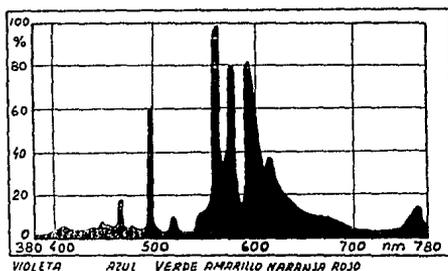


Fig. VI.

Distribución espectral de las lámparas de vapor de sodio a alta presión.

VI.1.

CONSTITUCION DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESION

Estas lámparas están compuestas por un tubo ó ampolla de descarga; éste tubo está fabricado de cerámica de óxido de aluminio policristalino, porque éste material tiene la propiedad de resistir altas temperaturas y además una cualidad muy importante: es resistente al ataque corrosivo del vapor de sodio.

El tubo de arco ó descarga es largo y de un diámetro delgado, ya que esto facilita y determina la vaporización del sodio debido a las altas temperaturas que éste tubo tiene que soportar, y que es de aproximadamente 1000°C .

Dentro de éste tubo de descarga se encuentran los componentes, que son: sodio, mercurio, y un gas noble, que puede ser xenón ó argón.

En la siguiente figura vemos los principales componentes de la lámpara de vapor de sodio a alta presión, tanto en forma tubular como en forma elipsoidal.

- 1- CASQUILLO.
- 2- AMPOLLA EXTERIOR TUBULAR CLARA.
- 3- AMPOLLA EXTERIOR ELIPSOIDAL CON CAPA DIFUSORA.
- 4- TUBO DE DESCARGA DE ALUMINIO SINTERIZADO.

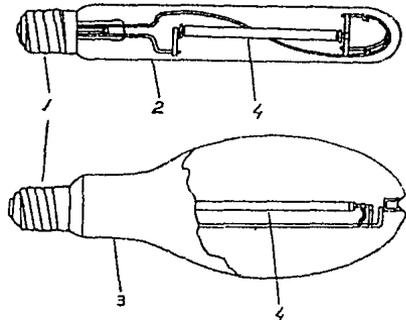


Fig. VI 1.

Constitución de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.

El material de éste tubo es translúcido y ésto hace que transmita el 95% de luz.

Para sellar el tubo de arco en sus extremos, se utiliza el mismo material de que está constituido éste tubo, es decir, de cerámica de óxido de aluminio - policristalino. Para hacer posible la conexión eléctrica con los electrodos se utiliza un tubo de Niobio (Nb), que se hace pasar a través del centro de sus extremos.

Como habíamos mencionado anteriormente, el tubo de descarga tiene en su interior los componentes: sodio, mercurio y un gas noble (xenón ó argón).

Precisamente el mercurio tiene la función de reducir la conducción de calor del arco de descarga a la pared del mismo tubo, y también aumenta la tensión - del arco.

El gas noble es agregado para obtener un encendido seguro aún teniendo bajas temperaturas ambiente.

VI. II. FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESION

El gas Xenón sirve para lograr el encendido de las lámparas; éste gas se encuentra a 20 atmósferas de presión, para que pueda elevar la temperatura - del sodio y del mercurio.

La tensión de arranque que necesitan éstas lámparas es de 1800 V, es decir, es bastante elevada y para ésto necesitan de un balastro.

El tiempo que necesitan para arrancar es de 3 a 4 minutos y el tiempo de enfriamiento es de 2 a 3 minutos.

La lámpara necesita de un balastro para que pueda arrancar, este balastro incluye un arrancador (ignitor) que provee un pulso de alta tensión de 2500 volts pico o más. Este pulso tiene suficiente duración para ionizar el gas xenón y así iniciar la secuencia de arranque de la lámpara.

Estas lámparas tienen un exceso de sodio en forma de amalgama con mercurio porque después de un periodo de operación parte del vapor de sodio se pierde en el flujo del arco y en la absorción de las paredes, y este exceso sirve para compensar precisamente éstas pérdidas.

Cuando la lámpara empieza a calentarse, sufre varios cambios en el color de su luz, primeramente se inicia con un débil resplandor azul-blanco que es originado por la ionización del gas xenón, el cual es reemplazado rápidamente por un color azul brillante que es característico de la luz de mercurio, esta luz tiene un incremento en su brillantez para dar paso al amarillo monocromático, color típico del vapor de sodio a baja presión. Pero al incrementarse la tensión del arco la lámpara logra su completa brillantez, produciendo una luz blanca-dorada.

Las siguientes figuras muestran las curvas de características de funcionamiento para diferentes potencias de las lámparas. Ver Figs. VI. II.1, VI. II.2

y VI.II.3.

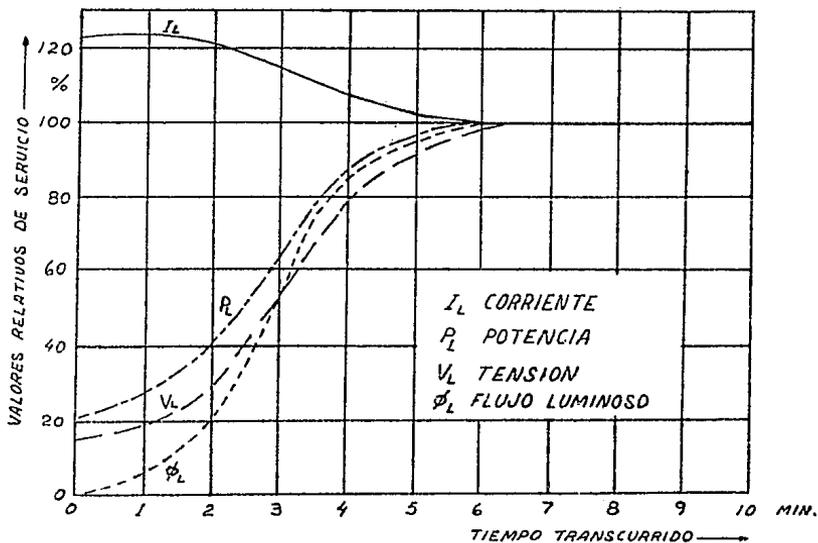


Fig. VI.II.1

Curvas de encendido de las lámparas de Vapor de Sodio a alta presión. 50 y 70 W.

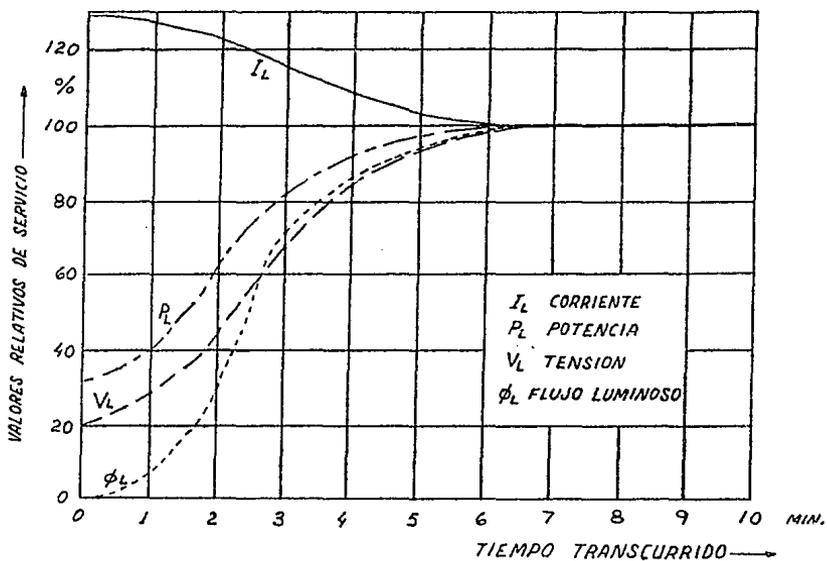


Fig. VI. II. 2.

Curvas de encendido de las lámparas de Vapor de Sodio a alta presión. 150W.

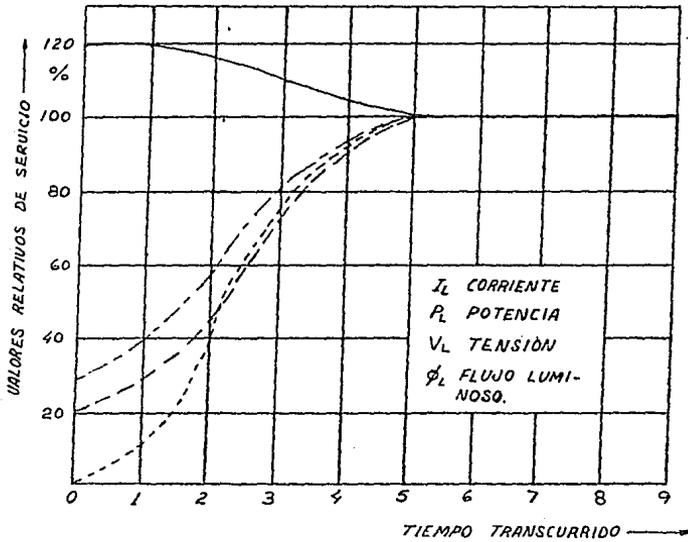


Fig. VI. II. 3.

Curvas de encendido de las lámparas de Vapor de Sodio a alta presión. 250 y 400 W.

VI.III. APLICACION DE LAS LAMPARAS DE SODIO DE ALTA PRESION

Debido a su alto rendimiento y a su aceptable tono de luz amarillo-dorado, éstas lámparas han ampliado sus aplicaciones tanto en el alumbrado público e industrial.

Se utilizan principalmente en grandes arterias como son: áreas industriales, estacionamientos, andadores, jardines, calles residenciales (poco tráfico), accesos y caminos adyacentes, calles comerciales, avenidas de tráfico moderado, plazas, carreteras, autopistas, ejes viales, acerraderos, almacenes y bodegas, fachadas de edificios.

A continuacion citamos el ejemplo de la Gran Plaza de la Ciudad de Monterrey, N.L. que dentro de la variada gama de lámparas que tiene instaladas, se encuentran:

414 lámparas de Sodio de alta presión de 70w

282 lámparas de Sodio de alta presión de 100w

14 lámparas de Sodio de alta presión de 150w

87 lámparas de Sodio de alta presión de 250 w

50 lámparas de Sodio de alta presión de 400w

Con este ejemplo podemos ver la enorme aplicación de éstas lámparas ya que se obtienen magníficos resultados.

CONCLUSIONES

Debido a que la radiación de energía visible está comprendida en un rango pequeño dentro del espectro electromagnético, es importante contar con lámparas que sean eficientes.

Para cada lugar por iluminar existe un tono de color apropiado, ya que con esto se pretende un mejor confort visual, una eficiente iluminación y una reproducción o apreciación de los colores de los objetos. Es importante conocer el término - temperatura de color dentro del ramo de la iluminación, ya que por medio de él se puede diferenciar la calidad de color que proporcionan las diferentes fuentes de iluminación.

Conocer el funcionamiento del ojo humano, es primordial, para poder proporcionar al hombre los niveles adecuados de iluminación para que pueda trabajar en -- forma eficiente y pueda descansar la vista en cada una de sus actividades, es decir, que tenga buen confort visual.

De acuerdo a la nomenclatura que se utiliza en Luminotecnia es de vital impor -- tancia conocer los términos y magnitudes, así como las equivalencias entre las -- distintas unidades, pues esto es esencial para una comprensión total de los efec -- tos ó fenómenos luminosos.

Es importante conocer los fenómenos físicos de la luz para controlarla, pues uno de los actuales problemas es el de encontrar un reflector que sea lo más eficiente

posible de acuerdo al tipo de lámpara a utilizar, puesto que el reflector tiene la misión de dirigir los rayos luminosos de la fuente luminosa hacia abajo en una forma útil.

Es de suma importancia conocer los diferentes tipos de lámparas que en la actualidad existen y saber sus características de funcionamiento, construcción y de iluminación, para utilizarlas adecuadamente en cada solución.

También es importante saber como se verán los colores de los objetos iluminados, pues en algunos locales la reproducción cromática de los colores es de mucha utilidad.

Por el contrario, en algunos lugares - vías de comunicación - donde la seguridad es más importante que la reproducción de los colores, se aprovecha el rendimiento luminoso de algunas lámparas.

El promedio de vida de las lámparas se debe aprovechar para utilizarlos en lugares poco accesibles para que al término de su vida, la reposición resulte económica, ya que esto se realiza por períodos de tiempo largos.

De todo lo anterior, podemos concluir, que es necesario contar con una lámpara que tenga una buena reproducción de colores en los objetos que ilumine, debe tener un elevado rendimiento luminoso, una vida larga útil, eficiente y sobre todo económica.

- BIBLIOGRAFIA

- I.- MANUAL DE LUMINOTECNIA OSRAM
J.A. TABOADA
EDIT. DOSSAT, S.A.
CUARTA EDICION
1983.
- II.- FUNDAMENTOS DE LAMPARAS E ILUMINACION
WILLARD ALPHIN
EDIT. SYLVANIA INTERNATIONAL
SEGUNDA EDICION
- III.- LAMPARAS ELECTRICAS
JOSE RAMIREZ VAZQUEZ
EDICIONES CEAC
PRIMERA EDICION
1974
- IV.- MANUAL DE ALUMBRADO WESTINGHOUSE
EDITORIAL DOSSAT, S.A.
TERCERA EDICION
1980.
- V.- MANUAL DE ALUMBRADO PHILIPS
EDIT. PARANINFO, S.A.
TERCERA EDICION
1981.
- VI.- CLINICA HID (HIGH INTENSITY DISCHARGE)
SYLVANIA INTERNATIONAL
- VII.- CONELEC, MANUAL ELECTRICO
INDUSTRIAS CONELEC
TERCERA EDICION
1981.
- VIII.- BOLETINES DE INFORMACION TECNICA
FOCOS, S.A.
- IX.- INFORMACION TECNICA
OSRAM, S.A.
- X.- TECNOLOGIA APLICADA EN LA
CAPACITACION Y APLICACION DE
LOS ELEMENTOS DE ALUMBRADO
JUAN IGNACIO LIMA VELASCO
I. P. N.