

94  
2 ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

"ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS.  
CRITERIOS PARA LA ILUMINACION DE  
VIALIDADES"

TRABAJO DE SEMINARIO  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
BENJAMIN LEON QUIROZ LOPEZ

ASESOR: ING. JAIME RODRIGUEZ MARTINEZ

CUAUTITLAN IZCALLI. EDO. DE MEX.

1998.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2-13-98



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

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

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

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .



Departamento de  
Exámenes Profesionales

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCÍA MIJARES  
Jefe-del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES-C.

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

"Iluminación e Instalaciones Eléctricas,  
Criterios para la Iluminación de Vialidades".

que presenta el pasante: Benjamín León Quiroz López,  
con número de cuenta: 8129480-2 para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista.

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

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 27 de mayo de 19 98.

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
I	Ing. Jaime Rodríguez Martínez	
II	Ing. Pedro Guzmán Tinajero	
III	Ing. Benjamín Contreras Santacruz	

## INDICE

OBJETIVOS .....	1
INTRODUCCION .....	3
ANTECEDENTES HISTORICOS.....	4
PORQUE EXISTE ALUMBRADO URBANO.....	11
QUE ES LA LUZ.....	14
TIPOS DE LÁMPARAS PARA ALUMBRADO URBANO .....	28
CLASIFICACIÓN DE VIALIDADES .....	52
CRITERIOS PARA LA ILUMINACIÓN DE VIALIDADES.....	57
EJEMPLO PRÁCTICO .....	74
MANTENIMIENTO DEL ALUMBRADO EN EXTERIORES .....	92
CONCLUSIONES.....	101
BIBLIOGRAFIA .....	103

## **OBJETIVOS:**

Este trabajo tiene como objetivos fundamentales:

- a) Mostrar la importancia del alumbrado público.
- b) Poner al alcance de cualquier tipo de lector, los fundamentos de la iluminación.
- c) Presentar información sobre las normas oficiales y recomendaciones de organismos internacionales que rigen los proyectos de iluminación.
- d) Exponer los criterios más comunes en el diseño de la iluminación en lugares públicos.

Además, también tiene la finalidad de familiarizar al lector con la terminología y los dispositivos que intervienen en la iluminación de exteriores, aunque no se esté interesado en el diseño de iluminación o en la legislación al respecto. Al final de la lectura se sorprenderá de lo fácil que le será entender términos y conceptos utilizados en iluminación, por ejemplo:

- Frases como "vapor de sodio a alta presión", "luz mercurial", "fotometría" o "luxes" serán fáciles de comprender.
- Se tiene la intención de documentar al lector para que pueda relacionar el aspecto físico de las lámparas para alumbrado público con su nombre técnico.
- Otro de los fines es darle algún sentido físico a las dimensiones utilizadas en iluminación. Como otras áreas de la física, la iluminación tiene sus unidades y la intención es darles un significado que se pueda, hasta cierto punto, visualizar, y diferenciarlo de la idea que uno pueda tener acerca de en qué unidades se mide la iluminación.

Se ha procurado que el lenguaje sea tan sencillo como sea posible, aunque se supone que este trabajo será leído principalmente por quienes estudien en ingeniería o en escuelas técnicas, también está destinado al público en general, se ha intentado que sea fácil de leer y de entender por cualquier persona, aunque no tenga conocimientos técnicos, las personas entienden más si se les dice; *“un foco”* que si se les dice *“una lampara incandescente”*, y la idea es mostrar el lenguaje técnico apoyándose en el lenguaje coloquial, dar los nombre formales de algunos dispositivos, describir técnicamente varios tipos de lámparas y darlas a conocer con su ilustración, en breve: presentar cosas comunas de manera formal, si el hombre promedio puede leer este trabajo y aprender algo, se considera que se ha logrado este objetivo.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo está enfocado básicamente a la iluminación en vías públicas. En el capítulo I se proporciona una panorámica retrospectiva de la historia de la iluminación urbana, la cual por momentos se torna anecdótica y entretenida, se considera que esto da confianza y capta el interés del lector en la obra, este tipo de agregados, así como notas al pie de página y comentarios históricos siempre hacen menos tedioso el inicio de una lectura, aunque este resumen no es muy detallado (porque no es el fin de este trabajo), ilustra la evolución de la iluminación urbana desde sus inicios con velas dentro de faroles hasta las actuales lámparas de alta intensidad de descarga.

El capítulo II se expone de manera rápida porqué existe el alumbrado urbano, se verá que contribuye tanto a prevenir accidentes como a impulsar la actividad comercial nocturna y en teoría debería desalentar la delincuencia. Por otra parte, la capacidad visual del individuo decae con la edad y éste requiere de ciertos niveles de iluminación para realizar determinadas actividades.

En el capítulo III se estudia en términos generales qué es la luz, no tan a fondo como en un libro de física sino de modo tal que por lo menos se entienda, en concepto, lo que es la luz. Para esto, se le presenta como una onda electromagnética más que como paquetes de fotones (que es el punto de vista cuántico), porque en este trabajo se relaciona más a la luz con el concepto de ondas del espectro visible. Por ejemplo: para entender porqué hay tipos de luz que no percibe el ojo humano como la luz ultravioleta o la luz infrarroja, se explica atendiendo a la longitud de onda. Este capítulo maneja algunos conceptos teóricos, pero con un poco de esfuerzo se comprende lo básico respecto a la luz, y lo mejor es que dicho esfuerzo se ve recompensado al

entender el porqué de conceptos cotidianos que involucran la luz. También, el lector más informado se sorprenderá de la semejanza entre el campo luminoso y el campo eléctrico.

En el capítulo IV se estudian los diversos tipos de lámparas de que dispone el diseñador de un sistema de iluminación. Conviene saber de una buena vez que a las fuentes de iluminación artificial tratadas en esta obra se les llama lámparas eléctricas o simplemente lámparas, con este capítulo uno se puede formar un criterio acerca de que tipo de lámpara se debe utilizar para un sistema dado, esto se hace atendiendo a las necesidades y a veces al presupuesto, por ejemplo, un tipo de lámpara tiene muy buen rendimiento luminoso pero muy bajo rendimiento cromático, otro tipo de lámpara tiene buen rendimiento cromático pero bajo rendimiento luminoso, y la elección depende de las necesidades o del presupuesto. En esta parte de la obra se presentan los tipos de lámparas más populares en el alumbrado urbano, no es la finalidad presentar todas las lámparas disponibles (esa es tarea de los catálogos de ventas de los fabricantes), sino más bien, tomar los modelos más representativos de cada tipo de lámpara y exponer su teoría y funcionamiento, y lo más importante para el lector, las ventajas y desventajas, aplicaciones e ilustraciones de los modelos más conocidos de cada tipo.

El capítulo V sienta las bases para los cálculos de iluminación al presentar las tablas, normas y recomendaciones oficiales de los niveles de iluminación que deben satisfacer los diferentes tipos de vialidades, estas tablas son proporcionadas por diferentes instituciones dedicadas a la investigación, desarrollo y normalización de este campo de la ingeniería, entre ellas el Illuminating Engineering Society (IES), la Comisión Internacional de l'Eclairage (CIE) y la Norma Oficial Mexicana (NOM).

En el capítulo VI se entra de lleno en la materia, se establecen definiciones, terminología y unidades empleadas en la iluminación. En este capítulo se pone especial cuidado en lo relacionado con las unidades para que se comprenda con exactitud como se mide la iluminación. Cuando la gente va a la tienda y compra un foco casero, sabe que uno foco de 100 Watts “da más luz” que un foco de 60 Watts, entonces: ¿cómo entender que hay “focos” de 60 Watts que dan más luz que otros “focos” de 100 Watts?.

También en este mismo capítulo VI se encuentra la parte central de la obra; como ya se ha explicado la clasificación de los luminarios, la clasificación de la zona a iluminar y basado en ella se ha establecido el nivel de iluminación requerido de acuerdo a normas establecidas, con esos antecedentes se puede entrar al cálculo de cuántas lámparas se necesitan, de que potencia, la separación entre lámparas, la altura a la que se instalarán, etc., una vez hecho el análisis cuantitativo se pasa a la toma de decisión sobre qué utilizar, es decir, si hay varios tipos de lámparas, varios espaciamientos o varias alturas de montaje que satisfacen los requerimientos de iluminación calculados ¿cuál conviene usar?, Esta pregunta normalmente es contestada al estudiar otros factores: como el medio ambiente bajo el cual operan las lámparas, el tipo de zona, el tipo de luz, costos tanto de inversión como de mantenimiento, y algunos más que serán explicados en su momento.

Así pues, la relación entre estos conceptos es lo que conforma lo que llamaremos Criterios para la Iluminación de vialidades.

En el capítulo VII se establece en forma breve en que consiste el mantenimiento al alumbrado urbano. Quizás piense que como se trata de alumbrado, el mantenimiento solo consiste en cambiar focos y por lo tanto, ni es gran cosa ni

varía mucho de un tipo de lámpara a otra, pero encontrará más de una cosa interesante, por ejemplo: Tal vez le sorprenda saber que (al momento de realizar este trabajo) el servicio de alumbrado urbano no lo proporciona la Compañía de Luz y Fuerza (tampoco proporciona el mantenimiento), lo mejor de este capítulo es el conocer cual es tipo de problemas que más frecuentemente presenta el alumbrado urbano, tal como lo manifiesta el personal a cargo del mantenimiento.

## ANTECEDENTES HISTORICOS

Una vez que el hombre dominó el fuego, la iluminación fue una de las aplicaciones que le encontró y durante siglos las antorchas fueron la única fuente de luz artificial, sin embargo, las antorchas eran colocadas no donde se necesitaban, sino donde eran menos peligrosas o molestas, estos fueron los primeros pasos en la iluminación.

Lejanos están ya los días en los cuales la iluminación en París y Londres era mediante faroles con velas en su interior, esto sucedía del siglo XV al siglo XVIII, ¿Qué le parecería tener que costear Usted mismo el alumbrado de la calle donde está su casa?, Bueno, pues un tiempo así fue. En el siglo XVIII, en Filadelfia (EE.UU.), familias adineradas instalaban lámparas fuera de sus casas, costeadando ellas mismas la operación y es a mediados de ese mismo siglo cuando la ciudad asume la obligación de proporcionar el alumbrado público.

El siguiente paso fue lámparas alimentadas con gas, a principios del siglo XIX se realizó en Londres la primera instalación de alumbrado de calles con lámparas de gas y después le siguió Estados Unidos, así, entre 1800 y 1850 se generaliza el alumbrado público alimentado con gas en las principales ciudades del mundo. En nuestro país, en 1801 la Ciudad de México tenía en operación unos 1200 faroles que utilizaban aceite de ajonjolí como combustible, y más de medio siglo después (en 1869) se fundó la Compañía Mexicana de Gas la cual comenzó a proporcionar alumbrado público mediante la combustión de gas.

Sin embargo, es en París donde se utilizó la primera lámpara eléctrica, la cual consistía en un par de varillas de carbón con material aislante entre sí y al formarse un arco eléctrico en los extremos, dicho arco proveía cierta iluminación pero iba consumiendo los electrodos, por ello había que

reemplazarlo frecuentemente. A pesar de que la primera luz eléctrica había sido producida en 1801 no tuvo difusión debido a que en esos años la única fuente de corriente eléctrica eran las pilas voltaicas.

A mediados de ese siglo XIX, un relojero alemán que residía en Nueva York fabricó la primera lámpara con filamento de carbón artificial, sus ensayos despertaron gran interés en su tiempo pero pronto fueron olvidados y es a Edison a quien se le reconoce el desarrollo de la lámpara eléctrica con filamento de carbón<sup>1</sup>, sin embargo los iniciadores fueron otros, (inclusive un par de ingleses obtuvieron una patente al utilizar un filamento con alambre de platino en 1877) y aunque en 1877 Edison realizó trabajos similares a los que se hacían en Inglaterra, tardó dos años más en hacer una demostración práctica de su lámpara eléctrica.

Pese a ello, las lámparas de arco se seguían utilizando en el alumbrado público, en la Ciudad de México, en 1881 se habían instalado las primeras lámparas de arco, pero las lámparas incandescentes ya estaban en la competencia y poco a poco fueron ganando terreno, y a principios del siglo XX se comenzó a generalizar el uso de lámparas incandescentes en el alumbrado público, dichas lámparas solían ser de hasta 200 Watts y tenían una vida útil de entre 800 horas y 1000 horas.

Es el siglo XX cuando el avance tecnológico en materia de lámparas eléctricas tiene mayor auge, en 1901 se desarrolló una lámpara de vapor de mercurio a baja presión y unos 30 años más tarde se introdujo el mismo tipo de lámpara

---

<sup>1</sup> Tal vez se sienta tentado a pensar en que cuando se originaron los focos (con filamento de carbón), también en esa época se originó la conocida expresión *ya se fundió el foco*, lo curioso es que el carbón no se funde, sino que va directamente del estado sólido al estado gaseoso.

pero a alta presión, esta lámpara proporcionaba una luz verde-azulada que daba un aspecto cadavérico a la gente, pero en 1950 salió al mercado la lámpara de vapor de mercurio de espectro corregido, la cual daba una luz más blanca y tenía un buen rendimiento, fue esta ventaja aunada a las que ya tenía dicha lámpara (tamaño más o menos como las lámparas incandescentes de esa época y una alta eficiencia) lo que las popularizó y comenzó a usarse en calles, zonas deportivas, etc. Aquí en la Ciudad de México fue en 1958 cuando se instalaron lámparas de vapor de mercurio de 400 Watts.

Pese a la popularidad de la lámpara de vapor de mercurio quien terminaría dominando el alumbrado público sería la lámpara de vapor de sodio.

Desarrollada con fines prácticos en 1933 e introducida en 1934, esta lámpara de vapor de sodio originalmente fue de baja presión y emitía una luz amarilla que distorsionaba los colores, pero tenía una eficiencia muy alta y esto fue factor decisivo para su utilización, en pocas palabras: “daba mucha luz y gastaba poca electricidad”, pero cedió su lugar a la lámpara de vapor de sodio a alta presión, la cual inclusive requirió el desarrollo de un material especial para soportar el efecto corrosivo del sodio y la alta temperatura y presión.

La lámpara de aditivos metálicos finaliza este breve bosquejo histórico, estas lámparas son relativamente nuevas, (aparecieron en 1964) y básicamente son como las lámparas de mercurio pero se les han agregado algunos metales en forma de yoduros en el tubo del arco, emiten más luz que una lámpara de vapor de mercurio de potencia equivalente y la luz que emiten es muy clara, permitiendo una mejor apreciación de los colores, por eso se les suele utilizar en interiores de centros comerciales.

Actualmente (1988), La Ciudad de México cuenta en su mayoría con lámparas de vapor de sodio a alta presión de 150 Watts y de 400 Watts, la altura de los postes normalmente es 12m en ejes viales y otras vías rápidas, y de mayor altura en intersecciones de mayor importancia o de más tráfico. En estacionamientos o parques los postes suelen tener mayor altura y se instalan lámparas de mayor potencia con el fin de instalar menos postes y tener más espacios libres de ellos.

## **¿PORQUE EXISTE ALUMBRADO URBANO?.**

El concepto de iluminación artificial en exteriores surge de la necesidad de tener iluminación, principalmente en las calles, para darnos una idea de lo peligroso que resultaría que no hubiese alumbrado urbano y de que la necesidad del alumbrado urbano no es nueva, leamos un Bando (edicto) del siglo XVIII en el que se ordena a los vecinos de la Ciudad de México *“sin excepción de persona alguna”* que *“pongan una luz proporcionada dentro de un farol, o como mejor les pareciere, en uno de los balcones o ventanas principales de la casa en que vivieren todas las noches, desde las oraciones hasta después del toque de queda que son las diez, para que de este modo estén uniformemente iluminadas las calles, y por este medio se eviten los insultos, pecados y perjuicios a que la oscuridad alienta y provoca”*.

Así pues, ya desde esa época (1763) existía interés de las autoridades en el alumbrado urbano, de más actualidad podemos citar algunas disposiciones de carácter general contenidas en el Artículo 901 de la NOM.

### **901-1. Objetivos del alumbrado público.**

El propósito del alumbrado público es el proporcionar una visión rápida, precisa y confortable durante las horas de la noche.

Aumentar la seguridad y fluidez de la circulación en las vialidades, ayudando a reducir el número de accidentes durante la noche.

Aumentar la seguridad de las personas y sus bienes.

Promover las actividades comerciales e industriales durante la noche.

En pocas palabras, podemos decir que el alumbrado urbano ayuda a evitar accidentes automovilísticos producidos por la oscuridad y reduce el

vandalismo y la delincuencia, pues las estadísticas indican que en zonas donde se dispone de una buena iluminación, los accidentes entre automóviles y los actos delictivos son menores que en zonas con mala iluminación.

¿Es importante el alumbrado urbano para el ciudadano?, Sí, casi nadie se arriesga a salir a la calle cuando hay un corte en el suministro de energía eléctrica y las calles están completamente a oscuras, pocas personas osan transitar por calles sin o con mala iluminación, el riesgo de un ciclista o un peatón a ser arrollado por un automóvil o de ser asaltado es muy alto al circular por calles mal iluminadas, el riesgo es mayor en parques, donde árboles y arbustos obstaculizan la iluminación e incrementan el riesgo de un acto delictivo, también para el automovilista existe el riesgo de un accidente al circular por lugares con mala iluminación; los baches, topes sin pintar, zanjas, autos o ciclistas sin luces etc., son detectados cuando ya se está sobre de ellos, y la excusa siempre es: - "no lo vi"-.

Aunado a lo anterior debemos considerar que:

- a) La eficiencia visual en la noche es muy baja tanto por la baja iluminación como por el cansancio.
- b) La capacidad visual de las personas disminuye con la edad. Esto es debido a cambios físicos, para tener una mejor idea considere esto: para la lectura, un niño requiere de unos 175 luxes, una persona de 40 años requiere 500 luxes y una persona de sesenta años requiere unos 2500 luxes.
- c) A un promedio de 80 km/h una persona ve 14% menos que si va a 70 km/h

En vista de lo anterior, se suelen establecer niveles de iluminación basado en estudios realizados por diferentes instituciones.

¿Es importante el alumbrado urbano para el Estado?, Sí, cada año se destina una buena cantidad de dinero para el alumbrado en la vía pública, por un momento pensemos en el enorme costo de instalación de postes, lámparas, cable, energía eléctrica, estaciones de monitoreo, etc., a esto agreguemos los costos de mantenimiento como: lámparas cuya vida útil ha terminado, repintado de postes, costos por consumo de energía eléctrica, recursos humanos, etc.

Cuanto más pensemos en la utilidad del alumbrado urbano, en las necesidades que satisface y en los problemas que causa cuando no existe, mas apreciaremos dicho servicio y tal vez entonces pongamos un poco de nuestra parte para mantenerlo funcionando y en buenas condiciones.

¿Qué podemos hacer para mantenerlo en buenas condiciones? básicamente, el Departamento de Alumbrado del DDF recomienda:

- No romper los focos arrojándoles piedras o disparándoles con municiones.
- Reportar las lámparas que ya no encienden en la noche o se quedan encendidas durante el día.

En 1873, James Clerk Maxwell afirmó que la luz era una forma de onda electromagnética de alta frecuencia y que abarcaba solo una pequeña parte del espectro electromagnético, planteó además la idea de que un circuito eléctrico oscilatorio podría emitir ondas electromagnéticas y en 1887 Hertz pudo producir y detectar dichas ondas, las cuales podían ser reflejadas, refractadas, polarizadas, etc., al igual que lo podían ser las ondas de luz, es decir, exhibían todas las propiedades características de la luz.

Sin embargo, pese a que la teoría electromagnética clásica fue capaz de explicar la mayor parte de las propiedades conocidas de la luz por medio del modelo ondulatorio, algunos experimentos subsecuentes no pudieron ser explicados a partir de ella, el mejor ejemplo es el fenómeno fotoeléctrico, el cual tiene lugar cuando un haz de luz incide en una superficie metálica y algunas veces son arrancados electrones de la superficie<sup>3</sup>.

En 1905, Einstein amplió una idea propuesta por Planck 5 años antes y postuló que la energía en un haz de luz estaba concentrada en paquetes o fotones; posteriormente, en 1908, los experimentos de Millikan confirmaron las predicciones de Einstein.<sup>4</sup>

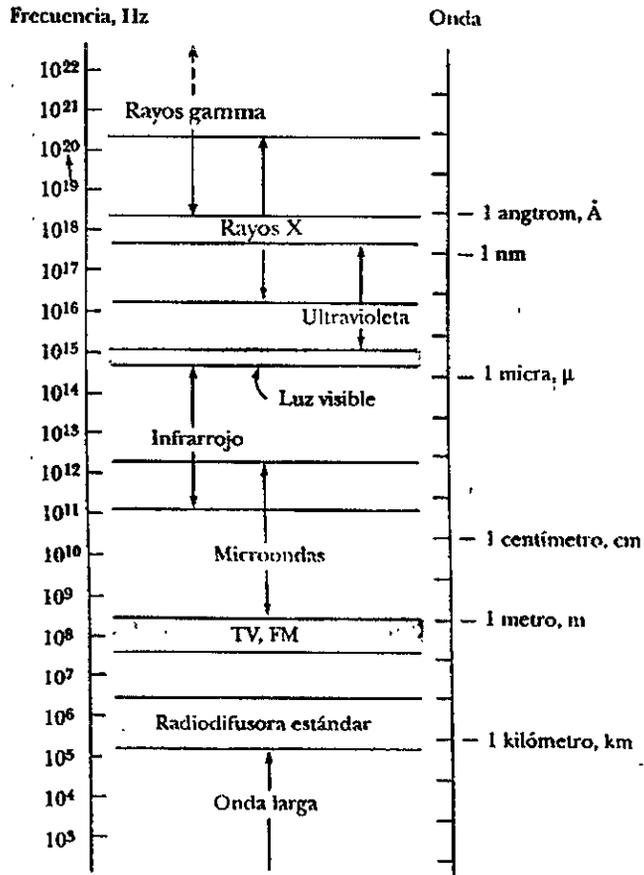
Del párrafo anterior podemos pensar que la luz tiene una naturaleza dual: Para ciertos fenómenos la luz se estudia mejor como corpúsculos mientras que para

---

<sup>3</sup> Piense en el choque entre un fotón y un electrón como el choque entre dos bolas de billar, entre más fuerte golpee la bola-fotón a la bola-electrón, más lejos debería salir disparada esta última, sin embargo no ocurre así, esto no puede ser explicado mediante la teoría ondulatoria, según la cual entre mayor es la intensidad del haz de luz incidente, mayor debería ser la energía cinética agregada al electrón.

<sup>4</sup> Es curioso el hecho de que mucha gente cree que Einstein ganó el premio Nobel de física por la teoría de la relatividad cuando en realidad ganó el premio Nobel por su trabajo sobre el efecto fotoeléctrico.

otros casos conviene estudiarla como una onda de naturaleza electromagnética, nosotros la estudiaremos brevemente como una onda y el primer resultado que obtenemos de esto es cuando consideramos que la luz del sol es blanca y que cuando pasa por un prisma (o por el agua) se dispersa en una serie de colores conocida como espectro, estos colores, en orden de longitud de onda decreciente son: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta, Newton demostró que el espectro ya no pueden descomponerse más y que los colores pueden recombinarse para formar la luz blanca original. Estudie con cuidado las siguientes figuras y comprenderá lo que se quiere decir con longitud de onda, espectro electromagnético y frecuencia.



## EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Algunos comentarios sobre la gráfica del espectro electromagnético:

- Note que Maxwell tenía razón cuando decía que la luz visible era solo una pequeña parte del espectro electromagnético.
- Observe la región de las microondas, estas mismas son las que se ocupan en los hornos de microondas para calentar comida.
- Las ondas infrarrojas (a veces llamadas ondas de calor) tienen aplicaciones como terapia física, fotografía infrarroja, binoculares para visión nocturna,

etc. estas ondas son producidas por cuerpos calientes y moléculas.

d) La luz ultravioleta tiene aplicaciones como lámparas germicidas, y es factor en el cáncer en la piel.

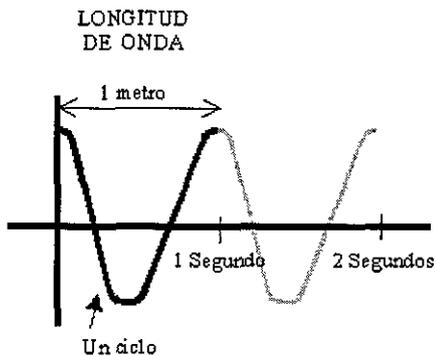


Fig. 1 ONDA LARGA

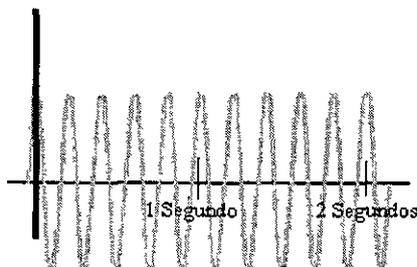
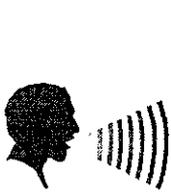


Fig. 2 ONDA CORTA

En esta figura observamos las gráficas de dos ondas, para fines didácticos las llamaremos: onda larga a la figura 1 y onda corta a la figura 2, en primer lugar notamos que ambas ondas son repetitivas (son periódicas). En la figura 1 la onda larga se repite exactamente igual una vez cada segundo, otro modo de decirlo es que una onda tarda un segundo en pasar completamente por el punto donde está marcado 1 segundo, o también que en un segundo hay una onda (un ciclo); así, establecemos que la frecuencia de esa onda es de un ciclo por segundo (a un ciclo por segundo se le llama 1 Hertz), En la figura 2 vemos que la onda se ha “comprimido” como si fuera un acordeón, observamos ahora que en un segundo hay 5 ciclos y decimos que su frecuencia es de 5 ciclos por segundo ó 5 Hertz, ahora trate meter 1000 ondas en el espacio de 1 segundo, eso serían 1000 Hertz. Regresando a la figura 1, observe que la longitud de onda es de 1 metro, en la figura 2 la longitud a disminuido a 20 cms. y ahora

trate de imaginar un onda con una longitud de onda de una millonésima parte de un metro (en una regla dividida un milímetro en mil partes, esa sería la longitud de onda). Ya estamos listos para entender la luz en un sentido práctico.

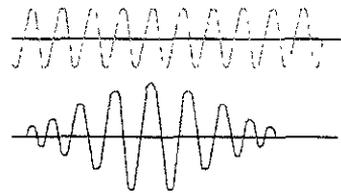
La luz es energía radiante capaz de estimular el órgano de la visión, es decir producir una sensación visual, lo de radiante quiere decir que se transmite en forma de ondas, por eso la luz puede ser estudiada como una onda, hay otros tipos de ondas, como las ondas sonoras, ¿Se ha preguntado el lector que es el sonido?, Es energía transmitida en forma de ondas, así también la luz se comporta como una onda, en este caso de naturaleza electromagnética, pero ¿Qué forma tiene una onda? Para darse una idea de cómo es una onda recuerde lo que sucede cuando deja caer una piedrecilla en el agua, una vez que la piedra cae en el agua se van formando círculos que se van agrandando a la vez que surgen nuevos círculos pequeños, los cuales se van agrandando..., etc..., Algo así son las ondas aunque por lo regular tiene otra geometría, seguramente ya tiene en mente el concepto de lo que es una onda, las siguientes figuras muestran como suelen representarse las ondas.



ondas sonoras



microondas



ondas senoidales

Este es el momento preciso para hablar sobre algunas unidades de medición relacionadas con la luz, es bien sabido que la distancia se puede medir en metros, el volumen en litros, etc., la longitud de las ondas de luz se mide en

metros, pero el metro no es adecuado para medir la longitud de onda (como no lo es una regla escolar para medir la distancia de una ciudad a otra) por ello se emplea un múltiplo, suelen utilizarse el nanómetro o el Amstrong y se abrevian nm y A respectivamente, (divida un metro en mil millones de partes iguales y tendrá un nanómetro, un Amstrong es diez veces más pequeño que un nanómetro) y del mismo modo que no se piden dos mil gramos de tortillas sino dos kilogramos de tortillas (aunque es lo mismo), tampoco suele decirse que una onda tiene una longitud de  $5 \times 10^{-11}$  metros sino una longitud de 500 nanómetros, (aunque es lo mismo) y al número de ondas que pasan por un punto durante un cierto tiempo se le llama frecuencia. La frecuencia se mide en ciclos por segundo o Hertz, así que si se tiene una frecuencia de 100 hertz, se tienen 100 ciclos por segundo, y la velocidad de la luz en el vacío es de casi 300'000 km/s.<sup>5</sup>

Tal vez el lector sepa que hay algunos sonidos que el oído humano no puede escuchar pero que, por ejemplo, los perros si escuchan, es por la frecuencia de la onda, el oído humano no percibe ni las ondas de muy alta frecuencia ni las ondas de muy baja frecuencia, si alguna vez a observado el ecualizador de un estéreo, ya sea de casa o de coche tal vez haya notado que tiene una escala numérica, normalmente los ecualizadores tiene escalas desde los 63 Hertz hasta los 16 Kilohertz, como el oído humano no capta sonidos de frecuencia inferiores a 20 Hertz (muy graves) ni mayores a 20 Kilohertz (muy agudos) no tiene caso ecualizar frecuencias menores o mayores a los rangos mencionados. Algo similar ocurre con la luz, los tipos de luz que el ojo humano no ve y que tal vez le resulten familiares son la luz infrarroja y la luz ultravioleta, las ondas más

---

<sup>5</sup> Resulta sorprendente que en 1983 el metro fue redefinido en términos de la velocidad de la luz, la cual estaba especificada con un valor exacto de 299 792 458 metros por segundo, por ello, si se lograra una mayor exactitud en la medición de la velocidad de la luz, permanecerá el valor de 299 792 458 m/s y se cambiará la longitud del metro.

largas que puede ver el ojo humano son las del extremo rojo hasta 780 nm y las ondas más cortas que puede ver el ojo humano son las del extremo violeta (hasta 380nm). Entonces podemos decir que el espectro visible del ojo humano esta entre el rojo y el violeta.<sup>6</sup>

Más allá de 780 nm está la luz infrarroja y las radiaciones infrarrojas tienen propiedades caloríficas; más allá 380 nm está la luz ultravioleta y las radiaciones ultravioleta favorecen las reacciones químicas (como el cáncer de piel).

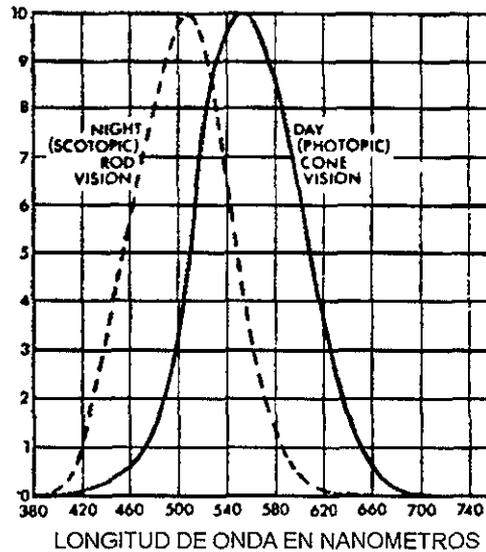


Fig. 4 Curvas de sensibilidad relativa espectral

Resumiendo algunas características básicas de la luz:

- Posee las todas las características de las ondas electromagnéticas.
- El rango de longitudes de onda visibles oscila entre 380 nm y 780 nm.
- La sensibilidad máxima del ojo humano es para el color verde-amarillo (555 nm) y cae rápidamente tanto del lado ultravioleta como del lado infrarrojo.

<sup>6</sup> Ahora ya puede darse una idea de porqué ve que el arco iris empieza en el rojo y termina en el violeta.

- Las ondas más cortas corresponden al extremo visible violeta
- Las ondas más largas corresponden al extremo visible rojo
- La luz solar es de espectro continuo (luz blanca), comprende toda la gama de longitudes de onda visibles.
- La luz constituida por ondas de igual longitud recibe el nombre de luz monocromática.

El color es una sensación óptica que depende del conjunto de las longitudes de onda que un cuerpo no absorbe (refleja).

Ahora estamos en condiciones de entender un poco mejor como se mide la luz, ya sabemos que la luz puede ser estudiada como una onda electromagnética y sabemos que su frecuencia se mide en Hertz. Aunque la luz se mide en una unidad llamada lumen-hora primeramente estudiaremos la intensidad de luz, la cual se mide en candelas, pero ¿Qué es una candela?, Estudie con cuidado las siguientes definiciones porque son fundamentales para comprender la terminología de iluminación.

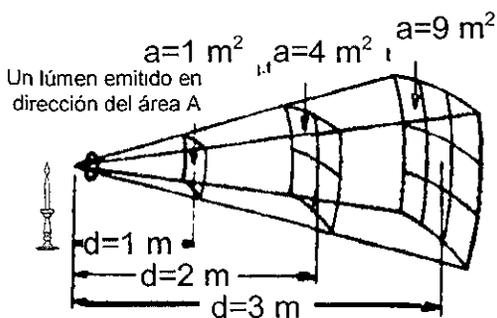
Nota: Un ángulo sólido ( $\omega$ ) es definido como la razón de un área esférica ( $A_s$ ) al cuadrado del radio ( $r^2$ ), el ángulo sólido se mide en estereorradianes, por ejemplo, si se tiene una esfera de radio=1m, y el área en la superficie de la esfera determinada por el ángulo sólido es 1 m<sup>2</sup>, se tiene un estereorradián.

$$\omega = \frac{A_s}{r^2}$$

Antes de definir la candela haremos una analogía para entender el flujo luminoso, suponga que tenemos por una parte, agua fluyendo por un tubo a razón de un litro por segundo entonces el "flujo acuoso" es 1 litro/segundo, por otra parte, un haz de luz emitido por una vela fluye por un ángulo sólido, la vela emite una candela "cada segundo" y si la superficie que ilumina en el ángulo sólido es de 1 m<sup>2</sup>, decimos que el flujo luminoso es 1 lumen..., tal vez esperaba

ver 1 lumen/segundo y en efecto, el flujo luminoso es el flujo de energía luminosa por unidad de tiempo; el tiempo no está indicado en la unidad de flujo luminoso (en el lumen) pero está implícito. Es muy importante distinguir el lumen de la candela y tener una idea clara del lumen, porque cuando se estudian los diferentes tipos de lámparas eléctricas, el dato más relevante para saber si una lámpara emite mucha o poca luz es cuantos lúmenes emite, como ejemplo rápido, una lámpara incandescente (un foco casero) de 100 Watts emite unos 1750 lúmenes, en cambio una lámpara fluorescente de 40 Watts emite 3200 lúmenes.

Una candela o bujía, (del inglés *candle*) era de verdad una vela de un tamaño y encendido determinados, (se trataba de una vela de 7/8 de pulgada de diámetro consumiendo 124 granos por hora),<sup>7</sup> la cual se suponía en el centro de una esfera cuyo radio era de 1 metro, la cantidad de luz que la vela proyectaba sobre 1 m<sup>2</sup> en la superficie interna de la esfera era naturalmente, 1 candela-metro (ó 1 lumen/metro ó 1 lux), una imagen dice más que mil palabras así que mejor observe la figura 1 y note como 1 lux es la iluminación producida por una *candela* a un metro de distancia, y también es un lumen por metro cuadrado.



<sup>7</sup> Actualmente la candela se define en términos de la incandescencia de un cuerpo negro en el punto de congelamiento del platino (2043 K), la luminancia es de 60 lúmenes/cm<sup>2</sup>.

Otra vez, la cantidad de luz proyectada por una candela patrón sobre un área de un metro cuadrado en la superficie de la esfera cuyo radio es un metro, esa cantidad de luz en esa área se definió como una candela-metro aunque se le conoce más como un "lux", el lux es la unidad en la cual se miden los niveles de iluminación, cuando un área debe tener x cantidad de iluminación, se dice que debe tener x luxes. Si observa la esfera más grande notará que los mismos rayos de luz ahora cubren un área mayor, pero el nivel de iluminación en esa área es menor, entonces es obvio que a medida que nos alejamos de la fuente de luz el nivel de iluminación es menor.<sup>8</sup>

En la práctica, el lumen es la unidad de medida de la cantidad de luz emitida por una lámpara, un foco, una antorcha, etc., y cuando un lumen se proyecta sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup>, entonces se tiene un lux, y aquí vamos a hacer hincapié en la diferencia entre el lumen y el lux con un ejemplo, suponga que Usted tiene un foco casero de 100 Watts, tendrá unos 1750 lúmenes, si con ese foco ilumina una habitación de 3m x 4m (12 m<sup>2</sup>), entonces tendrá 145.8 luxes de iluminación, si ahora con ese mismo foco de 100 Watts ilumina una habitación mayor, digamos de 4m x 5m (20 m<sup>2</sup>), Usted sigue teniendo 1750 lúmenes, pero ahora la iluminación es de 87.5 luxes

**La intensidad luminosa (I).**- Se define como la densidad *solido-angular* de flujo luminoso en una dirección dada, se mide en candelas (cd)

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

---

<sup>8</sup> Si le gustan las analogías piense en esta: suponga que tiene un bote de pintura para pintar una pared y le alcanza para darle dos "manos", la pared queda bien pintada, ahora suponga que no pinta una, sino dos paredes, entonces solo le alcanza para darle una "mano" a cada pared, y ahora las paredes quedan un poco tenues, y a medida que tiene que hacer rendir más la pintura, las paredes quedan más y más tenues, así ocurre con la iluminación, a medida que tiene que abarcar más área con una lámpara el nivel de iluminación es más tenue (más bajo).

**Iluminación (E).**- Es la densidad de flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área de la misma, si la unidad del flujo luminoso es el lumen y el área está dada en m<sup>2</sup> la unidad de **E** es el **lux** (lumen/m<sup>2</sup>), también suele medirse en Footcandles (fc). Note que se parece mucho a la intensidad luminosa, ambas son “densidad de flujo luminoso”.

**Luminancia (L).**- Es el flujo luminoso por unidad de área proyectada por unidad de ángulo sólido, ya sea que ese flujo luminoso esté dejando o llegando a una superficie en un punto dado y en una dirección dada, si el flujo luminoso está dado en lúmenes y la superficie en metros cuadrados la unidad de medida de la luminancia es el Footlambert. Si le parece demasiado complicada aquí tiene una definición alternativa: La luminancia es el brillo fotométrico, se le representa con la letra (**L**) y se mide candelas por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>) o en Footlamberts (Fl), puede pensar en la luminancia como la luz que refleja un objeto. La brillantez de un objeto depende de la intensidad de luz que cae sobre él y la proporción en la cual esa luz es reflejada al ojo, recordemos que vemos los objetos gracias a la luz que reflejan, así entre más luz refleja un objeto más brillante es, por lo tanto, podemos aumentar la brillantez de una superficie oscura aumentando el nivel de iluminación sobre esa superficie.

**Reflectancia.**- Es la relación entre el total de luz reflejada y el total de luz incidente.

$$\rho = \frac{\text{Total de luz reflejada}}{\text{Total de luz incidente}} \quad \text{para superficies difusas } \rho = \frac{L}{E}$$

**Transmitancia.**- Es el total de la luz transmitida entre el total de luz incidente.

$$\tau = \frac{\text{Total de luz transmitida}}{\text{Total de luz incidente}} \quad \text{para medios difusos } \tau = \frac{L}{E}$$

Es muy importante anotar que para una fuente de luz puntual como un foco casero, la iluminación varía proporcionalmente con la intensidad luminosa, es

decir, entre más intensa es la luz mas iluminación tendrá; Por otro lado, la iluminación varía inversamente con el cuadrado de la distancia entre la fuente de luz y la superficie, es decir: A 2 metros de la fuente de luz se tiene solo una cuarta parte de la iluminación que se tendría a 1 m; a 3 m se tiene una novena parte de la iluminación que a un metro, etc. Este concepto también puede derivarse del lumen, si observa la figura 1 notará que cada 1 metro que se aleja de la fuente puntual, el área va aumentando con el cuadrado de la distancia, y como la iluminancia es igual al  $\phi/A$ , es evidente que al irse incrementando el área con el cuadrado de la distancia, el nivel de iluminación disminuirá con el cuadrado de la distancia.

Para el lector más informado, aquí está la prometida semejanza entre la densidad de flujo luminoso y la densidad de flujo eléctrico. La ley del cuadrado inverso es muy popular en ingeniería, por ejemplo:

la densidad de flujo eléctrico debido a una carga eléctrica es 
$$D = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

la densidad de flujo luminoso debido a una fuente puntual es 
$$E = \frac{I}{r^2}$$

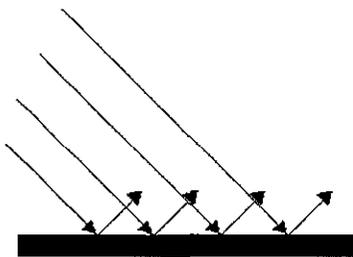
En ambos casos, la densidad de flujo cae con el cuadrado de la distancia que hay desde donde se está midiendo la densidad hasta la fuente puntual (de carga eléctrica o de iluminación), así que el hecho de moverse 10 veces más lejos a una fuente puntual conduce a que la iluminación sea de solo el 1% de la iluminación inicial. En cambio cuando se tiene una línea de carga, la densidad de flujo decae inversamente (ya no al cuadrado, solo inversamente) con la distancia, para una fuente luminosa no puntual debería tenerse una lámpara fluorescente de longitud infinita, pero para un tubo fluorescente real, la iluminación también disminuye inversamente en los puntos cercanos al tubo<sup>9</sup>.

---

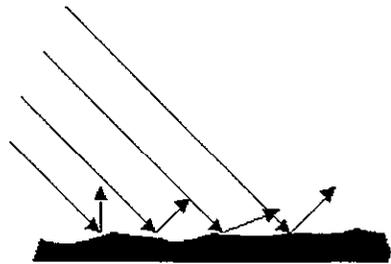
<sup>9</sup> Se dará cuenta de que conforme se aleja más y más del tubo fluorescente, éste eventualmente parecerá ser una fuente puntual y la iluminación obedecerá la relación del inverso al cuadrado.

Un último par de conceptos útiles y necesarios son los siguientes:

**Reflexión.-** Tomemos como ejemplo la luz reflejada en una superficie, cuando la luz llega a una superficie y parte o la totalidad de la luz se refleja, se dice que hay reflexión de la luz, si la superficie es lisa, a la reflexión se le conoce como reflexión especular, si la superficie es rugosa, la reflexión se le conoce como reflexión difusa, en este trabajo estamos interesados en la reflexión especular.

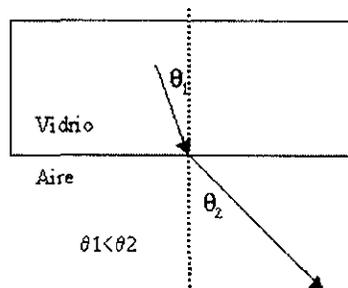
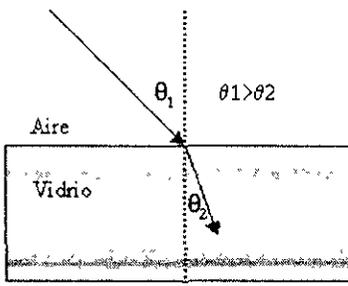


Reflexión especular



Reflexión difusa

**Refracción.-** Cuando un rayo de luz viaja de un medio transparente a otro medio transparente, parte del rayo se refleja y parte entra al segundo medio, el rayo que entra al segundo medio se dobla en la frontera y se dice que se refracta, (a esto se debe que un lápiz parcialmente sumergido en agua parezca que está un poco doblado o quebrado).



**“Algún día cobrarán impuestos por ella”**  
Michael Faraday (cuando P.M. Gladstone  
le preguntó para qué servía la electricidad).

Una vez que se han establecido los conceptos de luz y las unidades de medición relacionadas con ella, estamos en posibilidades de conocer los diferentes tipos de lámparas disponibles en el mercado para alumbrado urbano. En primer lugar, las lámparas eléctricas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) Lámparas Incandescentes.
- b) Lámparas de Descarga.

Los siguientes conceptos serán utilizados ampliamente en iluminación.

**Rendimiento.**- Es la cantidad de luz emitida por la lámpara por cada watt de energía que consume dicha lámpara y se mide en lúmenes por watt (el gasto de energía eléctrica se mide en Watts), es decir: Es la relación del flujo total emitido y la potencia consumida. Para entender mejor esto hagamos una analogía con el motor de un automóvil, en el cual podemos decir (para fines de comparación) que su rendimiento se mide en kilómetros por hora, así, si un automóvil da 15 kms/litro tiene mejor rendimiento que uno que da 10 kms/litro, del mismo modo, una lámpara que da 140 lúmenes/watt tiene un mejor rendimiento que una lámpara que proporciona 70 lúmenes/watt, en breve: una lámpara tiene mejor rendimiento si proporciona mas lúmenes (si emite más luz) por watt<sup>10</sup>.

**Potencia.**- Regresando a nuestra analogía del automóvil, recordemos que la

---

<sup>10</sup> A estas alturas ya no debe preguntarse qué gasta más luz, si una plancha o una licuadora, asos aparatos no gastan luz, "gastan" electricidad.

potencia de los motores de un auto se mide en caballos de fuerza (HP horses power), en las lámparas eléctricas la potencia se mide en Watts, y como es obvio, entre *de más* Watts es una lámpara mayor es su potencia y mayor es su consumo de energía eléctrica. Si recuerda, cuando usted compra un foco casero, lo compra de *tantos* Watts y no de *tantos* lúmenes. Tal vez por eso tenga la idea de que la cantidad de luz que emite una lámpara depende de la potencia, esto solo es válido para lámparas del mismo tipo, pues como veremos más adelante, una lámpara de 100 Watts de un tipo (por ejemplo una lámpara fluorescente) puede llegar a proporcionar hasta cinco veces más luz que una lámpara de 100 Watts de otro tipo (un foco casero).

Tipo de luz.- El tipo de luz emitida por una lámpara depende de la composición química de los materiales utilizados en su fabricación y del proceso mediante el cual genera genera la luz. Respecto a la composición química de los materiales utilizados recordemos que originalmente la lámpara de vapor de mercurio producía esencialmente una luz verde-azulado (debido al mercurio), la lámpara de sodio emite una luz amarilla (debido al sodio) y la lámpara de aditivos metálicos emite una luz blanca (debido a los yoduros), entonces cuando nos referimos al tipo de luz que emite una lámpara es atendiendo al color de la luz que emiten. Por lo que respecta al proceso mediante el cual emiten luz, tomaremos como ejemplo las lámparas incandescentes las cuales emiten su luz debido al calentamiento o incandescencia del filamento, en cambio, en las lámparas de vapor de mercurio, la luz se debe a la radiación del mercurio y no al calentamiento de un filamento como sucede en los focos caseros.

Vida útil.- Es el tiempo durante el cual la lámpara emite su luz y se mide en horas, seguramente recuerda cuando decía: -"ya se fundió el foco"-. Bueno pues lo que quería decir era que "la vida útil de la lámpara incandescente había

terminado", (¡qué expresión prefiere!), un foco casero suele tener entre 800 horas y 1000 horas de vida, supongamos que prende el foco a eso de las 6:30 p.m. y lo apaga a las 10:30 p.m. y por la mañana lo enciende a las 6:30 y lo apaga a las 8:30 a.m., está usándolo 6 horas diarias, así, un foco debería durarle unos 166 días, (más o menos 5 meses y medio), suponga que le diera el mismo trato a una lámpara de vapor de sodio que suele tener unas 16000 horas de vida útil, esto resulta en poco más de 7 años, claro que las lámparas de vapor de sodio son para iluminación en calles y permanecen encendidas toda la noche, digamos que se encienden a las 6:30 p.m. y se apaga a las 6:30 a.m., resultan 12 horas diarias, así que estas lámparas tendrían una vida útil de unos tres años y medio<sup>11</sup>, a este mismo ritmo de trabajo, un foco casero duraría menos de tres meses; entonces la vida útil de un foco es desde que está nuevo hasta que se funde, estrictamente hablando: *La vida útil de una lámpara es el número de horas durante las cuales la lámpara, funcionando a su voltaje nominal, conserva por término medio un flujo luminoso igual o superior a un determinado porcentaje del flujo luminoso inicial.*

Depreciación: Es la pérdida o disminución de la cantidad de luz que sale de una lámpara o de un luminario. Como veremos, la depreciación puede ser por lo avejentado de una lámpara; o en el caso de un luminario, por suciedad en el mismo.

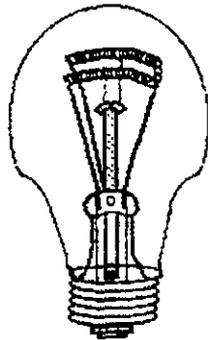
Una última aclaración, una lámpara es el dispositivo que emite luz artificial mientras que el luminario es el dispositivo que distribuye, filtra o controla la luz emitida por la lámpara y que contiene todos los accesorios necesarios para fijar, sostener y proteger dichas lámparas y conectarlas al circuito de alimentación.<sup>12</sup>

---

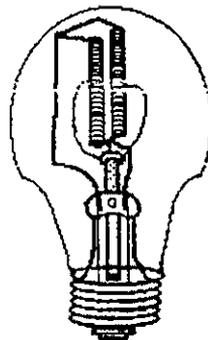
<sup>11</sup> Un dato más real es el de 4047 horas anuales de acuerdo a la operación automática de fotoceldas que controlan el encendido y el apagado y a las diferentes estaciones del año, bajo esta perspectiva, las lámparas tendrían que cambiarse cuando mucho cada cuatro años.

<sup>12</sup> Sin embargo, se ha vuelto costumbre dar por hecho que el luminario incluye la lámpara.

**LÁMPARAS INCANDESCENTES.-** Describiremos muy brevemente la lámpara incandescente debido a que no es muy utilizada en alumbrado urbano. Seguramente la lámpara incandescente más conocida es el foco casero, esta lámpara consiste en un filamento de tungsteno (si, así se escribe "tungsteno", aunque la primera "n" no se pronuncia) dentro de una ampolla de vidrio al vacío, a través de este filamento circula una corriente eléctrica que lo calienta tanto que emite radiaciones dentro del espectro visible. La principal desventaja del foco incandescente es su baja eficiencia, para un foco de 100 Watts la eficiencia es de 16 lúmenes por Watt, ¡casi un 90% de la energía que emiten es en forma de calor y solo un 10% es en forma de luz!. Esta es la principal razón de que no se le utilice en el alumbrado público<sup>13</sup> y desde su invención a tenido muy pocos cambios, observe la siguiente figura para notar "un avance" en este tipo de lámparas, el hecho de que el filamento se coloque en posición vertical y no horizontal, mejora la disipación de calor y por lo tanto prolonga la vida de la lámpara, además incrementa los lúmenes emitidos hasta 1650 lúmenes para una lámpara de 100 Watts, comparados con los 1580 lúmenes obtenidos con la vieja construcción, tal vez el único avance importante en estas lámparas ha sido



antigua construcción

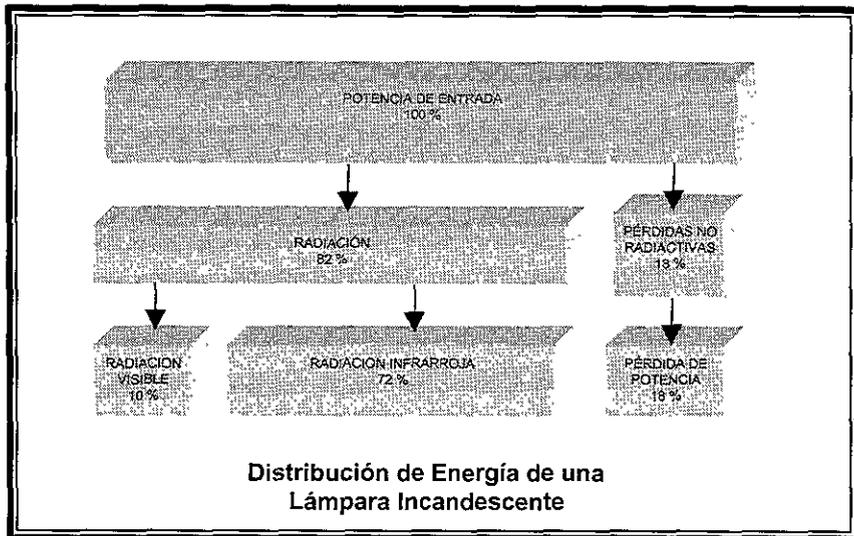


nueva construcción

---

<sup>13</sup> De hecho, en vialidades los focos se encuentran casi exclusivamente en semáforos y en los arreglos de luces de septiembre, durante las fiestas patrias.

el desarrollo de las lámparas de halógeno.



**LÁMPARAS DE DESCARGA EN GAS.-** Estas lámparas son comparadas con un elemento de resistencia negativa o cero, ya que cuando los aditivos dentro del tubo de arco se ionizan, la resistencia dentro del tubo disminuye mientras que la corriente se incrementa y se haría demasiado grande si no fuera por un dispositivo limitador de corriente, el cual se llama balastro, todas las fuentes de descarga requieren un balastro. Este balastro tiene como funciones:

- a) Limitar la corriente.
- b) Proporcionar el voltaje de encendido.
- c) Corregir el factor de potencia.

Estas lámparas son muy delicadas en cuanto a la posición en la que deben ser colocadas, ya que si operan en una posición distinta a la especificada, puede cambiar su salida en lúmenes, su período de vida y sus características de color, inclusive pueden llegar a explotar o implotar si no se instalan correctamente.

Estudiaremos:

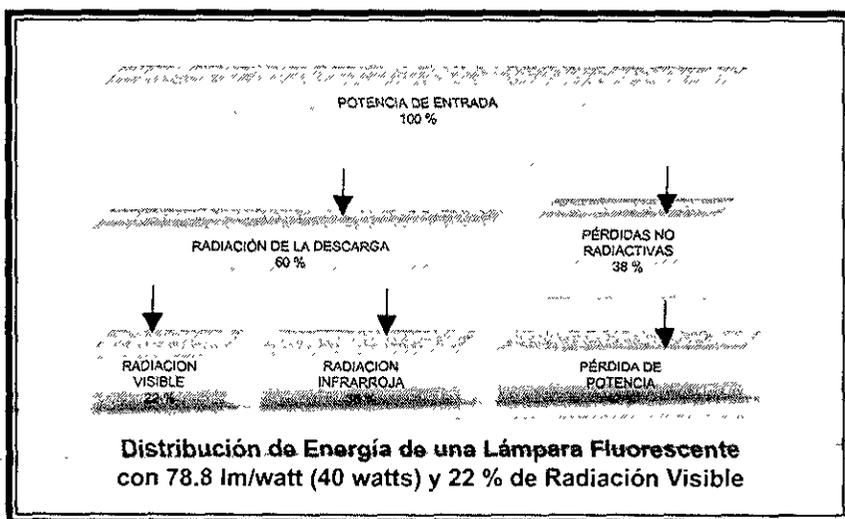
- a) *Lámparas de descarga en gas a baja presión.*
  - Lámparas fluorescentes.
  - Lámparas de vapor de sodio a baja presión
- b) *Lámparas de descarga en gas a alta presión (alta intensidad de descarga).*
  - Lámparas de Vapor de Mercurio.
  - Lámparas de Aditivos Metálicos.
  - Lámparas de Vapor de Sodio.

### **LÁMPARAS DE DESCARGA EN GAS A BAJA PRESIÓN.**

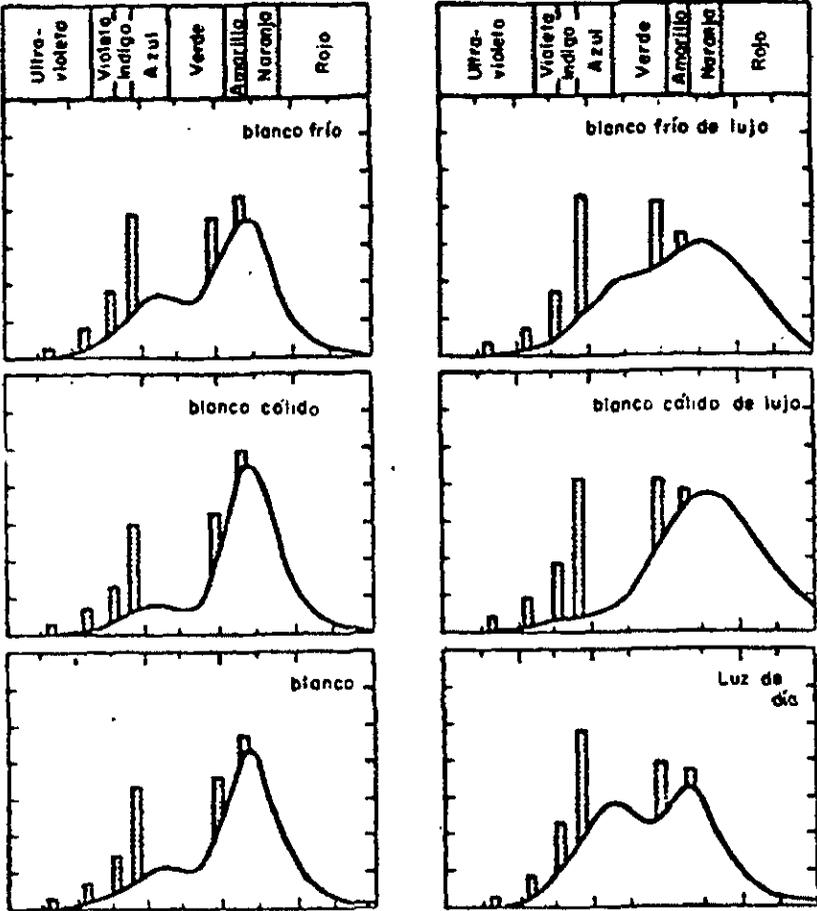
**3.- LAMPARAS FLUORESCENTES.-** En este tipo de lámparas la luz se genera por el fenómeno de la fluorescencia, la descarga eléctrica ocurre en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión y un gas inerte, generalmente argón, en donde debido a las colisiones entre electrones y átomos del mercurio

vaporizado, se generan radiaciones ultravioletas (253.7 nm), éstas, como ya sabemos, no están en el espectro visible de ojo humano, pero el tubo de la lámpara lleva una fina capa de material fluorescente que transforma esas radiaciones ultravioleta en luz visible, en otras palabras, la luz visible de una lámpara fluorescente es producida por la acción de la energía ultravioleta en el recubrimiento de fósforo dentro del tubo. El color de esta luz visible depende de la composición química del fósforo utilizado en el revestimiento interno del tubo, además combinando variantes de distintos fósforos se produce una amplia variedad de colores.

Estas lámparas tienen un rendimiento luminoso desde unos 70 lm/W y hasta 96 lm/W, el cual se considera bueno si lo compara con los 21 lm/W del foco casero. Como ya vimos para los focos caseros, de la energía que consumen solo un 10% se emite en forma de luz y se *desperdicia* un 90% de energía, si alguna vez cambió en su casa focos por lámparas fluorescentes y cuando “vio” la diferencia, pensó en el derroche de energía de los focos incandescentes, mejor no se entusiasme demasiado, del total de energía suministrada a una lámpara fluorescente solo el 22% se convierte en luz visible.



Las lámparas fluorescentes tienen una luminancia débil y por lo tanto no deslumbran (no lamparean), lo cual significa que puede situarse directamente en el campo visual sin perturbar o molestar la visión. Además tienen una excelente reproducción de colores y como se mencionó anteriormente variando el fósforo se obtiene una amplia gama de colores.



*Distribución de Potencia Espectral de las Lámparas Fluorescentes Estandar*

Tal vez las lámparas fluorescentes sean las lámparas de descarga en gas más conocidas por el hombre de la calle, y aunque son muy populares en las

cremerías y en oficinas, en el alumbrado público nunca ganaron terreno, de hecho, salvo en algunas poblaciones de Europa ya no se utiliza en alumbrado urbano. Por ello no abundaremos más sobre dichas lámparas, solo comentaremos que, efectivamente dan más luz que las incandescentes por cada watt que consumen, y entonces comprenderá a la perfección porqué una conocida compañía fabricante de lámparas eléctricas, publicitaba sus lamparitas fluorescentes listas para instalarse en el “socket” de los focos (esas que tienen forma circular), con la consigna de “ahorre energía, no luz”.

**LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO A BAJA PRESIÓN.-** Esta lámpara ha sido usada extensamente en Europa desde 1940 y tiene la más alta eficacia de todas las fuentes, pero tiene un espectro monocromático amarillo, el elemento productor de luz es un tubo de arco el cual tiene forma de U y es de vidrio, el tubo contiene argón y neón para ayudar al encendido de la lámpara, la presión interna del tubo es de aproximadamente  $1 \times 10^{-3}$  mm. y opera a unos 260 °C, como mencionamos, la luz producida por esta lámpara es un amarillo monocromático, la distribución espectral consiste de dos líneas a 589 nm. Debido a que no existe rendimiento de color todos los colores aparecen como diferentes tonos de gris y café excepto los objetos amarillos, podemos decir que si las primeras lámparas de mercurio tenían una mala reproducción cromática, la de las lámparas de sodio a baja presión es peor, las cosas se ven amarillas, cafés o negras.

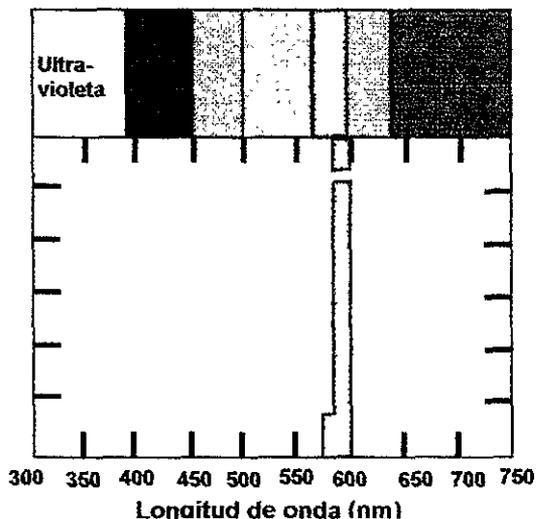
El tiempo de encendido de estas lámparas es de 9 minutos, logrando en este tiempo el 89% de su intensidad luminosa y en 15 minutos el 100%, para estas lámparas el tiempo de reencendido es muy bajo, de uno 30 segundos.

Lo usual para designar estas lámparas es el prefijo SOX, lo cual indica una lámpara de sodio a baja presión, la designación también incluye la potencia

nominal de la lámpara, por ejemplo SOX 180 (180 Watts).

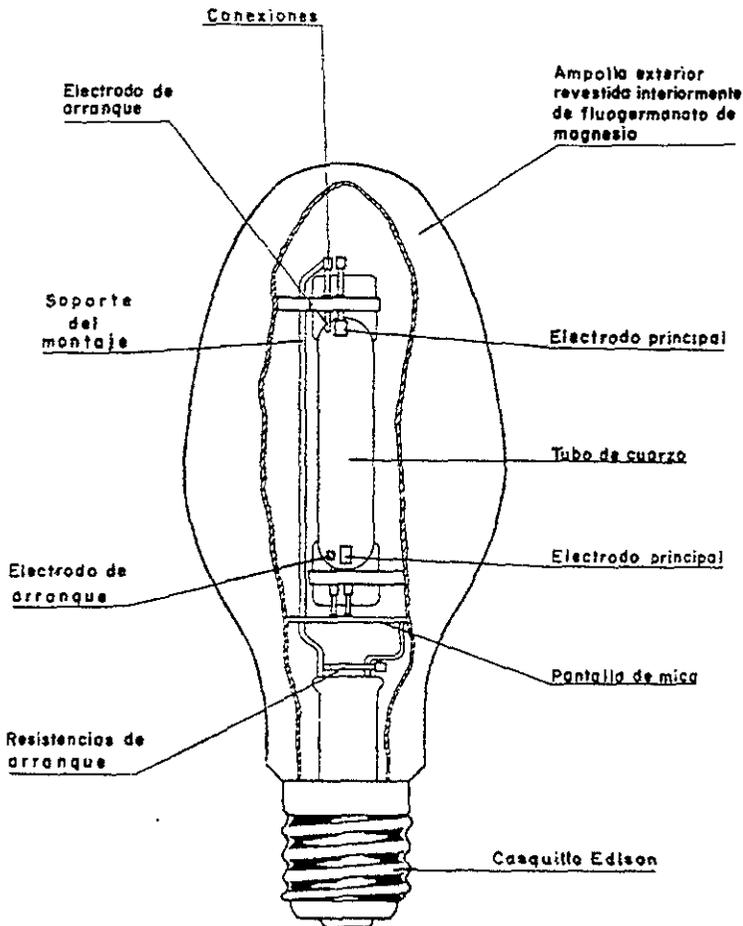
El tiempo de vida para todas las potencias es de 18'000 horas, basadas en un ciclo de encendido de 5 horas, la posición de encendido de la lámpara es crítica para la vida de ésta, ya que suele fallar debido a la migración de sodio hacia los electrodos. Esta migración causa un aumento en los Watts consumidos por la lámpara durante su vida, lo cual da como resultado que falle el electrodo. Estas lámparas suelen operar en posición horizontal.

*Distribución de Potencia Espectral para una Lámpara de Sodio Baja Presión*



# LÁMPARAS DE DESCARGA EN GAS A ALTA PRESIÓN

## 1.- LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO.



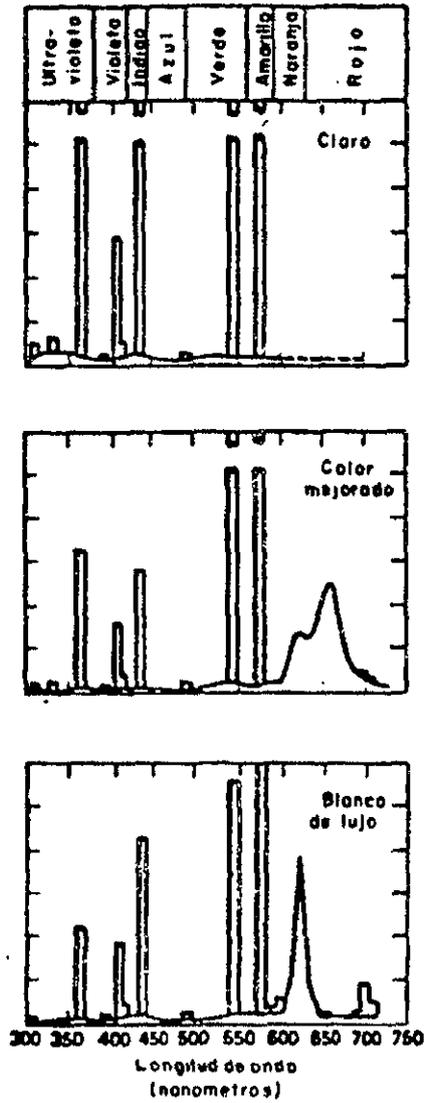
En este tipo de lámparas el elemento productor de luz es el tubo de arco el cual es de cuarzo, este tubo contiene mercurio y un poco de argón, neón y kryptón, la luz se produce de la siguiente forma: Se aplica un voltaje a los electrodos, y como la atmósfera de esta lámpara contiene vapor o gas, ese voltaje aplicado ioniza el gas y circula una corriente a través del gas, esta corriente va de un electrodo a otro. En cuanto se ioniza el mercurio disminuye la resistencia del

tubo de arco y cuando ésta es menor que la resistencia externa, el arco se establece entre los electrodos principales, el mercurio continúa ionizándose incrementando la emisión luminosa. Como todas las lámparas de descarga, necesita de un dispositivo limitador de corriente, la lámpara de mercurio requiere de un dispositivo auxiliar para su arranque y operación el cual es la balastro. Estas lámparas necesitan unos 5 minutos para alcanzar sus valores de voltaje y corriente nominales de funcionamiento, y una vez que se apagan no pueden encenderse hasta pasado un cierto tiempo de enfriamiento el cual generalmente es igual al de calentamiento. Estas lámparas gozaron de mucha popularidad debido a su alto rendimiento luminoso (para lo que había en aquellos días) y a su larga vida, amén del tamaño pequeño (como las incandescentes). Actualmente hay lámparas de vapor de mercurio de hasta 20'000 lúmenes iniciales y suele tener una vida útil de unas 16'000 horas. Para fines comparativos: una lámpara de 100 Watts suele emitir unos 4200 lúmenes. La luz emitida por este tipo de lámpara era verde-azulado por lo cual distorsionaba los colores, y salieron al mercado en 1930, con el tiempo han sido mejoradas principalmente en el espectro de luz que producen, la luz que producen es típica de las líneas de mercurio.

Para corregir el color suele aplicarse un recubrimiento de fósforo en la pared interna del bulbo exterior (los colores adicionados por el fósforo son el rojo y el naranja). Las lámparas de vapor de mercurio blancas o con recubrimiento de fósforo se recomiendan para aplicaciones donde la distinción de color es importante, de vapor de mercurio básicamente existen tres tipos de lámparas blancas:

- Color mejorado.- Muy pobre color rojo, color marginal, no se recomienda.
- Blanco de lujo (DX).- Incrementa el color rojo, buena reproducción de colores.

- Blanco cálido (WWX).- Excelentes rojos, muy buena reproducción de color, menos lúmenes.



Curvas de Distribución de Potencia Espectral  
para Lámparas de Vapor de Mercurio

La designación de estas lámparas es un tanto arbitraria, solo la H y la potencia son un tanto estándares por ejemplo: H 33 GL - 400/DX Indica:

H- Una lámpara de vapor de mercurio.

400- La potencia nominal de la lámpara 400 Watts.

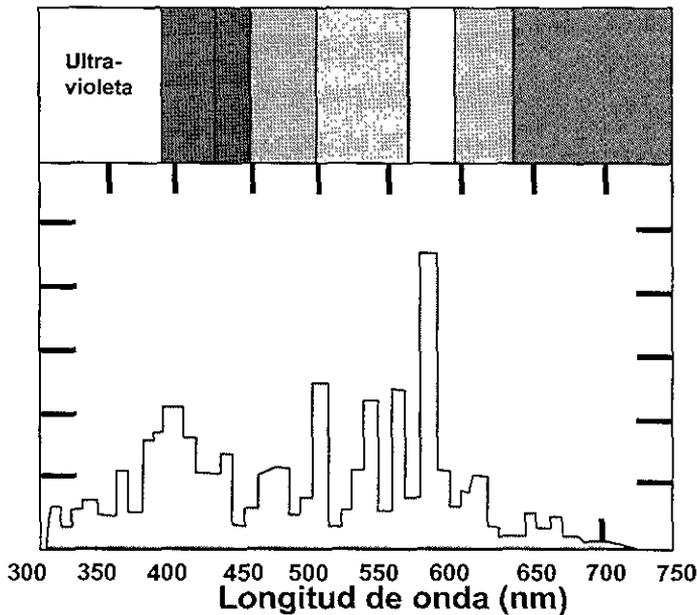
DX- Indica el color de las lámparas (blanco de lujo).

Tanto el 33 como GL aquí indican tipo de balastros y tamaño-forma, material y acabado.

La posición de arranque o encendido es vertical debido a que el electrodo de arranque debe estar siempre colocado en la parte superior de la lámpara para evitar que el mercurio se deposite en el electrodo de arranque.

Estas lámparas tienen una rápida depreciación en la salida, por ello su vida nominal se establece en base el 50% de la curva de mortandad.

**4.- LÁMPARAS DE ADITIVOS METÁLICOS.-** Estas lámparas son básicamente lámparas de mercurio a las que se les han agregado algunos (adiviné) metales en forma de yoduros en el tubo de arco, (los aditivos primarios son el mercurio, el sodio y el escandio, otros son el talio, el indio y el cesio). Estos aditivos proporcionan colores adicionales a las líneas del mercurio. y mejoran el color sin necesidad de un recubrimiento de fósforo.



*Distribución de potencia Espectral de una Lámpara de Aditivos Metálicos*

El tiempo de encendido es de unos 9 minutos con un 80% de su máxima intensidad luminosa y el tiempo de reencendido es de 10 a 15 minutos con 80% de su máxima intensidad.

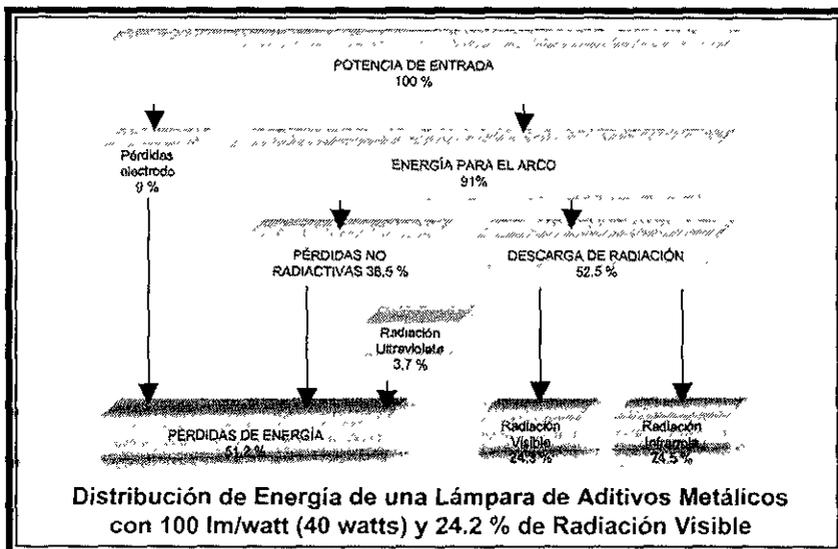
En el caso de las lámparas para posición de operación horizontal, el tubo esta arqueado y la parte curva va "hacia arriba".

La lámpara de aditivos metálicos produce energía en todas las longitudes de onda del espectro visible, por ello se dice que su energía espectral está bien

balanceada y como consecuencia tiene un buen rendimiento de color, pero la consistencia del color de una lámpara a otra es función del balastro, del voltaje aplicado y de la edad de la lámpara, así que si en el diseño es importante tener una igualdad de colores, deben hacerse planes para cambiarlas en grupo, debido al cambio de color con el tiempo.

La designación para este tipo de lámparas suele hacerse con las letras M o MH lo cual las identifica como de aditivos metálicos, se suele indicar la potencia y la posición de operación de la lámpara, por ejemplo: una lámpara MH 400 / BU indica una lámpara de aditivos metálicos de 400 Watts y con la base arriba, recuerde que estas lámparas son especialmente sensibles a la posición de encendido.

La curva de depreciación en estas lámparas es sustancialmente mejor que la curva de la lámpara de mercurio. La salida al final de la vida de una lámpara de alta potencia es de un 75%. Tienen una buena reproducción de colores, pero no son populares en el alumbrado urbano, su principal aplicación está en interiores (como en centros comerciales donde se requiere una reproducción fiel de los colores).



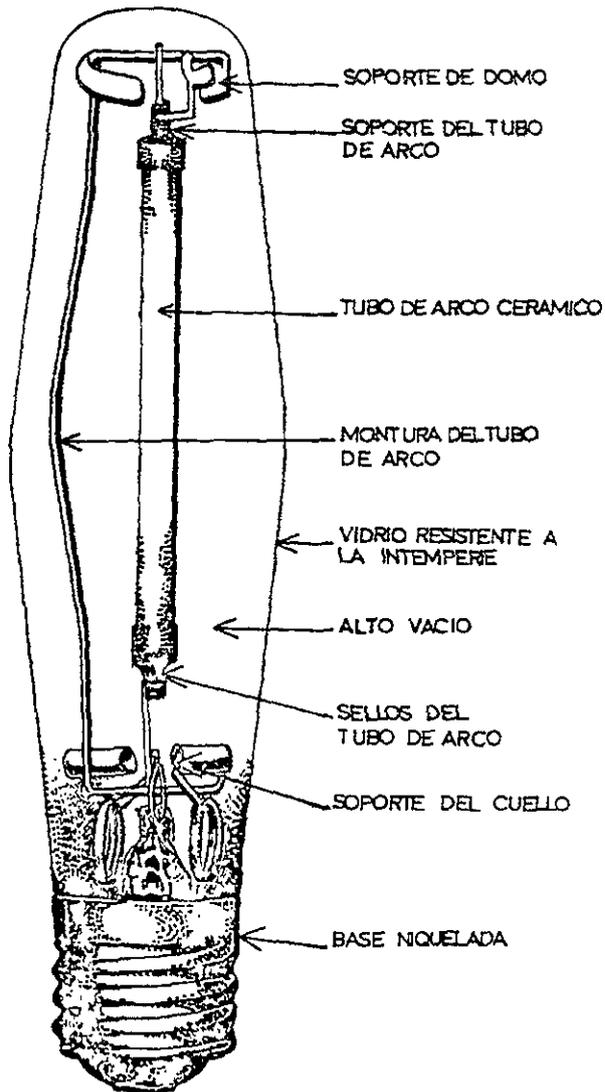
**2.- LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN.-** Hace muchos años (en 1919) un par de investigadores (A.H. COMPTON Y C.C. VOORHIS) analizaron 24 vapores y gases para ver cuales podían ser utilizados en la iluminación y concluyeron que solo el sodio (Na), el mercurio (Hg) y el neón (Ne) prometían en el desarrollo de lámparas comerciales que tuvieran mejores eficiencias luminosas que las lámparas incandescentes, los resultados que obtuvieron fueron:

Vapor de Sodio	=	214 lúmenes/watt
Vapor de Mercurio	=	126 lúmenes/watt
Vapor de Neón	=	23 lúmenes/watt

Inmediatamente se ve la elevada eficiencia del vapor de sodio, la pregunta obligada es porqué. Bueno, algunos años más tarde, otro investigador (Druyvesteyn) encontró que más del 87% de la energía total eléctrica alimentada aparecía en las líneas amarillas del sodio (estas son llamadas líneas D), estas líneas están en una región del espectro a la cual el ojo es sensible, la eficiencia luminosa de esas **líneas** es de aproximadamente ¡455 lúmenes/watt!, aunque tal valor no puede esperarse en una lámpara práctica demuestra que un buena eficiencia debe ser fácilmente obtenible en la práctica.

Como ya se mencionó, la mayor ventaja de las lámparas de vapor de sodio a baja presión fue la alta eficiencia luminosa debida a las líneas de emisión amarilla, pero (nada es gratis) esto incluía una muy baja reproducción de color. Para las lámparas de vapor de sodio a alta presión, la descarga inicial se produce en un gas de los llamados raros (xenón), esto evapora parcialmente el sodio, después, se continúa con la descarga en el vapor de sodio, y cuando se estabiliza emite una luz color oro o amarillo (debido al sodio).

La principal característica que diferencia a los dos tipos de lámparas de sodio es que la de sodio a baja presión proporciona una luz netamente amarilla, en



CONSTITUCION DE UNA LAMPARA DE VAPOR DE SODIO ALTA PRESION.

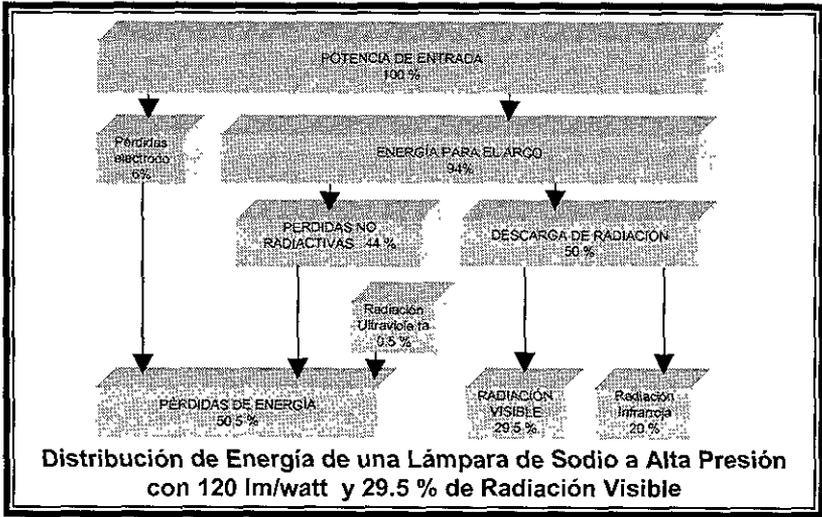
cambio en la de sodio a alta presión se obtiene un espectro mas continuo de cuya composición resulta un color blanco-dorado, el principal problema de este tipo de lámparas de vapor de sodio a alta presión es el contenedor, para

pocos minutos para encender, y son las más utilizadas en alumbrado urbano debido a su altísimo rendimiento, acaso alguien piense en las desventajas de este tipo de lámpara, pero analizándolas tal vez carezcan de importancia, por ejemplo:

*Tardan mucho en encender, (entre 3 minutos y 5 minutos).*- En la calle y gracias a un mecanismo activado por fotocelda, estas lámparas se encienden cuando comienza a oscurecer, ahora bien, dado que no oscurece instantáneamente y aunando a esto el hecho de que están en la vía pública, como que no importa mucho que no enciendan instantáneamente, a fin de cuentas su utilidad es cuando ya está realmente oscuro.

*No reproducen fielmente los colores.*- Recordando que estamos analizando el alumbrado urbano, ¿realmente se necesita distinguir los colores tal como son? Por ejemplo, si usted va conduciendo por una avenida y se le atraviesa un perro, no le interesa de que color es el perro, sino ver o distinguir al perro, por otra parte, si usted recuerda las señales viales de peligro o de precaución son amarillas y la idea de asociar el uso de lámparas de sodio (de luz amarilla) a las precauciones que debe haber en zonas peligrosas como cruces ferroviarios o intersecciones viales importantes prevaleció para aceptar esta fuente de luz.

Podemos resumir que la lámpara de vapor de sodio a alta presión suele tener un promedio de vida de hasta 20'000 horas dependiendo de la potencia y del fabricante, es la de mejor rendimiento proporcionando hasta 140 lúmenes por watt, tiene una baja luminancia, y debido a su altísimo rendimiento, se le prefiere en vialidades debido a que en éstas no se precisa distinción de colores sino percepción de objetos.



Podemos resumir algunas de las características más importantes de las lámparas que son más populares.

### ***Lámparas Incandescentes.***

#### **Ventajas**

Tamaño Compacto.

Bajo Costo Inicial.

Inafectable por la temperatura circundante.

No requiere Accesorios para su arranque.

Puede operar con corriente alterna o con corriente directa.

Excelente reproducción de colores, color cálido que da a los objetos un aspecto familiar.

Pueden operar en cualquier posición.

#### **Desventajas**

Baja eficiencia (cuando mucho 21 lm/watt).

Vida útil corta (usualmente 1000 horas).

### ***LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO***

#### **Ventajas**

Alta eficiencia luminosa (63 lúmenes/watt).

Regular reproducción de colores.

Vida útil larga.

Tamaño compacto.

Flujo luminoso inalterable por cambio de temperatura.

### **Desventajas**

No enciende instantáneamente.

Necesita un dispositivo auxiliar para su arranque.

Requiere varios minutos para lograr su máxima emisión luminosa.

Si se ha apagado requiere de 3-5 minutos para enfriarse y volver a emitir su máximo flujo luminoso.

## **LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN**

### **Ventajas**

Muy alta eficiencia luminosa (hasta 140 lúmenes/watt).

Vida útil larga.

Breve tiempo de reencendido en caliente (alrededor de 1 minuto).

### **Desventajas**

No enciende instantáneamente.

Necesita un dispositivo auxiliar para su arranque.

Mala reproducción de colores.

## **LÁMPARAS FLUORESCENTES**

### **Ventajas**

Alta eficiencia luminosa (hasta 96 lúmenes/watt).

Excelente reproducción de colores.

Vida útil más o menos larga.

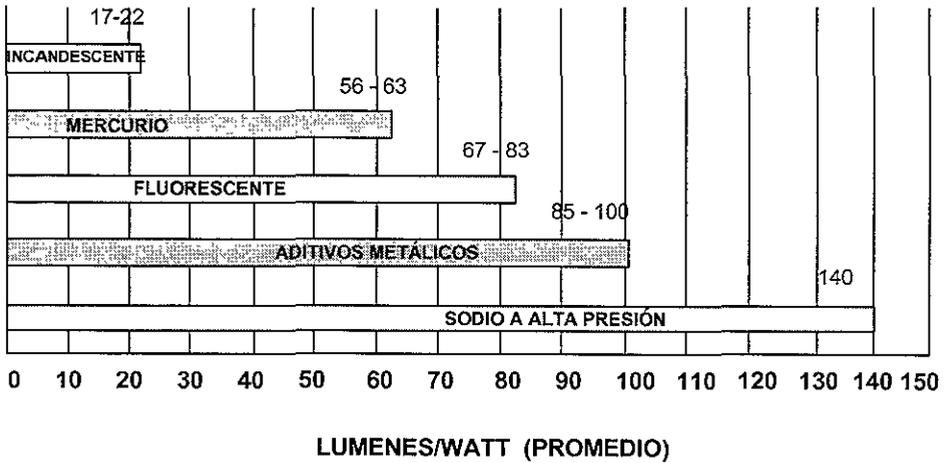
Variando el tipo de fósforo se logran diferentes colores de luz.

### **Desventajas**

Gran tamaño físico en relación con la potencia (una de 40 W mide 1.2 m).

Requieren un dispositivo auxiliar para su operación.  
 Gran reducción de su flujo luminoso a bajas temperaturas.

Gráfica comparativa de eficiencia entre los diferentes tipos de lámparas



Recuerde que los valores son promedios, las lámparas de ciertos fabricantes pueden fácilmente exceder los valores promedio de la gráfica anterior.

## **CLASIFICACION DE VIALIDADES.**

Las tablas proporcionadas en este capítulo son niveles de iluminación mínimos recomendados, entendiéndose que se tiene el mínimo nivel de iluminación cuando se va a cambiar la lámpara, pues en ese momento es cuando casi ha llegado al final de su vida útil y es cuando más sucio está el luminario. El nivel de luminancia o iluminancia requerido en una vialidad se debe seleccionar de acuerdo a la clasificación de la misma, en cuanto a su uso y tipo de zona en la cual se encuentra localizada.

De acuerdo a la NOM, las vías públicas se clasifican de la siguiente manera:

**I.- AUTOPISTA.-** Vialidad con control total de acceso sin cruces a nivel independientemente si se paga o no peaje (cuota)

**II.- CARRETERA.-** Vialidad que interconecta dos poblaciones, con cruces a nivel, independientemente si se paga o no peaje.

**III.- VIAS PRIMARIAS.-** Corresponden a la parte del sistema vial que sirve como red principal del flujo de tráfico

a) *VIAS DE ACCESO CONTROLADO*

- 1) Anular o periférica.
- 2) Radial
- 3) Viaducto

b) *VIAS PRINCIPALES*

- 1) Eje vial
- 2) Avenida
- 3) Paseo

4) Calzada

5) Bulevar

**IV.- VIAS SECUNDARIAS.-** Vialidades usadas fundamentalmente para acceso directo a zonas residenciales, comerciales, industriales y casas de campo. Caminos locales de gran longitud generalmente divididos en cortas secciones por el sistema de vías de tráfico intenso.

- a) Calle colectora, b) Calle local ya sea: 1) residencial, 2) Industria.
- c) Callejón, d) Callejuela, e) Rinconada, f) Cerrada, g) Privada,
- h) Terracería, i) Calle peatonal, j) Pasaje, k) Andador.

**VI.- AREAS DE TRANSFERENCIA.-** Particularmente nos interesa su clasificación:

- I) Comercial.- Area de negocios en una población o ciudad donde generalmente existe una gran cantidad de peatones durante las horas de la noche.
- II) Intermedia.- Estas áreas se caracterizan por un tráfico moderado de peatones durante la noche.
- III) Residencial.- Un desarrollo residencial o una mezcla de residencias y pequeños establecimientos comerciales.
- IV) Uso específico.- Tales como áreas de oficina, clubes deportivos o parques industriales.

Cuando consulte las tablas de la NOM, no siempre espere encontrar "eje vial" o "callejón", en lugar de ello, busque que clasificación le corresponde al tipo de vialidad que tiene y entonces utilice las tablas, por ejemplo, si tiene un eje vial, según la NOM se clasifica como **vía principal**, entonces en las tablas de la NOM encontrará los niveles recomendados para vías principales.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Sin embargo, en las tablas donde la clasificación se da en función del tráfico de vehículos o de la zona donde se encuentra la vialidad, suele ejemplificarse el tipo de vialidad.

La siguiente tabla es la clasificación de las superficies de la vialidad de la NOM:

Clase	$Q_0$	Descripción	Tipo de reflectancia
R <sub>1</sub>	0.10	Superficie de concreto cemento portland, superficie de asfalto difuso con un mínimo de 15% de agregados brillantes	Casi difuso
R <sub>2</sub>	0.07	Superficie de asfalto con un agregado compuesto de un mínimo de 60% de grava. (Tamaño mayor de 10 mm) Superficie de asfalto con 10 al 15% abri-llantador artificial en la mezcla agregada	Mezclado (difuso y especular)
R <sub>3</sub>	0.07	Superficie de asfalto (regular y recubrimiento sellado) con agregados oscuros (roca, roca volcánica); textura rugosa después de algunos meses de uso. (Típico de autopistas).	Ligeramente especular
R <sub>4</sub>	0.08	Superficie de asfalto con textura muy tersa.	Muy especular.

TABLA 1

Nota:  $Q_0$ . Representa el coeficiente de luminancia media.

De acuerdo al *American National Standard Practice for Roadway Lighting*, se recomienda la siguiente clasificación para una iluminación horizontal promedio:

VALORES EN LUXES	TIPO DE ZONA		
	Comercial	Intermedia	Residencial
Tipo de Arteria			
Vías principales	22	15	11
Vías de tráfico Intenso (colectores)	13	10	6
Vías de tráfico mediano (locales)	10	6	4
Vías de tráfico Ligero (callejones)	6	4	4

TABLA 2

Por otra parte, de acuerdo al tipo de carpeta de asfalto empleada en la construcción de la arteria y en términos más generales se proporciona la siguiente tabla de los niveles adecuados de iluminación:

Niveles de iluminación recomendados de acuerdo al tipo de carpeta de asfalto empleada en la construcción de la arteria

	CARPETA OSCURA	CARPETA CLARA
Complejos viales a varios niveles, de gran circulación. Plazas Importantes	50 LUX	25 LUX
Vías urbanas de tráfico importante y velocidad limitada	30 LUX	15 LUX
Vías Residenciales	20 LUX	10 LUX

TABLA 3

VALORES MÍNIMOS MANTENIDOS DE ILUMINANCIA ( $E_{pro}$ ) en Lux.- La siguiente tabla muestra como se clasifican los niveles de iluminación mínimos para los diferentes tipos de vialidades de acuerdo a la NOM.

Clasificación de vialidades		Clasificación del pavimento			Uniformidad iluminación ( $E_{pro}$ a $E_{min}$ )
		$R_1$	$R_2$ y $R_3$	$R_4$	
Autopistas y carreteras		4	6	5	3 a 1
Vías de acceso controlado en zona (circuitos, Periférico)	Comercial	10	14	13	
	Intermedia	8	12	10	3 a 1
	Residencial	6	9	8	
Vías principales (Ejes Viales Bulevares)	Comercial	8	12	10	
	Intermedia	6	9	8	4 a 1
	Residencial	4	6	5	
Vías secundarias (Calles de menor importancia)	Comercial	6	9	8	
	Intermedia	5	7	6	6 a 1
	Residencial	3	4	4	

TABLA 4

Nota: Esta tabla no se aplica para sistemas de iluminación con superpostes.

Como habrá observado, esta tabla difiere sensiblemente de la tabla propuesta por el American National Standard Practice for Roadway Lighting, los valores de la tabla NOM son niveles mínimos.

En la siguiente tabla del "American National Standard Practice for Roadway Lighting", se presentan los siguientes valores de luminancia promedios mantenidos sobre superficies horizontales

CLASIFICACION DE ARTERIAS	FOOTLAMBERTS	CANDELAS/M <sup>2</sup>
Vías principales a autopistas	0.15 A 0.60	0.51 A 2.1
Vías colectoras	0.10 A 0.45	0.34 A 1.54
Vías locales	0.15 A 0.30	0.17 A 1.03

TABLA 5

Para los diseños con superpostes, se presenta la siguiente tabla:

**TABLA DE NIVELES DE DISEÑO MÍNIMOS MANTENIDOS DE ILUMINANCIA  
PARA INSTALACIONES CON SUPERPOSTES**

Clasificación de vialidades	Iluminancia horizontal		(E <sub>pro</sub> ) en Lux
	Área comercial	Área intermedia	Área residencial
Autopistas y carreteras	6	6	6
Vías de acceso controlado	10	8	6
Vías principales	12	9	6
Vías secundarias	8	6	6

TABLA 5

Como se observa, en las instalaciones con superpostes no se toma en cuenta el tipo de pavimento.

## CRITERIOS PARA LA ILUMINACIÓN DE VIALIDADES

Un recuento de lo que hemos estudiado hasta ahora podría ser así: primero conocimos un poco sobre el origen de la iluminación artificial y como fue evolucionando el alumbrado urbano desde sus inicios con velas dentro de faroles hasta las lámparas de alta intensidad de descarga, también estudiamos porqué era necesario tener alumbrado público, y tuvimos la oportunidad de conocer algunos conceptos teóricos sobre la luz, posteriormente analizamos los diferentes tipos de lámparas eléctricas disponibles para el alumbrado que han sido o que son las más populares, además hemos estudiado algunos términos empleados en iluminación que nos servirán de base para comprender conceptos más técnicos sin mucha dificultad.

Este capítulo es el tema central de la obra y de paso da nombre a este trabajo, consiste en aplicar el conjunto de conceptos, normas y clasificaciones, que sirven para formarse un criterio al diseñar la iluminación de una vialidad. Conforme avance en la lectura se dará cuenta de que existen modelos o patrones a seguir para determinado tipo de áreas a iluminar. Debido a que existen clasificaciones, se tiende a “encasillar” los tipos de problemas:

*(-“Cuando se tiene este tipo de vialidad se hace así”-)*, pero por un momento piense en que si no fuera así no existirían clasificaciones o estándares, no tiene caso *reinventar la rueda*; si un modelo o un criterio ha sido y es aceptado, es porque funciona, porque satisface una necesidad cumpliendo una serie de requisitos y superando a otras opciones; por ello, una vez que un tipo de área se identifica dentro de una clasificación, entonces se aplica un método de solución.

Las áreas exteriores pueden ser iluminadas con luminarias para caminos, para

áreas abiertas o de poste elevado<sup>1</sup>, así como con proyectores. En general podemos decir que las luminarias para caminos, áreas abiertas o de poste elevado están diseñadas para ser instaladas en una posición paralela al piso, la luz que emiten cae debajo de ellas, y aunque las luminarias de poste elevado también tienen una posición fija, el conjunto óptico en su interior puede rotarse para cambiar la orientación del patrón luminoso, aún así la luz también cae debajo del luminario, en cambio los proyectores pueden apuntarse a voluntad, nosotros estamos interesados en las luminarias para caminos.

En primer lugar necesitamos conocer algunos conceptos más para entender el lenguaje de la iluminación. A continuación se presentan algunos de ellos y se dejan para más adelante aquellos que se comprenden mejor al ser introducidos *sobre la marcha*. Tal vez algunos conceptos le parezcan son demasiado intuitivos como para requerir definición o explicación (como el de *lado-casa* para indicar que se trata del lado donde están las casas), pero debido a que son los términos realmente usados deben ser definidos.

En la siguiente figura se tiene una vista de un luminario que sobresale del poste sobre el arroyo. Como se aprecia, el *lado-casa* es la parte que está hacia las casas (hacia atrás de luminario), mientras que el *lado-calle* es el lado que está sobre el arroyo. A la distancia vertical que hay desde la superficie del pavimento hasta donde está colocado el luminario se conoce como altura de montaje.

---

<sup>1</sup> Poste elevado, alto montaje o superposte. No hay consenso general para decir a partir de cuantos metros de altura se considera alto montaje, lo común es designar como tal a aquellos postes que cuentan con aditamentos para bajar las luminarias, no obstante, la Norma Oficial Mexicana considera como superposte a aquel cuya altura de montaje es mayor a 20 metros.

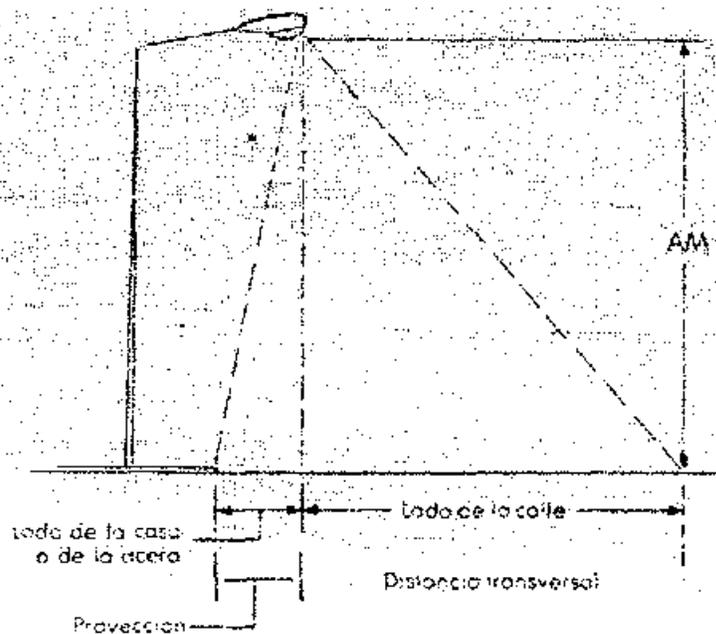


Figura 1

Observe también que el *lado-casa* se considera desde el punto en el suelo directamente debajo del luminario, hacia las casas; mientras que el *lado-calle* es la distancia que hay desde el punto en el suelo directamente debajo del luminario, hasta la acera de enfrente. Si el punto directamente debajo del luminario está sobre la acera, el *lado-casa* es igual a cero y entonces el *lado-calle* es igual al ancho de la calle, pero como se observa en la figura, no siempre y no necesariamente el *lado-calle* es igual al ancho de la calle.

Algo que ocuparemos mucho es la hoja de datos fotométricos, en esta hoja el fabricante proporciona información técnica sobre el luminario como la curva isolux, la curva de utilización, lúmenes y potencia de la lámpara, tipo de curva y otros datos que veremos más adelante.

Todos los datos fotométricos se basan en la orientación del luminario. La

siguiente figura es muy importante porque permite comprender como se definen los ángulos alrededor de un luminario, lo mejor es que conforme va leyendo el siguiente párrafo vaya observando la figura para captar los conceptos relacionados a los ángulos.

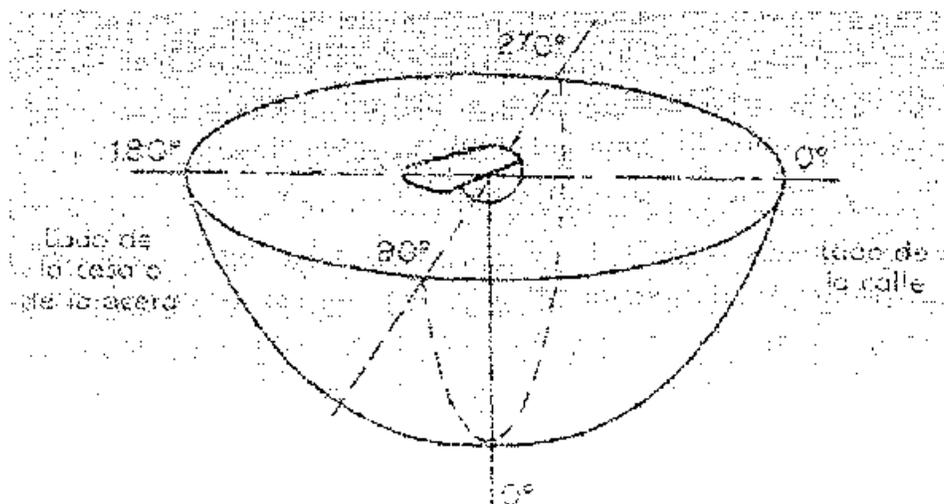


Figura 2

En primer lugar observe que hay dos puntos marcados con cero grados. El punto cero grados *laterales* está directamente enfrente del luminario, mientras que el punto cero grados *verticales* se encuentra debajo de él, este punto es el nadir del luminario. La región  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ - $270^{\circ}$  se dice que ilumina el lado de las casas. Por otra parte decimos que la región  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $270^{\circ}$  *laterales* ilumina el lado de la calle ya que esta luz normalmente es dirigida sobre la calle o el camino. Si el luminario está ubicado sobre el arroyo entonces parte de la luz del *lado-casa* estará dirigida hacia la calle, según se vió en la figura 1.

#### **CLASIFICACIÓN DE DISTRIBUCIONES DE ILUMINACIÓN DE VIALIDADES.-**

El siguiente paso es clasificar los luminarios basándose en la distribución de la luz que emiten. Debido a que la distribución del flujo luminoso de los luminarios es uno de los factores esenciales en una eficiente iluminación de vialidades se

deben conocer estas clasificaciones de distribución. La clasificación de la distribución de luz se basa en las curvas de isocandelas y tanto en el *American Standard Practice for Roadway Lighting*, patrocinado por la *Illuminating Engineering Society of North America (IES)*, como en la *Norma Oficial Mexicana* se definen los criterios que se utilizan para la clasificación de las luminarias para caminos, áreas abiertas y de poste elevado, hay tres criterios generales utilizados para describir la distribución de luz:

- 1.- Distribución de la luz vertical.
- 2.- Distribución de la luz lateral.
- 3.- Control de la distribución de la luz sobre la potencia luminosa máxima.

#### **DISTRIBUCION DE LA LUZ VERTICAL.-**

Las luminarias se clasifican como de distribución corta, mediana o larga dependiendo si su máxima potencia luminosa cae a corta, mediana o a gran distancia de ellas. Pero, ¿Cuándo se tiene una distancia corta, mediana o larga?, Preste atención a la siguiente figura en donde se tiene un luminario sobre un camino y se muestran tanto las Líneas Transversales del Camino (LTC) como las Líneas Longitudinales del Camino (LLC de norte a sur en la figura), todas las líneas se muestran como múltiplos de la altura de montaje (AM) del luminario.

Podemos Observar que:

**DISTRIBUCION CORTA.-** La máxima potencia luminosa del luminario cae entre la zona delimitada por una LTC de 1 AM a una LTC de 2.25 AM, esto equivale a la distancia que hay entre los ángulos 45° a 66° verticales.

**DISTRIBUCION MEDIANA.-** La máxima potencia luminosa del luminario cae entre la zona delimitada por una LTC de 2.25 AM a una LTC de 3.75 AM, esto equivale a la distancia que hay entre los ángulos de 66° a 75° verticales.

**DISTRIBUCIÓN LARGA.**- La máxima potencia luminosa del luminario cae entre la zona delimitada por una LTC de 3.75 AM a una LTC de 6 AM, esto equivale a la distancia que hay entre los ángulos de 75° a 80 ° verticales.

DIAGRAMA MOSTRANDO LA PROYECCIÓN DE LA POTENCIA MÁXIMA Y LA CURVA ISOCANDELA DE LA MITAD DE LA POTENCIA MÁXIMA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE LUMEN.

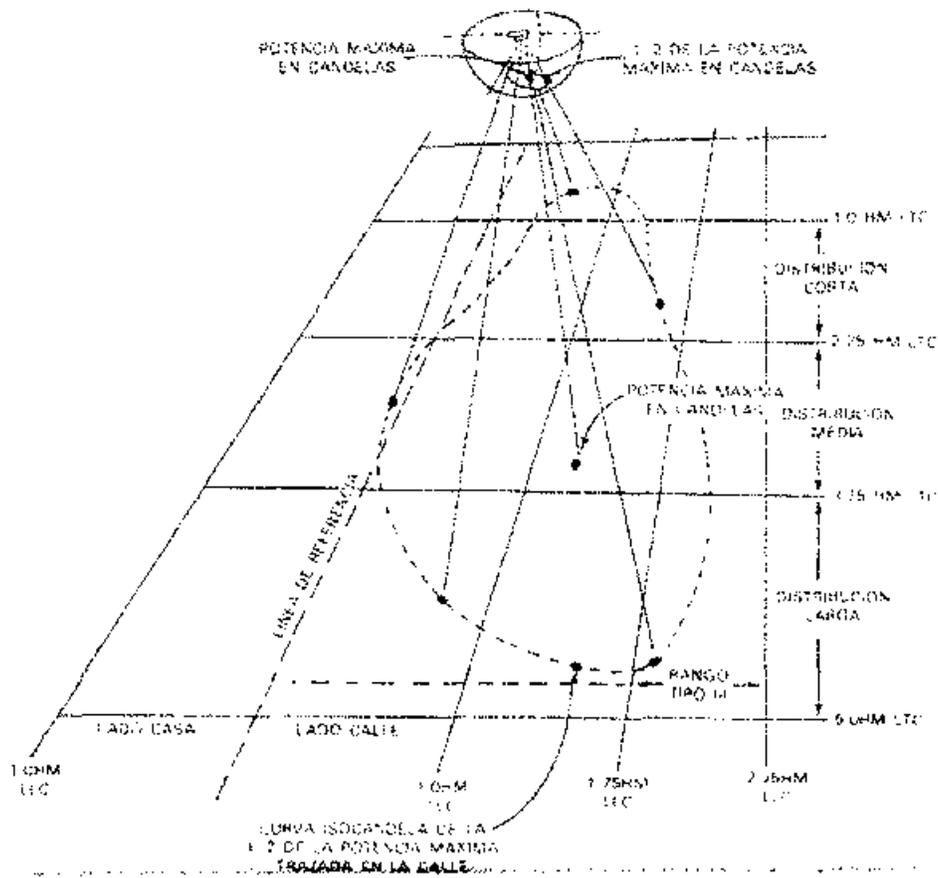
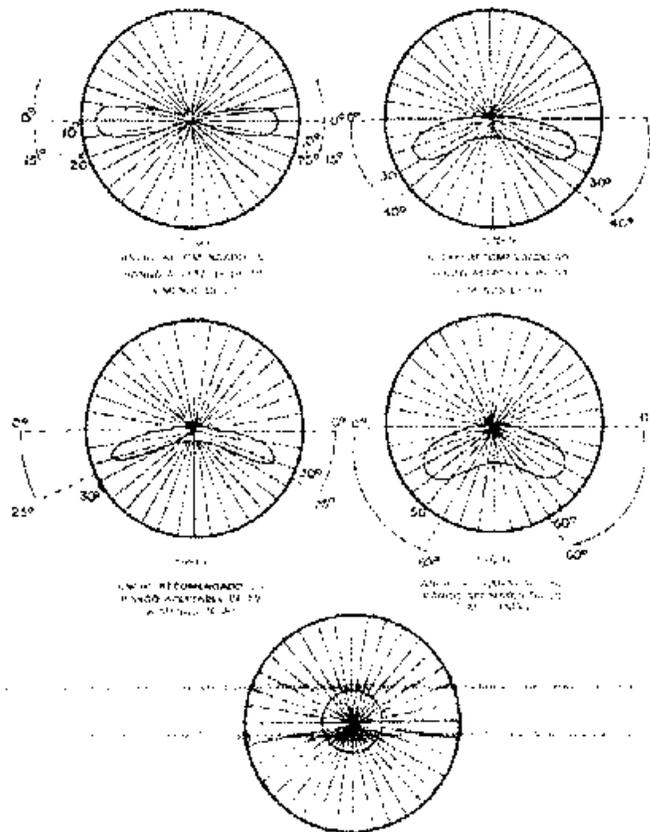


Figura 3

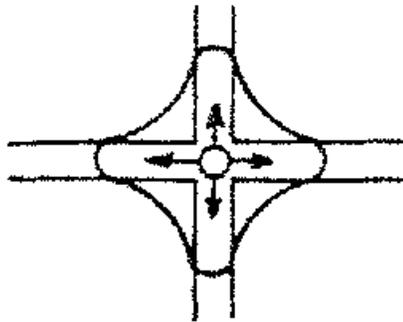
**DISTRIBUCION DE LUZ LATERAL.-** Para esta distribución las luminarias se clasifican como del tipo I, II, III, IV, V. (también suelen agregarse I 4-vías y II 4-vías). Esta distribución está indicada en los datos fotométricos que proporcionan los fabricantes y señala la forma aproximada del haz del luminario, también indica hasta qué parte del camino o área será emitida la luz, se determina de acuerdo a la localización de la mitad de la línea de máxima candela en el diagrama isocandela y su posición relativa a la línea especificada longitudinal a la calle. Esta clasificación no se aplica para el tipo de curva V, en la figura se pueden apreciar los diversos tipos de curvas:

**CLASIFICACION TIPO NEMA  
DE LUMINARIOS DE ALUMBRADO PUBLICO**

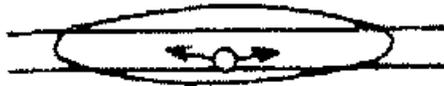




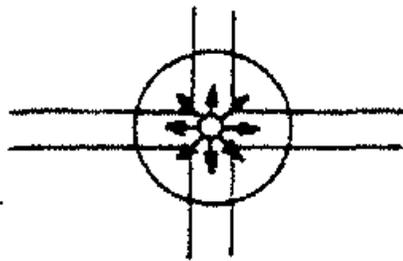
(A) Tipo I



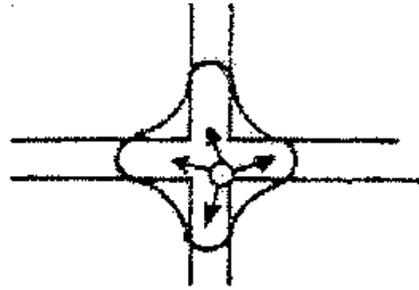
(B) Tipo I-4-Vias



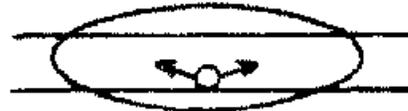
(D) Tipo II



(G) Tipo V



(C) Tipo II-4-Vias



(E) Tipo III



(F) Tipo IV

**CONTROL DE LA DISTRIBUCION DE LA LUZ.**- También conocido como *Control Vertical de la Distribución de Luz*, para este tipo de distribución se tienen las siguientes clasificaciones:

**CUTOFF (Bloqueada).**- Se designa como cutoff a la distribución de luz de un luminario cuando la potencia en candelas no excede 25 candelas por cada 1000 lúmenes emitidos por la lámpara por encima de un ángulo de  $90^\circ$  sobre el nadir y no más de 100 candelas por cada 100 lúmenes de la lámpara por encima de los  $80^\circ$  en ángulo vertical sobre el nadir. Estos criterios se aplican a cualquier ángulo lateral alrededor del luminario, y ambos deben satisfacerse para que un luminario pueda clasificarse como cutoff (bloqueada).

**SEMICUTOFF (Semibloqueada).**- No más de 50 candelas por cada 1000 lúmenes emitidos por la lámpara por encima de un ángulo de  $90^\circ$  sobre el nadir (horizontal) y no más de 200 candelas por cada 1000 lúmenes emitidos por la lámpara sobre los  $80^\circ$  en ángulo vertical sobre el nadir. Esto se aplica a cualquier ángulo lateral alrededor del luminario.

**NONCUTOFF (No Bloqueada).**- No hay limitación de la potencia en candelas en ningún ángulo.

Estas clasificaciones son importantes ya que mientras más candelas son emitidas a ángulos elevados, más brillante parecerá el luminario. En algunos casos es conveniente que toda la luz sea bloqueada a los  $90^\circ$  a fin de que el luminario tenga una brillantez cercana a cero en distancias mayores a 10 veces la altura de montaje.

En general existen 3 formatos para la disposición de los luminarios en vialidades:

UNILATERAL

TREBOLILLO

BILATERAL U OPUESTO

Ahora hace falta conocer un poco la forma en que se presentan los datos fotométricos (fotometría es la ciencia de la medición de la luz). La información que normalmente proporcionan los fabricantes incluye entre otras cosas: nombre del fabricante, número de catálogo del luminario, dimensiones físicas, etc., pero los datos que realmente nos interesan son:

a) Lúmenes iniciales.



**UNILATERAL**



**TREBOLILLO**



**BILATERAL PAREADO**



- b) Potencia de la lámpara.
- c) Diagrama isolux (o isofootcandles, dependiendo de las unidades empleadas).
- d) Curvas de utilización.
- e) Factores de conversión para diferentes alturas de montaje.
- f) Valores de flujo de luz.

Nota: Algunas veces los niveles de iluminación se presentan también en forma tabular con números los cuales indican la iluminación en footcandles, o en luxes (para convertir de footcandles a luxes se multiplica por 10.76), lo usual es que estos números sean niveles de iluminación por cada 1000 lúmenes de la lámpara en varios puntos del área iluminada. Aunque estos datos se presentan como si el área a iluminar fuera una calle, se aplican a cualquier área exterior, los datos se presentan solo para un lado del haz del luminario debido que los valores son casi iguales de izquierda a derecha y están promediados para obtener la iluminación producida por un lado.

**CURVA ISOCANDELA.-** Es una curva fotométrica, generalmente en coordenadas polares, que representa la intensidad luminosa en un plano que pasa por el eje de la fuente, en función del ángulo formado con el vector de la intensidad con una dirección dada.

**CURVA ISOLUX.-** Lugar geométrico de los puntos de una superficie que tienen iguales niveles de iluminación.

**CURVA DE UTILIZACION.-** Esta gráfica indica que parte de la luz está dirigida hacia el *lado-casa* y que parte de luz se dirige hacia el *lado-calle*, La información en esta gráfica muestra que porcentaje de los lúmenes de la lámpara llega la superficie del camino a diferentes distancias transversales, las

cuales están dadas como múltiplos de la altura de montaje

Ya solo faltan por definir algunos factores; los factores de pérdida de luz se refieren a cómo con el tiempo disminuye la cantidad de luz que recibe la superficie de un camino. Conforme una lámpara va envejeciendo, va menguando la cantidad de luz que emite, siendo esto más notorio al final del ciclo de vida de la lámpara. De allí que se hable de los lúmenes iniciales:

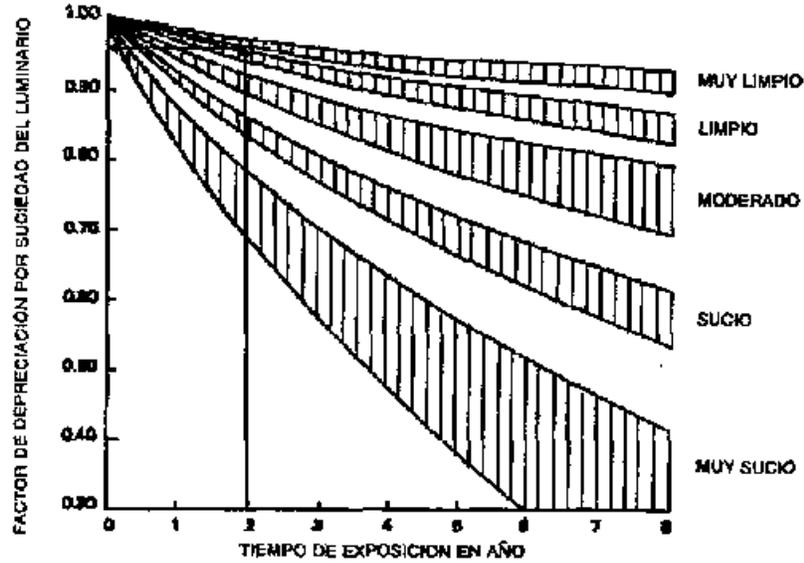
**Lúmenes Iniciales.**- Los cuales se refieren a los lúmenes que emite la lámpara después de unas horas de envejecimiento especificadas, prácticamente cuando está nueva.

**Factor de Depreciación.**- Es la relación entre la iluminación que proporciona una instalación después de un período de uso y la iluminación que proporcionaba cuando estaba nueva, en forma de ecuación se vería así:

$$\text{Factor de depreciación} = \frac{\text{Nivel de iluminación de instalación después de un período de uso}}{\text{Nivel de iluminación de la instalación cuando estaba nueva}}$$

Durante el tiempo de operación de la lámpara, el luminario va acumulando polvo y suciedad, esto actúa como una pantalla opaca que obstruye la salida de luz. Existe una gráfica en la cual se puede calcular la pérdida de luz por suciedad (LDD por sus siglas en inglés, *Light Dirt Depreciation*). En esa gráfica, se tiene en uno de los ejes el ciclo de mantenimiento (en años), el tiempo de exposición en años es el ciclo de mantenimiento. En el otro eje se tiene el factor de depreciación, para obtener dicho factor, se marca el ciclo de mantenimiento en el eje de años y se traza una línea hasta la región del ambiente en el que opera el luminario, y desde ese punto se traza una línea hacia el eje del factor de depreciación y se lee el valor, así de simple. En la gráfica de ejemplo (ver la siguiente página) se tiene un ciclo de mantenimiento de 2 años en un ambiente limpio, se trazan las líneas mencionadas y se obtiene un factor de depreciación por suciedad de 0.92.

**GRÁFICAS PARA ESTIMAR LOS FACTORES DE DEPRECIACION POR SUCIEDAD EN LOS LUMINARIOS DE ALUMBRADO PUBLICO PARA UNIDADES CERRADAS Y CON EMPAQUE**



SELECCIONE LA CURVA APROPIADA DE ACUERDO CON EL TIPO DE AMBIENTE

MUY LIMPIO

Que no existan actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía y un bajo nivel de contaminación ambiental, tráfico ligero generalmente limitado a áreas residenciales o rurales, el nivel de partículas ambientales no es mayor de 150 microgramos por m<sup>3</sup>.

LIMPIO

Que no existan actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía, tráfico moderado o pesado, el nivel de partículas ambientales no es mayor de 300 microgramos por m<sup>3</sup>.

MODERADO

Moderada actividad generadora de polvo y humos en la cercanía, el nivel de partículas no es mayor de 600 m<sup>3</sup>.

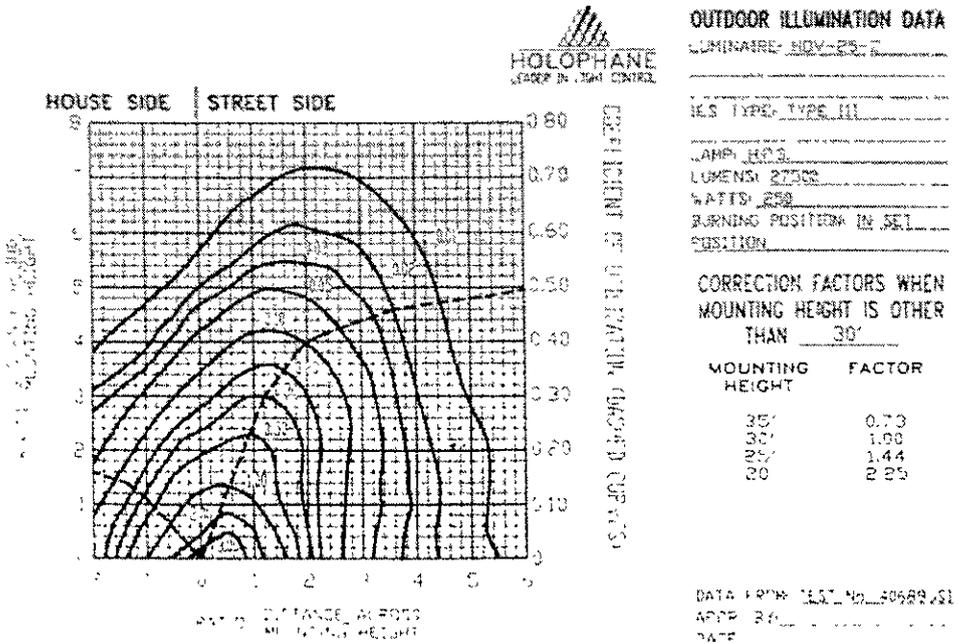
SUCIO

Humo y polvo generados en actividades en la cercanía pueden ocasionalmente envolver.

MUY SUCIO

Como el inciso anterior pero los luminarios están envueltos en humo.

Si siente que ya fue mucho de conceptos, clasificaciones y normas, ahora tendrá oportunidad de poner a prueba lo hasta ahora explicado, presentaremos la hoja de datos fotométricos de un luminario y conforme se vayan enunciando las características del luminario observará que de los datos principales ninguno le será desconocido. En la siguiente figura se tienen los datos fotométricos para un luminario:



En primer lugar notamos que se trata de una lámpara de sodio de alta presión, (H.P.S *High Pressure Sodium* por sus siglas en inglés), de 250 Watts y con 27'500 lúmenes y con distribución de luz lateral tipo III (ver página xx), la altura de montaje es de 30 pies (unos 10 metros) y podemos apreciar con líneas continuas las curvas isolux, también aparecen, pero con líneas de guiones las curvas de utilización para el *lado-casa* y *lado-calle*.

Las directrices para el diseño de la iluminación en una vialidad pudieran ser:

- 1.- Definir la clasificación de la vialidad a iluminar. Aquí se debe conocer su ubicación y que tipo de vialidades (carretera, eje vial, etc.)
- 2.- Calidad de iluminación.- Consideración de los factores de brillantez y deslumbramiento.
- 3.- Cantidad de iluminación requerida.- Basándose en recomendaciones establecidas por la I.E.S.(Illuminating Engineering Society) o NOM (Norma Oficial Mexicana).
- 4.- Descripción del área.- Es decir, las características físicas como el ancho del arroyo, banqueta, curvatura y obstrucciones.
- 5.- Condiciones atmosféricas.- Un análisis del medio ambiente en el cual va a operar el sistema de iluminación.
- 6.- Selección del luminario.- Para seleccionar el luminario deben considerarse simultáneamente varios factores, entre ellos:
  - Dimensiones y tipo de vialidad.
  - Localización. En qué tipo de zona va a operar el sistema de alumbrado.
  - Condiciones atmosféricas.
  - Altura de montaje.
  - Depreciación por polvo.
  - Fuente luminosa.
  - Consideraciones de mantenimiento.
  - Apariencia.
  - Facilidad de montaje.
  - Vandalismo.

Una vez que los hechos anteriores han sido considerados y el luminario ha sido **seleccionado**, se deben estudiar y evaluar los factores que pueden ocasionar **pérdidas de luz**. Los siguientes factores se clasifican como factores no recuperables y aparte de que son difíciles de determinar, no son muy

significativos. Entonces: ¿Para qué molestarse con factores que no influyen mucho, que son difíciles de determinar y que además no pueden recuperarse?, Por ello solo los mencionaremos pero no los incluiremos en los cálculos.

- Temperatura ambiental.- La temperatura ambiental puede afectar la salida de algunas lámparas, particularmente las fluorescentes. Lo ideal sería que el diseñador conociera la mayor y menor temperatura esperada y que tuviera datos de las variaciones de la salida luminosa con los cambios de temperatura, y que además tuviera en cuenta dichos datos para el diseño.
- Voltaje de línea.- Es muy difícil establecer el voltaje "en servicio" pero sí es claro que un mayor o menor voltaje en el luminario afectará la salida en la mayoría de las lámparas
- Factor de balastro. Si el balastro no proporciona la potencia requerida por la lámpara, la salida de luz diferirá proporcionalmente y se debe aplicar un factor de balastro, se deberá consultar a los fabricantes para los factores necesarios.
- Depreciación de los componentes. Cuando se deprecian los elementos de control de luz de un luminario (como el deterioro del metal, vidrio o plástico), esto propiciará una reducción en la salida de luz, pero debido a la compleja relación entre los diferentes materiales de los elementos de control de luz. Es difícil evaluar las pérdidas debido al deterioro (aun los luminarios con un solo elemento de control de luz y de un solo tipo de material mostrarán pérdidas debido al tipo de atmósfera en el área), no existe un factor fijo para cuantificar las pérdidas por depreciación de los componentes.
- Cambios físicos en los alrededores. El diseñador deberá enterarse de cambios planeados que puedan afectar la eficacia del sistema de iluminación, hablamos de cambios como aumentar el ancho de la vialidad, cambio de pavimentos, plantación de árboles, construcción o demolición de edificios o

cualquier otra cosa que pudiera alterar la naturaleza del camino.

- Mortandad de las lámparas. El no reemplazar las lámparas fuera de operación disminuirá el nivel de iluminación, como no es muy lógico incorporar un factor que tome en cuenta las lámparas fuera de servicio (aunque a veces se considera), en su lugar se implementan programas de mantenimiento incluyendo reemplazo de grupos de lámparas basado en estadísticas de mortandad de lámparas.

Sin embargo no todo está perdido, ya que existen factores de pérdida de luz que si son recuperables (y que por cierto, ya conocemos), estos son:

- Depreciación luminosa de la lámpara (*LLD Lamp Lumen Depreciation*). Esto es: conforme una lámpara va envejeciendo, va disminuyendo la cantidad de luz que emite, la información sobre este factor es proporcionada por los fabricantes y está disponible en las tablas y gráficas para depreciación.
- Depreciación por polvo en el luminario (*LDD Luminaire Dirt Depreciation*). La acumulación de polvo sobre el luminario causa una pérdida de la eficiencia luminosa como consecuencia hay menos luz sobre el pavimento.

En nuestros cálculos consideraremos el factor de mantenimiento =  $LLD * LDD$ .

Y finalmente, la recomendación general es que:

**"La iluminación mínima en cualquier punto sobre el camino no debe ser menor a 1/3 de la iluminación promedio."**

En el siguiente capítulo se estudiarán ejemplos y aplicaciones.

## **EJEMPLOS PRACTICOS**

Los cálculos de iluminación de caminos caen en tres tipo generales:

- a.- Determinación del promedio de iluminación sobre el pavimento o espaciamiento que producirá un promedio de iluminación dada.
- b.- Determinación de la iluminación en un punto específico sobre el camino.
- c.- Determinación de uniformidad de iluminación.

## **PROCEDIMIENTOS DE CALCULO.**

El procedimiento general para cálculo de iluminación de vialidades consiste en una serie de pasos que pueden ser divididos en dos grandes grupos:

- a) Objetivos y especificaciones.
- b) Factores de pérdida de luz (tanto recuperables como no recuperables).

El fin de este procedimiento es determinar, mediante cálculos de los datos fotométricos, qué combinación de lámpara-luminario se necesita para proveer una iluminación determinada sobre un camino de dimensiones establecidas, cuando el luminario es montado en lugares donde producirá una buena calidad de iluminación.

Muchos de los conceptos ya se han estudiado, solo queda aclarar algunos y aplicarlos, aquellos que no han sido aclarados es debido a que su explicación es muy enredada o prolija, además para explicar cómo se obtiene un valor en una gráfica hay que ver la gráfica y aplicarla a algo o tenerla como parte de algo, porque por sí mismo, un valor obtenido de una gráfica de las que se estudian aquí dice muy poco y sirve para menos.

Si tiene problemas para identificar los pasos mencionados al inicio de la este capítulo, a continuación se detallan, observe que no siempre se siguen todos, todo depende del tipo de problema y de la información proporcionada.

## METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACION

1. En función del tipo de vialidad, establecer el nivel de iluminación requerido.
2. Disponer los datos del perfil de la via. (Dimensiones, tipo de carpeta, etc.).
3. Definir el tipo de disposición<sup>2</sup>. (Unilateral, al tresbolillo, bilateral pareada).
4. Establecer el tipo de lámpara que se pretende utilizar y disponer de los datos fotométricos.
5. Determinar el coeficiente de utilización.
6. Obtener de los datos del fabricante o de gráficas, los factores de pérdida de luz tanto por depreciación de la lámpara como por suciedad.
7. Calcular el espaciamiento.
8. Determinar con la curva isofotocandle el nivel de iluminación en algunos puntos del camino donde el nivel de iluminación sea crítico.
9. Concluir si hay uniformidad.

En la siguiente tabla se tienen las recomendaciones para la altura de montaje, esta tabla es muy útil porque proporciona una rápida idea de la altura a la que se debe montar un luminario, como veremos más adelante, permite “probar” qué tipo de disposición es la más adecuada en función de una altura de montaje.

Nota: Son recomendaciones europeas.

---

<sup>2</sup> Algunos autores consideran que primero se establece la altura de montaje y con base a ello se determina el tipo de disposición, otros prefieren establecer primero la disposición y basado en ella determinar la altura de montaje

$$\text{Relación : } \frac{\text{Altura de Montaje}}{\text{Ancho de calle}}$$

Tipo de Disposición	Valor Mínimo	Valor Recomendado
Unilateral	0.85	1
Tresbolillo	0.5	0.66
Bilateral	0.33	0.5

tabla 1

La siguiente tabla también es útil para darse una idea de a qué altura debería montarse un luminario, y se basa en los lúmenes emitidos por una lámpara<sup>3</sup>:

Flujo luminoso de la lámpara (en lúmenes)	Altura del punto de luz (en metros)
3,000 a 9,000	6.5 a 7.5
9,000 a 19,000	7.5 a 9.0
19,000 a 24,000	9.0 a 10.0
más de 24,000	10 ó más

Para ejemplificar las tablas, supóngase una calle de tenga 10 metros de ancho y la distribución de los luminarios sea unilateral, ¿Cuáles serían las alturas de montaje mínima y recomendada?

De la tabla, con un valor mínimo sería:

$$0.85 = \frac{\text{Altura de Montaje}}{10 \text{ m}}$$

Despejando obtenemos una altura de montaje de 8.5m.

Ahora la altura de montaje recomendada.

$$1.0 = \frac{\text{Altura de montaje}}{10 \text{ m}}$$

<sup>3</sup> Algunos autores establecen que para cualquier lámpara con un flujo mayor a 19'000 lúmenes la altura de montaje debe ser mayor a 9 metros, por lo tanto, el rango entre 9 m y 10 m no existe.

De donde obtenemos una altura de montaje de 10 metros.

Si la distribución fuera al Tresbolillo la altura recomendada sería de 6.6m y con distribución bilateral, la altura recomendada sería de solo 5m, esto nos lleva a concluir que para un área determinada, entre más luminarias se tienen menos altura de montaje es requerida, pero esto no siempre es lo mejor.

### MÉTODO DEL LUMEN.

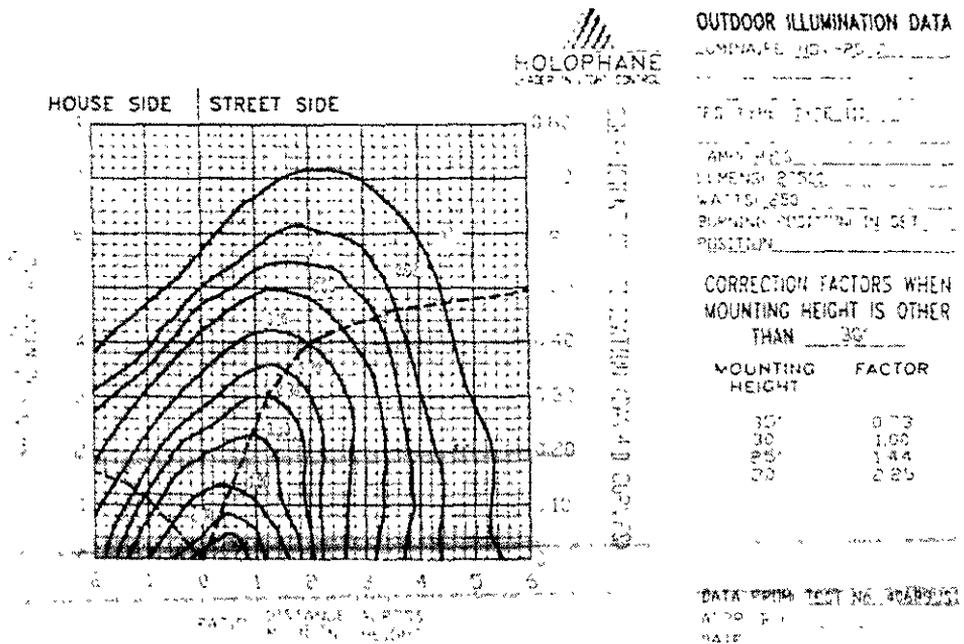
Un ejemplo sencillo explicará y aclarará los conceptos que faltan. Se trata de iluminar una avenida con las siguientes características:

Ancho de arroyo: **W=15m**

El brazo del poste sobresale de la acera 2m sobre el arroyo(OH=2m).

Nivel de iluminación requerido: **E=15 Lux.**

Se utilizará el luminario HOV-25-Z de la compañía Holophane con una lámpara de Vapor de Sodio a Alta Presión de 250 Watts, 27'500 lúmenes y del tipo III.



- Establecer la disposición y con base en la tabla 1, determinar la altura de montaje

Para una disposición Tresbolillo:

$$\text{Altura de montaje} = \text{valor mínimo} \times \text{ancho de calle} = 0.5 \times 15\text{m} = 7.5\text{m}$$

$$\text{Altura de montaje} = \text{valor recomendado} \times \text{ancho de calle} = 0.66 \times 15\text{m} = 9.9\text{m}$$

Así que se toma una altura de montaje **HM=9.1m**, que es un valor intermedio y además es la altura a la cual el fabricante probó la lámpara.

### CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (C.U.):

$$\text{Relación transversal calle} = \frac{\text{Ancho calle} - \text{lado casa}}{\text{Altura de Montaje}} \quad \text{Relación}_{\text{lado-calle}} = \frac{15\text{m} - 2\text{m}}{9.15\text{m}} = 1.42$$

$$\text{Relación transversal casa} = \frac{\text{lado casa}}{\text{Altura de Montaje}} \quad \text{Relación}_{\text{lado-casa}} = \frac{2\text{m}}{9.15\text{m}} = 0.218$$

Con estos valores entramos a la gráfica isofotocandles proporcionada por el fabricante. Para el coeficiente de utilización *lado-calle*, en el lado calle de la gráfica se traza desde 1.42 (en el eje horizontal) hasta que corte la curva del *lado-calle*, a partir de allí se traza una línea hacia el factor de utilización (a la derecha) y obtenemos el coeficiente de utilización para el *lado-calle*  $C.U._{\text{CALLE}} = 0.32$

Asimismo para el C.U. del *lado-casa* se traza una recta desde 0.218 hasta que corte la curva de utilización del lado casa, y desde ese punto se traza una línea hasta el factor de utilización (¡otra vez hacia la derecha!), así, el coeficiente de utilización del *lado-casa* es  $C.U._{\text{CASA}} = 0.02$

por lo tanto C.U. = 0.34 (es la suma de los dos C.U. anteriores)

### CÁLCULO DEL FACTOR DE MANTENIMIENTO (F.M.).

Para este luminario, el fabricante establece que el factor de depreciación es **LLD=0.9**, Por otra parte el período de mantenimiento suele considerarse entre 6 meses y 18 meses, por lo tanto en la gráfica de depreciación por suciedad trazamos una línea recta en el eje de los años en el punto que corresponde a un año y medio hasta la región de ambiente moderado y encontramos que el factor de depreciación es de **LDD=0.95**. Ya tenemos todo lo que necesitamos para conocer la distancia (o espaciamiento) a la que debe estar un poste de otro para mantener el nivel de iluminación requerido (a esta distancia se le conoce como distancia interpostal).

y sustituyendo valores:

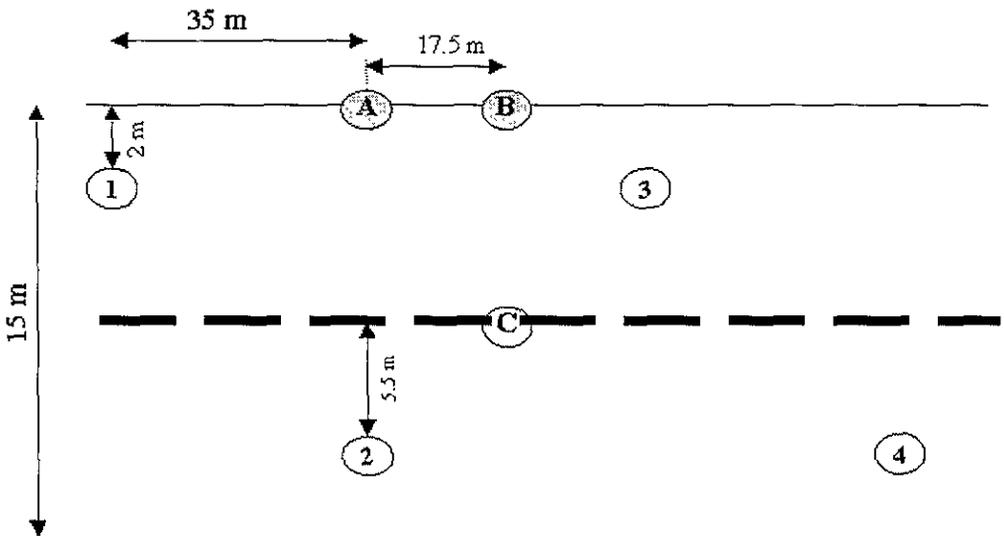
$$S = \frac{\text{Lumenes luminario} (C.U.)(LLD)(LDD)}{(E)(\text{Ancho de arroyo})} \quad S = \frac{(27500)(0.34)(0.9)(0.95)}{(15)(15)} = 35.53\text{m}$$

Este ejemplo nos permitirá obtener detalles que no se habían considerado:

- Como se aprecia en los datos del luminario, el espaciamiento máximo es 6:1, esto quiere decir que la distancia máxima entre postes es de 6 veces la altura de montaje, en el ejemplo, la altura de montaje es de 9.15 m, por lo que el máximo espaciamiento debe ser  $9.15 \times 6 = 54.9\text{m}$ , y aquí obtuvimos 35.53m, esto nos indica que no habrá "penumbras".
- La tabla de datos de las lámparas tanto de mercurio como de sodio confirma nuestro estudio acerca del rendimiento de los diversos tipos de lámparas para alumbrado urbano y justifica nuestra elección de una lámpara de sodio.
- El producto de LLD y LDD se conoce como factor de mantenimiento (F.M.) o factor de conservación, aquí también contaría el factor de balastra (si se tuviera) y el factor de lámpara si ésta fuera de vapor de mercurio, pero dado que se trata de una lámpara de sodio a alta presión, no se considera.



Continuando con el ejemplo: Los resultados obtenidos indican que con un espaciamiento de 35 metros se tendría un nivel de iluminación de 15 luxes, ahora se toman tres puntos "muestra" que sean representativos de las condiciones críticas de iluminación en el arroyo, en la figura están indicados como "A", "B", y "C". La siguiente figura muestra la disposición.



Ahora obtendremos la iluminación en el punto "A" debida a los cuatro luminarios mostrados en el diagrama:

**PUNTO "A"**

**LUMINARIO (1).-**

$$\left. \begin{aligned} \text{Transversal} &= \frac{2\text{m}}{9.15\text{m}} = 0.218 \\ \text{Longitudinal} &= \frac{35\text{m}}{9.15} = 3.82 \end{aligned} \right\} = 0.06 \text{ fc}$$

¿Cómo se obtiene **0.06 fc** ?

En la gráfica isolux se busca 0.218 Transversal (eje horizontal y hacia la izquierda) en el *lado-casa*, pues el punto "A" está hacia el *lado-casa* respecto del luminario 1, desde allí se traza una línea hacia arriba (eje longitudinal) hasta llegar a 3.82, este punto está en la región comprendida entre la curva isofootcandle 0.05 y la curva isofootcandle 0.10, y se hace una estimación de más o menos qué valor en footcandles le corresponde a ese punto.

**LUMINARIO (2).**-

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transversal} = \frac{13\text{m}}{9.15\text{m}} = 1.42 \\ \text{Longitudinal} = 0 \end{array} \right\} = 1.4 \text{ fc}$$

¿Porqué la distancia longitudinal es cero?

Observe que desde el punto "A", la distancia longitudinal es hacia la derecha o hacia la izquierda (hacia donde haya que moverse para llegar al luminario 2), en el diagrama, el punto "A" está justamente enfrente del luminario 2, es decir, desde el punto A no hay que moverse hacia los lados para llegar al luminario 2. También observe que el punto "A" está en el *lado-calle* respecto del luminario 2.

**LUMINARIO (3).**- Este luminario es simétrico con el luminario 1 sobre el punto A, por lo tanto, su contribución a dicho punto es la misma que el luminario 1.

**LUMINARIO (4).**-

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transversal} = \frac{13\text{m}}{9.15\text{m}} = 1.42 \\ \text{Longitudinal} = \frac{70\text{m}}{9.15} = 7.65 \end{array} \right\} = \text{ESTA FUERA}$$

¿Porqué **está fuera** este punto?

Observe la gráfica isofootcandle y localice el punto 1.42 sobre el eje transversal en el *lado-calle* (debido a que el punto "A" está enfrente y no detrás del luminario), y desde ese punto "suba" hasta llegar al punto 7.65 longitudinal, en esta coordenada no hay ninguna curva isofootcandle.

Ahora se suman las contribuciones de cada luminario:

$$LUMINARIO (1) = 0.06 \text{ fc}$$

$$LUMINARIO (2) = 1.40 \text{ fc}$$

$$LUMINARIO (3) = 0.06 \text{ fc}$$

$$LUMINARIO (4) = \underline{0.00 \text{ fc}}$$

$$1.52 \text{ fc}$$

Este valor hay que multiplicarlo por el factor de mantenimiento (LLD x LDD) para que pueda ser comparativo, así que  $1.52 \times (0.9 \times 0.95) = 1.299 \text{ fc}$

### **PUNTO "B"**

LUMINARIO (1).-

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transversal} = \frac{2\text{m}}{9.15\text{m}} = 0.218 \\ \text{Longitudinal} = \frac{52.5\text{m}}{9.15} = 5.73 \end{array} \right\} = \text{ESTÁ FUERA}$$

A estas alturas ya no debe tener problema en localizar los puntos sobre las curvas isofootcandles, simplemente recuerde que son como un par de coordenada en el plano cartesiano, si el punto está detrás del luminario utilice el lado casa, si el punto está enfrente (aunque no sea exactamente enfrente) de un luminario se utiliza el lado calle.

LUMINARIO (2).-

$$\left. \begin{aligned} \text{Transversal} &= \frac{13\text{m}}{9.15\text{m}} = 1.42 \\ \text{Longitudinal} &= \frac{17.5\text{m}}{9.15} = 1.912 \end{aligned} \right\} = 0.49 \text{ fc}$$

LUMINARIO (3).-

$$\left. \begin{aligned} \text{Transversal} &= \frac{2\text{m}}{9.15\text{m}} = 0.218 \\ \text{Longitudinal} &= \frac{17.5\text{m}}{9.15} = 1.912 \end{aligned} \right\} = 0.45 \text{ fc}$$

Observe que el valor debido al luminario 3 es casi igual al valor debido al luminario 2, al analizar de donde vienen estos valores se ve que la "coordenada" longitudinal es la misma para ambos valores, pero difieren en la "coordenada" transversal, ¿Entonces porqué son casi iguales?, note que la región entre las curvas 0.5 y 1.0 es más cerrada en el *lado-casa* que en el *lado-calle*.

LUMINARIO (4).-

$$\left. \begin{aligned} \text{Transversal} &= \frac{13\text{m}}{9.15\text{m}} = 1.42 \\ \text{Longitudinal} &= \frac{52.5\text{m}}{9.15} = 5.73 \end{aligned} \right\} = 0.025 \text{ fc}$$

Note que los luminarios 1 y 4 aparentemente son simétricos al punto B, sin embargo el punto B está en la *lado casa* para el luminario (1) y en el *lado calle* para el luminario (4).

Ahora se suman las contribuciones de cada luminario:

$$LUMINARIO (1) = 0.00 \text{ fc}$$

$$LUMINARIO (2) = 0.49 \text{ fc}$$

$$LUMINARIO (3) = 0.45 \text{ fc}$$

$$LUMINARIO (4) = \underline{0.025 \text{ fc}}$$

$$0.965 \text{ fc}$$

Este valor hay que multiplicarlo por el factor de mantenimiento (LLD x LDD) para que pueda ser comparativo, así que  $0.965 \times (0.9 \times 0.95) = 0.825 \text{ fc}$

### **PUNTO "C"**

**LUMINARIO (1).-**

$$\left. \begin{aligned} \text{Transversal} &= \frac{\frac{15}{2} - 2}{9.15\text{m}} = 0.6 \\ \text{Longitudinal} &= \frac{52.5\text{m}}{9.15} = 5.73 \end{aligned} \right\} = \mathbf{0.017}$$

Ahora el punto en estudio se encuentra a media calle, por ello hay que dividir el ancho de calle (15m) entre dos y restarle los 2 metros que sobresale el luminario del filo de la acera.

**LUMINARIO (2).-**

$$\left. \begin{aligned} \text{Transversal} &= \frac{\frac{15}{2} - 2}{9.15\text{m}} = 0.6 \\ \text{Longitudinal} &= \frac{17.5\text{m}}{9.15} = 1.912 \end{aligned} \right\} = \mathbf{0.65}$$

*LUMINARIO (3).*- Este luminario es simétrico al luminario (2) sobre el punto C, por lo tanto su contribución es la misma.

*LUMINARIO (4).*- Este luminario es simétrico al luminario (1) respecto del punto C, por lo tanto, también está fuera de gráfica.

Ahora se suman las contribuciones de cada luminario:

$$LUMINARIO (1) = 0.017 \text{ fc}$$

$$LUMINARIO (2) = 0.650 \text{ fc}$$

$$LUMINARIO (3) = 0.650 \text{ fc}$$

$$LUMINARIO (4) = \underline{0.017 \text{ fc}}$$

$$1.334 \text{ fc}$$

Este valor hay que multiplicarlo por el factor de mantenimiento (LLD x LDD) para que pueda ser comparativo, así que  $1.30 \times (0.9 \times 0.95) = 1.14 \text{ fc}$ .

Ya solo falta convertir los valores obtenidos de footcandles a luxes para establecer si el nivel de uniformidad es menor de 3:1 como se establece.

$$1LUX=10.76 \text{ FOOTCANDLES}$$

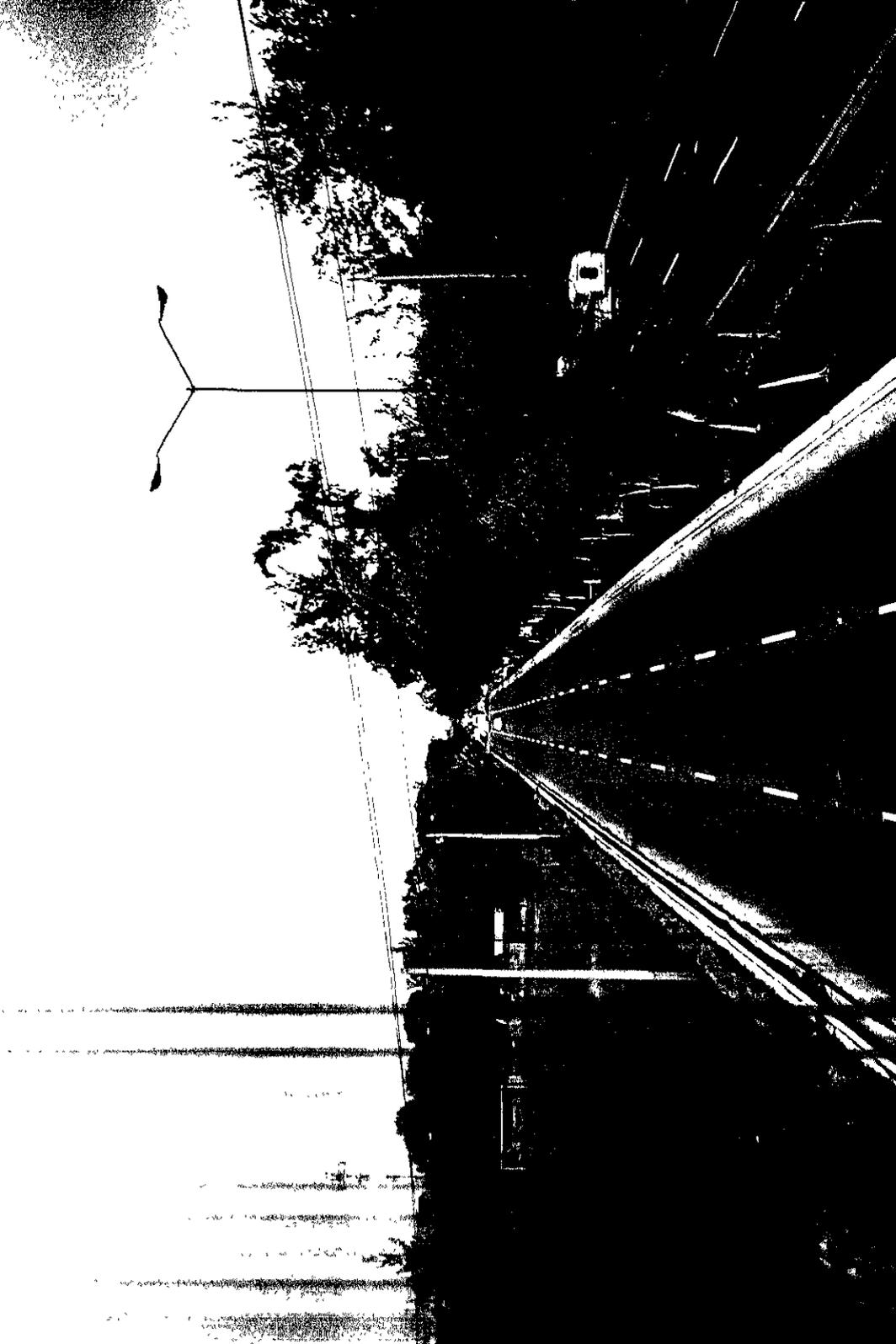
PUNTO	FOOTCANDLES	LUXES
A	1.299	13.97
B	0.825	8.877
C	1.14	12.27

Se toma el valor más bajo y se hace la proporción con el nivel de iluminación requerido:

$$\frac{15 \text{ luxes}}{8.877 \text{ luxes}} = 1.689$$

Como la relación es 1.689 : 1 y es menor que 3:1, se concluye que se tiene uniformidad.





Este ejemplo consiste en analizar el diseño de un sistema de iluminación de una vía de acceso controlado, esta vía es una sección de un circuito y está localizada en el tramo del circuito interior comprendido entre el Eje 4 Sur y Tezontle, en la Ciudad de México. Dicha sección de vialidad comprende dos arroyos de dimensiones idénticas, y con un pequeño camellón en medio de los arroyos. Sobre este camellón se hallan instalados los postes y luminarios en un arreglo llamado Axial o Central, dicho arreglo (el cual no es unilateral ni tresbolillo ni bilateral pareado) es recomendable cuando se desean instalar dos luminarios opuestos en un único poste y cuando se dispone de camellón central. Para este arreglo, el tendido y mantenimiento de las líneas de energía eléctrica es más fácil y económico con respecto al arreglo bilateral pareado, su único inconveniente es que el cableado queda en el centro de la avenida.

Las dimensiones de la vialidad son las siguientes:

Ancho de arrollo =  $W = 9.5$  m.

Altura de montaje =  $HM = 12$  m.

Ancho de camellón = 4 m.

Luminario con lámpara de 400 Watts, 50'000 lúmenes, Curva NEMA Tipo III, Claro,

Factor de depreciación de la lámpara =  $LLD = 0.95$ .

Factor de depreciación por suciedad =  $LDD = 0.9$ .

Nota: Los datos fotométricos son proporcionados por la compañía Holophane.

De la *tabla 3*, página 55 tenemos que el nivel de iluminación recomendado es de 50 luxes, esto es debido a que se trata de una vialidad de gran circulación y además el tipo de carpeta de asfalto empleada es *carpeta obscura*.

Primero se calcula el coeficiente de utilización:

$$\text{lado - calle} = \frac{9.5}{12} = 0.791$$

Con estos valores se entra a la gráfica de utilización y encontramos el coeficiente de utilización para cada lado:

$$C.U._{calle} = 0.23$$

Ahora observe que el lado izquierdo también contribuye con iluminación al lado derecho, así que necesitamos calcular el C.U. del lado izquierdo que aporta luz al arroyo derecho:

$$\text{lado 1} = \frac{9.5 + 4}{12} = 1.12$$

y el C.U. de este lado es:  $\text{lado1} = 0.112$

Pero los primeros 4 metros de los 13.5 m considerados no forman parte del arrollo, así que hay que restarlos:

$$\text{lado 2} = \frac{4}{12} = 0.333$$

y el C.U. de este lado es:  $\text{lado2} = 0.033$

$$\text{Ahora } C.U._{casa} = \text{lado1} - \text{lado2} = 0.11 - 0.033 = 0.079$$

$$\text{Para obtener: } C.U. = C.U._{calle} + C.U._{casa} = 0.23 + 0.079 = 0.31$$

Por el método del lúmen, el espaciamiento es:

$$S = \frac{\text{lúmenes}}{\text{nivel}} \times \frac{\text{luminario}}{\text{promedio}} \times C.U. \times LDD \times LLD \times \text{ancho de arrollo}$$

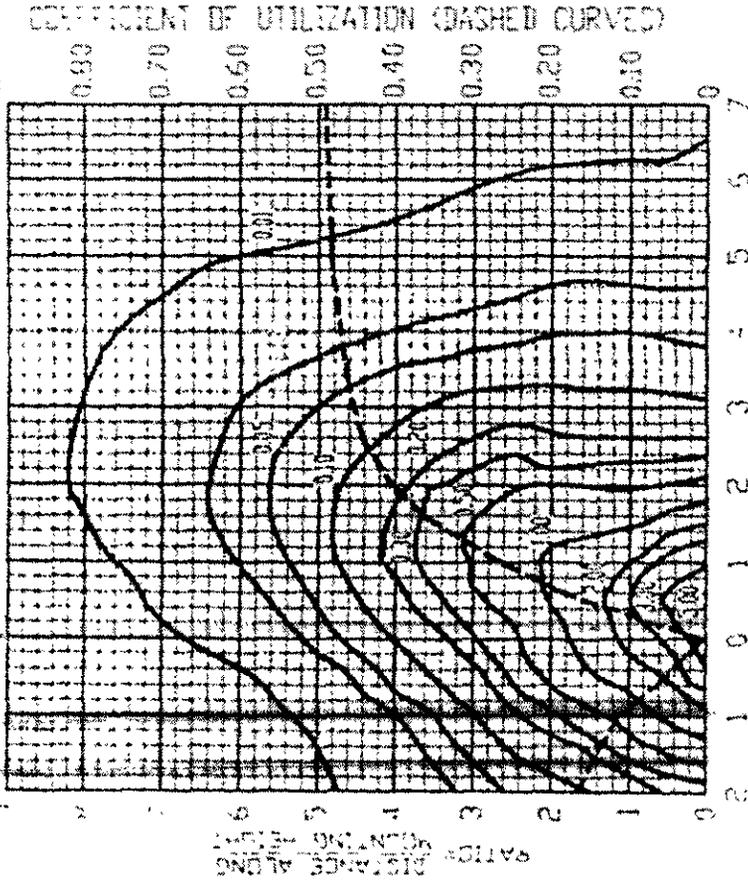
$$S = \frac{50'000 \times 0.31 \times 0.9 \times 0.95}{50 \times 9.5} = 27.9\text{m}$$

Tomaremos un espaciamiento de 30 metros, (hay que recalcular), y analizaremos un arrollo por el método punto por punto, debido a que los arrollos son simétricos.

# ISOFOOTCANDLES

HOUSE SIDE | STREET SIDE

**HOLOPHANE**  
(LEAKS IN LIGHT CONTROL)



## OUTDOOR ILLUMINATION DATA

COMPARED: NOV 27-9

TYPE: TYPE III

LAMP: ED 5

POWER: 50000

WATT: 400

BEARING POSITION: PL 51

POSITION

CORRECTION FACTORS WHEN MOUNTING HEIGHT IS OTHER THAN 3'

MOUNTING HEIGHT	FACTOR
35'	0.73
30'	1.00
25'	1.44
20'	2.25

DATA FROM TEST NO. 40689US

APPR. BY: \_\_\_\_\_

DATE: \_\_\_\_\_

PATIO- DISTANCE FROM MOUNTING HEIGHT

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{9.5\text{m}}{12\text{m}} = 0.79 \\ \text{Longit.} = \frac{90\text{m}}{12} = 7.5 \end{array} \right\} = \text{fuera}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{9.5\text{m}}{12\text{m}} = 0.79 \\ \text{Longit.} = \frac{105\text{m}}{12} = 8.75 \end{array} \right\} = \text{fuera}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{4.75\text{m}}{12\text{m}} = 0.39 \\ \text{Longit.} = \frac{105\text{m}}{12} = 8.75 \end{array} \right\} = \text{fuera}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{13.5\text{m}}{12\text{m}} = 1.125 \\ \text{Longit.} = \frac{90\text{m}}{12} = 7.5 \end{array} \right\} = 0.011$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{13.5\text{m}}{12\text{m}} = 1.125 \\ \text{Longit.} = \frac{105\text{m}}{12} = 7.5 \end{array} \right\} = \text{fuera}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{8.75\text{m}}{12\text{m}} = 0.72 \\ \text{Longit.} = \frac{105\text{m}}{12} = 0.75 \end{array} \right\} = \text{fuera}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{9.5\text{m}}{12\text{m}} = 0.79 \\ \text{Longit.} = \frac{60\text{m}}{12} = 5 \end{array} \right\} = 0.7$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{9.5\text{m}}{12\text{m}} = 0.79 \\ \text{Longit.} = \frac{75\text{m}}{12} = 6.25 \end{array} \right\} = 0.025$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{4.5\text{m}}{12\text{m}} = 0.39 \\ \text{Longit.} = \frac{75\text{m}}{12} = 6.25 \end{array} \right\} = 0.022$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{13.5\text{m}}{12\text{m}} = 1.125 \\ \text{Longit.} = \frac{60\text{m}}{12} = 5 \end{array} \right\} = 0.085$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{13.5\text{m}}{12\text{m}} = 1.125 \\ \text{Longit.} = \frac{75\text{m}}{12} = 6.25 \end{array} \right\} = 0.028$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{8.75\text{m}}{12\text{m}} = 0.72 \\ \text{Longit.} = \frac{75\text{m}}{12} = 6.25 \end{array} \right\} = 0.025$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{9.5\text{m}}{12\text{m}} = 0.79 \\ \text{Longit.} = \frac{30\text{m}}{12} = 2.5 \end{array} \right\} = 0.75$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{9.5\text{m}}{12\text{m}} = 0.79 \\ \text{Longit.} = \frac{45\text{m}}{12} = 3.75 \end{array} \right\} = 0.27$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{4.75\text{m}}{12\text{m}} = 0.39 \\ \text{Longit.} = \frac{45\text{m}}{12} = 3.75 \end{array} \right\} = 0.2$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{13.5\text{m}}{12\text{m}} = 1.125 \\ \text{Longit.} = \frac{30\text{m}}{12} = 2.5 \end{array} \right\} = 0.8$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{13.5\text{m}}{12\text{m}} = 1.125 \\ \text{Longit.} = \frac{45\text{m}}{12} = 3.75 \end{array} \right\} = 0.3$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{8.75\text{m}}{12\text{m}} = 0.72 \\ \text{Longit.} = \frac{45\text{m}}{12} = 3.75 \end{array} \right\} = 0.25$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{9.5\text{m}}{12\text{m}} = 0.79 \\ \text{Longit.} = \frac{0\text{m}}{12} = 0 \end{array} \right\} = 5 \text{ fc}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{9.5\text{m}}{12\text{m}} = 0.79 \\ \text{Longit.} = \frac{15\text{m}}{12} = 1.25 \end{array} \right\} = 1.98$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{4.75\text{m}}{12\text{m}} = 0.39 \\ \text{Longit.} = \frac{15\text{m}}{12} = 1.25 \end{array} \right\} = 2 \text{ fc}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{13.5\text{m}}{12\text{m}} = 1.125 \\ \text{Longit.} = \frac{0\text{m}}{12} = 0 \end{array} \right\} = 4.8$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{13.5\text{m}}{12\text{m}} = 1.125 \\ \text{Longit.} = \frac{15\text{m}}{12} = 1.25 \end{array} \right\} = 1.9 \text{ fc}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Transv.} = \frac{8.75\text{m}}{12\text{m}} = 0.72 \\ \text{Longit.} = \frac{15\text{m}}{12} = 1.25 \end{array} \right\} = 1.95$$

Los luminarios que son simetricos

9 = 5 = 0.75	9 = 7 = 1.98	9 = 7 = 2
10 = 6 = 0.8	10 = 8 = 1.9	10 = 8 = 1.95
11 = 3 = 0.07	11 = 5 = 0.27	11 = 5 = 0.2
12 = 4 = 0.085	12 = 6 = 0.3	12 = 6 = 0.25
13 = 1 = fuera	13 = 3 = 0.025	13 = 3 = 0.022
14 = 2 = 0.01	14 = 4 = 0.028	14 = 4 = 0.025

Total de footcandles en el punto A = 13.23 fc

Total de footcandles en el punto B = 9 fc

Total de footcandles en el punto C = 8.89 fc

Observe que la altura de montaje son 12 m. Sin embargo, el fabricante no proporciona el factor de corrección para esa altura de montaje, así que dicho valor debe ser calculado:

Para que los resultados sean comparativos deben aplicarse el factor de mantenimiento.

Punto A:  $13.23 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.58 = 6.56 \text{ fc} = 70.58 \text{ luxes.}$

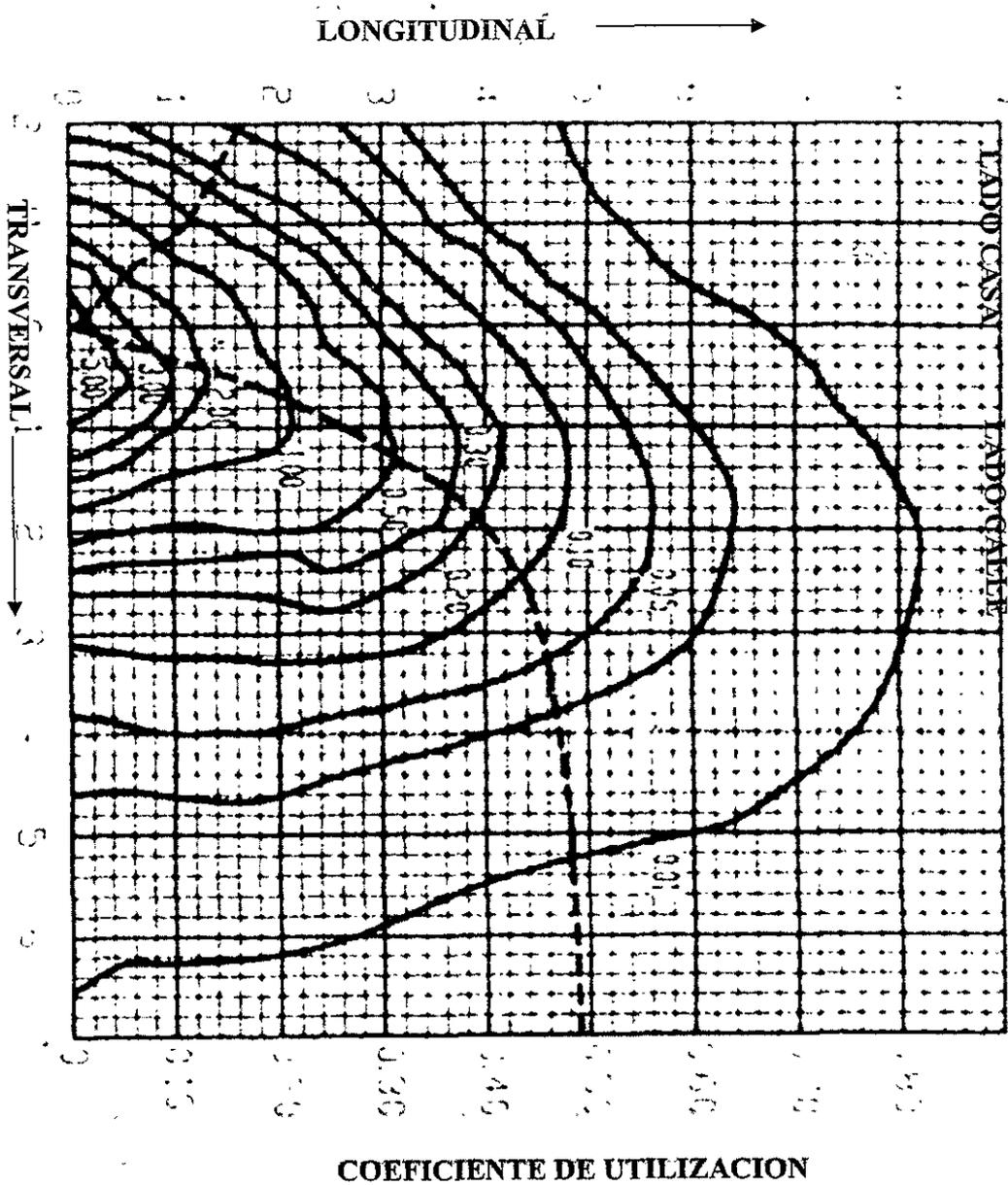
Punto B:  $9 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.58 = 4.46 \text{ fc} = 48.02 \text{ luxes.}$

Punto C:  $8.89 \times 0.9 \times 0.95 \times 0.58 = 4.40 \text{ fc} = 47.43 \text{ luxes.}$

$$FCH = \left( \frac{H_{\text{prueba}}}{H_{\text{real}}} \right)^2 = \left( \frac{9.144}{12} \right)^2 = 0.58$$

Nivel de Uniformidad =  $70.58/50 = 1.41$

Como es menor de 3:1 se concluye que tiene uniformidad.



## MANTENIMIENTO

El mantenimiento es la única forma mediante la cual un sistema de iluminación puede continuar proporcionando un nivel de iluminación cercano a su valor inicial, de hecho este es el objetivo del mantenimiento, conservar el nivel de iluminación deseado con un costo mínimo.

Fundamentalmente, un sistema de iluminación requiere la limpieza de la suciedad que se acumula en las lámparas, en el reflector y otras piezas de vidrio o plástico, ya que la suciedad es el factor que más influye para que un sistema de iluminación pierda efectividad. Primero conoceremos un poco de los factores que pueden afectar el nivel de iluminación.

*Temperatura ambiente del luminario.*- Cuando el luminario se queda encendido durante el día (tal vez por falla de la fotocelda) esto puede elevar la temperatura dentro del luminario y podrían dañarse los aislamientos, además se incrementa el costo por el exceso de horas de servicio.

Mantenimiento: Corregir cuanto antes la falla que ocasiona que la lámpara se queda encendida durante el día (cambiar fotocelda, contactores, etc.)

*Voltaje de alimentación al luminario.*- El sobrevoltaje puede dañar rápidamente los aislamientos mientras que un bajo voltaje puede provocar que las lámparas no enciendan o estén encendiendo y apagando. Ambas situaciones provocan que el sistema de iluminación no tenga el nivel para el cual fue diseñado.

Mantenimiento: Revisar periódicamente este parámetro y en su caso, corregirlo.

*Factor de balastro.*- si el factor de balastro utilizado es diferente al utilizado en la obtención de la fotometría, el flujo luminoso variará en la misma cantidad.

Mantenimiento: Consultar al fabricante para conocer el factor de balastro.

*Depreciación de las superficies del luminario.*- La depreciación de los luminarios varía según los materiales utilizados en su construcción; por ejemplo, aunque el aluminio se deprecia poco, el esmaltado se limpia más fácilmente, el vidrio dura mucho tiempo pero es caro, en cambio el acrílico y el poliestireno son más baratos pero después de un tiempo cambian su color (se hacen amarillentos) y su transmitancia

Mantenimiento: Se debe tener cuidado de utilizar materiales y técnicas adecuadas de limpieza ya que se puede alterar la transmitancia del material, por ejemplo para limpiar los reflectores de aluminio se deben utilizar detergentes no muy ácidos ni muy alcalinos, las superficies de vidrio suelen limpiarse con virutas finas de acero frotándolas después con un paño limpio y seco.

*Lámparas apagadas.*- Si las lámparas fuera de servicio no son cambiadas rápidamente, la iluminación promedio disminuirá proporcionalmente, además cuando existen tramos de lámparas apagadas y encendidas, disminuye la capacidad de detectar obstáculos o peatones ya que si uno de éstos está en una zona oscura, el contraste disminuye, por lo cual son difíciles de detectar.

Mantenimiento: Cambiar las lámparas que estén fuera de servicio.

*Depreciación luminosa de la lámpara.*- Al envejecer, cualquier lámpara disminuye su emisión de lúmenes. Ésta es nuestra conocida LLD.

Mantenimiento: Cambiar las lámparas al final de su ciclo de vida.

*Depreciación por polvo en el luminario.*- Esta es nuestra también conocida LDD y normalmente es una cantidad significativa, el humo de los autos se adhiere a la superficie del luminario depreciando rápidamente la emisión de luz de los mismos, puede llegar a ser hasta de un 40% de los valores iniciales

Mantenimiento: Limpieza del luminario.

Existen otros dos factores que influyen en el mantenimiento: Vandalismo y obstrucción de árboles.

*El vandalismo* suele presentarse en zonas populares o suburbanas y resulta en un costo muy elevado del mantenimiento

Mantenimiento: Aumentar la altura de montaje, utilizar luminarios con materiales resistentes a los impactos y colocar guardas (protecciones) a los refractores de los luminarios.

*La obstrucción de ramas de árboles* se presenta en avenidas en las cuales existen arboles en la misma acera o camellón donde están instalados los luminarios.

Mantenimiento: Podar las ramas que interfieren con el luminario.

Un programa de mantenimiento ideal se basa en el número de horas que trabaja la instalación, el tipo de lámpara y luminario, las condiciones ambientales y de tráfico, inspecciones periódicas, reportes de los usuarios y magnitud de la instalación.

Existen tres tipos de sistemas de mantenimiento:

- a) Reemplazo individual.
- b) Reemplazo por grupo o "barrido de zonas"
- c) Una combinación de los dos anteriores.

*Reemplazo individual.*- Generalmente es en instalaciones medianas y de baja importancia, y consiste en reemplazar lámparas fuera de servicio, y al cambiarla "de paso" se inspecciona el área para ver si hay más lámparas apagadas.

*Reemplazo en grupo.*- Consiste en cambiar al cabo de cierto número de horas de funcionamiento todas las lámparas de cierta vialidad o de cierto sector, este sistema tiene algunas desventajas:

- No se reemplazan lámparas apagadas entre intervalos de reemplazo.
- Las lámparas apagadas pueden influir en el aumento de accidentes y actos delictivos.

Aunque tiene algunas ventajas, ya que a la vez que se efectúa el reemplazo en grupo, se puede realizar el siguiente mantenimiento:

- Limpieza del luminario y del sistema óptico.
- Reposicionamiento de la lámpara en el sistema óptico.
- Mantenimiento mecánico y eléctrico del luminario.

#### *Combinación de reemplazo individual y reemplazo en grupos.*

Se establecen ciclos de mantenimiento pero también se hacen reparaciones a mitad del intervalo entre un mantenimiento y otro.

Para zonas con mucha contaminación y mucho tráfico, la limpieza no se debe limitar al momento de reemplazo en grupo, más bien se debe adoptar un calendario de entre 6 meses y 18 meses.

Las dependencias encargadas del mantenimiento deben contar con vehículos con canastilla de mandos hidráulicos, escaleras telescópicas y evidentemente con un almacén de equipo de repuesto.

Como mencionamos el principio, el horario anual de encendido en la Cd. de México es de unas 4'047 horas, (recuerde que el encendido y apagado de las lámparas es mediante fotoceldas), bajo esta perspectiva las lámparas de vapor de sodio a alta presión con unas 16'000 horas se cambiarían cada 4 años.

El mantenimiento a las fotoceldas es mínimo pues solo requiere una limpieza en la cubierta y en las bases en donde las entradas se llenan de polvo y pueden afectar el buen contacto.

Los contactores pueden revisarse anualmente, si están medio quemados se pueden limpiar con una lija muy fina, pero si están muy corroídos deben reemplazarse.

En cuanto a los postes, los de aluminio y concreto no necesitan mantenimiento, los de fierro laminado se deben repintar para evitar la corrosión por óxido.

## EL MANTENIMIENTO EN LA VIDA REAL

A continuación transcribimos una entrevista con el Jefe de Alumbrado Público de la Delegación Iztacalco 10 de junio de 1998, la cual nos permite conocer la diferencia entre lo teórico y lo práctico.

El departamento de mantenimiento, ¿Es una empresa que presta el servicio a la Compañía de Luz o es parte de la Compañía de Luz?

*No, no pertenece a la Compañía de Luz y Fuerza, es una dependencia del gobierno (16 delegaciones), se llama Alumbrado Público y de hecho nosotros le pagamos a la Compañía de Luz por el consumo de electricidad del alumbrado.*

¿A que se le da mantenimiento?

*Únicamente a las luminarias de alumbrado público que están instaladas en postes de concreto y postes metálicos*

*a) Postes metálicos: 7.5 metros, 8.5 metros y 12 metros*

*b) Lámparas y balastros de sodio: 150 Watts, 250 Watts y 400 Watts.*

*c) Fotoceldas y bases para fotoceldas: 220 V*

*d) contactores de 2x40 amp.*

De aquí en adelante solo consideraremos postes, lamparas, luminarios, balastros, fotoceldas. ¿Tienen un ciclo de mantenimiento? o conforme son reportadas las fallas proporcionan mantenimiento (o ambas cosas).

*No, no se tiene un ciclo, se tiene una especie rutina que consiste en que son los trabajadores eventuales (y por lo regular cuando acaban de firmar contrato) los que se encargan del mantenimiento, una persona de confianza inspecciona áreas y reporta dónde se necesita mantenimiento, luego los eventuales van y repintan postes etc. pero no es propiamente un ciclo de mantenimiento, más*

*bien conforme se solicitan las reparaciones o son reportadas se les da mantenimiento.*

A grandes rasgos: ¿En que consiste el mantenimiento?

*Los luminarios solo se limpian.*

*Los postes se repintan para que se conserven mejor contra la corrosión (solo postes metálicos).*

*Las lámparas se cambian solo cuando se funden.*

¿Cuáles son las causas más frecuentes por las que una instalación (un poste con su lámpara y luminario, balastro, etc.) requiera mantenimiento?

*La causa más común es un fallo en la fotocelda o en la base de la misma.*

Cuando se les reporta una falla: ¿Cómo suele reportárseles una falla?

*El ciudadano las reporta al CSAC, Centro de Atención a la Ciudadanía o directamente a la oficina de Alumbrado Público.*

Supongamos que una lámpara ya no enciende, ¿Cuál es su tiempo de respuesta?, ¿En cuánto tiempo está en operación nuevamente el equipo?

*Inmediatamente.*

¿Cuáles son las causas más comunes por las que no se soluciona una falla?

*Por falta de presupuesto.*

Para cambiar un elemento del sistema de iluminación (lámpara, luminario, fotocelda, etc.) ¿Cuántos hombres emplean?

*Una cuadrilla, la cual se compone de un chofer, un cabo y un ayudante.*

¿Qué tipo de equipo suelen ocupar?

*Un vehículo tipo hoyo, cascots, pinzas, desarmadores, cinta, llaves españolas, cuchillos y su bandola, guantes de cuero. En tiempos de lluvia se utiliza el siguiente equipo: casaca de hule, pantalón y capuchón de hule.*

¿Cambian solo el elemento inservible? o cambian la unidad completa (entiéndase por unidad el luminario, la lámpara y la fotocelda).

*Nada más la refacción que sea necesaria, puede ser la lámpara, la balastra, la fotocelda, la base para fotocelda o alimentación quemada.*

¿Considera que el mantenimiento es peligroso?

*El mantenimiento si es peligroso, pero se tienen que hacer las reparaciones con ciertas precauciones.*

¿Cuáles son los accidentes más comunes durante el mantenimiento?

*Rasguños, cortadas en los dedos y quemaduras.*

Si consideramos ciclos de cuatro años, ¿Ha habido algún accidente fatal o de lesiones permanentes?, por favor detállelo.

*Ningún accidente fatal ni lesiones permanentes.*

¿Hay alguna época del año en la que se incremente el mantenimiento?

(época de lluvias, invierno, etc.)

*Más más (sic) en época de lluvia, principalmente en las colonias donde se encuentran los circuitos.*

¿Hay alguna relación entre el tipo de zona y la frecuencia de mantenimiento?

*No hay zonas específicas*

Indique el período de mantenimiento y en que consiste, y el período de replazo para los siguiente elementos: (si existen otros favor de indicar)

- a) Luminario *Un promedio de 5 años aproximadamente.*
- b) Lámpara *De 2000 horas a 3000 horas trabajando normalmente. equivalente a aproximadamente 1 año.*
- c) Balastro *Igual que la lámpara.*
- d) Fococelda *Un promedio de 2000 hrs a 3000 hrs siempre y cuando no sea época de lluvia, ya que en este caso puede ser de 1 hora a 3000 horas.*
- e) Poste *Tiene un promedio de vida de 20 años dándole su mantenimiento adecuado (pintarlo una vez por mes)*

En su opinión, ¿Es adecuada o que tan buena o mala es la iluminación en los siguientes tipos de vialidades?:

- a) Vialidades rápidas (circuitos, periféricos). *Excelente, luminaria de 400 Watts*
- b) Ejes viales. *Excelente, luminaria de 400 Watts*
- c) Calles residenciales (calles de colonias). *Buena, luminarias de 150 Watts*  
*Éstas últimas eran de 250 Watts vapor de mercurio, luego se cambiaron a 100 Wts vapor de sodio a alta presión (VSAP), actualmente son de 150 Watts V.S.A.P.*

## CONCLUSIONES

A través de la lectura se han definido tanto formalmente como coloquialmente los conceptos relacionados con la iluminación que con mayor frecuencia se encuentran en el lenguaje cotidiano, también como habrá notado el lector, aún se utilizan mucho términos y unidades de medición un tanto ajenos a nuestra cultura, esto se debe a la lenta (aunque inevitable) transición del Sistema de Unidades Inglesas al Sistema Internacional de Unidades, pues aunque este último sistema ya es oficial, aun se utiliza mucho en otros países, lo paradójico del caso resulta en que, como aún se utilizan unidades inglesas debemos aprender a convivir con ellas, pero por otra parte: ¿Cómo va a establecerse definitivamente el Sistema Internacional de Unidades si continuamos utilizando unidades inglesas?. Otros factores son la enorme influencia y dependencia tecnológica que imponen los Estados Unidos.

Pese a los esfuerzos, mucho de nuestro lenguaje se halla salpicado de términos en inglés, palabras como el *switch*, el *bus*, *escanear*, se usan corrientemente en ingeniería, aun nuestras propias frases son muchas veces incorrectas más por costumbre que por falta de conocimientos, expresiones como "esa lavadora gasta mucha luz", etc., pero también piense en lo difícil de hallar un equivalente y acostumbrarse a él, por ejemplo: Cómo diría *formalmente* -"ese cable da toques"-.

La importancia del alumbrado público quedó de manifiesto desde la introducción, pues como se vio, la capacidad visual del ser humano va disminuyendo al envejecer, amen de que una mala iluminación provoca accidentes de tránsito y favorece la delincuencia, en cambio una buena iluminación aumenta la seguridad y fomenta la actividad comercial e industrial por la noche.

Se han estudiado diversos dispositivos y técnicas que son fundamentales y ayudan a formarse un buen criterio al diseñar un sistema de iluminación para las vialidades, estos métodos, con mínimas modificaciones también se aplican a áreas abiertas como estacionamientos y parques, (los fabricantes de luminarios casi siempre indican el uso para tal o cual luminario), pero la meta siempre fue la iluminación de vialidades.

Para tener un buen alumbrado debe atenderse siempre a las recomendaciones hechas por los diversos institutos dedicado a la investigación y normalización de la iluminación, pues estas recomendaciones son el resultado de numerosos trabajos experimentales, y el hecho de cumplirlas garantiza una iluminación de calidad, muchas veces, al analizar un proyecto de iluminación se encuentran varias posibles soluciones, y entonces la mejor opción puede ser encontrada al analizar aspectos socioeconómicos relacionados con el entorno. Algunas veces son dichos factores los que determinan cual es la mejor opción, en forma llana, algunos sistemas de iluminación deben satisfacer un presupuesto en lugar de una calidad de iluminación.

Por otras parte, con los costos de la energía al alza, el ahorro de la misma debería ser una meta tan importante como la misma calidad de iluminación, y esto debería hacerse con un equilibrio entre el costo del sistema de iluminación y la calidad de la misma, pues para reducir costos en lo primero que se piensa en reducir los elementos que generan dichos costos, en este caso, reducir costos a expensas de la calidad de iluminación. Sin embargo, el compromiso entre costo-beneficio debe prevalecer en un sistema de iluminación.

Una vez que iniciado, el desarrollo de las lámparas nunca se ha detenido y es de esperarse el desarrollo de lámparas más eficientes, más durables y con mejor rendimiento cromático (-"ya no saben qué inventar"-), con lo cual se abatirán en cierta medida los costos de mantenimiento de los sistemas de iluminación.

## BIBLIOGRAFIA

Iluminación en exteriores

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM

Principios de iluminación y niveles de iluminación en México

HOLOPHANE

Manual de alumbrado

WESTINGHOUSE 3A. EDICIÓN

editorial Dossat

Ingeniería aplicada al control de luz

Catalogo Condensado

HOLOPHANE 1997

Conceptos de iluminación artificial

OSRAM S.A. DE C.V.

Lighting Handbook

ILLUMINATING ENGEENIRING SOCIETY

1993