

123
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

**ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS
"CRITERIOS DE DISEÑO DE ILUMINACION
COMERCIAL"**

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
LUIS VENANCIO VARGAS MENDOZA

ASESOR: ING. JAIME RODRIGUEZ MARTINEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

264620



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



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

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

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA 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 de Diseño de Iluminación Comercial"

que presenta el pasante: Luis Venancio Vargas Mendoza,

con número de cuenta: 8221885-4 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 2 de Junio de 1998

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>I</u>	<u>Ing. Jaime Rodríguez Martínez</u>	<u>Jaime R</u>
<u>II</u>	<u>Ing. Pedro Guzman Tinajero</u>	<u>Pedro</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Benjamin Contreras Santa Cruz</u>	<u>B. Santa Cruz</u>

A MIS PADRES

JESUS VARGAS CHAVEZ Y CATALINA MENDOZA RAMÍREZ

QUE SIEMPRE ME HAN APOYADO INCONDICIONALMENTE CON UNA FUERZA INCONMENSURABLE, MOSTRANDOME EL CAMINO DE LA RECTITUD Y HONESTIDAD.

POR SER MIS GUIAS DURANTE TODOS ESTOS AÑOS, YA QUE CON SU EJEMPLO DE SUPERACION ME HAN ALENTADO A LA TERMINACION DEL PRESENTE TRABAJO.

A MIS HERMANOS

LAURA, JAVIER, JESUS, CATALINA, JORGE, JOSE Y EN ESPECIAL A LA MEMORIA DE ARTURO.

GRACIAS A SU INFINITO APOYO Y ARMONIA DE QUIENES HE APRENDIDO EL ESPIRITU DE SUPERACION.

A MI QUERIDA ESPOSA

MARIA MAGDALENA ALCALA F.

POR SU INQUEBRANTABLE DESEO DE SUPERACIÓN, SU TOTAL COMPRENCION, AMOR Y SU DETERMINANTE AYUDA EN MOMENTOS DIFICILES.

POR QUE TODOS NUESTROS SUEÑOS SE CONVIERTAN EN REALIDAD

A MI QUERIDO HIJO

LUIS ARTURO

LE DEDICO ESTE TRABAJO, PARA QUE ALGUN DÍA LO TOME COMO UN EJEMPLO
DE SUPERACION.

A MI QUERIDA UNIVERSIDAD (UNAM)

AGRADEZCO A LA GLORIOSA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
(UNAM), A MI QUERIDA ESCUELA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
(I.M.E). POR PROPORCIONARME LOS INSTRUMENTOS CON LOS QUE, COMO MEXICANO,
SERVIRE MEJOR A NUESTRA PATRIA ATRAVES DEL CONOCIMIENTO DE LA CIENCIA Y
TECNOLOGIA.

CON GRAN ADMIRACION Y RESPECTO A MI ASESOR POR SUS BENIGNOS
CONSEJOS EN LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO.

ING. JAIME RODRIGUEZ MARTINEZ.

*" CRITERIOS DE DISEÑO
DE
ILUMINACIÓN COMERCIAL "*

POR LUIS V. VARGAS MENDOZA

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN	3
1.1.- La luz	4
1.2.- Transmisión de la luz	4
1.3.- Fenómenos de la luz	4
1.3.1.- Reflexión	5
1.3.2.- Refracción	5
1.4.- Magnitudes y unidades fundamentales de iluminación	6
1.5.- Métodos de medición	8
1.6.- Tipos de iluminación	9
CAPÍTULO 2 : TIPOS DE LÁMPARAS INDUSTRIALES	11
2.1.- Generalidades	12
2.2.- Lámparas incandescentes	12
2.3.- Lámparas fluorescentes	14
2.3.1.- Lámparas fluorescente compactas	16
2.4.- Lámpara de vapor de mercurio	17
2.5.- Lámpara de aditivos metálicos	19
2.6.- Lámpara de vapor de sodio baja presión	21
2.7.- Lámpara de vapor de sodio alta presión	21
CAPÍTULO 3 : TIPOS DE LUMINARIOS INDUSTRIALES	24
3.1.- Generalidades	25
3.2.- Clasificación de los luminarios	25
3.3.- Curvas fotométricas de distribución de luz	26
3.4.- Clasificación de luminarios de acuerdo a su curva de distribución	28

CAPÍTULO 4 : MÉTODOS DE CALCULO DE ILUMINACIÓN	
(CAVIDAD ZONAL Y PUNTO POR PUNTO)	32
4.1.- Método de iluminación	33
4.2.- Método de cavidad zonal	33
4.2.1 - cavidad de techo	33
4.2.2.- cavidad de local	33
4.2.3.- cavidad de piso	34
4.2.4.- terminado de local	36
4.3.- Factores de depreciación	36
4.4.- Datos a seguir para calcular un sistema de iluminación	38
4.5.- Método punto por punto	40
4.6.- Ley inversa de los cuadrados	40
4.7.- Pasos a seguir para calcular un sistema de iluminación	42
CAPÍTULO 5 : CRITERIOS DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN	
COMERCIAL	44
5.1.- Generalidades	45
5.2.- Principales metas de la iluminación comercial	46
5.3.- Clasificación de áreas comerciales	47
5.4.- Subsistemas de iluminación de establecimientos comerciales	48
5.4.1.- Iluminación general	48
5.4.2.- Iluminación de acento	48
5.4.3.- Iluminación perimetral	49
5.5.- Criterios de diseño de iluminación comercial	50
CAPÍTULO 6 : EJEMPLO PRACTICO DE UN PROYECTO DE	
ILUMINACIÓN COMERCIAL	56
6.1.- Generalidades	57
6.2.- Memoria técnica descriptiva de iluminación comercial	57
CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aspira a introducir al lector en el estudio de aspectos fundamentales en iluminación comercial, así como poder aplicar estos conocimientos al análisis y aplicación de criterios de diseño de iluminación comercial.

Actualmente el Ingeniero de Iluminación es el encargado de aplicar los criterios que se deben tomar en cuenta para la realización de un proyecto de iluminación comercial.

Hoy en día los ingenieros de iluminación no consideran únicamente el tamaño del área comercial que se va a iluminar, sino que es necesario hacer un estudio profundo de la actividad comercial que se desempeñara y de las principales necesidades del cliente comercial.

Además, ningún Ingeniero puede pasar por alto el costo actual de la energía eléctrica, por lo que el Ingeniero de Iluminación debe recomendar el sistema de iluminación menos costoso, más eficiente y adecuado para el trabajo que se va a realizar.

Un lugar comercial atractivo y bien iluminado, se logra si se tiene un conocimiento profundo de los factores y criterios de diseño de iluminación comercial y si se cuenta con la información adecuada de los nuevos equipos de iluminación y lámparas. Esto ayudara al diseñador a elegir los mejores sistemas de iluminación comercial. Esto además contribuye a hacer del lugar un sitio agradable y confortable tanto para los clientes, como también para los trabajadores, lo cual influye en el ánimo y rendimiento de los empleados.

La mejor medición de una buena iluminación de los establecimientos comerciales, es cual efectiva resulta para favorecer la venta de mercancías.

Las decisiones de compra generalmente son el resultado de la percepción visual, los otros sentidos también se involucran, pero la visión es considerada la más importante.

En el primer capítulo se trata de explicar en forma concreta y concisa las definiciones básicas de iluminación, así como también la definición de las unidades y magnitudes fundamentales que se utilizan en iluminación, con el objeto, de que se entiendan mejor y así poder usarlas en la comparación y valoración de las fuentes de luz y sus efectos.

Además, en este capítulo se explican los métodos utilizados en las mediciones de iluminación y se analizan los tipos de iluminación.

En el segundo capítulo tiene como objetivo, el de conocer y entender los diferentes tipos de lámparas, así como su clasificación y funcionamiento de estas.

Para así poder comparar las diferentes características que existen entre estas y así poder tener un criterio de elección del tipo de lámpara que se utilizara, en un proyecto de iluminación que se este realizando.

En el tercer capítulo se da un breve bosquejo acerca de: los diferentes tipos de luminarios industriales, curvas fotométricas de distribución de luz y clasificación de estos de acuerdo a su curva de distribución de luz.

En el capítulo cuatro se analizan los diferentes métodos de cálculo de iluminación que existen (cavidad zonal y punto por punto), así como los diferentes pasos a seguir para el cálculo de estos.

El quinto capítulo, que es en si el tema principal de este trabajo, encontramos la clasificación que existe de los diferentes centros comerciales, debido a su volumen de tránsito de clientes y así mismo también los diferentes subsistemas de iluminación comercial existentes.

Además se proporcionan los diferentes criterios de diseño de iluminación comercial, que se deben utilizar para realizar un estudio profundo, de un sistema de iluminación comercial.

El sexto y último capítulo es un ejemplo práctico de un proyecto de iluminación comercial, en el cual se pretende aplicar los conocimientos de Ingeniería de iluminación comercial adquiridos a lo largo de este seminario.

CAPÍTULO 1
CONCEPTOS BÁSICOS
DE ILUMINACIÓN

1.1.- LA LUZ

La luz es una manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas, capaz de afectar o estimular la visión. La radiación visible, es decir, la que actúa sobre el ojo está comprendida aproximadamente entre las longitudes de onda de 3800 a 7800 Angstroms.

1 metro = 10^{10} A (Angstroms)

1 metro = 10^9 (nm) Nanómetros

1.2.- TRANSMISIÓN DE LA LUZ

La luz no necesita de ningún medio material para propagarse. Puede viajar, no sólo en cualquier cosa, ya sea sólida, líquida o gaseosa, sino también, en el espacio vacío.

Nada en el universo se mueve más rápido que la luz, de hecho, no hay objeto material que alcance la velocidad con que viajan los rayos luminosos. Todo tipo de radiación electromagnética incluyendo la luz se mueve a una velocidad de 300, 000 Kilómetros por segundo.

1.3.- FENÓMENOS DE LA LUZ

Después de que la luz sale de la fuente que la emite, viaja en línea recta, y sólo cambia de rumbo si choca contra algo.

Cuando la luz llega a un objeto le puede ocurrir los siguientes fenómenos.

- ◆ La luz atraviesa el objeto si éste es transparente. Es decir, se transmite.
- ◆ La luz rebota en una superficie y se aleja de ella, si es brillante. Es decir, se refleja.
- ◆ La luz se queda en el objeto si éste es opaco. Es decir, se absorbe.

Estos tres fenómenos suelen ocurrir simultáneamente; y así, en muchos casos, una parte de la luz se transmite, otra se absorbe y otra más se refleja.

Cuando las ondas luminosas encuentran un obstáculo rodean la orilla del objeto y siguen avanzando. Claro, ya no en la misma dirección que traían antes, si no de acuerdo con el contorno que rodean, por esto se forman figuras de luz y sombra.

A este tipo de fenómeno se le llama difracción y le sucede a todo tipo de ondas, por ejemplo las sonoras o las que se forman en la superficie del agua

1.3.1.- Reflexión

Es el fenómeno que tiene lugar cuando las ondas, que avanzan por un medio, chocan contra un obstáculo que las hace retroceder cambiando de dirección o sentido, de tal modo que los rayos incidente y reflejado forman con la perpendicular en el punto de incidencia, ángulos iguales y situados en un mismo plano perpendicular a la superficie de separación de los dos medios, (fig 1.1)

1.3.2.- Refracción

Al pasar un rayo de luz de un medio a otro, además de producirse un cambio de dirección, se efectúa una disminución en su intensidad debida a una cierta absorción de la energía radiante por parte de los átomos del pigmento o de la sustancia de la que ésta formada el medio. El grado de difusión de los rayos transmitidos depende del tipo y densidad del material originándose así, distintos tipos de transmisión entre los que podemos mencionar: pura, difusa, dirigida, etc (fig 1.1)

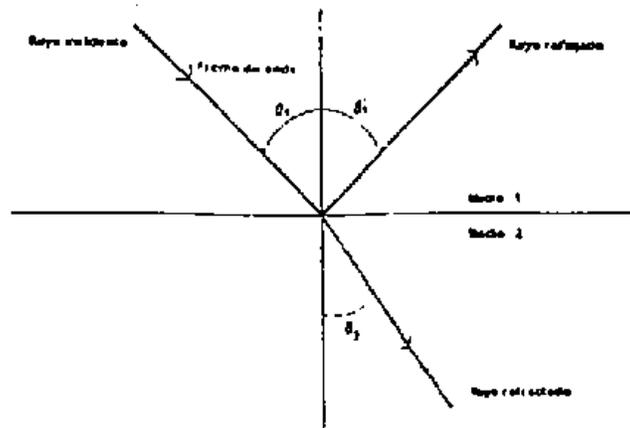


Fig. 1.1 Muestra los fenómenos de reflexión y refracción.

1.4.-MAGNITUDES Y UNIDADES FUNDAMENTALES DE ILUMINACIÓN

Para la determinación, cálculo, medición y valoración de la luz y de la iluminancia, se ha establecido el siguiente sistema de magnitudes luminotécnicas fundamentales.

Lumen (lm).-Un lumen es el flujo de luz que incide sobre una superficie de 1 m², la totalidad de cuyos puntos diste 1 m de una fuente puntual teórica que tenga una intensidad luminosa de 1 candela en todas direcciones. (Unidad de flujo luminoso)

Esterorradian (sr).-Se define asimismo como el ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico cuya superficie es igual al cuadrado del radio de la esfera.

Candela (cd).-Unidad de intensidad luminosa igual a un lumen por estereorradian (lm/sr).

Nit.-Unidad de brillantes (luminancia) igual a una candela sobre metro cuadrado (cd/m²).

Lux (lx).- Unidad de nivel luminoso en el sistema internacional (lm/m²).

Nanómetro.- Es la unidad de longitud de onda igual a 10⁻⁹ m

Angstrom.- Unidad de longitud de onda igual a 10⁻¹⁰m

En general, el flujo luminoso no se emite uniformemente, sino que se distribuye por el espacio con intensidades variables, según la dirección. Al hacer una división apropiada del espacio. El carácter radiante de la luz requiere una división angular del espacio (figura 1.2). Un haz de rayos dirigidos hacia la superficie F delimita en el espacio una superficie cónica, ocupada por el flujo luminoso. El vértice de este cono se encuentre en el punto L y su superficie lateral está formada por rayos dirigidos hacia el contorno de la superficie F. Tal división del espacio se llama ángulo sólido

El ángulo sólido se mide por la porción de superficie esférica de radio unidad que intercepta. Cuando la superficie iluminada F está a distancia r del punto luminoso y es una porción de superficie esférica, el ángulo ω correspondiente viene dado por:

$$\omega = F/r^2$$

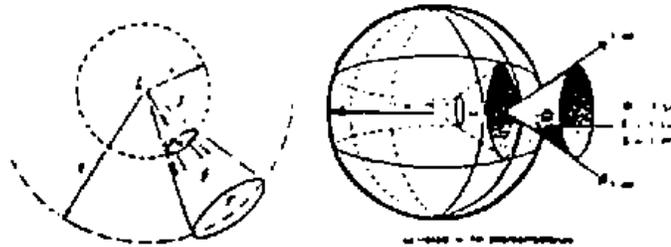


Fig 1 2 Representación del ángulo sólido ω , del flujo ϕ que comprende y de la intensidad luminosa.

Como conclusión podemos decir que el sistema de unidades luminotécnicas fundamentales, el ángulo sólido desempeña el papel de dimensión geométrica.

Por lo tanto cuanto mayor sea el flujo luminoso y menor el ángulo sólido tanto mayor será la (densidad de luz en el ángulo sólido) ϕ/ω , es decir, tanto mayor será la intensidad de la radiación de L dirigida a F. De esto podemos deducir las siguientes magnitudes fundamentales

Magnitud	Símbolo	Unidad	Definición de la unidad	Relaciones
Energía luminosa	Q	Lumen por segundo (lm·s) Lumen por hora (lm·h)	Flujo luminoso emitido por unidad de tiempo.	$Q = \phi t$
Flujo luminoso	ϕ	Lumen (lm)	Flujo luminoso de la radiación monocromática de frecuencia $540 \cdot 10^{12}$ Hz y un flujo de energía radiante de 3683 miliovatios.	$\phi = I \omega$
Intensidad luminosa	I	Candela (cd)	Intensidad luminosa de una fuente puntual que emite flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián.	$I = \phi/\omega$
Intensidad de iluminación	E	Lux (lx)	Flujo luminoso de un lumen que incide una superficie de 1m ² .	$E = \phi/F$
Luminancia o brillo	L	Candela por m ² (cd·m ⁻²) Candela por cm ² (cd·cm ⁻²)	Intensidad luminosa de una zona por unidad de superficie.	$L = I/\sigma$
Eficiencia luminosa	η	Lumen por vatio (lm·W ⁻¹)	Flujo luminoso emitido por unidad de potencia.	$\eta = \phi/P$

1.5.- MÉTODOS DE MEDICIÓN

Las medidas de iluminación tienen importancia relevante en la fotometría, ya que proporcionan los valores de las magnitudes básicas de una fuente luminosa, como son la intensidad luminosa, flujo luminoso, intensidad de iluminación y brillantez, en la actualidad se cuenta con aparatos de gran exactitud y aplicación rápida para hacer dichas mediciones. La siguiente tabla (1.1) muestra los diferentes métodos de medición, para las diferentes magnitudes de iluminación.

MAGNITUDES	MÉTODOS DE MEDIDA
INTENSIDAD LUMINOSA (cd)	Las medidas de intensidad luminosa se realizan en laboratorios que requieren de instrumentos especiales. Pueden consistir en cámaras aproximadas de una fuente o luminaria colocadas en laboratorio a una distancia conocida de ellas hacia la dimensión máxima de la luminaria, orientando la óptica del sistema direccionada hacia la luminaria y establecer la lectura adecuada en lux por el cuadrado de la distancia en metros.
FLUJO LUMINOSO (lm)	Las medidas de flujo de las fuentes luminosas se efectúan por procedimientos de laboratorio que requieren equipos especiales. No obstante, la cantidad de lumens que existe sobre un superficie puede medirse con la ayuda de un luxómetro normal. Se colocan lecturas de lux en varios puntos de la superficie, con objeto de hacer un total medio obtenido por el área de la superficie en metros cuadrados.
INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN (lx)	Las medidas de iluminación se hacen con luxómetros, que tienen incorporadas células fotoeléctricas del tipo tipo Barret. Este tipo de células consiste en un ánodo en una película de óxido sensible a la luz dispuesto sobre una placa metálica de base y cubierta con una capa transparente muy fina de metal pulverizado sobre su exterior. Al incidir luz en la célula se originan los electrones del material semiconductor. Estos electrones son recogidos por un selector de metal, en contacto con el ánodo frontal ánodo de, simultáneamente se una diferencia de potencial entre el ánodo y la placa base. Se conecta a un microamperímetro sobre dicha diferencia de potencial generada por la célula. Puesto que la corriente es proporcional a la intensidad de la luz incidente, se puede calibrar el aparato para leer directamente en lux.
LUMINANCIA O BRILLANTES (cd/cm ²)	Para medir el brillo pueden utilizarse diversos instrumentos. Uno de ellos tiene un tubo fotoeléctrico como elemento sensible a la luz, con un filamento para conformar la respuesta espacial a la curva de sensibilidad del ojo. El instrumento se dirige a la superficie a medir, y una lente enfoca la imagen de una pequeña área sobre el tubo, el cual produce una corriente proporcional a la luminancia. Esta corriente se lee en un microamperímetro calibrado en unidades por centímetro cuadrado.

Tabla 1.1 Métodos de medición de las diferentes magnitudes de iluminación

1.6 .-TIPOS DE ILUMINACIÓN

Directa.- El flujo luminoso está dirigido hacia abajo. Permite obtener rendimientos elevados, figura 1.3a

Semidirecta.- El flujo luminoso está dirigido en gran parte hacia abajo y en parte hacia arriba, figura 1.3b.

Mixta.- El flujo luminoso está distribuido casi por igual, tanto hacia abajo como hacia arriba, figura 1.3c

Semi-indirecta.- El flujo luminoso se dirige principalmente hacia arriba, figura 1.3d

Indirecta.- El rendimiento es bajo y la visión poco nítida por la falta total de efecto de sombra, figura 1.3e.

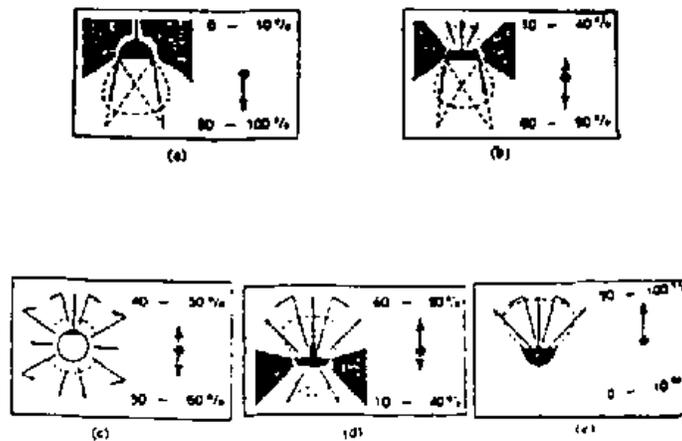


Fig. 1.3 (a,b,c,d,e) Representación y distribución del flujo luminoso.

Otra clasificación de los tipos de alumbrado puede ser la que ofrece a continuación, existiendo luminarias especialmente previstas para las aplicaciones que se indican

General.- Un sistema de alumbrado general proporciona la iluminancia que se requiere sobre el plano horizontal con un determinado grado de uniformidad. Las luminarias están dispuestas de modo que produzcan un nivel de iluminación casi uniforme en cualquier punto del local figura 1.4a.

Ejemplos: iluminación de establecimientos, oficinas, tiendas, grandes almacenes, aulas, etc.

Localizada.- Un sistema de alumbrado localizado proporciona una iluminación no uniforme del local y las luminarias se hallan situadas cerca de los puntos a iluminar. En los puestos de más interés, la luminancia debe ser lo suficientemente alta, mientras que en los otros sitios (zonas de paso), la iluminación queda limitada normalmente al 50% de la que correspondería a la tarea visual. El alumbrado local se produce colocando luminarias cerca de la tarea visual.

Ejemplos: iluminación de áreas limitadas, generalmente en ausencia de la iluminación general (escaparates, etc.), figura 1.4b.

Suplementaria.- Considerando las relaciones adecuadas entre la iluminación de la tarea y la de las áreas circundantes, el alumbrado local deberá ser complementado con un sistema de alumbrado general. Las luminarias están situadas en la inmediata vecindad del punto de trabajo y se integran con la iluminación general.

Ejemplos: iluminación de tableros de dibujo, escritorios, partes móviles de las máquinas-herramientas, escaparates o cuadros, figura 1.4c.



Figura 1.4 (a,b,c) Tipos de iluminación dependiendo de su aplicación

CAPÍTULO 2
TIPO DE LÁMPARAS
INDUSTRIALES

2.1.- GENERALIDADES

La iluminación requiere forzosamente de un dispositivo que proporcione la luz, llamaremos entonces, fuente luminosa al elemento que emite radiaciones visibles para el ojo humano, es decir que produce luz.

Para una mejor comprensión acerca de las fuentes luminosas podemos manejar la siguiente clasificación:

- 1.- *Fuente luminosa natural.*
- 2.- *Fuente luminosa artificial.*

La fuente luminosa natural más conocida es el sol. Mientras que las fuentes luminosas artificiales, son las lámparas eléctricas, pudiendo ser divididas en dos ramas:

- a.- *Lámparas incandescentes.*
- b.- *Lámparas de descarga.*

Las lámparas de descarga se clasifican a su vez en:

- 1.- *Fluorescentes.*
- 2.- *Vapor de mercurio.*
- 3.- *Aditivos metálicos.*
- 4.- *Vapor de sodio (alta presión).*
- 5.- *Vapor de sodio (baja presión).*

2.2.- LÁMPARAS INCANDESCENTES

Este tipo de lámparas producen luz en virtud de un hilo o filamento calentado hasta la incandescencia por el paso de una corriente eléctrica a través de él. Una lámpara incandescente se compone básicamente de tres elementos; el bulbo, la base y el filamento.

El bulbo o ampolla debe contener al filamento ya que este debe operar al vacío o en una atmósfera de gas inerte para evitar la rápida desintegración debido a la oxidación, y por ello se le encierra en una envoltura de cristal. El tamaño y la forma de los bulbos de las lámparas se designan por una letra o letras seguidas de un número. Las letras indican la forma del bulbo y el número el diámetro del bulbo en octavos de pulgada. Las letras pueden ser : S = Lado recto, F = Llama, G = Redondo o globular, T = Tubular, PS = de cuello recto, PAR = Parabólico, R = Reflector. Por

ejemplo una lámpara nombrada como T-8 indica que es tubular, con una pulgada de diámetro.

La base o casquillo tiene por función conectar la ampolla con el portalámparas. En una lámpara el filamento es el productor de luz, la potencia de una lámpara de filamento es igual a la tensión de alimentación del portalámparas, en volts, multiplicado por la intensidad de corriente que pasa por el elemento. Cuanto más alta sea la temperatura del trabajo del filamento, más grande es la porción de la energía emitida que cae dentro de la región visible del espectro de radiación.

La vida de una lámpara y el flujo de luz emitida están determinados por la temperatura del filamento, cuanto mas elevada es la temperatura para una lámpara dada, mayor es su eficiencia (Lúmenes emitidos por cada watt consumido) y con ello se acorta la vida de la lámpara.

Los datos publicados por los fabricantes sobre la vida de las lámparas se refieren al promedio de vida de un grupo de lámparas bajo condiciones de ensayos específicos y no pretende ser una garantía del resultado de ninguna lámpara en concreto.

Las lámparas incandescentes tienen bastantes aplicaciones en casas, oficinas y fabricas. Sus ventajas incluyen bajo costo inicial, rentabilidad, buen rendimiento de color además que no necesita controles adicionales. Las lámparas incandescentes son ideales para aplicarlas donde se requiera que el rendimiento de color resalte los objetos, tales como tiendas de abarrotes, mueblerías, tiendas de ropa, estudios de arte, salones de belleza.

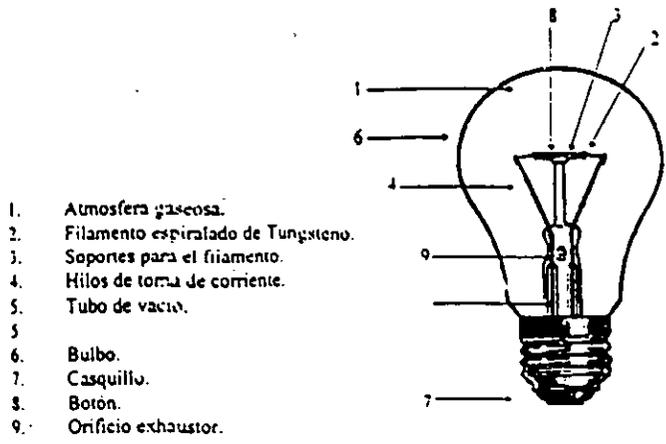


Fig. 2.2 Principales componentes de las lámparas incandescentes.

2.3.- LÁMPARAS FLUORESCENTES

Las lámparas fluorescentes son lámparas de descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, donde la luz se genera por el fenómeno de fluorescencia.

Una lámpara fluorescente consiste básicamente de un tubo recubierto de su parte interna con un material fluorescente llamado Fósforo; el tubo está relleno por una mezcla de gas Argón - Neón o Argón solamente y contiene también una pequeña cantidad de mercurio.

El tubo actúa como una envoltura hermética para la mezcla de gas y Mercurio sirviendo también de soporte a la cubierta interna de Fósforo. Dentro del tubo, se encuentra los electrodos terminales que son la fuente de electrones para establecer el arco.

El casquillo o base de contacto de una lámpara fluorescente, desempeña las funciones de conexión de la lámpara al circuito de alimentación que proporciona el medio de sujeción mecánica de la lámpara.

Principio de operación

La lámpara fluorescente produce energía luminosa debido al paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos, que al calentarse liberan electrones del material con el cual están revestidos.

Además de los electrones térmicamente liberados, existen también electrones que son liberados por la diferencia de potencial entre los electrodos. Estos electrones viajan de un cátodo hacia otro a altas velocidades, estableciéndose una descarga eléctrica (Arco) a través del vapor de Mercurio. El choque de los electrones con que el átomo de Mercurio libera radiación ultravioleta, es convertida por los fósforos en luz visible.

Características

- Alto costo inicial.
- Buena definición de color (50 - 60).
- Mal control luminoso.
- Alta eficiencia (55 - 100 lúmenes/watt).
- Vida útil aceptable (9000 - 20000 horas).

Baja luminancia de superficie.

Encendido muy rápido.

Reencendido muy rápido.

Bajo costo de operación.

Acabado de lámparas fluorescentes

Lámpara luz del día.- Esta lámpara se denomina así debido a que el espectro luminoso se asemeja bastante a la luz natural y tiene una temperatura de color de aproximadamente 6000° K.

Lámpara blanco frío.- Tiene la ventaja práctica de poderse combinar indistintamente con la luz natural y con la luz de lámparas incandescentes, tiene una temperatura de color de aproximadamente 4300° K.

Lámpara blanco cálido.- En este tipo de lámparas su emisión de radiaciones rojas en cantidad considerables hace que sea parecida a las lámparas incandescentes, tienen una temperatura de color aproximadamente de 3000°K.

Aplicación.

Lámpara luz de día.- Este tipo de lámparas dada sus características, se usan para iluminación general, en sistemas de iluminación comercial y de oficina.

Lámparas blanco frío.- Es la lámpara de uso más general y su campo de aplicación es prácticamente limitado, ya que puede usarse en sistemas de iluminación de oficinas, comercial e industrial. En sistemas de iluminación de oficinas, las lámparas de este tipo proporcionan una atmósfera psicológicamente fresca. En sistemas de iluminación comercial se utiliza como iluminación general que permite obtener el máximo rendimiento de color de productos exhibidos en zonas de venta. En sistemas de iluminación industrial, se utiliza en zonas de baja altura (Nave baja) como iluminación general.

Lámpara de blanco cálido.- Este tipo de lámparas se utiliza en lugares donde sea importante una buena reproducción de colores.

Su aplicación comprende sistemas de iluminación residencial y comercial. En sistemas de iluminación residencial se utiliza como iluminación general en cocinas y bodegas. En sistemas de iluminación comercial, se utiliza en la exhibición de productos a fin de mostrarlos bajo la luz del mismo color que la usada en las casas

donde se utiliza iluminación incandescente, y en general donde es importante favorecer la apariencia de personas y productos.

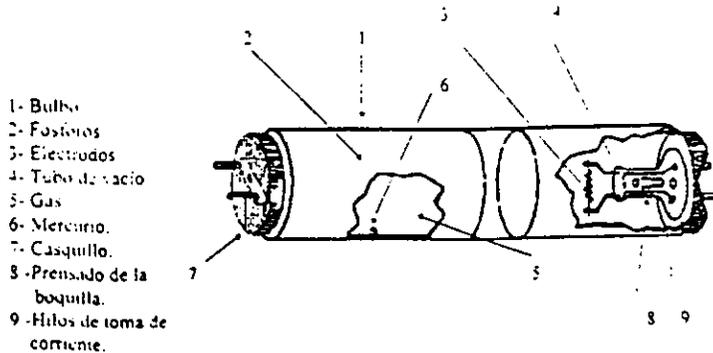


Fig. 2.3 Principales componentes de una lámpara fluorescente.

2.3.1.- LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

Las lámparas fluorescentes compactas son una nueva alternativa para los sistemas de iluminación ya que operan con el mismo principio que con una fluorescencia lineal, pero comparada con una incandescente usan aproximadamente un cuarto de la potencia nominal con aproximadamente el mismo flujo luminoso y duran entre 8 y 10 veces mas que las incandescentes convencionales. Esto es debido al desarrollo de los Trifósforos adicionales al tubo, lo que reditúa en una mejor eficacia y color, haciendo posible un reducido diámetro de tubo.

Las lámparas fluorescentes compactas tienen 2 ventajas significativas: primero, pueden ser usadas para reemplazar a las lámparas incandescentes con el beneficio de obtener una vida mayor y reducir los costos por mantenimiento y segundo son fuente de luz blanco frío que permiten el diseño de una nueva generación de arreglos de alumbrado. Las lámparas fluorescentes producen mucho menor calor que las lámparas de filamento, y desde que pueden convertir mas de su energía eléctrica a energía visible por lo que son más eficientes produciendo 90 lúmenes por watts. De hecho las lámparas compactas producen el mismo flujo que una incandescente, pero con menos de la mitad de la potencia de la lámpara. Esto en adición a su compacto

tamaño y variados diseños, tiene una amplia variedad de aplicaciones comerciales e industriales.

2.4.- LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

Una lámpara de Mercurio de alta presión consiste de un tubo de arco que contiene una pequeña cantidad de Mercurio relleno por un gas inerte como el Argón.

La presencia del cuarzo para el tubo de arco significa que mas luz ultravioleta se emite, lo que permite explotar las propiedades de los Fósforos en la construcción de las lámparas. En adición con ciertos químicos se puede obtener un acabado fluorescente o claro con la emisión de luz ultravioleta. De esta forma, los ingenieros no solo pueden usar la luz directa del arco, sino también puede convertir la luz invisible ultravioleta a luz visible para producir un mejor efecto. Los Fósforos proveen una luz roja que balancea la radiación visible azul/verde.

Las lámparas de Mercurio, pertenecen al grupo de lámparas conocidas como de descarga eléctrica, en las cuales la luz se produce por el paso de una corriente eléctrica a través de vapor o un gas, en vez de un hilo de tungsteno.

La aplicación de un potencial eléctrico ioniza el gas y permite que la corriente pase entre dos electrones colocados en los extremos opuestos de la lámpara. Los electrones que forman el chorro de corriente o " arco de descarga " se aceleran a enormes velocidades; al entrar en colisión con los átomos del gas o vapor alteran momentáneamente la estructura atómica de estos, produciéndose una luz por la energía desprendida cuando los átomos alterados vuelven a su estado normal.

Las fuentes de descargas eléctricas requieren de un transformador de alta reactancia o un elemento similar para limitar la corriente. En las lámparas de Mercurio, el gas es Mercurio vaporizado, que a la temperatura ambiente es un liquido y puede verse formando pequeñas gotitas en la superficie interior de la pared de una lámpara apagada. Para facilitar el encendido, se introduce una pequeña cantidad de gas Argón que se ioniza mas rápidamente. El arco inicial salta a través del Argón ionizado una vez que comienza a vaporizar el Mercurio, que se convierte gradualmente en conductor. Los electrodos de las lámparas de Mercurio son espirales de tungsteno no impregnadas de material emisor.

En la mayoría de las lámparas de mercurio el material emisor es una mezcla de óxidos trimetálicos adheridos en las vueltas de la espiral de tungsteno. El material

emisor suministra electrones para iniciar y ayudar a mantener el arco. Los electrodos también actúan como la terminal de arco.

Las lámparas de Mercurio se construyen de dos bulbos, uno interior de cuarzo en el que se produce el arco y otro exterior de cristal que protege al tubo de cuarzo de los cambios de temperatura y actúa como filtro para eliminar algunas longitudes de onda de la radiación del arco. El espacio situado entre dos bulbos normalmente se rellena con un gas inerte. En las lámparas reflectoras de Mercurio el bulbo exterior, por medio de un revestimiento reflector metálico aplicado a la superficie interior sirve para dirigir la luz en forma de haz.

Normalmente en las lámparas de Mercurio se reviste el bulbo exterior con Fósforo blanco que convierte una gran parte de la energía ultravioleta radiada por el arco en luz visible.

Las reactancias limitadoras de corriente para las lámparas de vapor de Mercurio se calculan para cada tipo de lámparas de manera que suministren la tensión y corriente apropiadas para su funcionamiento. Las características eléctricas de las reactancias cuando acompañan a las lámparas de descargas son tales que originan un bajo factor de potencia, es por ello que se añaden capacitores para corregir el factor de potencia de un 0.50 ó 0.60 a valores de 0.9 o mas.

Este tipo de lámparas se emplea en el alumbrado de puertos, bodegas, carreteras, sin embargo ha sido desplazada por otras lámparas de descarga; aditivos metálicos y vapor de sodio en alta presión.

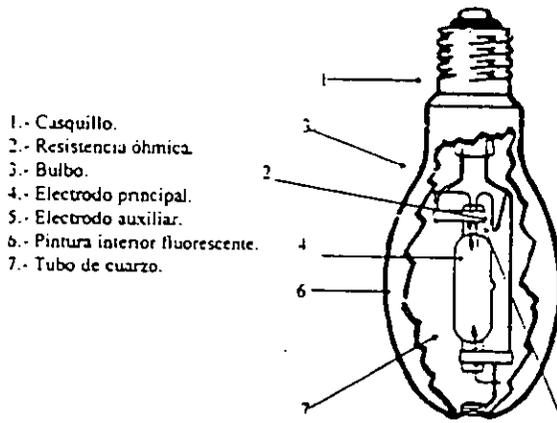


Fig. 2.4 Principales componentes de las lámparas de vapor de mercurio.

2.5.- LÁMPARA DE ADITIVOS METÁLICOS

Las lámparas de aditivos metálicos son lámparas de vapor de Mercurio de alta presión, con la particularidad de que el tubo de arco, además de contener en su interior gas Argón y Mercurio, tienen algunos aditivos metálicos en forma de yoduros, principalmente de Sodio, Talio e Indio, que al vaporizarse se obtienen un espectro visible mayor, lográndose un mejor rendimiento de color y una mayor eficiencia.

Las lámparas de aditivos metálicos, añade a las líneas correspondientes a los vapores metálicos de los yoduro en descomposición; por ejemplo si se emplean yoduro de Talio, Sodio e Indio, se añaden ahora la línea amarilla, la línea verde y las líneas azules y rojas, mejorando el rendimiento del color.

Este rendimiento de color de la lámpara aditivos metálicos es balanceado a través del espectro, debido a que este tipo de lámpara se aproxima a una fuente puntual, lo que da como resultado que se facilite su control óptico.

Principio de operación.

La lámpara de aditivos metálicos hace uso del mismo principio de arranque de las lámparas de vapor de Mercurio, pero difieren en forma significativa en características y requerimientos de operación.

Cuando el voltaje se aplica a la lámpara, se inicia la ionización en el espacio existente entre el electrodo de arranque y el electrodo de operación adyacente. Debido a la presencia de los yoduro metálicos, al existir suficiente ionización, se establece un flujo de electrones entre los electrodos de operación.

Una vez establecido el arco, la lámpara empieza a calentarse conforme la temperatura va aumentando, los aditivos van integrándose al flujo del arco, emitiendo su radiación característica. Debido a la presencia de yoduro metálico en la lámpara, se hace mas difícil la ionización del gas en el tubo del arco, requiriéndose, por lo tanto que el balastro proporcione un alto voltaje de circuito abierto. Los electrones que componen esta descarga de arco ó flujo de electrones, se ponen en movimiento a grandes velocidades a lo largo del trayecto existente entre los electrodos de operación. El impacto producido por los electrones y los átomos de vapor de Mercurio, alteran la estructura atómica de estos últimos, produciendo la luz por la energía desprendida, cuando los átomos alterados vuelven a su estado normal.

Aplicación

Lámpara de aditivos metálicos Fosforada.- Este tipo de lámpara, dada su buena definición de color, es usada en sistemas de iluminación comercial e industrial. En sistemas de iluminación comercial, se usa para la iluminación general de áreas de nave baja.

Lámparas de aditivos metálicos clara.- Este tipo de lámparas son usadas en sistemas de iluminación industrial, en iluminación general de áreas de nave alta.

BULBO DE BOROSILICATO

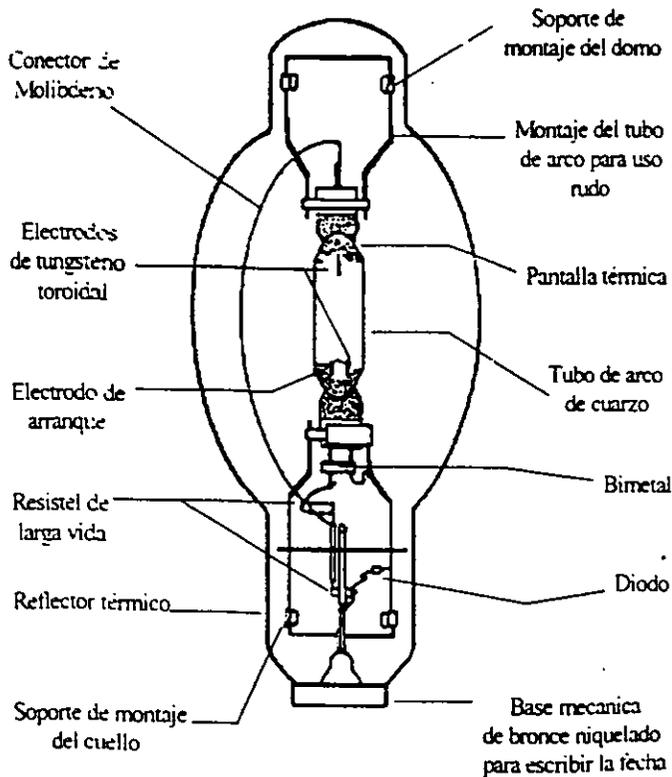


Fig. 2.5 Principales componentes de la lámpara de aditivos metálicos.

2.6.- LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO BAJA PRESIÓN

Las lámparas de vapor de Sodio son consideradas como las más eficientes dentro de la familia de lámparas de alta intensidad de descarga. Su principal elemento de radiación en el tubo de arco de la lámpara es Sodio y, adicionalmente para controlar el voltaje; además de una pequeña cantidad de Xenón utilizado para iniciar la secuencia de arranque.

Se requiere de 3 a 4 minutos para que la lámpara de vapor de Sodio logre su completa brillantez siendo un poco menor comparada con la lámpara de aditivos metálicos o de vapor de Mercurio.

El funcionamiento es debido a una descarga en vapor de Sodio a baja presión, genera luz monocromática (amarillo-anaranjado). Durante el periodo de calentamiento existen varios cambios en el color de la luz; inicialmente aparece un débil color blanco azulado producido por la ionización de Xenón el cuál es rápidamente desplazado por un brillante color azul, típico de la luz del Mercurio. Con un incremento en la brillantez se efectúa un cambio de amarillo monocromático, característico del Sodio a baja presión.

Una ampolla de protección térmica rodea el tubo de descarga generalmente en forma de U, para la mayoría de los tipos es necesario un transformador de dispersión de campo como un balastro. Este proporciona la tensión requerida de encendido y sirve al mismo tiempo para limitar la corriente de descarga, la temperatura ambiente no tiene prácticamente influencia alguna sobre el flujo luminoso. Si existe una interrupción momentánea de energía, el tiempo de reencendido será de aproximadamente un minuto.

2.7.- LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

Estas lámparas han sido desarrolladas para mejorar el tono de luz y a su vez la reproducción cromática de las lámparas de vapor de Sodio de baja presión, además que conservan un alto rendimiento luminoso y siendo que su presión es más alta, dejan destacar en el espectro luminoso otros colores, obteniéndose ahora un espectro más continuo de cuya composición resulta un color blanco-dorado.

El bulbo exterior de esta lámpara es de vidrio duro y en su interior se encuentra alojado el tubo de descarga en donde se encuentran los componentes:

Sodio, Mercurio y un gas noble (Xenón ó Argón), de los cuales el Sodio es principal productor de luz.

La principal característica que diferencia a las lámparas de vapor de Sodio baja presión con las lámparas de vapor de Sodio de alta presión, es que aquellas proporcionan una luz netamente amarilla. lo cual distorsiona los colores, es decir, que los colores no se distinguen tal como son.

Como lo habíamos mencionado antes, el bulbo de éstas lámparas es de un vidrio duro, y en el tubo de descarga donde se lleva a cabo la producción de luz es de un material compuesto de oxido de aluminio, que además de resistir temperaturas muy altas (aproximadamente 1 000°C), también resiste las reacciones químicas del Sodio y posee a la vez una transmisión de luz de más del 90%. El Mercurio evaporado reduce la conducción del calor del arco de descarga a la pared del tubo de descarga y con esto se consiguen mayores potencias en tubos de descarga de menor tamaño.

El gas Xenón es agregado para obtener un encendido seguro de la lámpara, con bajas temperaturas ambientales, tanto en interiores como en exteriores. En ambos extremos del tubo de descarga se encuentran dos tapones de cordón sintetizado que cierran herméticamente el tubo y al mismo tiempo soportan los electrodos.

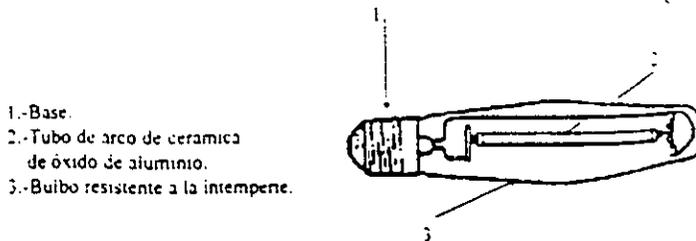


Fig. 2.7.1 Principales componentes de la lámpara de vapor de Sodio.

En la figura anterior podemos apreciar los componentes que constituyen a las lámparas de vapor de Sodio alta presión. Debido a la alta presión en que se encuentra el gas, para el encendido de estas lámparas es preciso aplicar altas tensiones de choque que van desde 2.8 a 5 KV, esto dependiendo de los tipos de lámparas, estas tensiones son proporcionadas por un dispositivo de arranque que va conectado con el correspondiente balastro, de está forma se asegura el encendido con temperaturas que van desde los 100 hasta los -25°C.

D = Balastro
 K = Condensador de compensación
 L = Lámpara
 U_N = Tensión de red 220 V

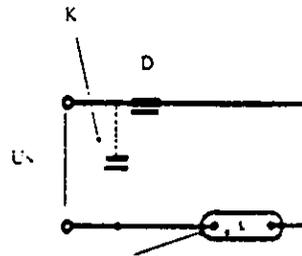


Fig. 2.7.2 Esquema de conexiones de las lámparas de vapor de Sodio a alta presión.

CAPÍTULO 3
TIPO DE LUMINARIOS
INDUSTRIALES

3.1.- GENERALIDADES

Un luminario es una unidad completa de iluminación que consta de una o más lámparas (fuentes de luz), junto con las partes diseñadas para el control de la distribución de la luz y otros componentes mecánicos y eléctricos para fijación, protección, conexión y funcionamiento del luminario. Las características ópticas de un luminario afectan al brillo directo y reflejado, sombras y distribución.

Los aparatos de alumbrado son medios de servicio eléctrico que contiene los accesorios necesarios para el funcionamiento de una lámpara, por ejemplo, portalámparas, balastos. Además, los aparatos de alumbrado deben desarrollar las siguientes funciones:

- ◆ Deben dirigir y distribuir espacialmente, de modo deseado, el flujo luminoso emitido por las lámparas. Para ello se utilizan materiales luminotécnicos, tales como reflectores especiales de difusión y lentes direccionales.
- ◆ Con los medios mencionados anteriormente, deben limitar el deslumbramiento a un mínimo admisible.
- ◆ Deben proteger las lámparas y sus accesorios contra influencias perjudiciales tanto mecánicas como químicas (polvo, agua , etc.), debiéndose considerar también la disipación de calor durante el servicio. Para ello se utilizarán materiales con las características mecánicas, térmicas y químicas que se requieran.
- ◆ Deben tener un elevado rendimiento, que permita un servicio económico.
- ◆ Deben satisfacer determinadas exigencias estéticas en cuanto a su aspecto y forma, pudiendo servir así como medio de configuración arquitectónica.

3.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS LUMINARIOS

Esta clasificación es en base a el control de flujo luminoso, es muy común cuando se aplica para iluminación industrial y comercial, mencionaremos los tipos de luminarios más importantes de acuerdo al flujo luminoso los cuales son:

1.- Tipo cercado redondo

Esta clase de luminarios es a prueba de la intemperie y puede estar construido para reflejo de superficie. El ensamble cercado, puede incluir una cubierta de vidrio.

2.- Tipo blando

Esta clase de luminario está diseñado para cubrir la fuente de luz y el reflector por arriba de un cierto ángulo vertical. El ángulo está elegido para minimizar un brillo directo para el observador.

3.- Tipo cercado rectangular

Esta clase de luminarios incluye una construcción substancialmente de habitación. El ensamble incluye pruebas contra el medio ambiente con cubierta de vidrio capaz de proveer una luz libre de obstrucción.

3.3.- CURVAS FOTOMETRICAS DE DISTRIBUCIÓN DE LUZ

Antes de diseñar un buen sistema de iluminación, debemos saber interpretar las representaciones gráficas de las intensidades, en distintas direcciones, de un luminario. A este tipo de representaciones gráficas la llamamos *Curva de Distribución* la cual se define como:

Curva de distribución.- Es la representación gráfica del comportamiento de la potencia luminosa emitida por un luminario. Se representa en coordenadas polares y los valores están dados en candela.

Para tener una gráfica completa de intensidad consideremos que la fuente luminosa está encerrada en una esfera transparente de radio R ; que ésta esfera ha sido marcada con círculos de latitud y longitud y que una celda fotoeléctrica (medidor de candelas por metro cuadrado) ha sido colocada en la superficie de la esfera y que ha sido hecha la lectura en cada punta seleccionada. Las lecturas así obtenidas representarían la iluminación producida sobre la superficie interna de la esfera imaginaria.

Mediante la simple inversión de la fórmula:

$$\text{Iluminación (E)} = \frac{\text{Intensidad (I)}}{\text{Distancia (D}^2\text{)}}$$

multiplicando cada lectura de iluminación por el cuadrado de la distancia de medición, podemos determinar la intensidad en candelas de la potencia lumínica en cada dirección particular en el espacio:

$$I = E \times D^2$$

En la realidad, la esfera imaginaria está sustituida por una celda, fotoeléctrica, calibrada moviéndose a lo largo de una pista radial.

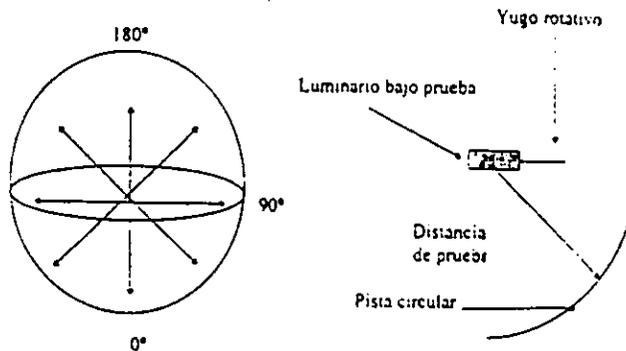


Fig. 3.3 Medición de la intensidad luminosa.

Con sólo inclinar y voltear el propio luminario, se puede obtener cada punto de la esfera imaginaria.

Es posible obtener una información muy útil sobre un luminario, sólo con el estudio de su curva fotométrica. Aquí están algunas indicaciones para verificar.

- ◆ Asegúrese de que la curva fotométrica tiene escala.
- ◆ Asegúrese de que los datos de rendimientos estén indicados en términos de lámparas normales conocidas.
- ◆ Verificar la distancia de medición; tanto más larga, tanto mejor. La distancia de medición deberá ser de por lo menos cinco veces la más grande dimensión del luminario.

Las curvas de distribución, se emplean para calcular los niveles de iluminación por la fórmula del inverso de los cuadrados, que da el nivel de iluminación en un punto particular, o para desarrollar los coeficientes de utilización, para determinar el nivel de iluminación promedio sobre una área general.

Una selección de curvas de distribución de varias combinaciones de reflector lámparas hace posible la mejor solución a las necesidades de su iluminación.

3.4.- CLASIFICACIÓN DE LOS LUMINARIOS DE ACUERDO A SU CURVA DE DISTRIBUCIÓN.

Existe una amplia gama de tipos de luminarios de acuerdo a las necesidades específicas de cada industria ó comercio, de tal forma que para considerar un luminario en especial se deben de tomar en cuenta los siguientes parámetros:

Distribución en candelas y potencia.- Diseño del luminario para evitar brillos indeseables y producir niveles altos de iluminación considerando sus factores de mantenimiento; construcción mecánica que permita una conveniente instalación de servicios, clasificación de luminarios en cuanto a utilización en diferentes tipos de áreas.

A continuación enumeramos la clasificación que existe de acuerdo a su curva de distribución.

1.- Directo.

Los luminarios clasificados como directos, son aquellos que producen prácticamente toda la iluminación hacia el área de trabajo (90 a 100%), por lo tanto en general, tales sistemas proporcionan iluminación en las superficies de trabajo más eficientemente, esto es frecuentemente a expensas de otros factores, por ejemplo : las sombras pueden ser distorsionadas a menos que los luminarios sean relativamente grandes en su área luminosa ó que las unidades sean montadas a menor distancia que las recomendada como distancia máxima de espaciamiento.

Estos sistemas adicionalmente producen brillo, directo y reflejado debido a la alta diferencia de luminancia entre la fuente brillante y el área circundante.

Algunos luminarios del tipo industrial clasificados como directos, están diseñados para emitir cuando mucho el 10% de la producción lumínica hacia la parte superior, lo cuál mejorará la comodidad visual a la vez que permite el flujo de aire a través de la unidad, lo cual reduce los depósitos de polvo en la lámpara y el reflector.

Así mismo, los luminarios clasificados como directos pueden ser concentrados o abiertos, lo cual nos permitirá determinar la relación conveniente de espaciamiento a la altura de montaje.

2.- Semi - Directo.

Los luminarios clasificados como semi - directos son aquellos que proporcionan del 60 al 90% de la luz hacia el plano del trabajo y el resto hacia la parte superior.

La utilización de luz producida por estos luminarios, depende en gran medida de la reflectancia del techo, de tal forma que con cielos pintados de colores claros y alta reflectancia, estos sistemas dan por resultado un mejoramiento en la comodidad visual, reduciendo en mayor proporción la acumulación de polvo en la lámpara y el reflector, debido a la corriente de aire que circula por el luminario, dando como resultado mayor mantenimiento en los niveles de iluminación.

El incremento en la iluminación del techo cuando se usan sistemas de distribución semi - directos, reducen las diferencias de luminancia entre el luminario y el techo, suavizando las sombras e incrementando la difusión.

3.- Difusión General ó Directo - Indirecto.

Esta clasificación se refiere a luminarios en los cuales el componente hacia abajo y el componente hacia la parte superior son aproximadamente del mismo valor (40 a 60% del total de la producción luminica).

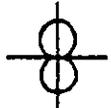
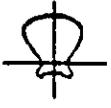
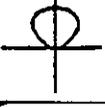
Los luminarios de éste tipo emiten luz aproximadamente igual en todas direcciones, en el caso de los luminarios directo-indirectos hay que hacer notar que emiten muy poca iluminación en ángulos cerca a la horizontal, lo cuál es preferible ya que producen baja luminancia en la zona directa de brillo.

La eficiencia de éste sistema depende en gran parte de las reflectancias de todas las superficies del cuarto, particularmente del techo, por ésta razón estos luminarios son utilizados ampliamente en instalaciones comerciales y no se recomienda en áreas de fabricación, cuya atmósfera por lo general es sucia.

4.- Indirectos

Los luminarios de éste tipo emiten del 90 al 100% de su luz hacia arriba y muy raramente son aplicados en instalaciones industriales a pesar de que ésta iluminación es generalmente la más cómoda, es también la de menor utilización y es a menudo mucho más difícil de mantener.

CLASIFICACIÓN DE LUMINARIOS
DE ACUERDO A SU CURVA DE DISTRIBUCIÓN

CLASIFICACIÓN	% DE LUZ RESPECTO A LA HORIZONTAL		DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA LUMÍNICA
	ARRIBA	ABAJO	
DIRECTA	0 - 10%	90 - 100%	
SEMIDIRECTA	10 - 40%	50 - 90%	
DIRECTA INDIRECTA	40 - 60%	40 - 60%	
GENERAL DIFUSA	40 - 60%	40 - 60%	
SEMI-INDIRECTA	50 - 90%	10 - 40%	
INDIRECTA	90 - 100%	0 - 10%	

CAPÍTULO 4
MÉTODOS DE CÁLCULO
DE ILUMINACIÓN

4.1.- MÉTODO DE ILUMINACIÓN

Desde el principio de 1960, el método para calcular el nivel de iluminación en un espacio ha sido el método de I.E.S. (Illuminating Engineering Society) de cavidad zonal. Este método supone que cada local está constituido por tres diferentes zonas o cavidades. Cada una de ellas será tratada en conjunto, ya que tiene un efecto en cada una de las otras cavidades para producir iluminación uniforme.

Este método calcula niveles de iluminación promedio horizontales a través de un espacio.

4.2.- MÉTODO DE CAVIDAD ZONAL

Este método, se complementa con el "MÉTODO DE LUMEN ", el cual divide el local en tres cavidades separadas. Estas son:

- 1.- Cavidad de techo.
- 2.- Cavidad de local.
- 3.- Cavidad de piso.

4.2.1.- CAVIDAD DE TECHO

Es el espacio entre el plano del luminario al techo. Para luminarios colgantes existirá una cavidad de techo; para luminarios directamente en el techo o empotrados en el mismo no existirá cavidad de techo.

4.2.2.- CAVIDAD DEL LOCAL

Es el espacio entre el plano de trabajo donde se desarrolla la tarea y la parte inferior del luminario; el plano de trabajo se encuentra localizado normalmente arriba del nivel del piso. En algunos casos, en donde el plano de trabajo es considerado a nivel de piso, el espacio desde el luminario al piso se considera como cavidad del local. En el lenguaje de iluminación la distancia desde el plano de trabajo a la parte inferior del luminario es llamado "Altura de montaje del luminario".

4.2.3.- CAVIDAD DE PISO

Se considera desde el piso a la parte superior del plano de trabajo, o bien, el nivel donde se realiza la tarea específica. Para áreas de oficina esta distancia es aproximadamente de 76 cm. (2.5 pies). Para bancos de trabajo en industrias deberá considerarse 92 cm. (3 pies) aproximadamente. Si el trabajo o tarea se desarrolla en el piso, no existe cavidad de piso. En la Fig. 4.1 se muestra el espaciamiento relativo a las cavidades del local, techo y piso, así como la altura "Altura de montaje de los luminarios".

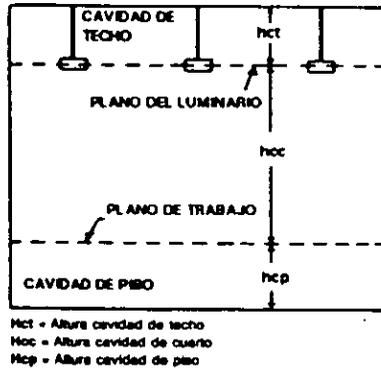


Fig. 4.1 Espaciamiento relativo a las cavidades del local, techo y piso.

La teoría básica considerada en este método de cálculo de iluminación es que la luz producida por una lámpara o luminario es reflejada por todas las superficies del área.

Las reflexiones múltiples de la luz desde el luminario y desde las superficies del local actúan para producir la luz en el plano de trabajo. Debido a este hecho es muy importante determinar:

- 1.- Las dimensiones del local.
- 2.- Las reflectancias del local referente a:
 - a.- techo.
 - b.- Paredes.
 - c.- piso.

3.- Características de la lámpara.**4.- Características del luminario.****5.- Efectos ambientales:**

a.- Polvo y suciedad.

b.- Temperatura.

6.- Mantenimiento planeado del sistema de iluminación.

Con el objeto de producir un lux en el plano de trabajo, el sistema de iluminación debe producir un lumen sobre cada metro cuadrado. De hecho, la definición de luxes:

Un lumen por metro cuadrado, o bien, establecido en forma matemática.

$$1 \text{ Lux} = \frac{1 \text{ lumen}}{1 \text{ m}^2}$$

Por lo tanto, un nivel de iluminación promedio de 1,000 luxes sobre un área de 10 m² requerirá de 10,000 lúmenes (desde el sistema de iluminación) que sean dirigidos al plano de trabajo.

Conforme la fuente de luz se encuentra más distante del plano de trabajo, el nivel de iluminación se reducirá en proporción al cuadrado de la distancia. Por ejemplo, si un sistema de iluminación produce 1,000 luxes a una distancia de 10 metros a 20 metros el mismo sistema no producirá la mitad sino una cuarta parte del nivel de iluminación, es decir, 250 luxes; matemáticamente:

$$I = \frac{1}{d^2} = \frac{1}{(2)^2} = \frac{1}{4}$$

Una cuarta parte del nivel original.

donde:

I = Intensidad de iluminación.

d = Distancia del luminario al plano de trabajo.

Es decir la mitad de la distancia no producirá 1/2 parte del nivel de iluminación sino 1/4 parte del nivel original.

4.2.- TERMINADO DEL LOCAL

Es muy importante recordar que los colores de las superficies del local tienen un gran efecto en el nivel de iluminación producido por un sistema. Usar colores claros en las paredes, techos y pisos, dará como resultado un mayor nivel de iluminación que si se usan colores oscuros. Lo anterior se aplica a muebles dentro del local, materiales colgantes y alfombras.

La fórmula de lumen para determinar el número de luminarios necesarios para producir un nivel de iluminación deseado para un espacio conocido es como sigue:

$$Luxes = \frac{No. de luminarios \times (lamparas / luminario) \times (lumenes / lampara) \times C.U. \times F.M.}{area}$$

donde:

C.U. = Coeficiente de Utilización.

F.M. = Factor de mantenimiento.

= L.L.D x L.D.D.

L.L.D. = Depreciación de lúmenes de la lámpara.

L.D.D = Depreciación de luminario.

4.3.- FACTORES DE DEPRECIACIÓN

Obsérvese que la fórmula anterior requiere del conocimiento de las lámparas, luminario y factores de mantenimiento.

Trataremos ahora como determinar los factores y donde encontrarlos.

a) Factores de lámpara:

1.- Valor de lúmenes iniciales.

2.- Lúmenes promedios mantenidos, producidos por la lámpara a través de sus horas de vida (L.L.D. = Depreciación de lúmenes de la lámpara).

b) Factores de Luminario:

- 1.- Factores de depreciación del luminario (L.D.D. = factor de depreciación del luminario debido al polvo).
- 2.- Coeficiente de utilización (C.U.).

Los fabricantes de lámparas publican datos, en los cuales se indica el valor inicial de producción luminica y el valor medio (promedio), o la depreciación de lúmenes de la lámpara a través de las horas de vida (L.L.D.).

A sí mismo también publican datos; los cuales incluyen la perdida de luz debido al polvo y suciedad en la superficie de los luminarios. También normalmente proporcionan el coeficiente de utilización para diferentes tamaños del local, usando diferentes reflectancias de las superficies.

El coeficiente de utilización es un parámetro que nos indica que tan eficiente es el luminario en convertir los lúmenes producidos por la lámpara en un nivel de iluminación útil. Un coeficiente de utilización de 0.80 significa que; solamente un 0.80 u 80% de luz emitida, se puede utilizar en el plano de trabajo. Esto indica que el coeficiente de utilización depende de otros factores independientes del luminario, como son las reflectancias de las superficies del local, discutidas anteriormente.

Los fabricantes de luminarios especifican el espaciamiento máximo entre luminarios en relación a la altura de montaje.

Este factor es conocido como la relación del "Espaciamiento a la altura de montaje " ó S/MH.

4.4.- DATOS A SEGUIR PARA CALCULAR UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Con el objeto de simplificar el procedimiento de cálculo para determinar el número de luminarios así como la localización de éstos en el área, se debe seguir los siguientes pasos:

1.- Determinar el tipo de trabajo que se desarrollará en el local.

Esto servirá para determinar la calidad y cantidad de luz que se necesita. La Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación A.C, indica los niveles de iluminación recomendados para cada trabajo específico.

2.- Determinar las condiciones físicas y operaciones del área y como se usará.

Esto incluye dimensiones del local, valores de reflectancia, localización del plano de trabajo y características operacionales, tales como: horas diarias de trabajo y período de tiempo en años del sistema durante el cual será usado.

3.- Determinar las reflectancias efectivas correspondientes a las cavidades de techo, pared y piso.

Este procedimiento contempla el efecto de interreflexión de la luz considerando las diferentes superficies del local.

Si todas las superficies son altamente reflectivas, o si los luminarios se encuentran localizados directamente en el techo, no será necesario efectuar este cálculo. En este caso se puede usar el valor actual de las reflectancias de las superficies (Estimadas o medidas) para determinar el coeficiente de utilización.

4.- Seleccionar el luminario que se usará.

Algunos de los factores que ayudan a determinar el luminario que deberá usarse son:

- a.- Altura de montaje.
- b.- Tipo de lámpara seleccionada.
- c.- Características de depreciación del luminario.
- d.- Restricciones físicas del montaje (Colgante, empotrado, sobreponer).
- e.- Mantenimiento requerido (Limpieza del reflector y el reemplazo de las lámparas).

- f.- Costo, tamaño y peso.
- g.- Aspecto estético.

5.- Determinar que fuente luminosa deberá usarse .

6.- Determinar el coeficiente de utilización (C.U)

El coeficiente de utilización se encuentra en los datos técnicos proporcionados por el fabricante, para el luminario que se utilizará.

Se notará que con el objeto de seleccionar el valor apropiado del C.U. de estas tablas, se deberá conocer primeramente las reflectancias de techo, pared y piso. la mayoría de las tablas muestran solamente un valor como reflectancia de piso. Este valor es 20% y es considerado como un valor normal.

7.- Cálculo de las pérdidas de cavidad:

- a.- Cavidad de local.
- b.- Cavidad de techo.
- c.- Cavidad de piso.

La fórmula para el cálculo de la relación de cavidad es:

$$\text{Relacion de cavidad} = \frac{5 \times H \times (L + A)}{L \times A}$$

donde:

L = Largo del local

H = Altura de cavidad de local; de piso a techo.

A = Altura del local.

8.- Determinar que condiciones ambientales prevalecerán en el área.

Estos nos ayudarán a determinar los efectos del polvo, suciedad y las condiciones ambientales que se deberán tomar en cuenta.

9.- Determinar los factores de depreciación de luz para el área.

Los factores de pérdida de luz se puede dividir en dos categorías:

- a.- No recuperables
- b.- Recuperables.

4.5.- MÉTODO PUNTO POR PUNTO

El cálculo de iluminación en un punto, tanto en el plano horizontal, vertical o inclinado consiste en dos partes: Una componente directa y una reflejada. El total de esas dos componentes es la iluminación del punto en cuestión.

4.6.- LEY INVERSA DE LOS CUADRADOS

Se emplea en el cálculo punto por punto e indica que la iluminación es proporcional a las candelas de la fuente en la dirección dada e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente al punto (Ver Fig. No. 4.6.1) de donde:

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

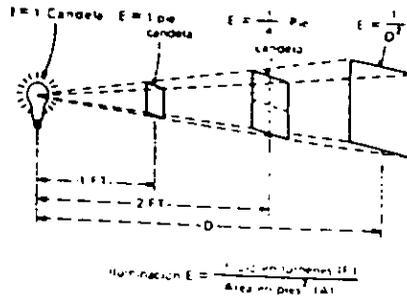


Fig. 4.6.1 Ley de la inversa de los cuadrados.

donde:

- E = Iluminación en el plano normal al rayo de luz.
- I = Candelas de la fuente en la dirección del rayo de la luz.
- D = Distancia de la fuente al plano.

Si la superficie en la cual se requiere determinar la iluminación esta inclinada, en el lugar de normal a los rayos de luz, la relación anterior se afectará por el coseno del ángulo de incidencia o inclinación, por lo tanto:

$$E = \frac{I}{D^2} \text{Cos } \beta$$

donde:

β = Es el ángulo entre el rayo de luz y la normal al plano (Ver Fig. 4.6.2).

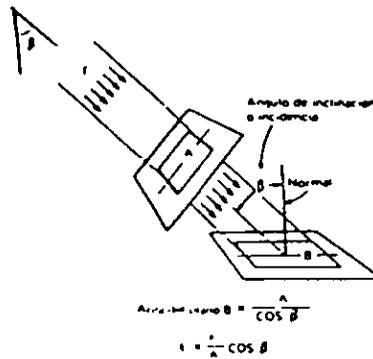


Fig. 4.6.2 Calculo de punto por punto asumiendo una fuente puntual.

Para los casos particulares en donde el plano de trabajo sobre el cual se debe determinar el nivel de iluminación en el plano vertical u horizontal se requiere aplicar las siguientes fórmulas (Ver Fig. 4.6.3).

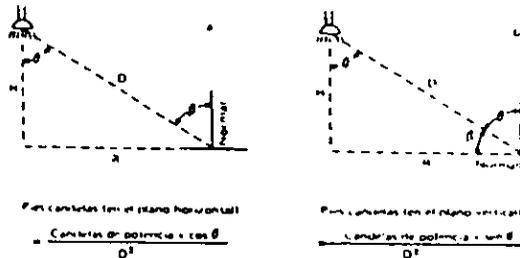


Fig. 4.6.3 Relaciones fundamentales para el calculo de iluminación por el método punto por punto.

a.- Iluminación en el plano horizontal:

$$E_h = \frac{I \times \cos \theta}{D^2} = \frac{I \times \cos \beta}{D^2}$$

$$= \frac{I \times H}{D^3} = \frac{I \times \cos^3 \theta}{H^2}$$

b.- Iluminación en el plano vertical:

$$E_v = \frac{I \times \sin \theta}{D^2} = \frac{I \times \cos \beta}{D^2}$$

$$= \frac{I \times R}{D^3} = \frac{I \times \cos^2 \theta \sin \theta}{H^2}$$

4.7.- PASOS A SEGUIR PARA CALCULAR UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El procedimiento determina el nivel de iluminación en luxes en el punto crítico de iluminación.

- 1.- Determinar el número de luminarios requeridos para obtener una iluminación uniforme (Aplicación del método de Cavidad Zonal).
- 2.- Distribuya el número de luminarias calculados en el paso No.1 sobre el área o local a iluminar.
- 3.- Elegir puntos críticos de iluminación del local.
- 4.- Determinar la contribución luminosa (Luxes) que proporciona cada luminario sobre el punto crítico de iluminación.

Para plano horizontal

$$E = \frac{I \cos \theta}{D^2}$$

Para plano vertical

$$E = \frac{I \operatorname{Sen} \theta}{D^2}$$

donde:

E = Nivel de iluminación en luxes.

I = Intensidad luminosa en candelas.

D = Distancia del luminario al punto crítico en metros.

- 5.- Determinar el nivel de iluminación en luxes en el punto crítico de iluminación.
Sume las contribuciones que proporcionan todos los luminarios en ese punto.

CAPÍTULO 5
CRITERIOS DE DISEÑO
DE
ILUMINACIÓN COMERCIAL

5.1.- GENERALIDADES

Un sistema de Iluminación Comercial.- es el conjunto de técnicas aplicadas a la selección e instalación de equipos, dispositivos y accesorios de iluminación, para obtener un nivel de iluminación comercial, que proporcione una visibilidad adecuada, con lo cual se pueda permitir el desarrollo de una actividad comercial eficiente.

Objetivo de un sistema de Iluminación Comercial.- El objetivo de un sistema de iluminación comercial, es proporcionar un nivel de iluminación en calidad y cantidad aceptable para atraer al cliente y así iniciar la compra y facilitar la terminación de la venta.

Por lo cual los aspectos cualitativos y cuantitativos de los niveles de iluminación comercial deben ser considerados para efectuar un análisis de sus características, que permita comprender su importancia dentro de un sistema de iluminación comercial.

La meta que debe cumplir el ingeniero de iluminación es la de obtener las mejores condiciones visuales en el plano de trabajo (producto comercial) bajo un diseño energéticamente eficaz, además de la creación de un medio ambiente agradable, ya que esto influye psicológicamente en el ánimo de adquisición de compra del cliente y así mismo en el rendimiento de los empleados.

La mejor medición de una buena iluminación de los establecimientos comerciales es, cual efectiva resulta para favorecer la venta de mercancías, las decisiones de compra generalmente son el resultado de la percepción visual. Es clara la importancia de la rapidez y precisión de la visión para la toma de la decisión de compra, la iluminación es el factor principal de la visión.

5.2.- PRINCIPALES METAS DE LA ILUMINACIÓN COMERCIAL

Las principales metas en la iluminación de áreas de mercancías comerciales son: atraer al cliente, iniciar la compra y facilitar la terminación de la venta.

Iluminación para Atraer y Guiar al Cliente.- El primer paso en el proceso de mercadeo es atraer al cliente hacia el punto de venta y mercadeo. La luz atrae. Y la cantidad y calidad de iluminación da la impresión que la mercancía es creada. El efecto de iluminación que se logra en el área comercial (aparadores o el interior de la tienda) es un factor efectivo en la venta de mercancía comercial.

Iluminación para Evaluar la Mercancía.- La decisión de compra comienza cuando el consumidor es atraído visualmente. Sin embargo, la compra no está completa hasta que el consumidor puede visualmente evaluar la mercancía en sus características como: la textura, color y calidad, y leer las etiquetas bajo una adecuada iluminación.

Iluminación para Completar la Venta.- La iluminación apropiada en el punto de ventas es necesaria para completar la transacción.

Una iluminación apropiada debe hacer que el cliente sea capaz de tomar una decisión, y así mismo proporcionar al personal de ventas un desempeño rápido, preciso y confiable. Lo cual dará como resultado un mejor desempeño laboral, al realizar las siguientes actividades: como registrar la venta en la registradora, preparar las hojas de trabajo, leer precios, manejar transacciones con tarjetas de crédito y empacar la mercancía.

Un buen diseño de iluminación ayudará también a minimizar la devolución de mercancías, ya que el cliente es capaz de evaluar la mercancía en color, textura y calidad en el punto de venta y es más probable que el cliente este satisfecho con su compra, cuando la observa en casa.

5.3.- CLASIFICACIÓN DE ÁREAS COMERCIALES

Para propósitos básicos de diseños de iluminación, los establecimientos comerciales pueden dividirse en tres categorías amplias, basadas en el volumen de tránsito de clientes:

- ◆ Actividad alta.
- ◆ Actividad media.
- ◆ Actividad baja..

Cada categoría tiene características que las distingue de las otras categorías.

Actividad alta.- Es aquella cuya mercancía esta exhibida en gran volumen, rápidamente reconocible, tiempo de evaluación de compra corto, mínima asistencia de vendedores y punto de venta centralizado.

En esta categoría se incluyen primordialmente tiendas de autoservicio, supermercados, tiendas departamentales de descuento, farmacias, autopartes, ferreterías de autoservicio, etc.

Actividad media.- Es aquella donde la mercancía es familiar al cliente.

Pero este puede requerir de tiempo o ayuda para evaluar la calidad de la mercancía, algunos vendedores ayudan al cliente, para que este pueda decidir la compra.

Los precios son ligeramente más altos y se da énfasis en la decoración para crear un ambiente confortable y placentero.

En esta categoría se incluyen tiendas departamentales y de especialidades como deportes.

Actividad baja.- Establecimientos comerciales de baja actividad, generalmente son atendidos por vendedores, la mercancía es de alto precio, exclusiva y de alta calidad.

Son lugares en donde se da un énfasis en crear un ambiente exclusivo .

Ejemplos típicos: Joyería fina, muebles finos, boutiques, modas de firmas exclusivas, galerías, pieles, etc.

5.4.- SUBSISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES

Fundamentalmente son tres los subsistemas utilizados en la iluminación de establecimientos comerciales:

- 1.- Iluminación general.
- 2.- Iluminación de acento o acentuada.
- 3.- Iluminación perimetral.

El propósito de la iluminación general es el de proveer la iluminación en cantidad, dirección y distribución optimizadas, de apropiada calidad de color, para crear un ambiente general y de carácter específico.

La iluminación de acento, agrega el impacto visual hacia las exhibiciones (aparadores, maniqués, etc.) obligando la atención al cliente.

La iluminación perimetral, contribuye significativamente para lograr un ambiente agradable, al mismo tiempo refuerza la iluminación general sobre las exhibiciones de pared.

5.4.1.- ILUMINACIÓN GENERAL

La iluminación general, usualmente, se localiza en el techo de el establecimiento comercial, y se usa principalmente en establecimientos de alta y media actividad comercial. Las lámparas fluorescentes, incandescentes, tungsteno halógeno, aditivos metálicos pueden utilizarse en la iluminación general

5.4.2.- ILUMINACIÓN DE ACENTO

El flujo luminoso de la iluminación de acento es alto y específicamente sirve para atraer la atención hacia la mercancía y para que esta pueda ser efectiva deberá dirigirse solamente sobre exhibiciones. Los exhibidores son de muchas formas, tales como maniqués vestidos con ropa de toda especie, exhibidos junto a la pared o un arreglo de mercancía que es colocada fuera de la disposición normal.

El objetivo de la iluminación de acento es para iluminar la mercancía con niveles de cinco veces el nivel del ambiente, esto produce un contraste dramático y más predominante que la iluminación uniforme. La regla de cinco a uno es válida, pero un rango de tres a uno, diez a uno es usado en muchas tiendas.

Las lámparas incandescentes son típicamente usadas por su rendimiento de color y su buen control de distribución de la luz. pero avances recientes en lámparas de aditivos metálicos y de vapor de sodio en alta presión, proporcionan al diseñador fuentes luminosas de alta eficacia HID, que son aceptables en muchas aplicaciones de iluminación de acento.

Las lámparas halógenas tipo PAR son las más populares en la iluminación de acento, mejores que las tipo PAR y R tradicionales. Así mismo, las lámparas de bajo voltaje MR-16, MR-11 y PAR 36 de 12 volts son las preferidas para exhibidores de tamaño moderado.

Cuando objetos pequeños son exhibidos individualmente el muy alto control del haz que provee la lámpara PAR 46 de 5.5 volts puede preferirse. La iluminación sobre el exhibidor puede predecirse usando el método de cálculo punto por punto, sin embargo, el método más comúnmente usado son el uso de las cartas y tablas que proporcionan los fabricantes de lámparas y luminarios. Este es un método rápido y simple para estimar la iluminación, sobre el exhibidor, de una lámpara específica o luminario que produce

5.4.3.- ILUMINACIÓN PERIMETRAL.

La iluminación perimetral o también de superficies verticales es utilizada en la mayor parte de los establecimientos comerciales por razones básicas.

La mercancía se coloca frecuentemente junto a la pared para propósitos de exhibición y las paredes bien iluminadas tenderán a crear una impresión visual de amplitud en el espacio interior de la tienda.

La iluminación perimetral agrega importancia a las exhibiciones en las paredes y otras superficies verticales.

La iluminación de superficies verticales consiste del montaje de luminarios sobre o cerca de las paredes y dirigiendo la luz directamente hacia abajo más o menos rasante a las paredes. Si las texturas de las paredes son rugosas y ásperas el sombreado es deseable y los luminarios deberán instalarse lo más cercano a la pared como sea posible. Y si la apariencia de las paredes es, lisa y pulida, los luminarios

deberán montarse en el techo, los cuales estarán a una distancia considerada de la pared, para minimizar las sombras.

Fuentes luminosas fluorescentes son generalmente usadas por su eficacia y uniformidad en la iluminación. Fuentes incandescentes (halógenas) pueden usarse, pero los costos de energía serán más altos que los de sistemas fluorescentes y la iluminación no será tan uniforme. Un sistema típico usa una simple fila continua de lámparas F32T8 con los extremos traslapados. Los extremos se traslapan para evitar sombras donde se junta una lámpara con otra.

5.5.- CRITERIOS DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN COMERCIAL

La iluminación de los establecimientos comerciales juega un papel muy importante en los objetivos de venta. Un pobre sistema de iluminación que no provea la suficiente iluminación redundará en pérdidas de ventas, mientras que un sistema que proporcione adecuada iluminación aumentará las ventas y utilidades.

El objetivo del sistema de iluminación comercial es atraer al cliente para iniciar, facilitar y completar la venta de mercancías. Y además es hacer que el establecimiento sea lo más sugestivo posible para los clientes y de facilitar la orientación en el interior

Por ultimo el ambiente general de la zona de ventas y la forma en que se presenta la mercancía resaltada por la iluminación deberá ejercer una influencia positiva sobre el comportamiento del comprador potencial, no se apreciará la verdadera calidad de los productos mal iluminados.

Por todas las razones mencionadas anteriormente, es muy importante que el Ingeniero de iluminación aplique criterios de diseño de iluminación en forma eficaz, para sí obtener el mejor sistema de iluminación comercial.

Para la realización de un diseño de iluminación comercial adecuado, es necesario, aplicar los siguientes criterios de diseño de iluminación comercial:

1.- Nivel de iluminación comercial.

Es la cantidad de luz requerida para iluminar la superficie donde se realiza una actividad comercial

El cuidado que se presente a la selección del nivel de iluminación tendrá una influencia importante en el volumen de ventas y disminución de reclamaciones y devoluciones.

Cuando se trate solo de iluminación general deberán respetarse los valores máximos, si existe iluminación de acento deberán utilizarse valores más bajos.

A continuación se da una tabla (tabla 5.4.1) general con los niveles de iluminación recomendados para establecimientos comerciales.

Valoración	Iluminación (lux)	Campo de aplicación
Muy baja	Inferior a 150	Boutiques
baja	150 - 300	Comercios selectos
Media	300 - 500	La mayoría de las tiendas
Alta	Superior a 750	Supermercados, tiendas de descuento
Muy alta	3 000 - 30 000	Condiciones de luz natural en escaparates y zonas de venta

Tabla 5.4.1.- Valores recomendados de iluminación para establecimientos comerciales.

2.- Asegurar buena visibilidad de la mercancía.

La iluminación puede ser la función clave para asegurar la buena visibilidad de la mercancía. Ver detalles evidentes en muchas partes puede ser completamente difícil. Por ejemplo, examinar el cosido con hilo de una tela de color oscura es un trabajo exigente y minucioso.

Al incrementar el tamaño de iluminación del blanco visual (mercancía), se hace más fácil de ver, al menos hasta cierto punto. Cuando un objeto es pequeño o contiene finos detalles, la visibilidad puede mejorarse al incrementar la iluminación.

Para ver cada detalle crítico de un producto, como un hilo gris en una tela negra, el objeto debe diferir en luminancia o en el color de fondo. La visibilidad es mejorada cuando la iluminación contrasta los detalles con el fondo. Donde existen condiciones pobres de contraste, la visibilidad puede ser mejorada al incrementar la

iluminancia o usando técnicas de iluminación más efectivas como iluminación direccionada para acentuar la textura de fábrica.

Como el brillo de la mercancía y las áreas de tarea son incrementadas, ver se hace fácil. Por ejemplo, bajo las mismas condiciones de iluminación, el patrón en un traje de color claro es más fácil de ver que uno de color oscuro, porque la reflectancia del primer traje es mayor, como causa de una mayor luminancia aparece más brillante. La iluminancia es incrementada al aumentar la iluminación.

A cierta edad, menos luz incide en los ojos, y la que incide es de menor calidad. Por ello, la gente de edad ve con menos brillo y contraste los objetos que la gente joven. También hay evidencia, de que la gente mayor tiene más problemas con los altos niveles de iluminación, que la gente joven. Debe tomarse cuidado de proveer la cantidad y calidad adecuada de iluminación y reducir la luz intensa en espacios frecuentados por gente de edad mayor.

3.- Lograr que los colores de la mercancía se vean reales

Es importante también la evaluación de los colores. El color es un factor importante a considerar, tanto para la mercancía y el local comercial. Los sistemas de iluminación deberán usar fuentes luminosas que produzcan favorables resultados en la reproducción cromática, sin exagerarlos o distorcionarlos.

El conocimiento de los principios de la luz y el color es muy importante en el diseño de la iluminación de mercancías. No obstante los gustos en color varían con el clima, nacionalidad, edad, género y personalidad, casi hay un acuerdo universal para clasificar a los colores.

A los colores amarillos, amarillo-rojo, rojos y púrpura-rojo los clasificamos como "colores cálidos " y a los verdes, azul verde, azul y púrpura-azul como "colores fríos". Todos los grises se acercan a un carácter neutral, tanto del lado cálido como el frío.

El color, es uno de las más poderosas armas del mercadeo, puede atraer la atención, crear un ambiente, estimular la venta o guiar al cliente. Un efecto psicológico positivo puede ser introducido en áreas de mercancía especializada, al crear un ambiente cálido o frío.

Color de las Superficies.- En las áreas de mercadeo donde los clientes están expuestos al ambiente por largos períodos de tiempo, los colores de las superficies pueden tener un efecto en sus actitudes de compra positivamente o negativamente, consciente o subconscientemente.

Color de las fuentes de luz.- El color de las superficies y de las mercancía está en función de la composición del espectro de la fuente de luz y del pigmento, y de las propiedades de las superficies del objeto visto. Por ejemplo, una superficie es vista como roja cuando la fuente de luz contiene algo de energía de la longitud de onda en la región del espectro y el objeto predominante refleja energía en esa misma región. Una fuente de luz "blanca", como la luz del día o la luz del sol, usualmente contiene energía de todo el espectro visible, en un rango de 380 a 770 nm.

Las lámparas fluorescentes, incandescentes y de alta intensidad de descarga, también como la luz del día, son todas consideradas como fuentes de luz de banda amplia; sin embargo, esas fuentes de luz "blanca" varían significativamente en la cantidad relativa de energía en cada porción del espectro. La composición espectral determina no solo la apariencia del color de la lámpara (caliente o frío), pero también las propiedades del rendimiento del color. Desarrollos recientes han mejorado la capacidad del rendimiento de color de muchas de estas lámparas. En adición, un amplio rango de lámparas fluorescentes, de alta intensidad de descarga e incandescentes están disponibles para producir diferentes efectos de color. Filtros coloreados también están disponibles para fuentes fluorescentes e incandescentes.

4.- Aumentar la brillantez hacia el foco de atención (exhibidores), haciéndolos interesantes.

La iluminación puede proveer niveles de brillantez y distribución direccional de la luz que facilitará la visión a los compradores, para distinguir con rapidez y precisión cada parte de la mercancía.

En efecto el propósito de la iluminación es hacer que el comprador vea la gran variedad de exhibiciones, para que el cliente retenga en su memoria la imagen del establecimiento y regrese a efectuar nuevas compras.

En los almacenes unos artículos son de mayor importancia que otros, pueden tener mayor margen de ganancia, pueden ser artículos de temporada o de existencia regular

En cualquiera de los casos los artículos deben de presentarse en forma que impacten a la apreciación visual del comprador. El objetivo de la iluminación es hacer que el comprador vea las mercancías claves.

Una buena iluminación del exhibidor proporciona variaciones en configuraciones de la brillantez que dan énfasis visual necesario para atraer la atención hacia los artículos de atracción particular. También la iluminación adicional

incrementara la visibilidad produciendo una apreciación rápida y exacta por medio de alta brillantez y distribución de luz favorable.

En suma una buena iluminación de exhibido enfatiza aquellas características de la mercancía que son especialmente atractivas (pulido atractivo, textura, forma, translucidez, etc.). Finalmente la iluminación de exhibidores añade interés a lo que de otra forma podría aparecer como una atmósfera sin atractivo.

Para lograr un grado significativo del impacto visual, el exhibidor iluminado deberá tener una brillantez de por lo menos el doble de los espacios que lo rodean. Conforme aumenta el significado o importancia de la exhibición, la diferencia en brillantez, también deberá aumentarse, los exhibidores clave deberán tener de 5 a 10 veces más brillantez, que los espacios que los rodean.

El arreglo que se dé a la iluminación de exhibidores se rige por la naturaleza de la mercancía y la forma en que se quiere presentar. El arreglo más común de la iluminación de exhibidores es el de luz puntual, cuyo haz de luz direccional varía las cualidades de configuración, brillantez y acentúa la forma que no se logra con la iluminación general.

Las lámparas fluorescentes también son útiles en cornisas y docales ocultas en las repisas iluminadas y en los gabinetes iluminados, e instalados en cavidades ocultas por tableros traslúcidos para producir un ambiente o medio de luz a las mercancías de alta reflectancias

5.- Minimizar el brillo directo que distrae y molesta (deslumbramiento).

El deslumbramiento es cualquier brillo que produce molestias, interferencia con la visión o fatiga visual, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio. Los efectos que origina el deslumbramiento pueden ser de tipo psicológico (molesto) o fisiológico (perturbador).

Cuando fuentes de iluminación, producen una brillantez excesiva directa o por reflexión dentro del campo visual del cliente, vendedor o cajero. Estas fuentes pueden producir deslumbramiento, lo cual distraerá la atención del cliente hacia la mercancía mostrada.

Cuando las fuentes de iluminación están cerca de la línea de vista de la mercancía o de las tareas de venta, pueden reducir la habilidad para ver.

Los luminarios o los elementos luminosos cercanos a la línea de vista no deben ser tan brillantes como para distraer al cliente, competir con la mercancía o impedir el flujo de la circulación.

Cuando se reemplacen los luminarios existentes, hay que asegurarse de que los luminarios nuevos estén diseñados para controlar el deslumbramiento.

Para reducir reflexiones ofensivas de luminarios, en los lentes de vidrio del equipo de vigilancia y en pantallas de computadoras en las registradoras, se deben colocar controles o louvers al luminario.

Reflexiones, de la fuente de luz, en materiales especulares o semiespeculares puede también ser un problema. En grandes áreas, luminarios de baja luminancia son usados cuando superficies brillantes no pueden ser evitadas. Superficies mate de alta reflectancia pueden también ser usadas para reducir la luz intensa reflejada.

6.- Elección de la fuente luz más apropiada

La elección más normal de fuente de luz en la iluminación de una tienda comercial recae en una combinación de lámparas incandescentes de filamento o de halógeno y fluorescentes. Color, economía, control de luz y producción de calor son los factores principales a estimar.

Y además se devén de considerar la utilización de luminarias que demanden la menor cantidad de energía eléctrica y ofrezcan los niveles de iluminación recomendados. Aunque algunas veces el costo inicial de estos productos es más elevado que los productos convencionales.

En la iluminación general de tiendas se usan lámparas fluorescentes cuando se pretende conseguir una atmósfera fría o la máxima economía. Puede emplearse un sistema predominante incandescente cuando se desea una atmósfera cálida; este mismo efecto puede también verse favorecido con la elección de las lámparas fluorescentes blanca cálida o blanca cálida de lujo. Un criterio para la elección de la fuente de luz, en las tiendas donde el color es un factor determinante, es que la iluminación muestre los artículos en la misma manera que aparecerán en el sitio en el que se han de usar, con lo que el cliente queda satisfecho y disminuyen las devoluciones de productos porque cambian de color en el punto de uso.

CAPÍTULO 6
EJEMPLO PRACTICO
DE UN
PROYECTO DE ILUMINACION
COMERCIAL

6.1.- GENERALIDADES

Antes de iniciar un proyecto de iluminación comercial, debe existir ya una estrecha colaboración entre el arquitecto, el cliente y el ingeniero de iluminación; en una etapa anticipada al proyecto.

Así mismo se requieren dibujos que muestren el plano y corte del local comercial, incluyendo los detalles estructurales de techo y paredes.

6.2.- MEMORIA TÉCNICA DESCRIPTIVA DE ILUMINACIÓN COMERCIAL

Localización.- El presente proyecto corresponde a un local comercial propiedad de Elektra, S.A. de C.V. Destinado a la venta de aparatos electrodomésticos y se localiza en Av. Pablo Livas Santa María, esq. Montserratt, Municipio de Guadalupe, N.L.

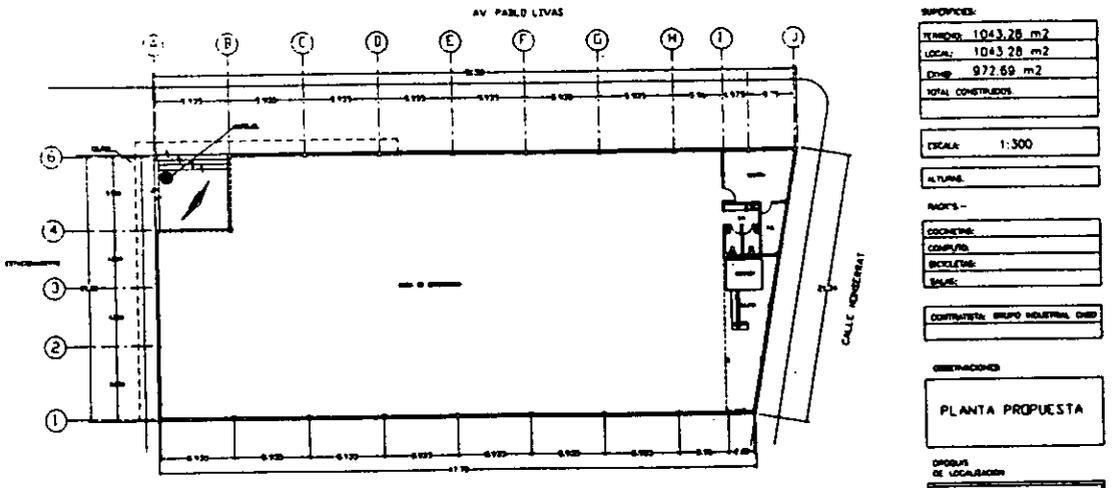
Objetivo.- La finalidad de esta memoria es la determinación de las características del sistema de iluminación y tipo de luminario a utilizar. Así como la obtención del numero de luminarios a utilizar para obtener un nivel de iluminación recomendado para este tipo de locales comerciales.

Calculo de iluminación por el método de cavidad zonal.- Se utiliza este método no porque sea necesariamente más exacto, sino porque es relativamente simple y flexible. Sus resultados son generalmente más representativos de una situación de iluminación real y puede ser aplicado a cualquier tipo de sistema iluminación en locales rectangulares o de formas especiales.

Plano del local comercial y corte transversal.- En la siguiente pagina se muestra el plano del local comercial (fig. 6.1) y un corte transversal de este (fig. 6.2).

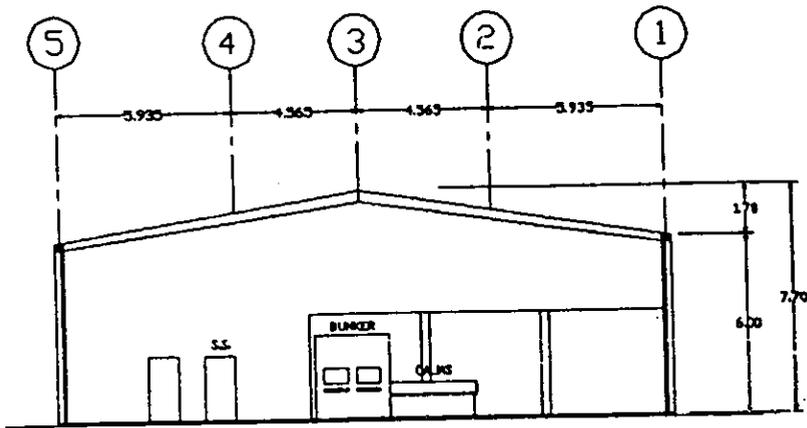
En el cual se muestran las dimensiones del local (área), así como la altura de este.

CAPÍTULO 6 : EJEMPLO PRACTICO DE UN PROYECTO DE ILUMINACIÓN COMERCIAL



TERRENO ACTUAL = 1043,28 M²
 LOCAL PROPUESTA = 1043,28 M²
 TOTAL CONSTRUCION = 972,69 M²

Fig. 6.1 Plano arquitectónico del local comercial.



CORTE A - A'

Fig. 6.2 Corte transversal del local comercial.

PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE ILUMINACIÓN

Calculo de iluminación, en área general de exhibición.

1.- Dimensiones del local comercial:

L = Largo = 45.70 m
 W = Ancho = 21.00 m
 LW = Área = 959.7 m²
 Hct = Altura de cavidad de techo = 1.70 m
 Hcc = Altura de cavidad de cuarto = 5.00 m
 Hcp = Altura de cavidad de piso = 1.00 m

ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

2.- Niveles de iluminación recomendados, de la tabla 5.4.1:

Se recomienda un nivel de 800 lx.

3.- Reflectancias recomendadas del local:

Reflectancia de piso = 20%
 Reflectancia de pared = 50%
 Reflectancia de techo = 70%

4.- Datos del luminario:

$$I (0^{\circ}v) = E \times D^2 = 800 \times (5.0)^2 = 20000 \text{ candelas}$$

Tipo de luminario:

Prismpack V

Catalogo No. 712 de HOLOPHANE

Lámpara de aditivos metálicos

400W, reflector de cristal

Lúmenes iniciales 36 000

5.- **Calculo de la relación de cavidad:**

$$RCR = \frac{5 \times Hcc(\text{largo} + \text{ancho})}{\text{area}} = \frac{5 \times 5(45.70 + 21)}{959.70} = 1.74$$

6.- **Calculo del coeficiente de utilización:**

De la fig. 6.3 se calcula el coeficiente de utilización = C.U. = 0.78

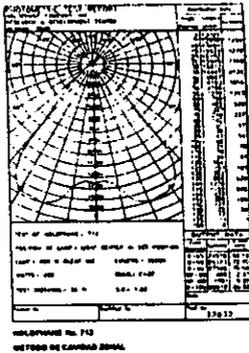


Fig. 6.3 Curva fotometrica del luminario y tabla para calcular el coeficiente de utilización

7.- **Calculo del factor de mantenimiento:**

Factor de mantenimiento F.M = LLD x LDD

De la fig. 6.4 obtenemos el factor de depreciación de lúmenes de la lámpara LLD = 0.75

El factor de depreciación por suciedad del luminario LDD se obtiene de la fig. 6.5.

para categoría III, limpio y a 18 meses, entonces LDD = 0.86

Por lo tanto se tiene que $F.M = 0.75 \times 0.86 = 0.645$

8.- Con los datos obtenidos anteriormente se puede calcular el número de luminarios:

$$\text{No. de luminarios} = \frac{\text{luxes} \times \text{area}}{(\text{lampara / luminario}) \times (\text{lumenes / lampara}) \times C.U. \times F.M.}$$

$$\text{No. de luminarios} = \frac{800 \times 959.7}{36000 \times 0.78 \times 0.645} = 42.39$$

Aproximadamente No. de luminarios = 42

$$\text{El espaciamento teórico: } st = \sqrt{\frac{\text{area}}{\text{No. luminarios}}} = \sqrt{\frac{959.7}{42}} = 4.78 \text{ m}$$

$$\text{Número de columnas} = \frac{\text{Ancho}}{st} = \frac{21}{4.78} = 4.39$$

$$\text{Número de renglones} = \frac{\text{Largo}}{st} = \frac{47.5}{4.78} = 9.93$$

$$\text{Espacio real: } Sr. = \frac{\text{Ancho}}{\text{No. decolumnas}} = \frac{21}{4.39} = 4.78 \text{ m}$$

$$\text{Espaciamento máximo} = S.C \times Hcc = 1.23 \times 5.00 = 6.15 \text{ m}$$

Para que un sistema real este dentro de lo planeado se debe cumplir la condición

$$S_{real} \leq S_{max}$$

$$\text{Entonces: } 4.78 \leq 6.15$$

Tomando un arreglo simétrico de 7 renglones x 6 columnas = 42 luminarios.

Tenemos:

$$\text{Espacio entre columnas} = \frac{\text{Ancho}}{\text{Nodocolumnas}} = \frac{21}{6} = 3.5 \text{ m.}$$

$$\text{Espacio entre renglones} = \frac{\text{Largo}}{\text{Noderenglones}} = \frac{45.7}{7} = 6.52 \text{ m.}$$

Como el espacio entre renglones es mayor al espaciamiento máximo.

$$6.52 > 6.15$$

Por lo tanto este arreglo no cumple las condiciones de espaciamiento entre luminarios.

Tomando un arreglo simétrico de 10 renglones x 4 columnas = 40 luminarios

Tenemos:

$$\text{Espacio entre columnas} = \frac{\text{Ancho}}{\text{No.decolumnas}} = \frac{21}{4} = 5.25 \text{ m.}$$

$$\text{Espacio entre renglones} = \frac{\text{Largo}}{\text{No.derenglones}} = \frac{45.7}{10} = 4.57 \text{ m.}$$

Como el espacio entre columnas es menor al espaciamiento máximo

$$5.25 < 6.15$$

Por lo tanto este arreglo si cumple con las condiciones de espaciamiento entre luminarios.

Y considerando un espaciamiento de un 1 / 2 de la distancia entre renglones; entre pared y luminarios adyacente de renglón. Así mismo de pared y luminarios adyacentes de columnas de un 1 / 2 de la distancia entre columnas tenemos:

Espacio entre pared y columna adyacente = $\frac{1}{2}$ x espacio entre columnas = 2.625 m

Espacio entre pared y renglón adyacente = $\frac{1}{2}$ x espacio entre renglones = 2.285m

10.- Nivel de iluminación promedio debido a los 40 luminarios calculados:

$$\text{Luxes} = \frac{\text{No. de luminarios} \times (\text{lumenes / luminario}) \times C.U \times F.M}{\text{area}}$$

$$\text{Luxes} = \frac{40 \times 36000 \times 0.78 \times 0.645}{959.7} = 754.88 \text{ lx.}$$

Por lo tanto el nivel promedio de iluminación será de 755 lx, lo cual es un nivel de iluminación aproximado al que se requería de 800 lx.

En la siguiente pagina se muestra la distribución de los luminarios en el plano arquitectónico. Fig. (6.6).

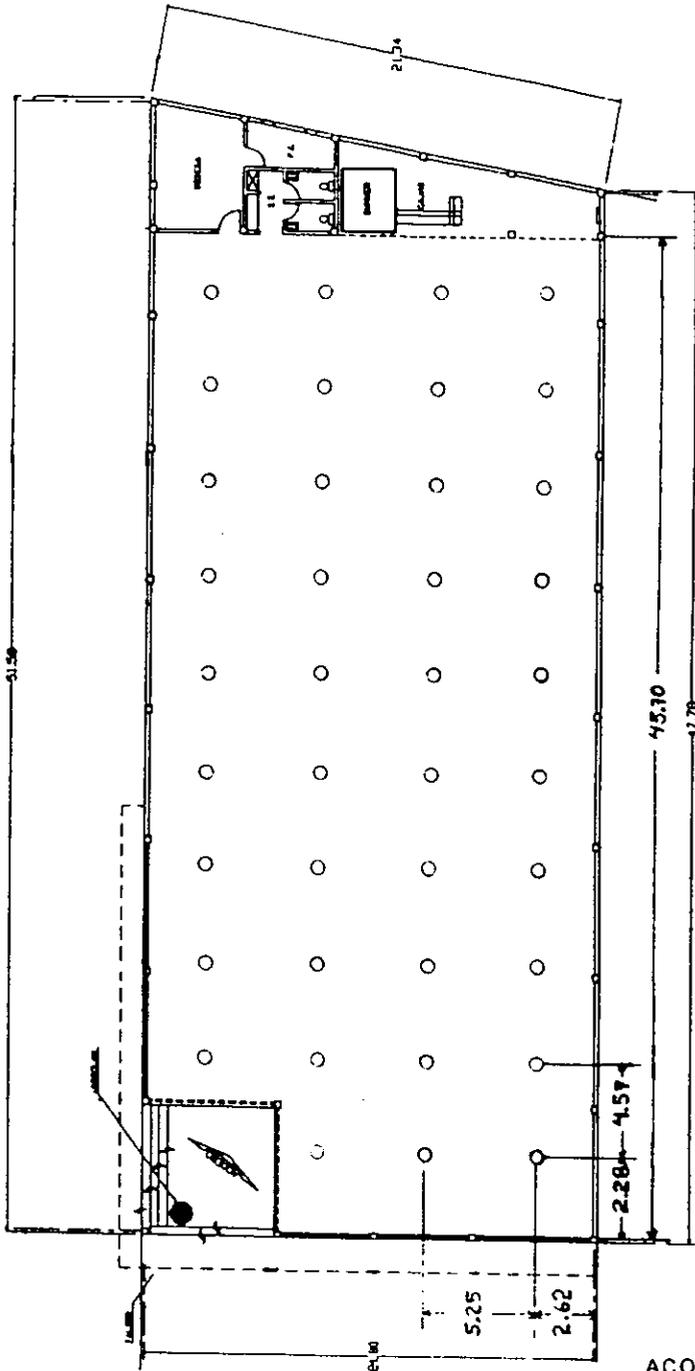


Fig. 6.6

ACOTACIÓN : MTS

DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

WATTS	ACABADO	LUMENES		VIDA EN HORAS		EFICIENCIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS
		MICIALES	MORAS	HORAS	MORAS					
100	BLANCO DE LUJO	4,400				44	0.82		BT-25	19.10
175	BLANCO DE LUJO	8,900				49	0.89		E-28	21.00
250	BLANCO DE LUJO	12,775		24,000		51	0.84	MOGUL	E-28	21.00
400	BLANCO DE LUJO	23,000				56	0.86		BT-37	29.20
1000	BLANCO DE LUJO	63,000				63	0.77		BT-56	39.00

DATOS DE LAMPARAS DE ADITIVOS METALICOS

70	CLARO	5,200	15,000V - 10,000H			74	0.81	E-28	ED-17	14.60
70	FOSFORADO	4,800	15,000V - 10,000H			74	0.76	E-28	ED-17	14.60
100	CLARO	7,800	10,000V - 7,500H			78	0.75	E-28	ED-17	14.60
100	FOSFORADO	8,000	15,000V - 10,000H			76	0.73	E-28	ED-17	14.60
175	CLARO	14,000	10,000V - 7,500H			80	0.77		BT-28	21.10
175	FOSFORADO	13,000	10,000V - 7,500H			80	0.73		BT-28	21.10
250	CLARO	22,000*+30,000H	10,000			82	0.83		BT-28	21.10
250	FOSFORADO	22,000*+30,000H	10,000			82	0.78		BT-28	21.10
400	CLARO	36,000*+32,000H	20,000V - 15,000H			90	0.75		BT-37	29.20
400	FOSFORADO	36,000*+32,000H	20,000V - 15,000H			90	0.72		BT-37	29.20
400	CLARO	40,000	20,000			100	0.80		BT-37	29.20*
1000	CLARO	110,000*+107,800H	12,000V - 9,000H			110	0.80		BT-56	39.00
1000	FOSFORADO	105,000*+100,000H	12,000V - 9,000H			105	0.78		BT-56	39.00
1500	CLARO	155,00V	3,000			103	0.92		BT-56	39.00*
1500	CLARO	164,000*+150,000H	3,000			103	0.92		BT-56	39.00**

DATOS DE LAMPARAS DE HALOGENUROS METALICOS "H.Q.I."

70	BLANCO CALIDO	5,200	10,000			74	0.80	G-12	SINGLE ENDED "T"	8.40
70	BLANCO FRIO	5,500	10,000			79	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	11.42
70	BLANCO CALIDO	5,000	10,000			71	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	11.42
150	BLANCO CALIDO	12,000	10,000			80	0.80	G-12	SINGLE ENDED "T"	6.40
150	BLANCO FRIO	12,500	10,000			83	0.80	G-12	SINGLE ENDED "T"	6.40
150	BLANCO CALIDO	11,000	10,000			73	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	13.20
150	BLANCO FRIO	11,250	10,000			75	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	13.20
250	LUZ DE DIA	19,000	10,000			76	0.80	MOGUL	T-14	22.50
400	LUZ DE DIA	33,000	10,000			83	0.80	MOGUL	T-14	28.50

* BASE ARRIBA

** BASE ABAJO

Fig. 6.4

CURVAS DE DEGRADACION POR SUCIEDAD EN EL LUMINARIO

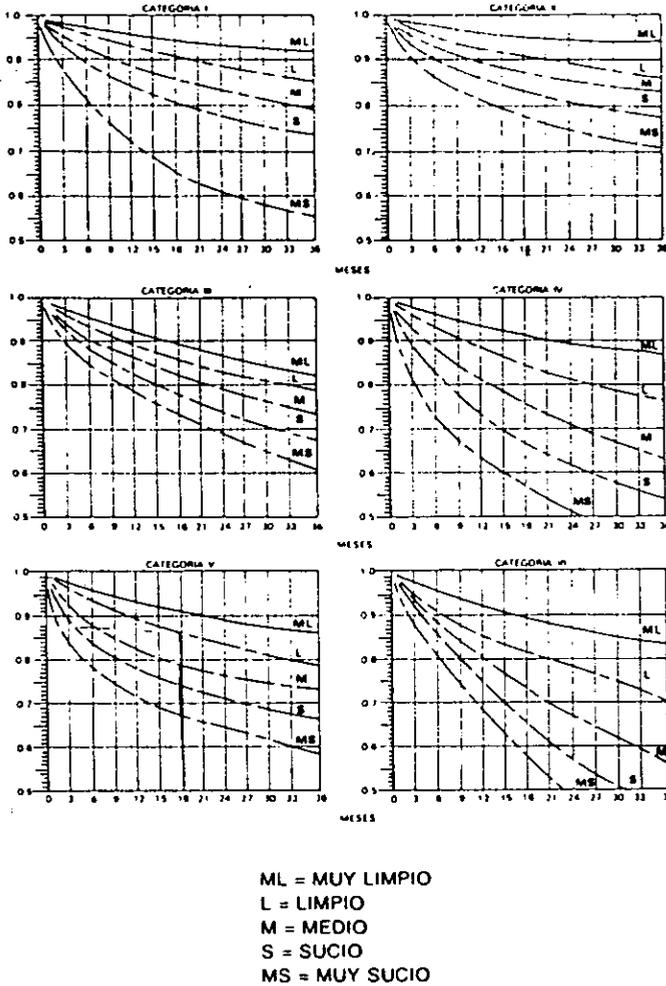


Fig. 6.5

CONCLUSIONES

La luz es uno de los elementos más importantes en cualquier actividad comercial. Ya que ayuda a atraer la atención hacia la tienda y hacia las mercancías del escaparate, y hace que sea atractiva desde el exterior, de manera que la gente se sienta invitada a entrar en ella. Una vez que el cliente este dentro, es imprescindible una luz utilizada convenientemente para que resulten sugestivas las mercancías.

Actúa como un silencioso vendedor, al dirigir la atención hacia ciertos artículos estimulando el "impulso" comprador.

También puede ser una valiosa ayuda en la dirección del tránsito de la tienda.

Como parte integrante de la iluminación interior, es uno de los principales factores para crear un ambiente agradable y adecuado.

Por lo que la meta que debe cumplir el ingeniero de iluminación es la de obtener las mejores condiciones visuales en el plano de trabajo (producto comercial) bajo un diseño energéticamente eficaz, además de la creación de un medio ambiente agradable, ya que esto influye psicológicamente en el animo de adquisición de compra del cliente y así mismo en el rendimiento de los empleados.

Por todas las razones mencionadas anteriormente, es muy importante que el ingeniero de iluminación aplique criterios de diseño de iluminación en forma eficaz, para obtener el mejor sistema de iluminación comercial.

Los principales criterios de iluminación comercial que se recomiendan, para un diseño de iluminación comercial son los siguientes:

- 1.- Nivel de iluminación comercial adecuado.
- 2.- Asegurar buena visibilidad de la mercancía.
- 3.- Lograr que los colores de la mercancía se vean reales.
- 4.- Aumentar la brillantez hacia el foco de atención (exhibidores), haciéndolos interesantes
- 5.- Minimizar el brillo directo que distrae y molesta (deslumbramiento)
- 6.- Elección de la fuente de luz más apropiada.

BIBLIOGRAFÍA

- Principios de iluminación y niveles de iluminación en México
HOLOPHANE 1997
- Ingeniería aplicada al control de luz
Catálogo condensado
HOLOPHANE 1997
- Manual de alumbrado
Westinghouse 3ª edición
Editorial Dossat 1987
- Manual de instalaciones de alumbrado y fotometría
Chapa C.J.
Editorial LIMUSA S.A y Noriega editores
México 1990
- Conceptos de iluminación artificial
OSRAM S.A. DE C.V.
- I.E.S Lighting Handbook, Octava edición 1993
- Sistemas de Iluminación Industrial
John P. Frier.
Edit. Limusa