



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL ESTUDIOS DE PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN



**Proyecto de modernización del sistema de iluminación del Módulo de Extensión Universitaria del Campus Aragón.**

**Tesis que para obtener el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico presenta Carlos Galeana Sánchez**



**Asesor de Tesis : Ing. Raúl Barrón Vera.**

**México**

**Mayo 2002.**

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN  
SECRETARÍA ACADÉMICA

**Ing. RAÚL BARRÓN VERA**  
**Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,**  
**Presente.**

En atención a la solicitud de fecha 9 de mayo del año en curso, por la que se comunica que el alumno CARLOS GALEANA SANCHEZ, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL MÓDULO DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA DEL CAMPUS ARAGÓN", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
San Juan de Aragón, México, 13 de mayo del 2002  
**EL SECRETARIO**

  
**Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS**

C p Asesor de Tesis.  
C p Interesado.

AIR/RCC/vr

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **Agradecimientos:**

Agradezco al Ing. Raúl Barrón Vera asesor del presente trabajo de Tesis, quien me proporciono material bibliográfico y quien leyó este documento indicándome la forma de aclarar los conceptos para la lectura del presente informe. De la misma forma agradezco el apoyo brindado por el personal del Modulo de Extensión Universitaria del Campus Aragón.

Al Ing. Martín Frutis del programa Universitario de Energía, el cual apporto un sin número de mejoras para el calculo del sistema de iluminación, gracias.

Al Ing. Javier Alain Morones, agradezco el apoyo y permitir emplear equipo en proceso de edición de la tesis, gracias maestro y amigo.

Así también, agradezco a la Comisión Nacional para el Ahorro de energía y al Fideicomiso de Ahorro de energía por el material bibliográfico, que fundamento el marco teórico del trabajo presentado.

A Dios, por permitirme el concluir una etapa mas de las muchas que he planteado en mi vida.

A mis padres Sabina Sánchez y Gregorio Galeana mil gracias por el amor y esfuerzo de toda una vida, esto es un pequeño homenaje a su dedicación.

A la Doctora Beatriz Galeana, gracias hermana por existir y ser siempre el punto de referencia al cual pretendo llegar y sobretodo al apoyo económico para cumplir esta tesis.

A Noé Galeana gracias amigo y hermano, muchas gracias por esos dos ángeles que han llegado a la familia. Arturo porque hay mucho todavía que aprender de ti. A mi corrector de estilo Oscar Galeana, gracias hermano, este es un triunfo compartido.

A ti Linda por estar siempre a mi lado y apoyarme en todos esos sueños que deseo realizar y por el más importante que tenemos, gracias.

A mis grandes amigos, Gabriel M., Francisco G., y Orlando H., ustedes saben lo importante que son para mí, gracias amigos, siguen ustedes.

A todos los Bucaneros, gracias por permitirme compartir este año con ustedes, gracias a Alejandro V., Valentín, Rafael (Reno), German Remy, a ti Manuel, a Alex, Juan Carlos y Ángel. Tt te quiero mucho.

Gracias a todas y cada una de las personas que me han enseñado otra perspectiva de ver la vida, nunca terminare de agradecerles el legado que han dejaron en mi.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# INDICE GENERAL

Introducción .....	1
1 Capítulo I.- Generalidades y Conceptos Básicos .....	6
1.1. Definición de la luz ( Naturaleza y propagación) .....	6
1.2. Iluminación, emitancia, unidades de flujo luminoso y unidades de iluminación .....	8
1.3. Leyes de luminotecnia .....	17
1.4. Control de la luz .....	22
1.5. Curvas de distribución luminosa .....	30
1.6. Sistemas de iluminación (directa, indirecta, difusa, semi-directa y semi-difusa) .....	34
2. Capítulo II.- Elementos de Iluminación; principios de operación y control .....	41
2.1. Fuentes de luz y clasificación (Lámparas incandescentes, halógenas, fluorescentes, lámparas compacto fluorescentes, lámparas de alta intensidad de descarga, vapor de mercurio, aditivos metálicos, vapor de sodio baja y alta presión) .....	41
2.2. Tecnología de Lámparas Contacto Fluorescentes (CFL) .....	69
2.3. Balastros, clasificación, principio de operaciones, factor de potencia .....	79
2.4. Controladores de luz, Apagadores, atenuadores, controles automáticos .....	89

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

3	Capítulo III.- Cálculo del sistema de iluminación .....	97
	3.1. Metodología para el proyecto de iluminación .....	97
	3.2. Método Lumen (Determinación de: Nivel de iluminación, coeficiente de utilización, factor de utilización. Cálculo del número de lámparas y luminarias requeridas. Fijación del emplazamiento de las luminarias) .....	98
	3.3. Método del Cálculo Punto por Punto (Cálculo de la componente de iluminación directa, cálculo de la componente de iluminación reflejada en superficies horizontales y sobre superficies verticales, determinación de la componente directa. Cálculos diversos por el método punto por punto, cálculos para fuentes puntuales basados en la ley inversa de los cuadrados) .....	106
	3.4. Carga total instalada .....	110
	3.5. Diseño del sistema de iluminación .....	112
	3.6. Acciones con inversión y sin inversión .....	117
4	Capítulo IV. Costos de aplicación .....	121
	4.1. Comparativo y selección de equipo y componentes .....	121
	4.2. Tarifas eléctricas .....	125
	4.3. Evaluación económica del proyecto .....	129
	Conclusiones .....	136
	Material Bibliográfico .....	139
	Anexos	
	Anexo A.- Porcentaje de reflectancias efectivas .....	143
	Anexo B.- Curvas de degradación por suciedad en el luminario .....	144
	Anexo C.- Degradación luminosa por suciedad en el local .....	145
	Anexo D.- Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1993, Relativa a los niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo .....	146

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## Introducción:

El hombre a través de los años ha tenido como principal inquietud, el perfeccionar las tecnologías que en un momento fueron desarrolladas para satisfacer alguna necesidad. Es por eso que en las últimas décadas del siglo pasado se comenzó a enfatizar en el ahorro y uso coherente de energía eléctrica. En un principio, buscando alguna forma alterna para la generación de energía, teniendo como premisa el no emplear los hidrocarburos y demás materiales fósiles para esta labor; así también, el no causar un impacto en la ecología, al contaminar con sustancias tóxicas o desperdicios al medio ambiente.

México no se ha rezagado dentro del proceso de Ahorro de Energía, pues en el año de 1990 se crea el Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE), teniendo como misión el promover acciones que induzcan y fomenten el ahorro de energía y en determinados proyectos, subsidiar parte del costo de la remodelación del proyecto. Asimismo, se implantan algunas políticas, como aplicar el horario de Verano, iniciado en el año de 1996, el cual arrojó como resultados en el ámbito del Sistema Eléctrico Nacional, un ahorro de energía que representó el 0.62% de la generación bruta de ese mismo año. En ese periodo, la reducción en potencia máxima fue de entre 529 y 600 megawatts; una reducción promedio de alrededor de 42 kilowatts/hora por usuario subdoméstico, teniendo como principal metodología, el desplazar una hora la demanda máxima de energía, aprovechando la luz natural como medio de

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

iluminación y el no tener que sobrepasar la capacidad de generación de energía eléctrica instalada.

Por otro lado, en México el desarrollo científico de algunas empresas no se ha quedado atrás, pues considerando estas políticas, han desarrollado tecnologías en las que se busca un ahorro de energía produciendo artículos con un bajo consumo de la misma.

Muchas de las razones por las que se elabora un mayor consumo de energía, se deben a un mal dimensionado de las características para alimentar a un sistema eléctrico, -sobredimensionar motores-, al no considerarse debidamente algunos parámetros en los circuitos de iluminación, y cuando se está utilizando los equipos, al mantenerlos encendidos cuando ya no son necesarios o no se están ocupando.

La base de estudio del presente trabajo tiene sus orígenes en el Módulo de Extensión Universitaria del Campus Aragón, el cual cuenta con dos décadas de funcionamiento. En él se imparten diversas actividades culturales, para el desarrollo dentro de este ámbito de la comunidad universitaria y toda la población que se encuentra a sus alrededores. El recinto está conformado por áreas de oficinas, talleres, salas de exposiciones y una auditorio en donde son presentadas tanto obras teatrales, la muestra internacional de cine y diversas actividades académicas durante todo el año.

Las luminarias que componen el sistema de iluminación, en su mayoría cuentan con tecnología obsoleta. Lo cual representa una pérdida energética al no sacarle la mayor ventaja a los equipos instalados, y económica, al consumir una cantidad mayor de energía eléctrica al tratar de cubrir los niveles de iluminación necesarios.

Este es entonces un sólido punto de partida para emplear técnicas de ahorro de energía, principalmente en el sistema de iluminación.

En la Sala José Vasconcelos del Módulo de Extensión Universitaria del Campus, la mayoría de los pasillos y la sala de exposiciones temporales se tienen instaladas lámparas incandescentes, que generan algún tipo de pérdida de energía por efecto Joule (energía que es disipada en forma de calor, en lugar de aportar un flujo luminoso).

La mayoría de las lámparas incandescentes irradian entre el 10 y 12 % en forma de luz la energía consumida, y teniendo en cuenta que la vida útil y que el flujo de luz de una lámpara de este tipo está determinados por la temperatura del filamento, se genera una relación dependiente entre la luz emitida y la vida útil de la lámpara.

Las luminarias fluorescentes que están instalados en el edificio, están constituidas por lámparas convencionales que emplean balastos electromagnéticos de tecnología obsoleta, y los gabinetes instalados no proporcionan la reflexión recurrida del flujo luminoso.

Con el paso de los años los avances tecnológicos en cuanto a sistemas de iluminación, hacen que el empleo de tecnologías obsoletas no solo represente un gasto mayor económicamente hablando, sino que el gasto más importante se ve representado por el consumo indiscriminado de energía, junto con lo todo lo que representa.

Nuestro edificio en cuestión opera con sistemas que hace veinte años era la tecnología de vanguardia. Pero podemos aprovechar los avances científicos en materia de luminotecnia y mejorar en muchos aspectos el sistema eléctrico, al sustituir componentes eléctricos que operan con tecnología anticuada por nuevos dispositivos ahorradores; se tendrá un menor consumo energético, el cual se verá reflejado en un ahorro económico que beneficiará a la población universitaria del plantel.

Es necesario hacer la migración en cuanto a sistemas ahorradores se refiere; el crear una conciencia de uso racional de energía; el emplear la fuente de iluminación natural y el cambiar la atmósfera de los recintos al usar colores claros.

No solo respecta el que nuestro país sea capaz de producir esta energía, sino es mucho más importante el que podamos aprovecharla adecuadamente y en un marco de racionalidad. Por esta razón es de suma importancia el empleo de este tipo de programas, planes y operativos para lograr una disminución en el uso indiscriminado de energía y el mejoramiento de nuestro plan.

En este trabajo de investigación, se pretende mejorar el estado de las luminarias y crear un programa de mantenimiento correctivo de cada una de estas a fin de no disminuir los niveles de iluminación requeridos, de cada uno de los recintos.

El objetivo del presente trabajo es diseñar un sistema de iluminación, el cual consume una menor potencia de la que actualmente se tiene, manteniendo los niveles de iluminación necesarios.

El no sustituir las luminarias obsoletas producirá significativo gasto energético y económico, que puede ser disminuido cerca de un cincuenta por ciento, en comparación con la carga instalada, al seccionar los circuitos que alimentan lámparas parásitas; cambiar los equipos obsoletos por sistemas ahorradores y concientizar a las personas que utilizan la iluminación artificial, del uso racional de la energía.

En el primer capítulo, estableceremos el marco teórico sobre el cual se fundamentará toda el proyecto, estableciendo los conceptos básicos de iluminación. En el segundo capítulo describiremos cada uno de los componentes que se emplearán en el diseño del sistema d iluminación. En el tercer capítulo, se elaboran los cálculos del nuevo sistema de iluminación, no sin antes establecer la metodología a seguir en el diseño del sistema. Por último, en el capítulo cuarto, se elabora la evaluación económica del diseño.

Una vez establecido la estructura de la presente tesis, no queda mas que comenzar el desarrollo de la misma.

## CAPÍTULO 1. GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS.

### 1.1. Definición de la luz.

*“ Dios separó el día de la noche, creando  
el sol, luminaria del día y la luna y las estrellas;  
luminarias de la noche...”*

*Génesis.*

El hombre es sabidor de las características del mundo en el que vive, gracias a su capacidad de percibir diferentes tipos de energía y assimilarlas a través de los transductores naturales de los que dispone en su anatomía.

Experiencias dentro del campo de la sociología prueban que aproximadamente el 75% del conocimiento del mundo que nos rodea se debe, a la información que es percibida por el sentido de la vista.

La luz, el calor, etc., son consideradas como energía radiante, definida como todo aquel tipo de energía que se desprende de un cuerpo y se propaga por sí sola sin soporte de material alguno (es decir, que se propaga en vacío). La energía radiante está constituida por vibraciones armónicas transversales con una gama de frecuencia, que va desde los  $10^3$  a los  $10^{22}$  Hz.

La energía radiante se propaga en el vacío por medio de ondas, pero también puede llegar a través de los materiales sólidos, líquidos y gaseosos.

La velocidad con la que se propaga la energía radiante fue uno de los temas que más interesaron a los científicos, lo cual arrojó un primer resultado en 1676, tomando el valor de la constante  $C$ , aceptando como valor el de 299,792 Km/s, finalmente redondeado a 300,000 Km/s.

La luz por ser energía radiante, se propaga a través de ondas, cumpliendo con las características físicas de las radiaciones como son la amplitud, periodo y longitud de onda, referidas en la figura 1.

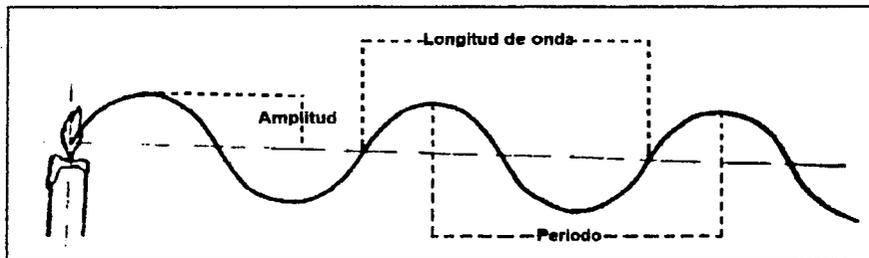


Figura 1. Características físicas de las radiaciones.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La luz esta compuesta de una mezcla de radiaciones simples, cuyas longitudes de onda están comprendidas en el espectro electromagnético entre los 350 milimicras y las 750 milimicras, estos límites corresponden a los de la sensibilidad del ojo humano. Fuera de estos límites el ojo humano es ciego, no percibe ninguna clase de

radiación; sin embargo, cuando la longitud de onda disminuye a partir de los límites antes establecidos, la sensibilidad del ojo tiende a ser nula.

El eje de propagación de las ondas luminosas es en línea recta, por lo que poseen la característica de que pueden pasar unas a través de otras, sin sufrir ningún tipo de alteración; puede atravesar un rayo de luz roja por uno de luz azul, sin cambiar de dirección ni de color. La luz es invisible a su paso por el espacio, a menos de que algún medio la disperse en su dirección.

## **1.2. Iluminación, emitancia, unidades de flujo luminoso y unidades de iluminación.**

Para poder definir de forma clara lo que es la iluminación, comenzaremos por dar el significado de algunos conceptos.

### **Flujo luminoso**

El flujo luminoso es la energía luminosa radiada al espacio, por unidad de tiempo y que produce la sensación luminosa en el ojo. La potencia radiada o flujo radiante, es la energía radiante emitida, por un manantial luminoso por unidad de tiempo.

Unidades de flujo luminoso.

La unidad de flujo luminoso es el lumen, y podríamos definirla como el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido de 1 estereorradián, por un manantial luminoso cuya intensidad luminosa es igual a una candela como se muestra en la figura 2.

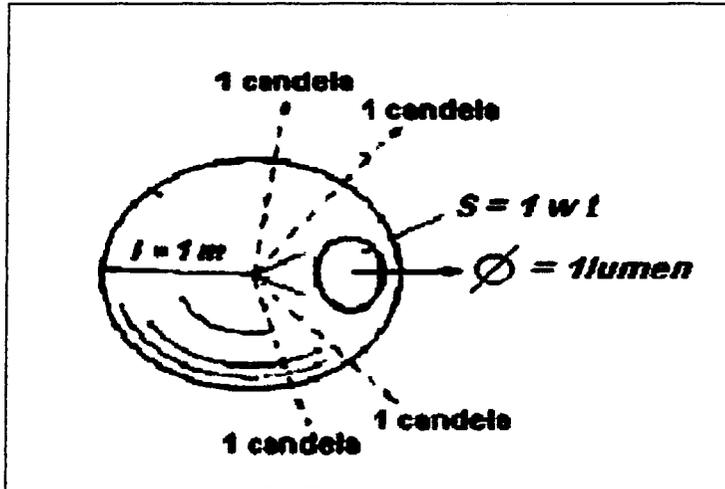


Fig. 2. Representación de un flujo luminoso con intensidad de 1 lumen.

Por tanto, si consideramos un manantial luminoso puntiforme situado en el centro de la esfera y cuya intensidad luminosa sea de 1 candela, admitiendo que la radiación sea uniforme, es decir, que se realice de manera regular a todas las direcciones del espacio, definimos a la intensidad luminosa de 1 lumen con la siguiente ecuación:

$$1 \text{ lumen} = \frac{\Phi}{\omega}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Donde:

$$\omega = 4\pi \text{ estereorradián.}$$

Concluimos que:

$$\Phi = 4\pi \text{ lúmenes.}$$

Gráficamente podemos observarlo en la figura 3.

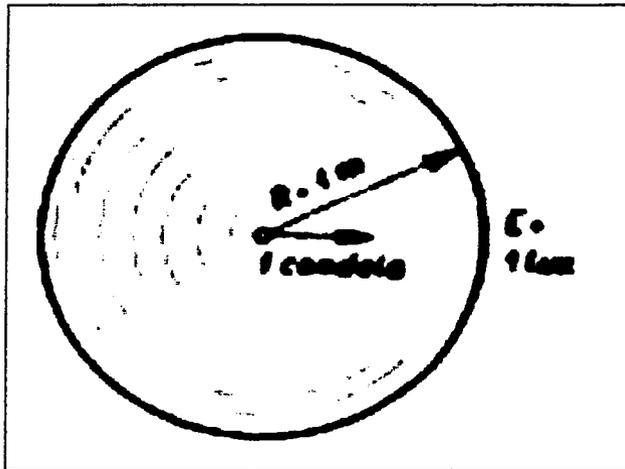


Figura 3. Ilustración de un manantial luminoso puntiforme con intensidad luminosa de un lumen.

Iluminación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Determinamos a la iluminación como la relación entre flujo luminoso que **recibe** una superficie, y la extensión que cubre este flujo.

Si el flujo luminoso incidente es constante sobre toda la superficie podemos definir a la iluminación como:

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Donde:

$\Phi$  = Flujo luminoso incidente.

$S$  = Superficie cubierta por el flujo incidente.

Por lo que podemos considerar que un cuerpo estará mejor iluminado por un flujo luminoso, cuanto menor sea su superficie.

#### *Unidades de iluminación.*

La unidad de iluminación más empleada es el **Lux**. Podemos definirla como la iluminación de una superficie de  $1 \text{ m}^2$ , que recibe uniformemente repartido el flujo de 1 lumen.

En países de habla inglesa, se emplea todavía el *footcandle*, que es la iluminación de una superficie de 1 pie cuadrado, que recibe uniformemente repartido el flujo de 1 lumen.

### *Emitancia.*

La emitancia o radiancia es la relación entre el flujo luminoso radiado o emitido por una superficie luminosa o difusora, y la extensión de esta superficie. Considerando ambas premisas constantes, podemos relacionar a la emitancia como:

$$R = \frac{\Phi}{S}$$

Donde:

$\Phi$  = Flujo luminoso radiado.

S = Area de la superficie radiada.

La definición de emitancia no debe de provocar confusión con la definición de iluminación, dado que no debemos olvidar que la **iluminación** es el flujo **recibido** sobre una superficie determinada, mientras que la **emitancia** se trata del flujo **emitido** por una superficie luminosa.

### *Unidades de emitancia.*

La emitancia se puede expresar en las misma unidades que la iluminación, ya que se trata como sabemos, de un flujo luminoso dirigido por una superficie.

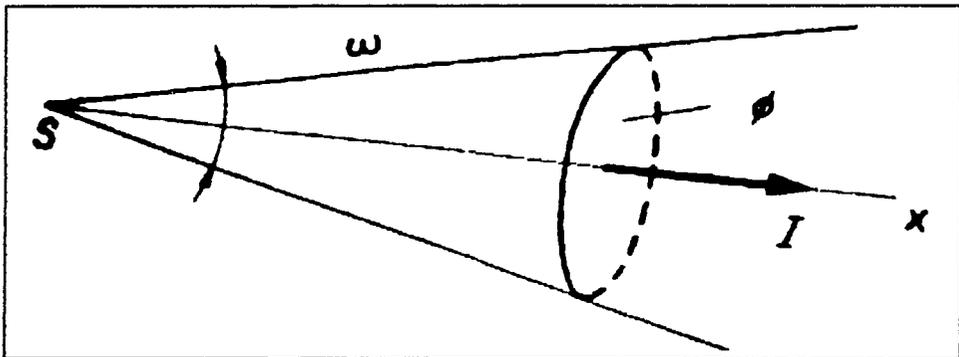
Para diferenciar las unidades de la emitancia, las consideraremos como el Lumen por metro cuadrado, el lumen por centímetro cuadrado y el lumen por pie cuadrado.

*Intensidad luminosa.*

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

Explicándolo gráficamente, decimos que se le llama intensidad luminosa del manantial **S**, aquel que es proyectado desde un punto denominado **S**, en dirección del punto **X**, figura 4.

Si tenemos un manantial luminoso puntiforme **S** y una dirección **s-x**, comprendida en un cono cuyo vértice es **S** y cuyo ángulo sólido es  $\omega$  y  $\Phi$  al flujo luminoso radiado por el manantial **S** en este cono:



*Fig. 4. Representación de la intensidad de un manantial luminoso*

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Si el manantial luminoso es constante en cualquiera de las direcciones del espacio, podemos considerar a la intensidad luminosa por:

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

#### *Unidades de intensidad luminosa.*

En los sistemas de unidades de luminotecnia, siempre se toma en cuenta como unidad patrón, la unidad de intensidad luminosa y de ésta, se derivan las unidades del flujo luminoso (Iluminación, luminancia y radiancia).

A principios del siglo XX, se adopta como unidad de intensidad luminosa la bujía internacional, representada por una cierta fracción de la intensidad luminosa media de tres lotes de lámparas patrón, conservadas en los laboratorios nacionales de pesos y medidas de Francia, Inglaterra y Estados Unidos respectivamente. En los años subsecuentes se trató de estandarizar a nivel mundial estos criterios de medición, y fue cuatro décadas después en el año de 1948, cuando la Comisión Internacional de Alumbrado recomendó un patrón primario y una nueva unidad de intensidad luminosa; la **Candela** o nueva bujía. El patrón primario internacional fue un Crisol que contenía platino puro en estado de fusión; su temperatura permanece constante e igual a 2046 ° K en el punto de solidificación. La intensidad luminosa de un cm<sup>2</sup> de este patrón primario es de 60 candelas.

La candela se define como la unidad de intensidad luminosa igual a un lumen por esteradiano<sup>1</sup> (lm/sr).

### *Luminancia*

La luminancia es un concepto luminotécnico que corresponde a la sensación subjetiva de claridad de un manantial de luz o de un objeto iluminado.

Por definición, es la relación entre la intensidad luminosa en una dirección determinada y una superficie.

$$L = \frac{I}{S}$$

La luz no se hace visible hasta que tropieza con un cuerpo que la refleje o la absorba. La mayor o menor claridad con la que vemos o distinguimos cuerpos, depende de su luminancia, aunque estén iluminados por la misma fuente o de la misma forma.

### *Unidades de Luminancia.*

Para definir las unidades de luminancia, se utilizan dos criterios diferentes; por una parte podemos deducir las unidades directamente de la fórmula:

---

<sup>1</sup> Angulo sólido que sustenta un área en una esfera igual al cuadrado del radio de la esfera.

$$L = \frac{I}{S}$$

El segundo criterio que se utiliza no está fundamentado directamente en la definición, pero de este segundo criterio, se deriva dos grupos de unidades.

El primer grupo de unidades es el **Stilb**, definido como la luminancia de una candela sobre  $1 \text{ cm}^2$ , pero se recomienda utilizar la candela por metro cuadrado, mejor llamado **Nit**.

El segundo grupo de unidades es el **Blundel**, que está definido como la luminancia de una superficie perfectamente difusora, que emite o refleja un flujo luminoso uniforme de 1 lumen por metro cuadrado.

También se considera el **Lambert** igual a la luminancia de una superficie perfectamente difusora, que emite o refleja un flujo luminoso de 1 lumen por  $\text{cm}^2$  y el **Footlambert**, para 1 lumen por pie cuadrado.

Cabe mencionar que estos últimos dos grupos de unidades han sido rechazados por la comisión nacional de alumbrado.

### 1.3. Leyes de Luminotecnia.

Muchas son las leyes que rigen los efectos físicos de las radiaciones luminosas. En este apartado analizaremos algunas de las más importantes, para el desarrollo de nuestro trabajo.

#### *Ley fundamental de la iluminación.*

“ La iluminación de una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación luminosa, es directamente proporcional a la intensidad luminosa del manantial luminoso, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que le separa del mismo”, ver figura 5.

Observemos que solamente puede aplicarse directamente en el caso de manantiales luminosos puntiformes. Sin embargo, en la práctica se puede considerar una superficie luminosa como si fuera un manantial puntiforme, cuando la distancia a calcular, es por lo menos diez veces mayor que el diámetro de la superficie luminosa, o si ésta es de forma irregular a su mayor dimensión transversal.

En estas condiciones la practica demuestra que la aplicación de dicha ley conduce a un error relativo de iluminación inferior al 1% el cual muy rápidamente tiende hacia cero cuando crece aún más la distancia entre la superficie luminosa y la iluminada.

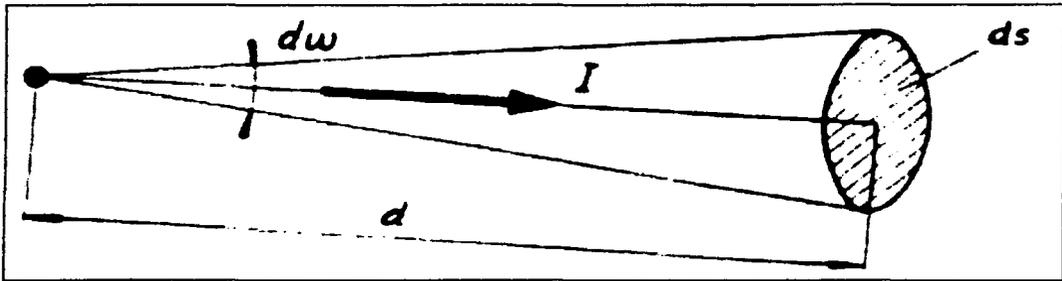


Fig. 5. Representación de la ley fundamental de la iluminación

Ley del coseno.

“ La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado.”

Esta superficie es perpendicular a la dirección del flujo y su iluminación esta definida por:

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Pero la superficie S' vale :

$$S' = \frac{S}{\cos \alpha}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A la superficie S' recibe el mismo flujo luminoso  $\Phi$ ; por tanto su iluminación será:

$$E' = \frac{\Phi}{S'} \cos \alpha$$

Por ultimo, el ángulo de incidencia  $\alpha$  es el que se forma en la dirección de los rayos luminosos y la perpendicular a la superficie en el punto de incidencia.

*Ley de la inversa del cuadrado de las distancias.*

“ Para un mismo manantial luminoso, las iluminaciones en diferentes superficies son, inversamente proporcionales al cuadrado de sus distancias a dicho manantial”, ver figura 6.

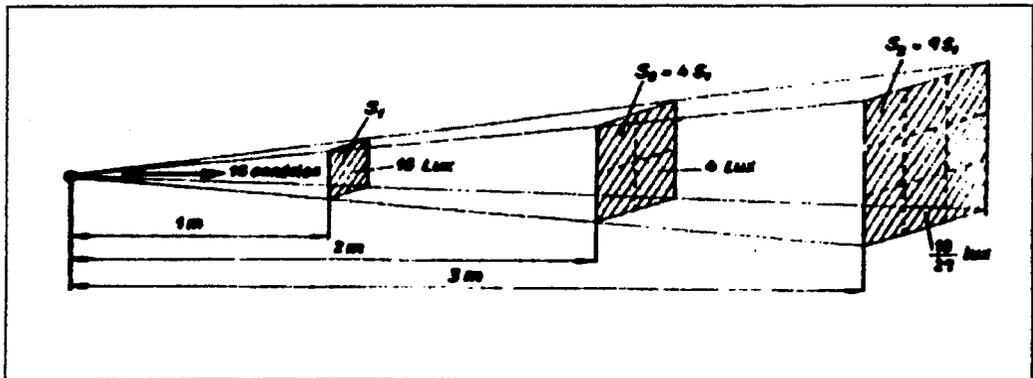


Fig. 6. Figura representativa de la ley inversa del cuadrado de las distancias.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Ley de Lambert.*

“ Una superficie luminosa es considerada como un punto siempre que sea efectivamente pequeño o reducible a su centro de gravedad y presente un brillo . constante, en cualquiera que sea la dirección que se considere”, ver figura 7.

Esta ley permite en muchas ocasiones que en el diseño de sistemas de iluminación, los manantiales luminosos sean considerados como si fueran puntos y no superficies emisoras de luz.

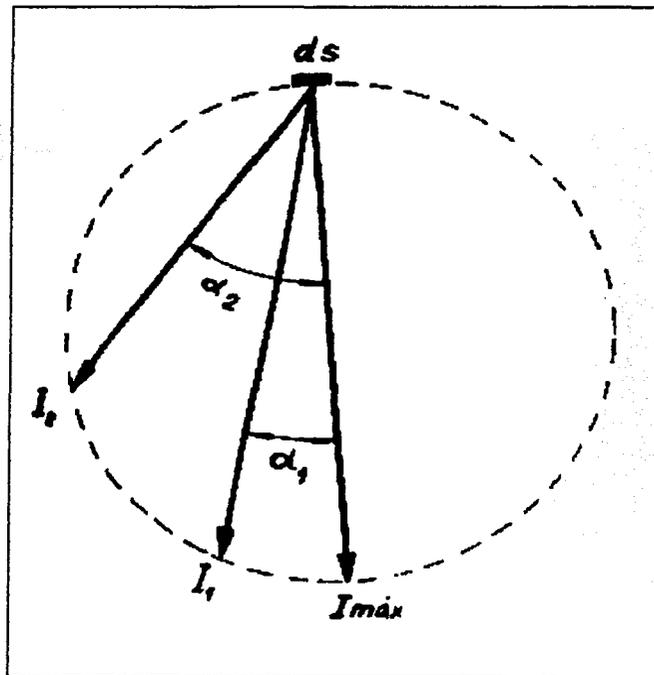


Figura 7. Ilustración de la Ley de Lambert.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Iluminación en un punto: Supongamos un punto M, iluminado por un manantial luminoso F, con una intensidad luminosa I, situado a una distancia d, del punto M. Este punto M podemos considerar tres planos: el horizontal, el vertical y el normal a la dirección d.

A estos planos corresponderán tres iluminaciones que llamaremos:

$E_H$  = Iluminación Horizontal.

$E_V$  = Iluminación Vertical.

$E_N$  = Iluminación Normal.

La iluminación normal no se considera más que en los casos extremos en que el punto M, esta situado al pie del manantial luminoso sobre el plano horizontal. Para tales ocasiones consideramos las siguientes ecuaciones :

$$E_N = I/h^2$$

Para el plano vertical, la iluminación normal se considera:

$$E_N = I/a^2$$

Para la iluminación horizontal y vertical tenemos:

$$E_H = [ I \alpha / h^2 ] \cos^3 \alpha$$

$$E_v = [ I \alpha / h^2 ] \text{ sen } \alpha \text{ cos}^2 \alpha$$

Donde:

$h$  = Altura sobre el plano horizontal.

$\alpha$  = Ángulo de dirección  $d$ , con la altura  $h$ .

Cuando en el proyecto se precisan los dos valores de  $E_H$  y  $E_v$ , se calculará primero  $E_H$  y después el de  $E_v$ , de acuerdo con la igualdad.

$$E_v = E_H \text{ tg } \alpha.$$

#### 1.4. Control de la luz.

La mayoría de los manantiales luminosos existentes no realizan por si mismos una distribución del flujo luminoso que permita su aplicación directa. Por lo que se hace necesaria la utilización de dispositivos que modifiquen o controlen la luz emitida por dichos manantiales luminosos.

La modificación de las características luminosas de un manantial luminoso, con vistas a una aplicación eficiente de luz emitida, puede realizarse aprovechando los fenómenos físicos de reflexión, refracción, absorción, transmisión y difusión.

A continuación haremos una breve descripción de cada uno de estos fenómenos físicos, el maleable uso de los manantiales luminosos.

### *Reflexión.*

Cuando una superficie devuelve la luz que incide sobre ella, se dice que ésta refleja la luz que incide. La reflexión de la luz depende de las condiciones moleculares de la superficie reflectante. Una superficie lisa refleja mejor la luz que una superficie rugosa.

La luz blanca se refleja mucho mejor que la luz de otra tonalidad.

Considerando la ley fundamental de la reflexión de la luz, dice que " El Ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión", ver figura 8.

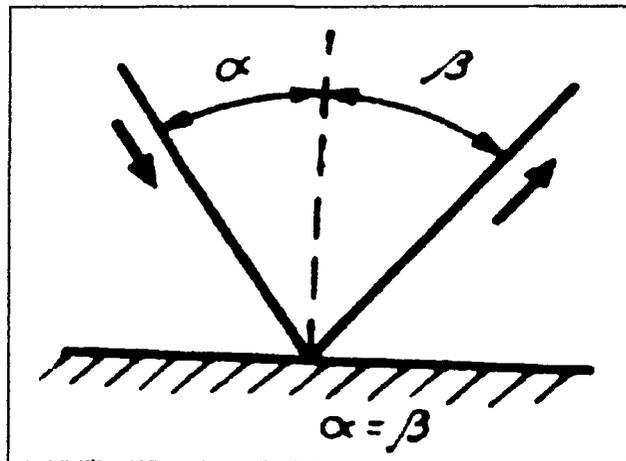


Fig. 8. Reflexión de un haz luminoso

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Esta ley solo se cumple en el caso de que la superficie sobre la que incida el rayo sea lisa por completo y brillante como un espejo.

Debido a la diversidad de texturas en las que puede reflejarse la luz, podemos llegar a clasificarlas como reflexión semi-dirigida a la que se realiza cuando el haz que incide sobre una superficie, correspondan varios rayos reflejados.

Existe una reflexión a la cual la luz incidente se dispersa en todos los sentidos; esta reflexión se produce en todas las superficies rugosas y mates. Uno de los efectos que se evitan con la reflexión es el deslumbramiento y desaparece el efecto plástico (Fig. 9), que es producido, cuando cualquier superficie reflectora aparece como un disco luminoso de igual luminancia en todas las direcciones.

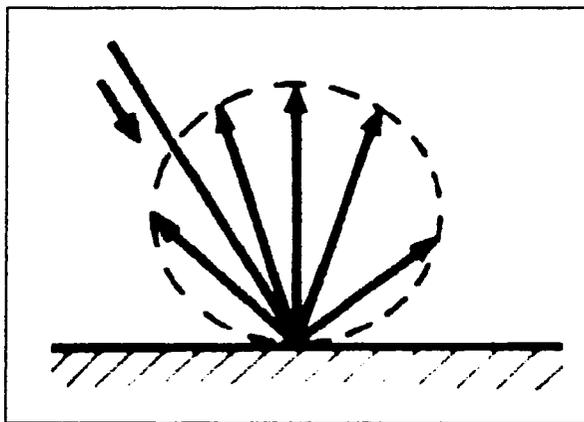


Figura 9. Representación del efecto plástico

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### *Absorción.*

En el fenómeno de reflexión de la luz, no todo el flujo luminoso que incide sobre los cuerpos se refleja; una parte de este flujo luminoso queda absorbido en mayor o menor proporción, según los materiales componentes de cada cuerpo.

Si el cuerpo es de un color claro como el blanco, cuando sobre de éste incida la luz blanca, se reflejará enteramente sin que haya absorción; por el contrario, los cuerpos negros absorben una parte de luz blanca y la demás es reflejada. Un cuerpo es de algún color en específico, debido a que absorben todos los colores que componen la luz blanca y solo reflejan el color del que son.

### *Refracción.*

Se llama refracción al fenómeno físico que ocurre, cuando los rayos luminosos quedan modificados al pasar de un medio a otro de diferente densidad, ver figura 10.

De acuerdo a la ley fundamental de la refracción, la razón de los índices de refracción de ambos medios es igual a la razón de los senos de los ángulos de incidencia y refracción.

Consideramos entonces:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\text{Sen } i}{\text{Sen } r}$$

Definimos entonces al ángulo de incidencia, como el ángulo que forma el rayo luminoso con la vertical, y el punto de incidencia, cuando dicho rayo choca con la superficie. El ángulo de refracción es el que forma el rayo luminoso con la vertical en el mismo punto de incidencia, pero con el haz luminoso que se aleja de la superficie.

El índice de refracción lo definimos con la letra  $N$ , y representa la relación entre la velocidad de la luz a través del aire y su velocidad a través del medio o la sustancia correspondiente.

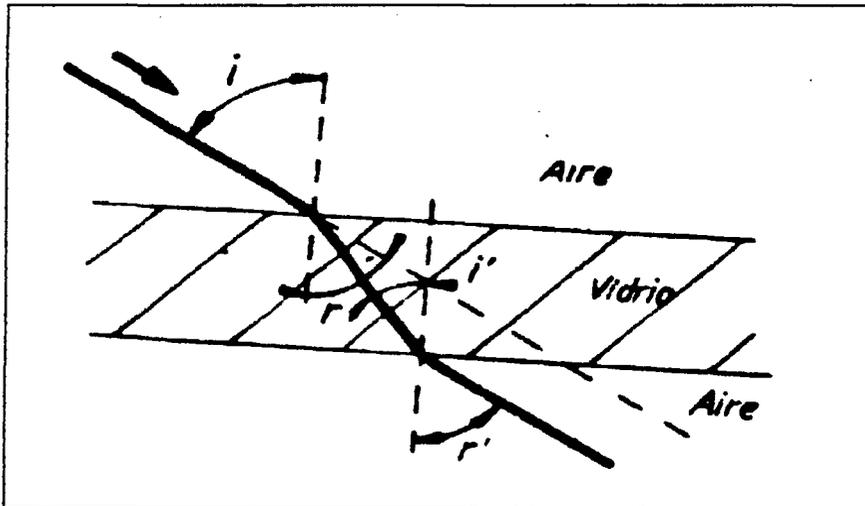


Fig.10 . Fenómeno de refracción de un rayo luminoso, que atraviesa 3 medios distintos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Transmisión.*

Se denomina de esta forma al fenómeno que ocurre al pasar los rayos luminosos a través de los cuerpos transparentes o traslúcidos.

La transmisión de la luz puede considerarse como dirigida o difusa, dependiendo el medio por el que se pretenda transmitir el flujo luminoso. La transmisión es dirigida, si el rayo luminoso sufre solamente variación normal producida al atravesar el haz luminoso por diferentes medios de transmisión, como lo observamos en la figura 11. Se puede conseguir esta transmisión utilizando cristales claros (transparentes), y se produce intenso deslumbramiento debido a la gran luminancia de los rayos luminosos incandescentes.

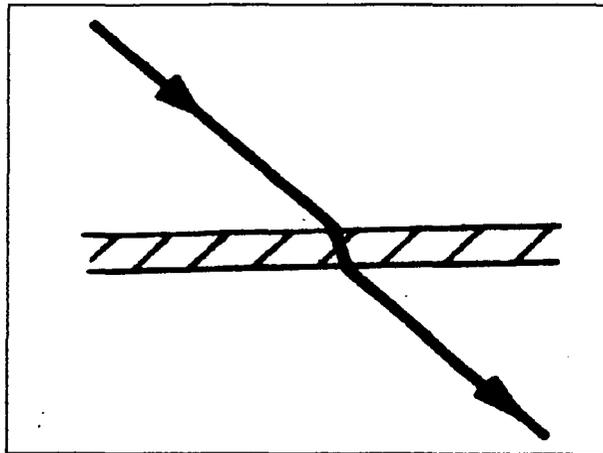
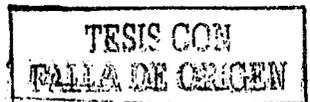


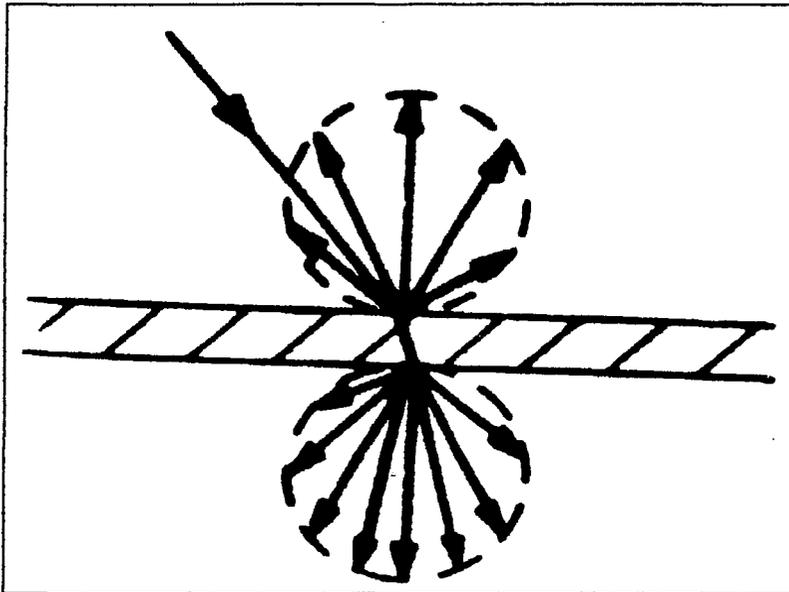
Fig. 11. Transmisión dirigida



*Transmisión difusa.*

Se le conoce de este modo al fenómeno en el cual el rayo luminoso incidente queda dispersado al chocar con el material, de manera que quede iluminada uniformemente toda la superficie del cuerpo de que se trate, ver figura 12.

En este caso la iluminación es constante en todas las direcciones del espacio, y el deslumbramiento es mucho menor que el de la transmisión dirigida.



*Fig.12. Transmisión difusa.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### *Difusión.*

El fenómeno de la difusión ocurre en el momento en que, una superficie es iluminada por un manantial luminoso, la superficie refleja a su vez el flujo luminoso y éste se esparce en todas las direcciones.

Una superficie difusora es aquella que tiene la misma luminancia en cualquiera de las direcciones del espacio.

Cuando una superficie se ilumina, una parte del flujo luminoso se refleja; otra parte atraviesa dicha superficie y queda absorbida por el cuerpo, y una tercera parte de la luz incidente se transmite a través del cuerpo.

La relación del flujo luminoso total queda comprendido por el flujo luminoso reflejado, el flujo luminoso absorbido y el flujo luminoso transmitido.

$$\text{Flujo luminoso total} = \text{Flujo luminoso reflejado} + \text{Flujo luminoso absorbido} + \text{Flujo luminosos transmitido}$$

Consideramos entonces a los flujos como:

$\Phi_O$  = Flujo luminosos incidente o total.

$\Phi_R$  = Flujo luminoso reflejado.

$\Phi_A$  = Flujo luminosos absorbido.

$\Phi_T$  = Flujo luminosos transmitido.

$$\Phi_O = \Phi_R + \Phi_A + \Phi_T.$$

Considerado lo anteriores criterios, podemos definir ciertos factores para la reflexión.

Factor reflejante.- A la relación entre el flujo reflejado y el flujo incidente.

$$\rho = \Phi_R / \Phi_O$$

Factor de absorción.- Es la relación que existe entre el flujo absorbido y el flujo incidente.

$$\alpha = \Phi_A / \Phi_O$$

Factor de transmisión.- A este factor lo designaremos con la letra  $\tau$  y representa la relación entre el flujo transmitido y el flujo incidente.

$$\tau = \Phi_T / \Phi_O$$

De lo que deducimos:  $1 = \rho + \alpha + \tau$

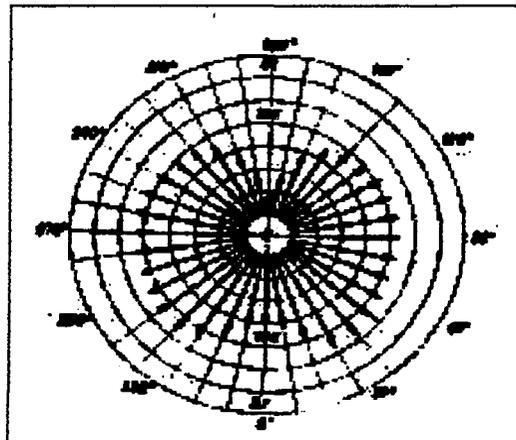
### 1.5. Curvas de distribución luminosa

Cuando se diseña un sistema de alumbrado se tiene como objetivo distribuir la luz de diversas formas. Esta distribución de la luz puede representarse gráfica o

numéricamente por diferentes métodos; el más común es la curva de distribución luminosa. Una curva de distribución luminosa, es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa a diferentes ángulos alrededor de una fuente de luz o luminaria, y de representarlas en forma gráfica normalmente en coordenadas polares. La distancia en cualquier punto de la curva al centro, indica la intensidad luminosa de la fuente en esa dirección.

Para trazar la curva de intensidad luminosa de una lámpara o de un manantial luminoso cualquiera, se elaborarán una serie de circunferencias concéntricas y sobre ellas, se trazaran radio vectores que tendrán entre ellos una separación de 10 grados, se adopta una escala apropiada y se miden con fotómetros las intensidades luminosas correspondientes.

Sobre la curva de distribución se trazan vectores que determinen las intensidades luminosas de la lámpara en direcciones: 10°, 20°, 30° - 360°, comprendidos en el plano vertical, figura 13.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig.13. Trazo de vectores de magnitud luminosa de una luminaria

Si se sustituyen los vectores en su representación para una línea curva cerrada, que una todos los extremos de los vectores, se obtiene la curva de distribución luminosa, ver figura 14.

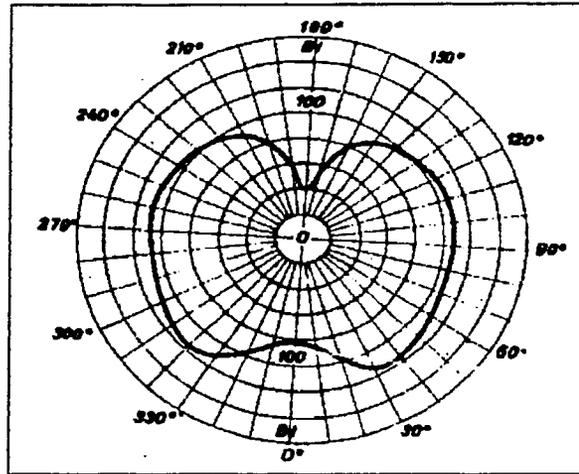


Fig. 14. Curva fotométrica

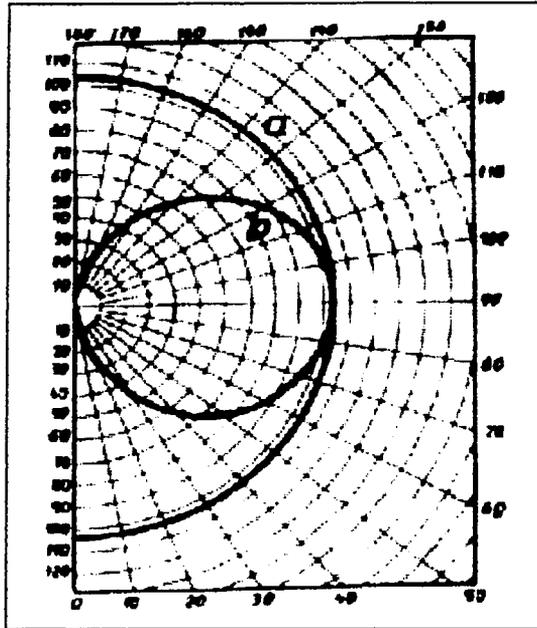
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La curva de distribución luminosa, también se llama curva fotométrica y es proporcionada por las empresas constructoras de lámparas y de aparatos de iluminación referidos a 1,000 lúmenes.

Hemos definido las curvas de distribución luminosa que corresponden a un plano vertical, la distribución de la luz es simétrica y por tanto las curvas fotométricas trazadas según todos los planos verticales serán iguales, siempre que estos planos pasen por el centro del manantial luminoso, y que contengan un eje de simetría al aparato.

Pero hay manantiales luminosos cuya distribución de luz no es simétrica, como son los producidos por las lámparas fluorescentes, o de vapor de mercurio sodio.

Para estos casos se precisan varios grupos de curvas, según los distintos planos que se consideren, ver figura 15.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 16. Curva fotométrica de una lámpara fluorescente.

Para las lámparas fluorescentes, la curva fotométrica está representada por dos curvas de distribución luminosa: la curva (a) de la figura, es circular y corresponde al plano perpendicular al eje de la lámpara, ya que para ese plano se puede considerar a la lámpara como un manantial puntiforme.

La curva (b), corresponde al plano del eje de la lámpara, ya que según este, la curva fotométrica estará constituida por dos círculos tangentes al eje de la lámpara.

## **1.6. Sistemas de iluminación.**

### *Clasificación de las luminarias*

Los sistemas de iluminación se clasifican según la distribución del flujo luminoso, por encima o por debajo de la horizontal, teniendo en cuenta la cantidad del flujo luminoso proyectada directamente a la superficie iluminada, y la que llega a la superficie después de reflejarse por techo o paredes.

Si la mayor parte del flujo luminoso se envía hacia abajo, se produce una iluminación directa, pero si la mayor parte del flujo luminoso se envía hacia el techo, para que llegue a la superficie que se desea iluminar, después de proyectarse en el mismo y en las paredes, tenemos una iluminación indirecta.

Los demás sistemas de iluminación pueden considerarse como formas intermedias de los antes mencionados, en las cuales, la luz emitida se radia tanto hacia arriba como hacia abajo.

Una iluminación de buena calidad y adecuada puede obtenerse con cualquiera de los diferentes tipos de luminarias, clasificadas con arreglo a la distribución vertical de la luz. La selección del tipo más idóneo para cualquier aplicación particular depende en

parte de las características físicas de la habitación, del tipo de trabajo a realizar y de las condiciones de mantenimiento que se desean conseguir.

Sistema de Iluminación	Distribución del flujo luminoso en %	
	Hacia arriba	Hacia abajo
	Iluminación directa	0 a 10
Iluminación semi-directa	10 a 40	60 a 90
Iluminación difusa	40 a 60	40 a 60
Iluminación semi-indirecta	60 a 90	10 a 40
Iluminación indirecta	90 a 100	0 a 10

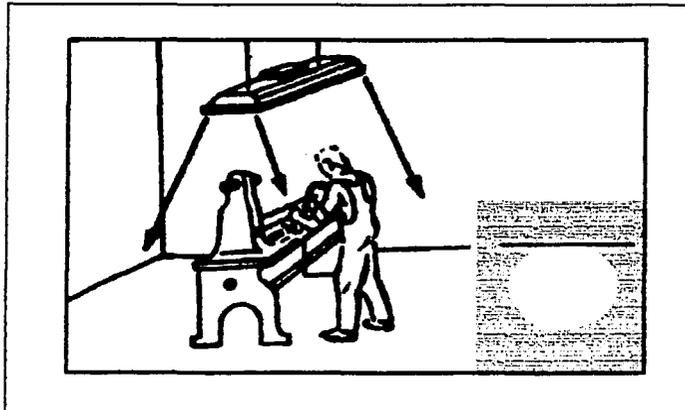
*Iluminación directa.*

Entre el 90 y el 100% de la luz se dirige hacia abajo, en ángulos por debajo de la horizontal. Un sistema de alumbrado directo, es eficaz productor de luz en la zona usual de trabajo, ver figura 16.

Casi todo el flujo luminoso se dirige directamente a la superficie que ha de iluminar. En la práctica y sobre todo en la iluminación de interiores, resulta imposible conseguir una iluminación directa, pues siempre existe alguna luz reflejada en las paredes que se suma.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La iluminación directa produce sombras duras y profundas, y existe el peligro del deslumbramiento al situarse dentro del campo visual, manantiales luminosos de gran intensidad luminosa y poca superficie emisora; es decir, de gran luminancia. Para evitar este peligro, se precisa disponer en los aparatos de alumbrado viseras o placas verticales de vidrio difusor, que corten o difundan la porción del haz luminoso que pudieran llegar a deslumbrar.



*Fig. 16. Representación de un tipo de iluminación directa*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Iluminación indirecta.*

Cerca del 90 por ciento de la intensidad de la luz es dirigida hacia el techo, en ángulos por encima de la horizontal. Prácticamente, toda la luz efectiva en el plano de trabajo se refleja hacia abajo por el techo y en menor medida por las paredes. Puesto que el techo es en realidad la fuente de luz, la iluminación producida es bastante difusa. Aunque el alumbramiento indirecto no es tan eficiente como algunos de los otros sistemas en términos puramente cuantitativos, su distribución uniforme, su ausencia de sombras y de brillo reflejado, lo hacen frecuentemente el más recomendable para oficinas y escuelas y otras aplicaciones similares, ver figura 17. El techo deberá tener un acabado mate, si quiere evitar la imagen reflejada de la fuente de luz.

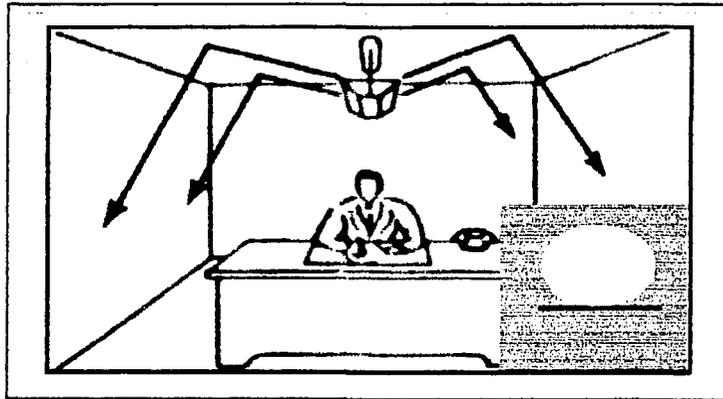


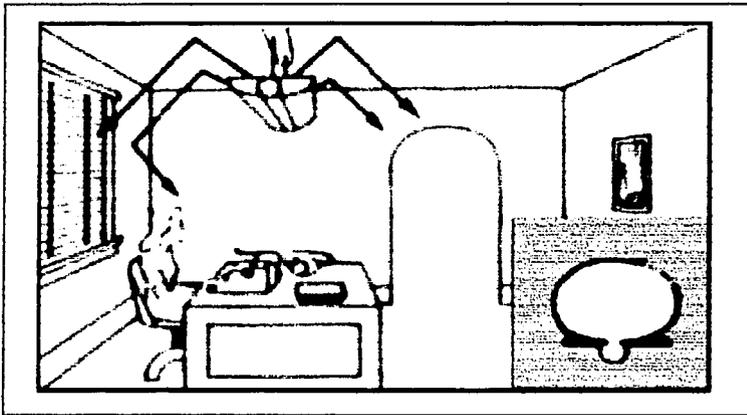
Fig.18. Iluminación indirecta

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Iluminación Semi-indirecta*

Del 60 al 90 % de la intensidad de luz de la luminaria se dirige hacia el techo, en ángulos por encima de la horizontal, mientras el resto se dirige hacia abajo. El alumbrado semi-indirecto tiene la mayoría de las ventajas del indirecto, pero es un poco más eficiente y se prefiere a veces, para lograr una mejor relación de brillo en el techo y la luminaria en instalaciones de alto nivel luminoso.

El medio difusor en estas luminarias es el vidrio o plástico, de densidad más baja que la empleada en los equipos indirectos, fig. 18.



*Figura 19. Ilustración de iluminación Semi-indirecta*

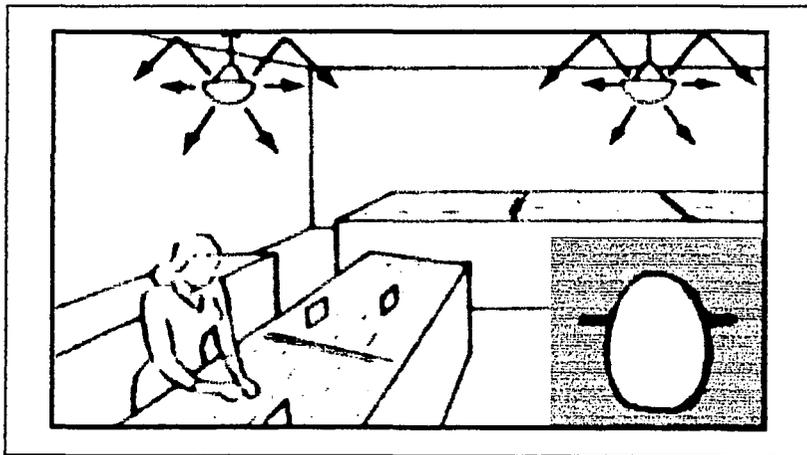
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Iluminación difusa.*

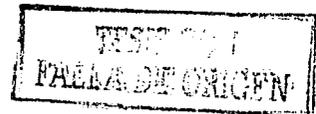
La mayor parte de la iluminación existente en el plano de trabajo es resultado de la luz que procede directamente de la luminaria, pero una porción importante es dirigida al techo y a las paredes laterales. Cuando estas son de color claro, la luz dirigida hacia arriba proporciona un fondo más claro contra el que resalta la luminaria, suministrando una importante componente indirecta que favorece sensiblemente al carácter difuso de la iluminación.

En este tipo de iluminación, del 40 al 60 por ciento de la luz se dirige hacia abajo en ángulos por debajo de la horizontal, ver figura 19.

Estas luminarias suelen utilizar en la parte inferior vidrio, plástico o rejillas para proteger las lámparas.



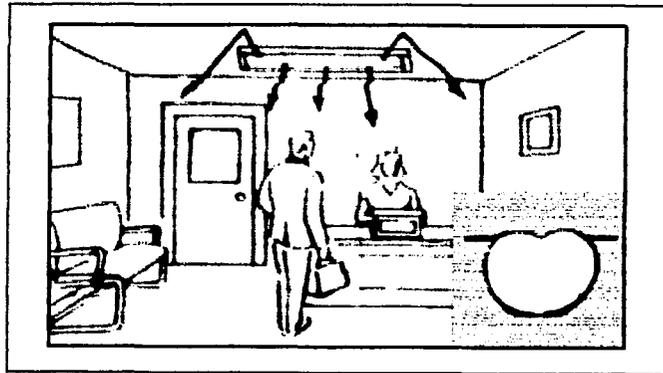
*Fig. 19. Iluminación Difusa*



*Iluminación Semi-directa.*

Del 60 al 90 por ciento de la luz se dirige hacia abajo, en ángulos por debajo de la horizontal. En esencia, el nivel de iluminación eficaz que este sistema proporciona en el plano de trabajo normal, es resultado de la luz que viene directamente de la luminaria.

La porción de luz dirigida hacia el techo produce relativamente una pequeña componente indirecta, y su mayor valor se debe a que hace más brillante a la zona del techo que rodea a la luminaria, resaltando de ello una disminución del contraste de brillo, tal como se muestra en la figura 20.



*Figura 20. Iluminación Semi-directa*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Capitulo II. Elementos de iluminación, principios de operación y control.**

En este capítulo se describirán las fuentes luminosas que operan de forma artificial, su funcionamiento y algunas de las posibilidades que nos ofrecen al integrarse en un sistema de iluminación. También abordaremos todos aquellos dispositivos periféricos que son necesarios para el adecuado funcionamiento de las lámparas, y por último abordaremos el tema de los dispositivos de control de las luminarias.

Comenzaremos pues con la descripción de los equipos de alumbrado mas empleados en este tipo de proyectos, no sin antes dar algunas definiciones básicas que nos apoyen en la comprensión del tema.

### **2.1. Fuentes de luz.**

Se denomina fuente luminosa al dispositivo aparato y órgano natural o artificial que emite radiaciones visibles para el ojo humano. Las fuentes luminosas pueden clasificarse en tres tipos de acuerdo a la naturaleza de la luz que emiten, que son: las fuentes incandescentes, las fuentes de descarga luminosa y las de fotoluminiscencia.

Tal como el sol, las lámparas incandescentes convencionales y las halógenas, producen la luz que emiten por medio de la incandescencia, otra analogía es la

producida por las lámparas de descarga, las cuales operan de forma muy parecida a la naturaleza de los rayos (descargas atmosféricas), al aprovechar la luminiscencia que producen. Por último mencionaremos los diodos que producen su luz por luminiscencia tal como las luciérnagas.

Cabe mencionar que también se han desarrollado tecnologías, las cuales permiten el funcionamiento de una lámpara empleando tecnologías híbridas, como ejemplo tenemos las lámparas de luz mixta (incandescentes-luminiscentes) las cuales aprovechan tanto la incandescencia y la luminiscencia de sus componentes.

La eficiencia de una fuente luminosa (en términos de luminotecnia) esta definida en lúmenes por watt (Lm/W). Esta es una medida de la razón entre la cantidad de luz producida por lámpara y la potencia que consume. La eficiencia de diferentes fuentes de luz varia considerablemente desde los 10 LM/W hasta mas de 200 LM/W.

Consideramos la vida útil de una lámpara, por el tiempo transcurrido para que el flujo luminoso de esta haya descendido a un 80% de flujo luminoso total inicial.

#### Color de la luz

La energía visible es una porción sumamente pequeña del espectro electromagnético, que se desplaza a través de del espacio en forma de ondas electromagnéticas.

El color de la luz se determina por su longitud de onda de la onda radiada. La energía del extremo de las ondas cortas del espectro visible produce la sensación de

violeta desde 3800 a 4500 Ångstrom, el rojo entre 6300 y 7600 Ångstrom, azules de 4500 a 4900 Ångstrom, verdes entre 4900 a 5600 Ångstrom, Amarillas 5600 a 5900 Ångstrom y Naranjas de 5900 a 6300 Ångstrom por mencionar algunas tonalidades.

La región del espectro inmediata al extremo de las largas longitudes de onda de la banda visible, se conoce como infrarroja, y por otro lado junto al final de la longitud de onda corta de la banda visible, se ubica la luz ultravioleta.

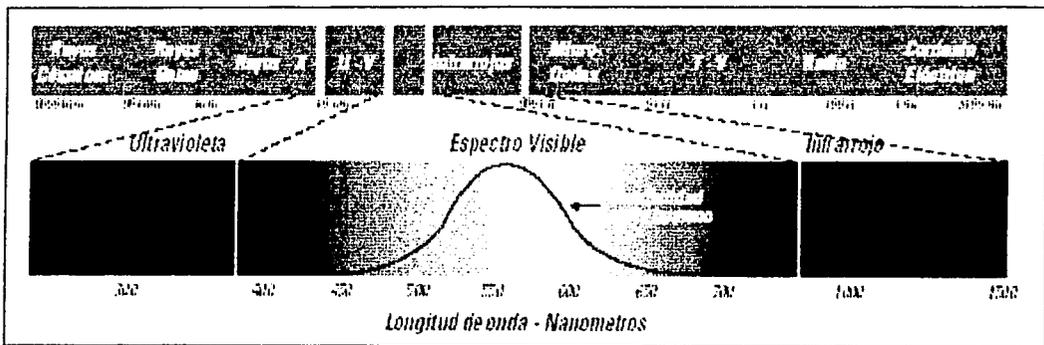


Figura 1. Espectro electromagnético de la luz,

*Temperatura del color.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La temperatura del color es una medida que se especifica en las lámparas y que determina la apariencia o tonalidad de la luz que emite una fuente luminosa.

La temperatura del color ( $T_c$ ) es un termino que se usa para describir el "color" de una fuente luminosa medida en grados Kelvin comparándola con el cuerpo negro de

Plank2, (que es "radiantemente perfecto"), calentado hasta el punto que emita luz, ver figura 2.

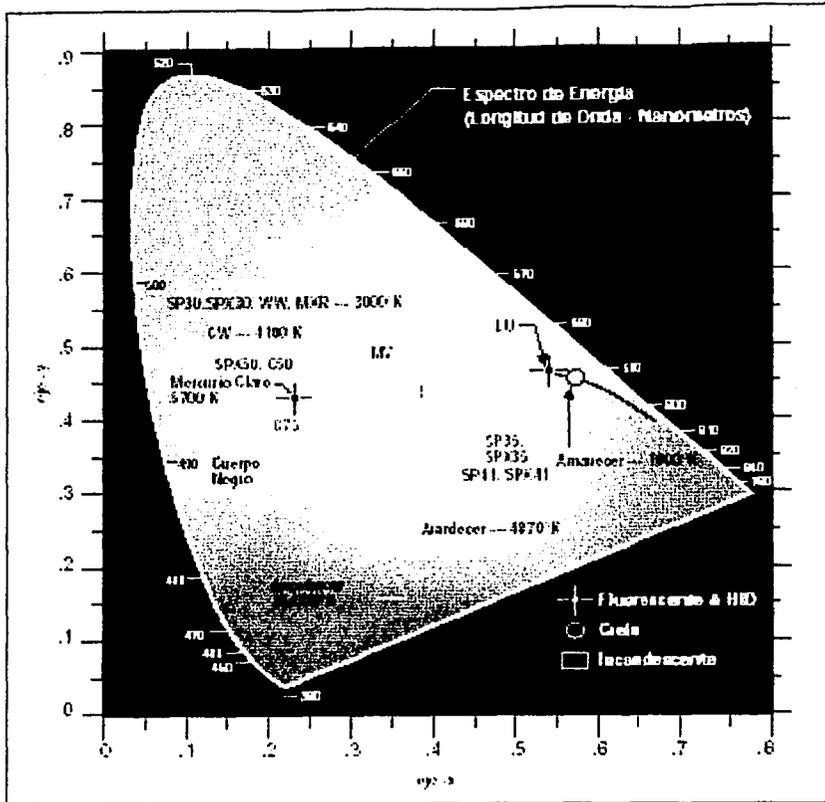


Figura2. Curva de La Plank.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2 De acuerdo a la teoría de Plank, un cuerpo negro que es calentado, va cambiando de tonalidad a medida que se va incrementando su temperatura, hasta llegar a adoptar la tonalidad blanca.

Como cualquier cuerpo incandescente, un cuerpo negro cambia de color al aumentar su temperatura, poniéndose primero rojo oscuro , después rojo claro, naranja, amarillo y finalmente blanco, blanco azulado y azul..

Se debe tener en cuenta que la temperatura del color no es una medida de la temperatura real, ya que define solamente el color, y que se puede aplicar únicamente a fuentes que se parezcan mucho al cuerpo negro.

Las diferentes temperaturas del color hacen que la iluminación sea más versátil, produciendo diferentes efectos y ambientes según la aplicación de la lámpara.

La luz cálida tiende hacia el amarillo - rojo con una temperatura de color por debajo de los 3400 °K.

La luz fría tiende hacia el azul-violeta con una temperatura de color elevada de 3300 °K a 5000 °K.

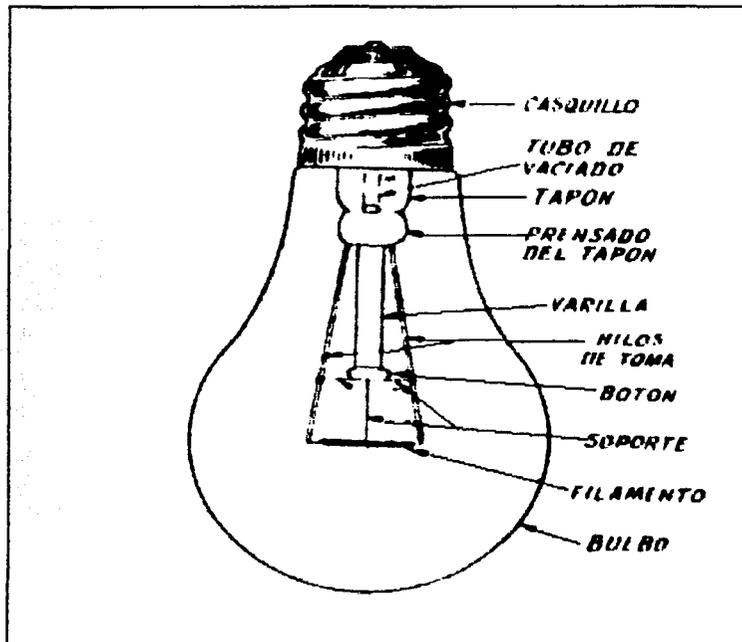
La luz natural blanca, es aquella que emite el sol a cielo despejado, tiene una temperatura de color mayor de 5000 °K cuando se encuentra en el cenit y de 2000 °K cuando esta en el horizonte.

El rendimiento del color IRC, es una medida que describe la calidad de la luz de la lámpara, y debe ser considerada a toda aplicación de la iluminación. Se mide en una escala de 0 a 100. La luz del sol por ejemplo, tiene un IRC de 100.

Es importante saber que los objetos y personas iluminadas por una luz con un alto IRC se ven mas blanco, emitiendo a esta temperatura radiaciones comprendidas dentro del espectro visible.

Lámparas incandescentes.

La lámpara incandescente es un elemento radiador de luz, cuyo cuerpo luminoso esta constituido por un hilo conductor a través del que se hace circular una corriente eléctrica. La corriente eléctrica al pasar por dicho hilo, eleva la temperatura de este hasta obtener una tonalidad de rojo blanco, emitiendo a esta temperatura radiaciones visibles comprendidas dentro del espectro electromagnético de la luz, ver figura 3.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 3. Lámpara incandescente.

El hilo conductor recibe el nombre de filamento, y en la mayoría de las lámparas incandescentes esta conformado por una espiral de tungsteno. Su calibre es dos veces más fino que el cabello humano, y es necesario un metro de este material para formar tres centímetros de filamento.

El filamento permite obtener una luz de tonalidad blanca a una temperatura de 2700 °K y una buena eficiencia durante mas de 1000 hrs. de operación.

Las formas el filamento hoy en día se designan por una o más letras que indican si el hilo es recto o arrollado, seguido por número que especifica la forma general del filamento. La S como primer letra de la designación de un filamento indica que se trata de un hilo recto (no-arrollado), la C un hilo arrollado en espiral, la CC doblemente arrollado en espiral y R un hilo plano o con forma de Cinta.

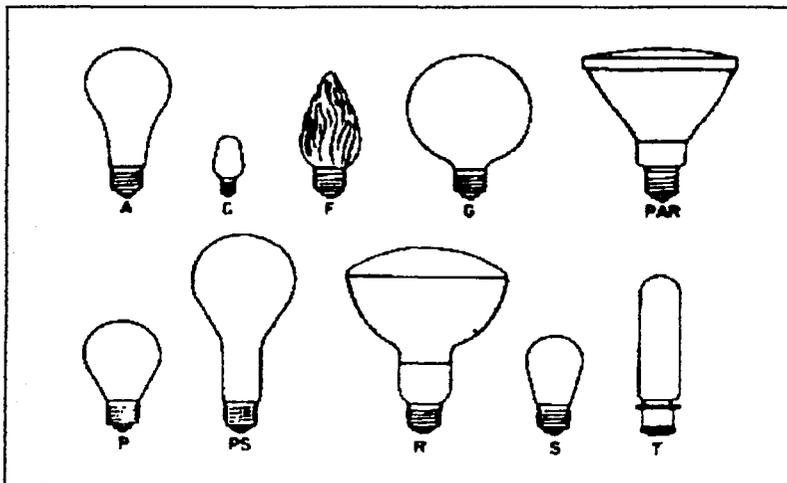
El bulbo es una bombilla de vidrio, en la cual se ha hecho él vacío o bien posee una atmósfera de gas inerte para impedir la rápida desintegración del filamento. Las lámparas de incandescencia se clasifican tipo B, cuando el filamento funciona en vacío y tipo C, cuando el filamento se encuentra inmerso en una atmósfera de gas inerte.

Los gases mas empleados en la fabricación de lámparas son el nitrógeno y el Argón, pero las lámparas de tensión normal tienen alrededor de un 90 % de Argón y un 10% de Nitrógeno. El introducir Nitrógeno a las lámparas incandescentes tiene como objetivo el evitar que el arco eléctrico salte mas allá del filamento, que es lo que pasaría al usar únicamente Argón como gas de relleno.

En la actualidad, las bombillas de este tipo de lámparas son rellenas con una mezcla de Nitrógeno-Argón para alargar la vida del filamento y con Kriptón o Xenón para producir la luz con una cantidad de brillantes.

La forma o tamaño del bulbo es designado por una o varias letras seguidas de un número, ver figura 4. La letra indica la forma del bulbo (S.- lado recto, F.- Llama, G.- Redondo, T.- Tubular, PS.- De cuello recto, PAR.- Parabólico, R.- Reflector), mientras que el número indica el diámetro dl bulbo en octavos de pulgada.

La mayor parte de los bulbos de las lámparas de alumbrado general se hacen en vidrio blando (a la cal), pero las lámparas de alumbrado especial se hacen con tubos de vidrio resistentes al calor. Cabe mencionar que ciertas lámparas se elaboran con vidrios de cuarzo debido a su elevada temperatura de operación.



TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

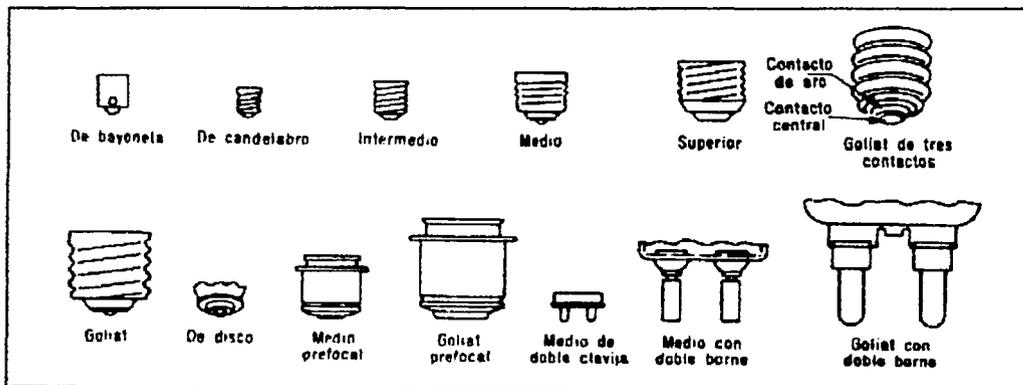
Figura 4. Formas de bulbos de lámparas incandescentes

Para que se pueda mirar directamente una lámpara y no cause deslumbramiento molesto, las ampollas pueden fabricarse con cristal claro, mateado u opalino.

El casquillo (generalmente roscado), es de latón o aluminio. En el se conectan los electrodos principales, uno va soldado al contacto central y el otro se une al borde superior de la base.

La mayor parte de las lámparas de alumbrado general tienen casquillos de rosca o de rosca media o bien rosca Edison, ver figura 5. Para potencias superiores se usa el casquillo de rosca Mogul o rosca Goliat.

La mayor parte de los caquillos de roscas están unidos al bulbo por medio de un cemento especialmente proyectado para tal finalidad, pero también algunos casquillos de rosca Mogul para servicios especiales y lámparas de alumbrado general de elevadas potencias usan lo que es conocido como un casquillo mecánico, que usa un dispositivo de presión en vez de un cemento como adhesivo.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 5. Bases para lámparas de incandescencia.

El rendimiento luminoso de una lámpara de incandescencia disminuye a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento de dicha lámpara. Esta disminución debida sobre todo a la disminución disgregación del filamento de tungsteno que origina un deposito negrusco sobre las paredes de la ampolla a medida que la lámpara envejece.

Las luminancias de los filamentos de las lámparas de incandescencias las podemos agrupar en la siguiente tabla:

Potencia de las lámparas	Luminancia máxima en Cd/m <sup>2</sup>
75	560
100	600
200	780
500	1000
1000	1200

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

La disgregación del filamento hace que este vaya teniendo cada vez menor sección, con lo que va aumentando paulatinamente su resistencia eléctrica. Este aumento de resistencia tiene como consecuencia una disminución de la intensidad de corriente

que atraviesa el filamento, y por lo tanto, un descenso de la temperatura de mismo y que a su vez provoca una disminución del flujo luminoso.

### *Lámparas Halógenas.*

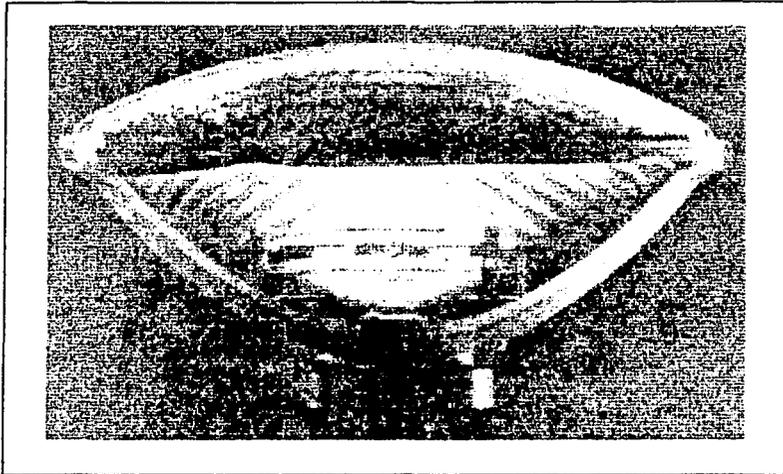
Las lámparas halógenas son lámparas incandescentes mejoradas. La luz halógena es mas blanca que la luz incandescente convencional, tiene una temperatura de color de 3000 °K, mayor vida útil, bajo mantenimiento, menor consumo de energía y proporciona un mayor flujo luminoso, ver figura 6.

En lámparas incandescentes convencionales, el filamento de tungsteno se evapora poco a poco depositándose en forma de una capa negra en el interior el bulbo. En las lámparas de halógeno además de los habituales gases de relleno, se introduce el Yodo o Bromo halógeno, los cuales captan los átomos de tungsteno desprendidos del filamento y sin dejarlos que se depositen en el interior del bulbo, los regresan al filamento. A este proceso se le conoce como el ciclo del halógeno.

Esta reacción Halógeno –Tungsteno funciona mejor si la temperatura de operación es elevada y la distancia entre el bulbo y el filamento se reduce, esto arroja como resultado lámparas con diminuto tamaño que emiten luz de excelente calidad.

Al acumularse tanto calor en un espacio tan reducido, es necesario construir bombillas con un vidrio capaz de resistir temperaturas de 650 °C, además de una presión elevada (del orden de varias atmósferas), para limitar la velocidad de evaporación del filamento.

Es por esta razón que el cuarzo es elegido para la construcción de estas lámparas. Para conservar las propiedades luminosas de la lámpara, no se debe de tocar las bombillas con materiales que puedan desprender grasa.



*Fig. 6. Lámpara halógena en reflector parabólico.*

### *Lámparas Fluorescentes.*

Las lámparas fluorescentes pertenecen al tipo de lámparas de descarga eléctrica, en el cual la luz se produce por la fluorescencia del fósforo, activado por la energía ultravioleta de un arco de mercurio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Consisten en un tubo largo recto o circular (Fig.7), que contiene una gota de Mercurio y una pequeña cantidad de gas Argón, con electrodos encerrados en cada extremo del tubo.

Las paredes interiores del bulbo están revestidas por una capa de polvo fluorescente ( fósforo en polvo).

Las lámparas fluorescentes pueden construirse con el principio de cátodos calientes o cátodos fríos. Los cátodos calientes están formados por filamentos de tungsteno revestidos y arrollados en forma de bobina, mientras que los cátodos fríos están fabricados con hierro moldeado en forma de dedal, a fin de proporcionar una gran superficie emisora.

Cuando se aplica la tensión apropiada en las terminales de la lámpara, un flujo de electrones es desplazado a gran velocidad desde uno de los electrodos y atraído por el electrodo ubicado en el otro extremo de la lámpara. La colisión entre estos electrodos y los átomos de mercurio que se encuentran en su camino producen un estado de excitación cuyo resultado es la emisión de radiaciones principalmente en la región ultravioleta (2530 Amnstrongs). El polvo fluorescente transforma la energía ultravioleta en luz visible.

En una lámpara fluorescente, mas del 90 % de la luz se produce por fluorescencia, y el pequeño tanto por ciento restante es producido por las bandas visibles del arco de mercurio.

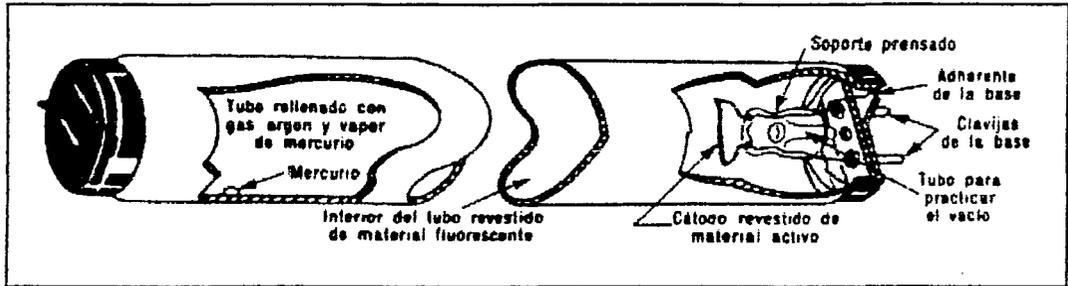


Fig. 7. Estructura de una lámpara fluorescente.

El tipo de electrodo utilizado en la mayor parte de las lámparas fluorescentes es el hilo de tungsteno bañado y doblemente arrollado en espiral (Cátodo caliente).

El hilo en espiral de tungsteno se recubre con un material emisor (bario, estroncio y oxido de calcio) que cuando se calienta desprende electrones.

El proceso se denomina emisión termoiónica. Se crea en el cátodo un punto caliente en el cual salta un arco de mercurio el cual produce un flujo de electrones.

El arranque con cátodo caliente se denomina arranque con precalentamiento, mientras que el arranque con cátodo frío se denomina arranque instantáneo, ya que las lámparas se encienden casi instantáneamente después de que se cierra el circuito de alimentación, ver figura 8.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

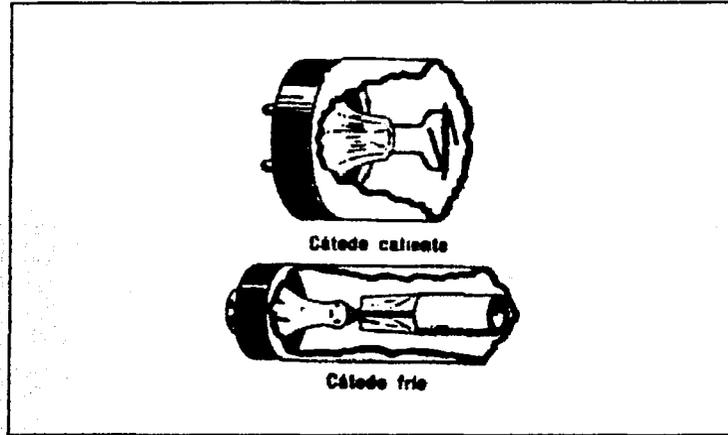


Fig.8. Tipos de cátodos para lámparas fluorescente

El color producido depende de la composición química de los fósforos con los que se recubren las paredes del bulbo. Los colores "blanco cálido normal" y "blanco" se obtiene mediante variaciones de un mismo fósforo y los colores "blanco frío normal", "blanco vivo", "blanco frío normal", "blanco vivo", "blanco frío de lujo", "blanco cálido de lujo", "luz de día" y "blanco suave", son producidos a base de mezclar varios tipos de fósforos.

Las lámparas fluorescentes generalmente designadas como "tipo F", se fabrican en bulbos tubulares de diámetros que van desde los 16 mm (T5) a los 54 mm (T17). En longitud total abarcan desde los 152 a los 2438 mm. Los de forma circular son

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

llamados Circline, y se pueden encontrar en 3 tamaños 210, 305 y 406 milímetros de diámetro exterior del círculo.

Las lámparas fluorescentes que operan con precalentamiento y arranque rápido exigen cuatro puntos de conexión eléctrica, que se agrupan en dos bases de doble contacto. Dentro de las bases de doble contacto existen tres tipos comunes que son: El casquillo doble patilla miniatura, el medio y el Mogul, ver figura 9. En las lámparas Circline, los contactos están reunidos en un casquillo con cuatro patillas, situado entre los dos cátodos en los que se unen los extremos de la lámpara. Las lámparas de encendido de tipo instantáneo requieren solo dos contactos mientras que las "Slimline" tienen casquillos de una sola patilla.

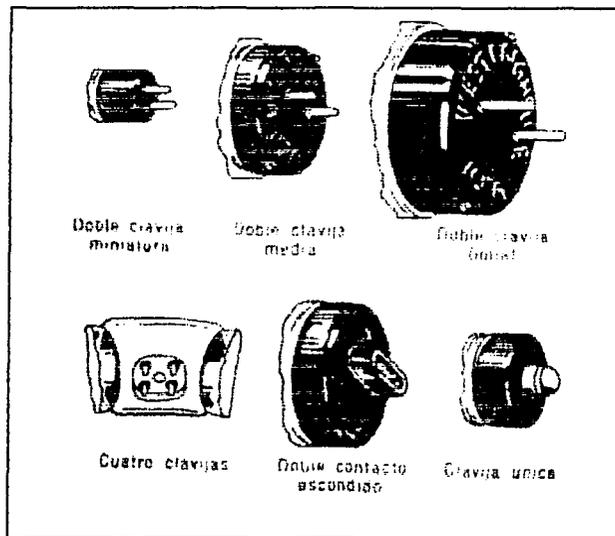


Fig. 9. Bases para lámparas fluorescentes.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Las lámparas fluorescentes se pueden clasificar por su encendido en tres grupos, encendido precalentado (con calentamiento de cátodos solo durante el encendido), encendido instantáneo (donde el encendido se produce por un alto voltaje sin calentamiento de cátodos) y encendido rápido donde el arranque se produce por medio de un voltaje de encendido de alto valor y el calentamiento permanente de los cátodos. También se pueden clasificar por su corriente de arco, menos de 500 mA, entre 500 y 800 mA y entre 800 y 1500 mA.

Existen cinco procedimientos principales de funcionamiento de las lámparas fluorescentes, algunas de ellas pueden funcionar únicamente según un solo método, mientras que otras pueden funcionar según varios procedimientos distintos. Los procedimientos de funcionamiento son los siguientes:

1. Con precalentamiento o arranque con interruptor (Con cebadores o interruptores de arranque manual). Se presenta cuando los cátodos de la lámpara fluorescente se precalientan antes de que la lámpara empiece a funcionar. El dispositivo de encendido, cuando está cerrado conecta los dos cátodos en serie con el circuito del balastro, de tal manera que la corriente eléctrica fluye para calentar los cátodos hasta la temperatura de emisión, cuando el dispositivo se abre, se produce un pico transitorio de tensión, que inicia la descarga. Cuando la lámpara está en operación, circula por los cátodos únicamente la corriente del arco. El precalentamiento se consigue con interruptores manuales o con cebadores automáticos, que pueden ser de tipo oscilante y de tipo normal.

2. Arranque con disparador. Este método permite el funcionamiento de algunas de las más pequeñas lámparas fluorescentes de arranque con precalentamiento sin cebadores. Sin embargo este principio proporciona un arranque instantáneo. No se requiere de ningún tipo de lámpara especial, pero la instalación debe de estar equipada con estabilizador de arranque con disparador de tamaño apropiado

3. Arranque rápido. Este sistema es usado con lámparas de arranque rápido, de alto rendimiento, de muy alto rendimiento o de potencia acanalada. Combina la simplicidad del arranque con disparador con el bajo coste del arrancador convencional con interruptor. Precisa el uso de cátodos especiales de pérdida reducida y triple arrollamiento para reducir las pérdidas de calentamiento del cátodo y esta revestida con Dri-Film para asegurar un arranque rápido incluso en condiciones adversas. Las lámparas deben usarse con estabilizadores de arranque rápido proyectados para proporcionar automáticamente un adecuado precalentamiento con pequeñas pérdidas. Las lámparas se hacen luminiscentes en el momento del encendido y alcanzan un completo y uniforme brillo a los dos segundos de estar operando.

4. Arranque instantáneo. Mediante el uso de estabilizadores de mayor tensión, se provoca un alto voltaje al que es sometida la lámpara, lo cual produce la emisión de electrones de los cátodos a través del bulbo, ionizando los gases o iniciando una descarga a través de la lámpara sin que previamente se hayan calentado los electrodos.

Están equipadas con cátodo de triple arrollamiento que ofrece en general la misma larga vida obtenida con los tamaños corrientes de lámparas normales de arranque con interruptor. Aun cuando su aspecto es el mismo que el de las lámparas de arranque con interruptor de la misma potencia, las lámparas de arranque instantáneo no son intercambiables eléctricamente con ellas, debido a que las conexiones catódicas están corto circuitadas en el interior de la base de la lámpara para procurar seguridad en el uso.

5. Slimline.- Las lámparas de tipo delgado combinan todas las ventajas de la lámpara de arranque instantáneo con una manipulación mucho más cómoda y un más fácil mantenimiento. Las lámparas están equipadas con bases de una clavija extra fuerte que encaja fácil y solidamente en portalámparas robustos push-pull y emplean balastos de alto voltaje, de manera que son encendidas instantáneamente. Los cátodos de estas lámparas están diseñados para soportar el alto voltaje de arranque. Esta combinación permite una instalación rápida y fácil.

#### *Lámparas de alta densidad de descarga.*

Las lámparas de alta intensidad de descarga son generalmente la fuente de luz más efectiva para interiores y exteriores con alturas de montaje superiores a los cinco metros. El funcionamiento se basa en el fenómeno de radiación eléctrica, todo ocurre entre los electrodos dentro de un tubo de descarga o quemador lleno de una mezcla

de gases y sustancias metálicas. Esta excitación de los átomos del vapor metálico origina un arco eléctrico que se convierte en una fuente de luz, en este punto, uno de los electrodos funciona como cátodo mientras que el otro actúa como ánodo permitiendo que la corriente circule por ellos. Un condensador compensa el sistema y asegura que no haya interferencias.

Este tipo de lámparas funcionan durante más de 10 000 hrs., con una buena producción luminosa de hasta 200 LM/W.

A diferencia de las lámparas incandescentes que tiene un espectro continuo, las lámparas de descarga emiten radiaciones a rayas variables según la naturaleza física de las sustancias excitadas.

La calidad de una lámpara de descarga es su eficiencia luminosa. La capacidad de reproducir colores, varía en función de los vapores metálicos y los gases utilizados dentro del tubo de arco.

Los polvos fluorescentes, tierras raras y gases halógenos completan al mercurio o al sodio para ofrecer una gama completa de temperatura del color. La eficiencia luminosa y la reproducción cromática dependen directamente de la presión a la que se encuentre sometido el bulbo.

Dentro de los tipos de fuentes de luz de descarga en gas encontramos las siguientes:

- \* Lámparas de luz mixta.
- \* Lámpara de vapor de mercurio

- \* Lámpara de aditivos metálicos
- \* Lámpara de vapor de sodio a baja presión
- \* Lámpara de vapor de sodio a alta presión.

#### *Lámpara de luz mixta.*

Las lámparas de luz mixta son una combinación de la lámpara de vapor de mercurio a alta presión con la lámpara incandescente, corrigiendo la luz azulada de la lámpara de vapor de mercurio. En esta lámpara la carencia de radiaciones rojas del mercurio se suple con la adición de un filamento incandescente en el mismo bulbo.

Este tipo de lámpara se construye de la siguiente manera. Dentro del mismo bulbo exterior se sitúa un tubo de descarga fabricado de cuarzo y relleno de vapor de mercurio y Argón, junto con un filamento de tungsteno conectado en serie con el tubo.

Las características técnicas del filamento son calculadas de tal manera que su resistencia óhmica puede estabilizar la descarga eléctrica del tubo de descarga, de esta manera se evita la utilización de un balastro, por lo que este tipo de lámparas puede conectarse directamente a la línea de alimentación.

Las lámparas de luz mixta son menos eficientes y de menor duración que las de vapor de mercurio, debido a la baja eficiencia del filamento de tungsteno que tiene una duración de 6000 Hrs.

### *Lámparas de mercurio.*

Las lámparas de mercurio, pertenecen a las conocidas bajo el nombre de lámparas 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 lugar de un filamento.

En las lámparas de mercurio, " el gas " es mercurio vaporizado, para facilitar el encendido, se introduce una pequeña cantidad de gas Argón, el cual ioniza más rápido que el Mercurio. El arco inicial salta a través del Argón ionizado, el cual se calienta, su calor comienza a vaporizar el mercurio, que se convierte gradualmente en conductor.

Los electrodos de las lámparas de mercurio se construyen con dos bulbos (Fig.10), uno interior de cuarzo y otro exterior de cristal que protege al tubo del arco de los cambios de temperatura y actúa como filtro para eliminar algunas de las longitudes de onda de la radiación del arco de mercurio.

El arco de mercurio produce un espectro lineal con intensas líneas en las zonas ultravioleta y visibles, y también algunas en la infrarroja. La distribución espectral exacta varía mucho con la presión de vapor a la que opera el arco.

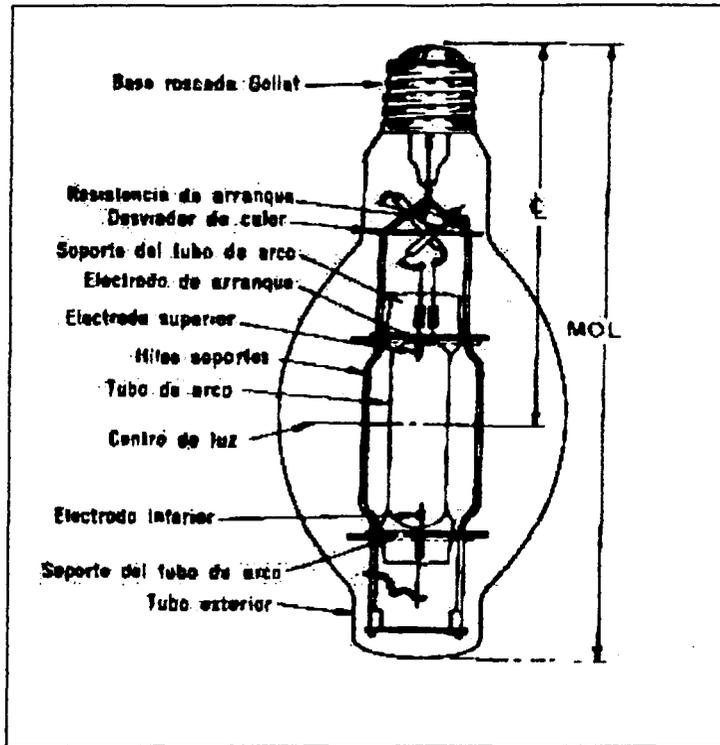


Fig 10. Lámpara de vapor de mercurio

Las lámparas de mercurio para alumbrado funcionan a presiones de vapor más altas, del orden de 1 a 10 atmósferas. A estas presiones, un gran porcentaje de la energía radiada se encuentra en las cuatro líneas más importantes del espectro visible y en la zona próxima al ultravioleta.

La adición de un fósforo corrector de color a una lámpara de mercurio da lugar a importantes cambios en la distribución de la energía espectral. Los fósforos utilizados

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

con este fin se seleccionan por su sensibilidad a las radiaciones próximas al ultravioleta.

Las nomenclaturas para identificar a las lámparas de mercurio son muy diferentes a las utilizadas para las incandescentes, todas las designaciones comienzan con la letra " H ", seguida de un número arbitrario que indica las características eléctricas de la lámpara y la reactancia con la que se ha de acompañar, y de dos letras arbitrarias que indican las características físicas (tamaño del bulbo, material, acabado, etc.,. Cuando el bulbo exterior lleva baño de fósforo se agrega una barra diagonal (/) seguida de una letra que indica el color de la luz.

Las reactancias limitadoras de corriente se calculan para cada tipo de lámparas de mercurio de suerte que suministren la tensión y corriente con una frecuencia de 50 ciclos. Es posible el funcionamiento a frecuencias por debajo de 25 ciclos, pero requieren reactancias mayores y por otro lado el efecto estroboscópico es mayor.

Casi todas las lámparas de mercurio tienen un electrodo de encendido. Se establece primero un campo eléctrico entre el electrodo de encendido y el principal adyacente, provocando una emisión de electrones que produce una descarga local y la ionización del gas de encendido. Seguido de esto salta un arco entre los electrodos principales, y el mercurio se vaporiza gradualmente a la vez que conduce una corriente cada vez mayor.

La línea espectral de estas lámparas de mercurio hace de ellas una fuente de luz extremadamente eficaz, pero su deficiencia en el rojo y la preponderancia del azul y el verde se traducen en una marcada distorsión de los colores, lo que hace que no sea recomendable su uso cuando es importante la apariencia del color.

Las lámparas de mercurio disponen de tres tonalidades de luz de donde elegir, que son la blanca de lujo para un color óptimo (máximo rojo, mínimo amarillo verdoso), la blanca normal o la blanca de alta emisión.

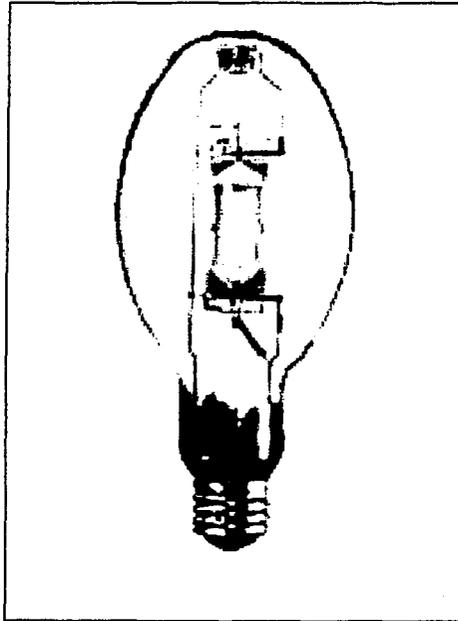
Las lámparas de mercurio como cualquier otra lámpara de descarga tienen una característica de reactancia negativa. Esto hace que la intensidad de corriente que circula por la lámpara se eleve indefinidamente hasta alcanzar un valor destructivo. Para neutralizar este efecto, es necesario el uso de estabilizadores para limitar la intensidad de corriente que circula por la lámpara.

### *Lámparas de aditivos metálicos*

Este tipo de lámparas es similar a las lámparas de vapor de mercurio, pero usan otros metales o combinaciones metálicas, su principio de operación se basa en introducir este tipo de metales en el interior de la cámara del arco, de modo de que sean fácilmente vaporizables sin llegar a ser inestables eléctrica o químicamente. Partiendo de una cámara de arco que contiene mercurio, los metales deseados se

añaden en forma de sales haloideas, generalmente yoduros. Las lámparas comunes emplean yoduros de sodio, talio e indio, además del mercurio.

El resultado es un tipo de lámpara que proporcionan luz con un rendimiento cincuenta por ciento mayor que la de arco de mercurio y con una mejor calidad del color, ver figura 11.



*Figura 11. Lámpara de aditivos metálicos.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Este tipo de lámparas operan a tensiones elevadas del orden de kilovolts, que son suministrados por medio de un arrancador. El arrancador esta constituido por un circuito electrónico cuya parte fundamental es un tiristor que suministra un impulso o pico de tensión una vez por cada ciclo. Una vez producida la descarga, el arrancador deja de operar dejando de emitir impulsos eléctricos.

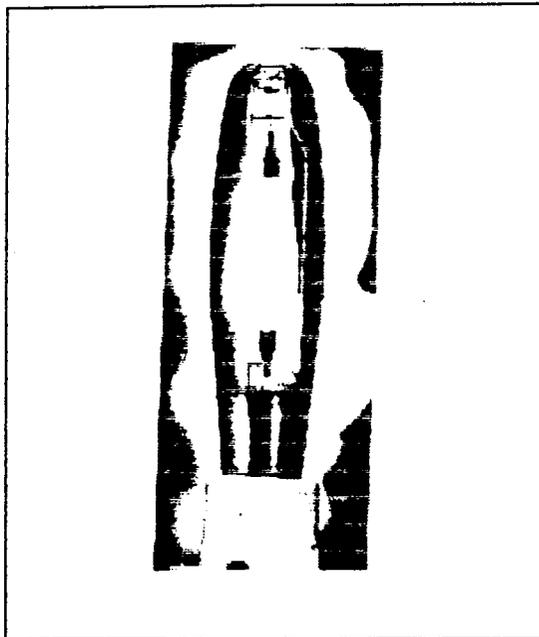
Otro tipo especial de lámpara omite la presencia de arrancador, pero este lugar es ocupado por un interruptor bimetalico incorporado a la misma lámpara.

#### *Lámpara de Vapor de Sodio a Baja Presión.*

La lámpara de vapor de sodio a baja presión opera de forma similar a la de vapor de mercurio con la diferencia de una temperatura mucho mayor para asegurar la vaporización del sodio.

Su arquitectura se basa en un tubo de descarga interno (Fig.12), que es un bulbo de vidrio duro tratado químicamente para resistir los efectos corrosivos del sodio. Cuenta con dos electrodos de tungsteno recubiertos con material emisor. Los electrodos operan bajo el principio de cátodo frío a una tensión elevada entre 400 y 600 Volts. Esta tensión es suministrada por un arrancador electrónico, el cual proporciona el impulso de tensión para realizar la descarga.

El tubo de descarga es llenado con Neón, al cual se le anexa en un mínimo porcentaje Argón con la finalidad de reducir la tensión de encendido.



*Figura 12. Lámpara de vapor de sodio.*

El bulbo externo de la lámpara tiene la finalidad de mantener la temperatura estable del tubo de descarga ( $260^{\circ}\text{C}$ ), para lo cual es necesario provocar el vacío en el bulbo y añadir compuestos absorbentes que aseguran eliminar la transmisión del calor por convección.

Las lámparas de vapor de sodio producen luz con tonalidades amarillo-naranja, por lo que su principal aplicación es en lugares donde la distinción de colores no es fundamental, tal como los estacionamientos, vías públicas y almacenes.

TESIS DE  
FALLA DE ORIGEN

### *La lámpara de sodio a alta presión.*

Esta lámpara posee el mas elevado rendimiento de producción de luz que cualquier otra fuente comercial de luz blanca. Esto llega a ser posible gracias a la invención de métodos de sellado efectivo de los extremos metálicos y electrodos en un tubo de un material de cerámica especial, que es capaz de resistir las elevadas temperaturas y los efectos producidos por los vapores intensamente calientes de los metales alcalinos usados en el tubo. El arco de la lámpara de sodio a alta presión es principalmente de sodio metálico. El sodio ha sido usado a temperaturas y presiones mas bajas durante muchos años como fuente de luz en aplicaciones donde su característica luz amarilla monocromática no sea un inconveniente, como el alumbrado de calles cerca de cruces peligrosos. La moderna lámpara a alta presión es el resultado del efecto combinado presión-temperatura en un arco de sodio que se traduce en mucho mejor calidad de color con un rendimiento luminoso sustancialmente mayor que el que ha sido posible anteriormente para la luz blanca. A causa de su compacidad esta lámpara se espera llegue a ser más popular en los sistemas de alumbrado.

### **2.2. Tecnología de las lámparas compacto fluorescente.**

Las lámparas Compactas fluorescentes (CFL's), fueron introducidas en Norteamérica en el año de 1979, y gracias a sus ventajas y aceptación, su producción fue incrementándose, hasta llegar a valores de consumo de 31 millones de unidades

para el año de 1994, tan solo en los estados unidos. Aunque eso signifique un cuatro por ciento menos de la producción de lámparas incandescentes producidas en ese mismo año.

Las cfl's pueden llegar a reducir costos de energía y mantenimiento comparado con las lámparas incandescentes.

Los fabricantes de las cfl's han optado por política el que en los empaques de sus productos agreguen un cuadro comparativo a la potencia luminosa que puede ofrecer una lámpara incandescente.

Las cfl's son lámparas fluorescentes que tienen un diámetro de tubo de 16 mm o menos, las cuales están disponibles en varias formas como se muestra en la figura 13.

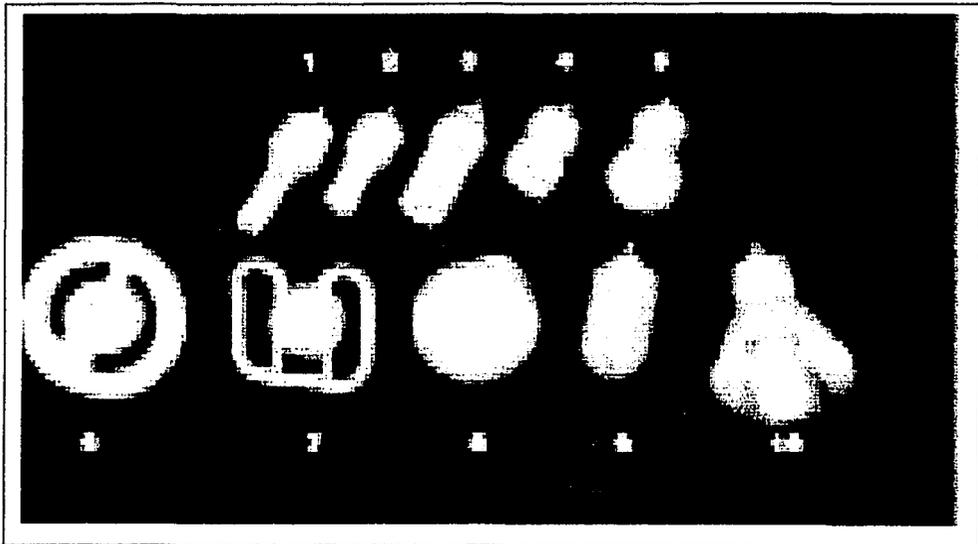


Fig.13. Tipos de lámparas compacto fluorescentes

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las bases de este tipo de lámparas son roscadas y de tipos y dimensiones muy parecidas a las de las lámparas incandescentes. Las bases roscadas de las cfl's, están disponibles en el mercado en dos presentaciones: una con balastro integrado y la otra que es llamada de tipo modular.

La cfl con balastro integrado tiene una vida útil de entre seis mil y diez mil horas de funcionamiento, una vez que llega a fallar tiene que ser sustituida toda la unidad.

Mientras que la lámpara tipo modular, está compuesta de dos partes, la base con balastro y la lámpara compacto fluorescente. La base y la lámpara se ensamblan mediante un diseño especial mostrado en la figura 14.

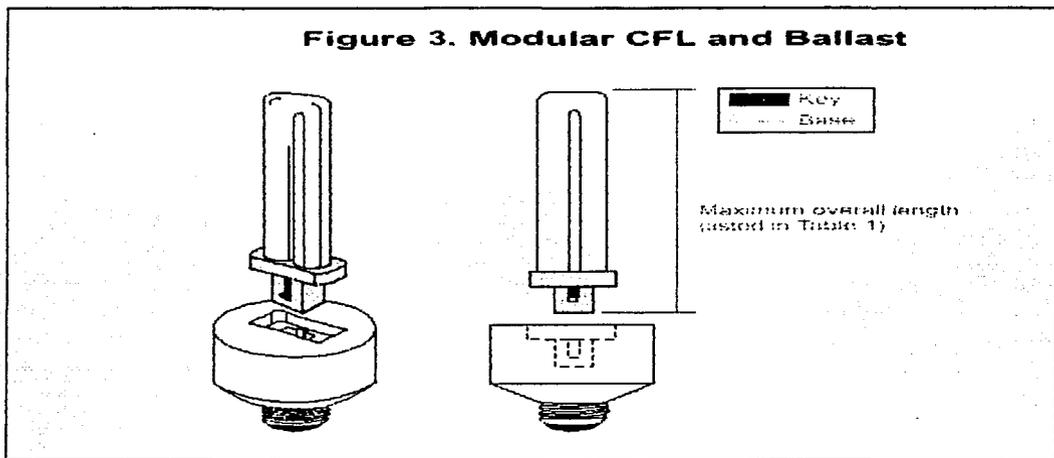


Figura 14. Lámpara compacto fluorescente modular

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Al igual que las cfl's auto balastradas, las cfl's modulares tienen una larga vida de operación, de alrededor de 7,500 a 15,000 horas. Mientras que las que corresponden al modelo Vallarta llegan a durar de 20000 a 150000 hrs

.Las cfl's mas comunes operan en forma vertical (Fig.15), pero existen algunas, que su montaje para operar es de forma horizontal, lo que cambia por completo la forma el haz de luz que emite la lámpara.

Figure 1. CFL Downlight With Lamp in the Horizontal Position

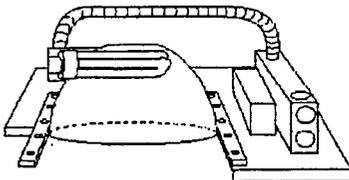


Figure 2. CFL Downlight With Lamp in the Vertical Position

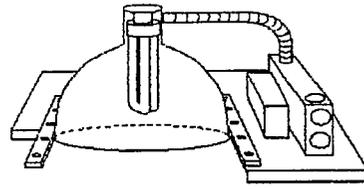
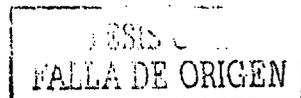


Figura 15. Posiciones de operación de lámparas compacto fluorescentes.

La nomenclatura correspondiente a las CFL esta dada por la Asociación de Constructores eléctricos la NEMA que ha desarrollado una nomenclatura la cual corresponde a cuatro designaciones de componentes. Esta nomenclatura es usada en toda Norteamérica, y la describimos a continuación.



**Cf + Composición (forma) + Potencia / Abreviaturas que definen la forma de la base.**

CF: Lámpara compacto fluorescente.

La Composición o forma puede ser de las siguientes tipos:

T: Tubo gemelo sencillo.

Q: Tubo gemelo doble.

S: Forma cuadrada

M: Cualquier otra forma, con tubo múltiple.

Potencia nominal a la que opera la balastra.

Base: Catalogo de fabricantes.

La iluminación que emiten las cfl's tiene dos posibles fuentes de luz: el brillo propio de la lámpara y la reflexión de la lámpara sobre una superficie reflectora tal como los reflectores.

Así como las lámparas fluorescentes, las cfl's emiten luz cuando el vapor a baja presión es energizado dentro de la lámpara, produciendo radiaciones ultravioletas. Las radiaciones ultravioleta son absorbidas por un polvo de fósforo que se encuentra en la superficie de la lámpara, convirtiendo las radiaciones ultravioletas en radiaciones luminosas dentro del espectro visible.

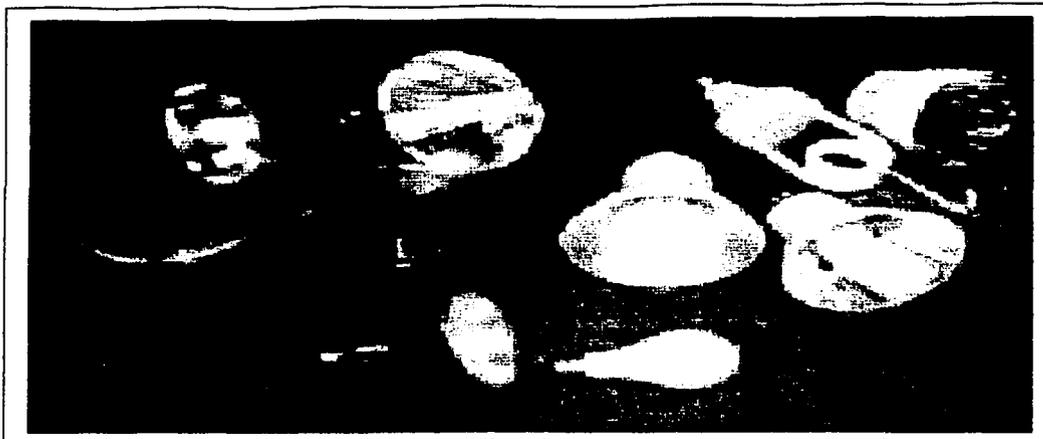
La función de los balastos en las cfl's no varían mucho de los encomendados en las lámparas fluorescentes convencionales, es decir, los balastos proporcionan un alto voltaje de encendido y regulan el flujo de corriente durante la operación.

Consumen una pequeña parte de energía para cumplir con esas funciones, del orden del 5 al 12%..

Los balastos que operan las cfl's son electrónicos o magnéticos. Los balastos magnéticos cuentan con una coraza de acero y una capa de aceite, y trabajan a una frecuencia de 60 hz., su peso se comprende entre los 120 y 453 gramos. Los balastos electrónicos, contienen tarjetas de circuitos y componentes electrónicos. Son generalmente mucho mas eficientes que los balastos magnéticos, pero pueden causar interferencias electromagnéticas. Los balastos electrónicos operan las lámparas a frecuencias que van desde los 20 a los 60 khz. Su peso es de 226 gr. Algunas de los balastos pueden ser controlados por medio de dimmer's para atenuar la intensidad de luz que emita la lámpara..

Los constructores de las lámparas han provisto de accesorios como difusores, lentes y reflectores que llegan a modificar la distribución de luz. Mientras que algunos de los accesorios son fijos, otros son removibles, los difusores de luz pueden utilizarse principalmente el los equipos en donde la lámpara puede llegar a causar deslumbramiento al verse directamente.

Con el uso de reflectores de enfoque y de lentes, se puede llegar a direccionar la luz de una cfl, habilidad que puede ser empleada para sustituir a una lámpara incandescente o un reflector parabólico aluminado, ver figura 16.



*Fig. 16. Lámparas compacto fluorescente, equipadas con reflectores de aluminio.*

Los balastos que operan las cfl's, funcionan de acuerdo a tres métodos que son: el precalentado, el encendido rápido y el encendido instantáneo.

El encendido con precalentamiento (también llamado encendido arrancado por switch), los balastos precalientan los electrodos de las lámparas durante algunos segundos, llevándolos a temperaturas de 800 a 1000° C. Posteriormente de que son precalentados los electrodos, el switch de arranque permite el paso de un voltaje de 200 a 300 Volts, que es aplicado a la lámpara provocando un arco eléctrico. Los balastos magnéticos cuando precalientan la lámpara, provocan un flasheo intermitente durante algunos segundos antes de que encienda completamente la lámpara. Mientras que los balastos electrónicos para cfl precalentadas no producen ninguno de estos efectos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Encendido instantáneo.

Los balastos de encendido instantáneo se han desarrollado para encender las lámparas sin retardo o flasheo. En lugar de precalentar los electrodos antes del encendido, los balastos de encendido instantáneo proporcionan un alto voltaje (mas de 400 Volts), que originan el arco eléctrico. El alto voltaje es necesario para comenzar con la descarga entre los electrodos sin precalentar. Los electrodos que no se precalientan ni antes ni durante la operación. Este tipo de sistemas tienen baja pérdida de energía en comparación con las lámparas de encendido rápido, por lo que pueden reducir la vida útil de las lámparas en comparación con las de precalentamiento. Especialmente cuando es frecuente su encendido, ya que el alto voltaje produce la rápida degradación de material emisor con el que se encuentran recubiertos los electrodos.

### Encendido rápido

Los balastos de encendido rápido proveen un bajo voltaje (alrededor de 3.5 V) a los electrodos, calentándolos aproximadamente a 1000 ° C en dos segundos. Cuando se conecta a las terminales el voltaje de 200 a 300 Volts, generando un arco eléctrico. Los balastos de encendido rápido desconectan el alto voltaje siempre cuando la lámpara esta funcionando, resultando una pérdida de voltaje de alrededor de 3 a 4 Watts por cada lámpara.

Los balastos de encendido rápido, presentan un breve retardo pero sin flasheo.

Los fabricantes han desarrollado una nueva tecnología de encendido rápido, que controla el proceso de encendido, haciéndolo mas preciso, ampliando su vida útil de la lámpara. La nueva tecnología recibe el nombre tal como encendido programado o encendido rápido modificado y también como encendido rápido controlado.

Dentro de la cfl se agrega vapor de mercurio bajo presión, lo cual influye en la luz emitida, si la presión es mayor o menor que la optima, la luz emitida puede disminuir. Las más antiguas lámparas compactas contenían exceso en la cantidad de mercurio que se introducía, cuya condensación en los puntos fríos del bulbo establecían la presión optima del vapor presurizado. Últimamente los fabricantes han desarrollado una mezcla de CFL cuyo contenido de mercurio mezclado con dos o tres metales, los cuales agregan el control del vapor de mercurio, ver figura 17.

Un factor que puede definir la salida de luz de una cfl, es la temperatura del ambiente en el cual este operando, Un ambiente térmico extremado puede afectar la presión a la que se encuentra el vapor de mercurio dentro de la lámpara, afectando de forma directa la luz de salida de las lámparas.

Algunos fabricantes de cfl's integran un capacitor incorporado en el balastro magnético de la cfl, llegando a incrementar su factor de potencia aproximadamente a 0.9. En lugares donde se han sustituido las lámparas incandescentes por cfl, se ha visto decrementado las sobrecargas en el sistema eléctrico, debido a que es reducida la potencia activa reduciendo y compensando el factor de potencia. Sin embargo, el reemplazar una gran cantidad de lámparas incandescentes por cfl, llega

a generar una alta potencia reactiva, por lo que es necesario acoplar al sistema una banco de capacitores para compensar la demanda reactiva excesiva.

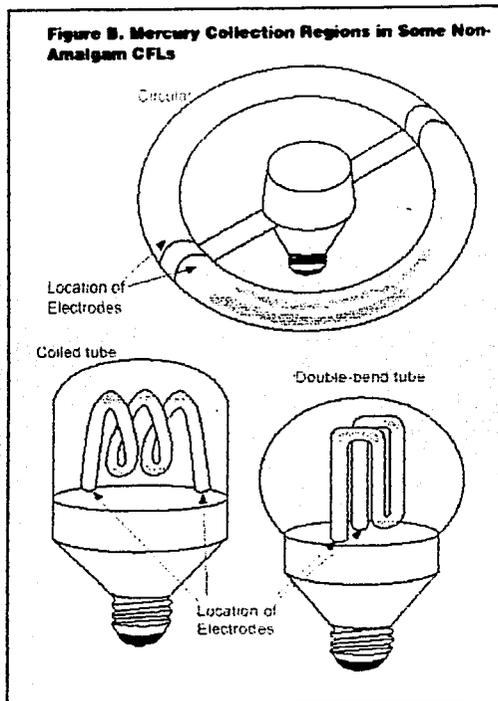


Figura 17. CFL's.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Las características de color de las cfl's se caracterizan por producir luz disponible dentro del espacio entre los 2700 a 2600 °K, aunque los colores que más se parecen a los producidos por una lámpara incandescente se comprenden entre los 2700 a los 3000 °K.

El CCT de una cfl es producto de la mezcla de la cubierta de fósforos y el arco de mercurio

Las lámparas incandescentes tienen un CRI aproximado de 95, mientras que las cfl's que se elaboran con tierras raras y trifósforos recubriendo el bulbo, tienen un cri de 82 a 88.

Recientemente se han introducido al mercado balastos que pueden llegar a variar hasta un 5 % la salida de la luz de una cfl, los cuales pueden ser empleadas con los mismos variadores de intensidad que se ocupan con lámparas incandescentes.

### **2.3. Balastos, clasificación principios de operaciones y factor de potencia.**

En comparación con las lámparas incandescentes, las lámparas fluorescentes y las de alta intensidad de descarga, convierten en mayor cantidad la potencia suministrada en luz visible, pero es necesario el empleo de dispositivos limitadores de corriente (balastos) para compensar las reactancias negativas con las que están construidas.

Un balastro es un dispositivo que por medio de inductancias y/ o reactancias solas o en combinación, limitan la corriente de las lámparas al valor requerido para su operación correcta. También son empleadas cuando es necesario suministrar la tensión y la corriente de arranque.

La cantidad de luz, la eficiencia de la lámpara fluorescente y la vida del conjunto balastro-lámpara, depende en gran medida de la calidad del balastro.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Los balastos para lámparas fluorescentes se clasifican de la siguiente forma:

1. Balastos para lámpara de encendido instantáneo ( Slim Line ).

En este tipo de sistema de encendido se inicia el arco por medio de la aplicación de un voltaje alto sin que los electrones hayan sido precalentados, por esta razón; los balastos de encendido instantáneo son de mayor tamaño. El balastro de encendido instantáneo enciende las lámparas en secuencia, una después de otra y cada parte del balastro realiza una función específica. Una vez encendidas las dos lámparas, una parte del devanado del balastro deja de operar. Esta forma de operar del balastro se denomina secuencia serie, exige que cuando se funda una de las lámparas se reponga de inmediato, pues de otro modo el balastro puede dañarse al operar con una sola lámpara, además en estas condiciones se reduce el nivel de brillantez, ver figura 17.

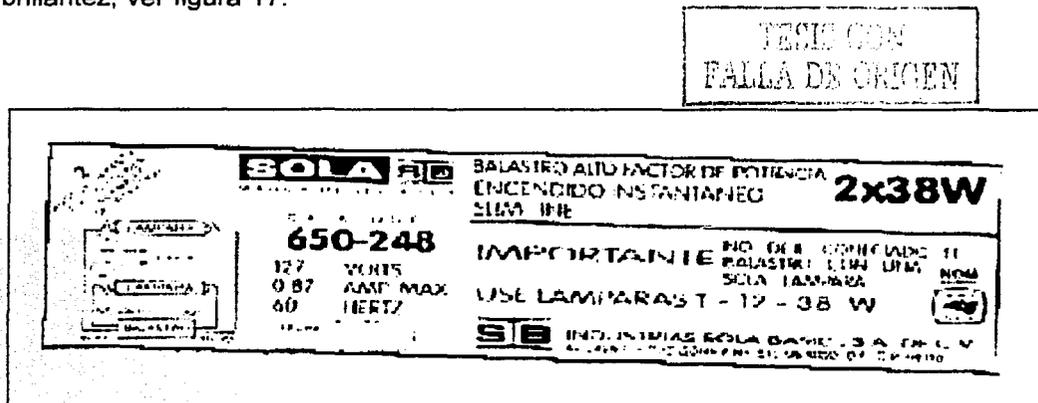


Fig.17. Placa de datos de un balastro de encendido Slim line.

## 2. Balastos para lámparas de encendido rápido.

En este tipo de balastos se tienen devanados para proveer un calentamiento continuo a los cátodos, por lo que no se requiere arrancador. El balastro tiene ínter contruidos unos devanados que alimentan los cátodos haciendo que estos, al calentarse emitan un flujo de electrones, preparando la lámpara para encender. La tensión de encendido proporcionada por el balastro establece un arco a través de la lámpara, haciendo que esta se encienda. Debido a que los cátodos de las lámparas de encendido rápido están permanentemente calentados, requiere un voltaje de encendido menor que las lámparas de encendido instantáneo.

## 3. Balastos para lámparas de encendido por precalentamiento.

Al encender el balastro, se activa el arrancador, pasando a la lámpara una corriente superior a su corriente de operación normal, con lo que se calientan los cátodos. Después de algunos segundos el arrancador se abre y genera un pico de tensión que inicia el arco eléctrico entre los cátodos que ya están calientes y listos para operar, iniciando la operación de la lámpara. Una vez encendida la lámpara, el balastro limita la corriente de la lámpara al valor indicado en la norma de características de la lámpara.

#### 4. Balastros híbridos ( Heater cut out )

En general se puede decir que los balastros híbridos son aquellos que combinan un conjunto núcleo-bobinas como los mencionados anteriormente, con dispositivos de estado sólidos. Son balastros electromagnéticos que están equipados con un circuito electrónico que elimina la tensión de los cátodos de calentamiento en lámparas fluorescentes una vez que las lámparas han encendido y están operando.

Existen dos tipos de balastros híbridos:

Con ayuda de arranque.- No proveen calentamiento continuo a los cátodos. El encendido se logra por medio de una tensión transitoria proporcionada por el dispositivo de estado sólido, similar al ignitor para lámparas de sodio de alta presión. Con esto se logra reducir la potencia de la línea sin disminución significativa de la emisión luminosa.

Con cortador de filamentos. Prevén durante el arranque un calentamiento normal a los filamentos. Una vez encendida y estabilizada la lámpara el dispositivo de estado sólido reduce gradualmente el calentamiento hasta eliminarlo por completo.

## 5. Balastro electromagnético ahorrador de energía.

Son fabricados con alta tecnología y mejores materiales, con el objeto de reducir pérdidas. Trabajan a temperaturas internas menores, con lo que aumentan su propia vida. Tienen apariencia igual a los normales y se conectan igual que ellos, pero generalmente tienen la ventaja de contar con un termoprotector que evita sobrecalentamientos internos al desconectar la alimentación cuando la temperatura pasa a un cierto límite.

Constan con un núcleo de laminación de acero, rodeado de bobinas de cobre aluminio que consumen del 10 al 25 % de la potencia total de las lámparas. Este tipo de balastos se divide en:

- Balastos de baja energía, que consumen menos watts pero hacen que las lámparas proporcionen menos luz.
- Balastos normales, los cuales hacen que las lámparas entreguen una emisión luminiscente completa.
- Balastos de bajas pérdidas (Alta eficiencia) que disipan menos energía que su contraparte normal, consumiendo menos watts, pero logrando que las lámparas emitan la misma cantidad de luz.

## 6. Balastos electrónicos.

Son balastos de estado sólido que pueden ser discretos o integrados y trabajan a altas frecuencias y bajas pérdidas, ayudando a mejorar la eficiencia del sistema. Se

pueden instalar directamente en lugar de los electromagnéticos porque son de las mismas dimensiones, aunque su peso es menor. Los hay de potencia constante y de potencia variable. Se recomienda su uso en lugares con buena ventilación y poca vibración, que dispongan además de buena tierra. Este tipo de balastos opera a las lámparas usando circuitos electrónicos que toman la potencia de alimentación a 60 hz., y la convierten a alta frecuencia (de 20 a 60 KHz.). Los balastos electrónicos son mucho más eficientes que los electromagnéticos, ya que hacen que los gases de las lámparas permanezcan des-ionizados continuamente y produzcan luz de forma constante. En productos importados se debe verificar que su tensión nominal corresponda a la tensión de suministro en México.

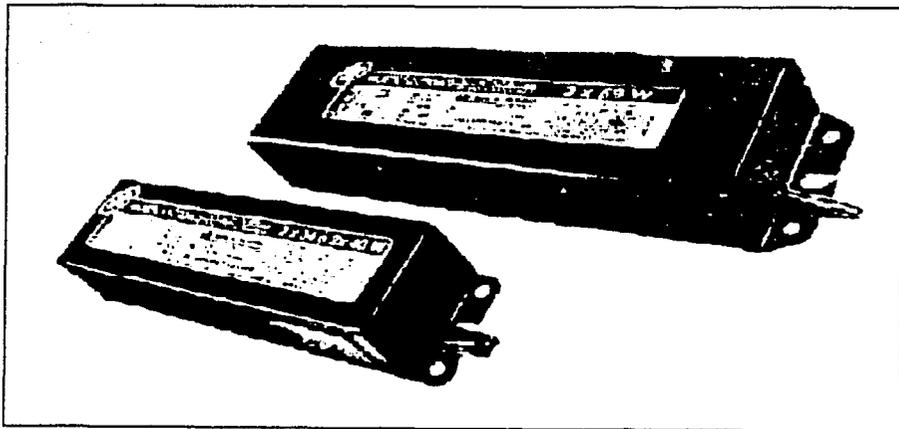


Fig. 18. Constitución física de balastos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Existen cuatro factores muy importantes en la especificación de las luminarias en las lámparas fluorescentes, los cuales son:

Factor de balastro (BF).- Describe la capacidad del balastro para producir el flujo luminoso especificado de una lámpara fluorescente.

$$\text{Factor de balastro} = \frac{\text{BalastroComercial}(\text{Lumenesdesalida})}{\text{BalastroPatron}(100\% \text{salidadeluz})}$$

Un balastro puede tener diferentes factores de balastro para diferentes lámparas. Por ejemplo, un balastro que esté diseñado para operar con lámparas estándar de arranque rápido de 40 W debe mantener un factor de balastro mínimo de 0.925. Sin embargo, cuando este balastro opera lámparas de 34 w su factor de balastro cambia a 0.88 (en promedio).

Balastro	Lámpara	BF
Estándar electromagnético	F40	0.95
Ahorrador de energía estándar electromagnético	F/40 EW	0.88
Electrónico	F40	0.88
	F40/EW	0.85

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

*Factor de balastos para diferentes tipos de balastro.*

Factor de eficiencia del balastro (BEF).- Para la eficiencia del balastro se utiliza el factor de eficiencia del balastro. El BEF es únicamente válido cuando se comparan balastos operando a la misma lámpara. Por ejemplo, un balastro con un BF de 0.88 operando dos lámparas de 32 W tiene un BEF de 1.466 (  $0.88 \times 100/60 = 1.466$ ). Otro balastro que utilice la misma potencia con un BF de 0.82 tendrá un BEF de 1.366. En este caso, el primer balastro es más eficiente debido a que su BEF es mayor.

$$\text{BEF} = \frac{\text{BF} \cdot x \cdot 100}{\text{POTENCIA.DE.ENTRADA}(W)}$$

Factor de potencia.- El factor de potencia de un balastro describe que tan eficazmente la potencia suministrada del balastro es convertida en watts aprovechables por la lámpara. El factor de potencia es una medida relativa de la diferencia de fase entre la corriente y el voltaje. Cuando la señal del voltaje y la corriente en un sistema eléctrico no tienen la misma posición en el tiempo, se dice que están fuera de fase, esto es provocado por los componentes magnéticos de los balastos electromagnéticos ocasionando pérdida de energía.

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{\text{POTENCIA.DE.ENTRADA}}{\text{VOLTAJE.DE.LINEA} \cdot x \cdot \text{CORRIENTE.DE.LINEA}}$$

Debido a que los balastos con alto factor de potencia son más eficientes que los balastos de bajo factor de potencia, pueden alimentarse de circuitos con baja

capacidad de corriente. Los balastos de bajo factor de potencia requieren aproximadamente el doble de la corriente que necesitan los balastos con alto factor de potencia y por lo mismo, la alimentación es con cables de mayor calibre ya que representan una mayor carga en el circuito.

Los balastos electrónicos, así como el balastro ahorrador de energía electromagnética para lámparas de arranque rápido, son de alto factor de potencia.

<b>Lámparas Ahorradoras de energía. 2 X 34 W.</b>		
<b>Tipo de balastro</b>	<b>Potencia de entrada</b>	<b>Perdida del balastro</b>
Estándar	82	20
Ahorradores de energía electromagnética	72	10
Electrónico	60	5

Perdidas del balastro en relación con la potencia de entrada y tipo de balastro

Factor de cresta.- El valor pico de una onda senoidal debido a su valor RMS, es llamado factor de cresta.

$$\text{Factor de cresta} = \frac{I_{pico}}{I_{rms}}$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

El valor de cresta es uno de los criterios que se utilizan para estimar la vida útil de las lámparas fluorescentes. Corrientes con factores de cresta muy grandes pueden acortar la vida útil de estas. Los balastos electrónicos tienen un factor de cresta promedio de 1.4.

Sonido.- El sonido o “zumbido” que se asocia a los balastos de las lámparas fluorescentes proviene de la vibración de las laminillas de acero del transformador del balastro electromagnético. El zumbido puede provocar molestias en lugares donde el ambiente debe ser sumamente silencioso. Los balastos electrónicos satisfacen esta necesidad ya que los componentes magnéticos del balastro convencional son sustituidos por elementos electrónicos eliminando el “Zumbido”.

Tipo de Balastro	Nivel de sonido dB
Balastro electromagnético	31
Electrónico ahorrador de energía	32 a 25

Nivel de sonido para diferentes tipos de balastos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Temperatura de operación.- Para cada 10°C menos de operación, se duplica la vida del balastro electromagnético. Los balastos electrónicos operan 30°C por debajo de los balastos convencionales y 12°C mas frío que los ahorradores de energía.

Tipo de Balastro	Temperatura de operación
Electromagnético estándar	80°
Electrónico ahorrador de energía	62°
Balastro electrónico	50°

*Considerando una temperatura de 25°C.*

#### 2.4. Controladores de luz.

Un dispositivo de control, es todo aquel componente mecánico, eléctrico, análogo o digital que regula el funcionamiento de un aparato, equipo, mecanismo o sistema.

El diseño de un sistema eléctrico y en nuestro caso uno de iluminación, no se puede considerar eficiente, si no considera en el diseño los dispositivos de control, que se encarguen de la conexión o desconexión de los circuitos de alumbrado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

No solo empleando componentes con un bajo consumo de potencia se logra un ahorro de energía, pues es igual de importante y necesario el elegir el dispositivo de control adecuado que nos permita el encendido del sistema de iluminación, solo en las áreas en las que es necesario el uso de luz artificial.

El adecuado control de un sistema de iluminación es una de las formas más efectivas de ahorrar energía eléctrica, estas técnicas pueden variar del empleo de un interruptor sencillo de encendido-apagado, hasta los edificios controlados de forma inteligente.

La luz natural funciona en ciertos casos como dispositivo de disparador, para la entrada en funcionamiento de los sistemas de control de los sistemas de iluminación. Con el apoyo de algún tipo de foto sensor, se puede controlar el nivel de luz que posea alguna área en específico, evitando el que se sobre ilumine una área en un momento en que estén interactuando la luz natural y la luz artificial.

Dentro de los dispositivos de control diseñados para un sistema de iluminación se encuentran los dispositivos manuales y automáticos.

La forma manual más simple para controlar la luz producida por una lámpara es desconectándola de la red eléctrica por medio de un interruptor sencillo.

Este tipo de interruptores se describen eléctricamente por el número de conductores que se conmutan y el número de posiciones que puede adoptar el interruptor.

Otro tipo de dispositivo de control (manual), son los variadores de intensidad de luz o Dimmers. Estos interruptores controlan el nivel de iluminación en una área y también encienden y apagan lámparas.

Los Dimmers disminuyen la potencia que se entrega a la lámpara, lo que ocasiona una salida de lúmenes menor, ver figura 19.

Se usan para crear ambientes o efectos especiales, pero tienen una importancia relevante en lo que corresponde al ahorro de energía. Estos dispositivos pueden reducir el nivel de iluminación en el área controlada a un nivel mínimo necesario, aunque en muchos casos el nivel puede ser ajustado automáticamente de acuerdo a la aportación natural de luz natural.

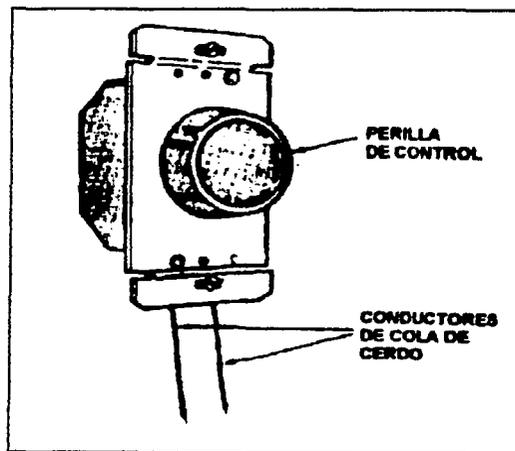


Fig. 19. Variador de intensidad luminosa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los primeros dimmers fueron construidos con tecnología 100% resistiva, el cual aunque producía el efecto deseado, generaba pérdidas excesivas por efecto joule.

Actualmente los componentes más empleados para la construcción de estos dispositivos son los SCR (rectificadores controlados de silicio) y los triacs.

Los dimmers controlan el tiempo que fluye la corriente al dispositivo dentro de cada ciclo de la corriente alterna. Al girar el dispositivo de control se limita la corriente que llega a la lámpara disminuyendo el nivel de iluminación.

Los dimmers pueden controlar tanto las lámparas incandescentes como las lámparas de tipo fluorescente y compacto fluorescente.

Los controles automáticos de encendido-apagado pueden representar muchos ahorros energéticos al estandarizar los horarios en los que se debe suministrar energía eléctrica o bien el sensar la presencia-ausencia de personas en una área que se tenga controlada.

Temporizadores.- (Timers)

Los sensores de presencia tienen como finalidad el disminuir al mínimo los tiempos en los que permanece encendido una luminaria en una área que no está siendo utilizado.

Otro control de luz es aquel que regula la conexión o desconexión de una red de iluminación cuando todavía hay un nivel suficiente de luz natural.

Enumerando los controles automáticos podemos mencionar a los sensores de presencia, timers, fotoceldas que en conjunto pueden integrar un sistema completo que maneje varias lámparas al mismo tiempo utilizando diferentes dispositivos controladores.

Los sensores de luz son dispositivos que miden el nivel de iluminación y que generan una señal que al procesarse en la unidad de control puede mandar el impulso a un interruptor o dispositivo de control.

Los timers son dispositivos de control cuya aplicación más sencilla es la de encender y apagar las luces a un intervalo de tiempo determinado. Se consideran a estos circuitos como interruptores de tiempo. Reducen el consumo de energía estableciendo límites en los horarios de operación ya definidos para que enciendan o apaguen la carga en horarios específicos ya establecidos.

Pueden funcionar por medio de relojes que operan eléctricamente y por medios mecánicos accionan un interruptor de encendido-apagado.

También operan mediante relojes electrónicos que utilizan circuitos integrados de alta precisión y que incorporan funciones como calendarios y ajustes astronómicos para los 365 días del año.

Estos circuitos controlan la energía suministrada al sistema por medio de relevadores y algunas llegan a controlar más de un relevador para controlar diferentes áreas en un mismo tiempo.

Sensores de presencia.- Los sensores de presencia u ocupación, proporcionan un control local de encendido-apagado de las luminarias en respuesta a la presencia-ausencia de ocupantes en un espacio, ver figura 20.

Un estudio comprobó que en áreas de oficinas, el 40 % del tiempo que las luces se mantienen encendidas, corresponden a áreas que se encuentran desocupadas.

Los detectores de presencia ahorran energía y proporcionan comodidad al usuario debido a que al sentir la presencia de una persona en el área controlada, estos encienden de forma automática la luz y de la misma forma apagan la luz una vez que el área es desocupada

Estos sensores usan dos tipos de tecnología para detectar la presencia de personal en una área.

La primera es por medio de controles ultrasónicos y la segunda por controles infrarrojos activos o pasivos. Ambas tecnologías operan en forma similar ya que al detectar actividad en el área que controlan, envían una señal de baja tensión que enciende la iluminación cuando los ocupantes entran y permanecen en el espacio. Las luminarias son apagadas después de que el espacio es desocupado dentro de un periodo determinado y ajustable. Los sensores de presencia se clasifican de acuerdo a su forma de operación, la cual puede ser Infrarroja pasiva, Ultrasónico y Dual.

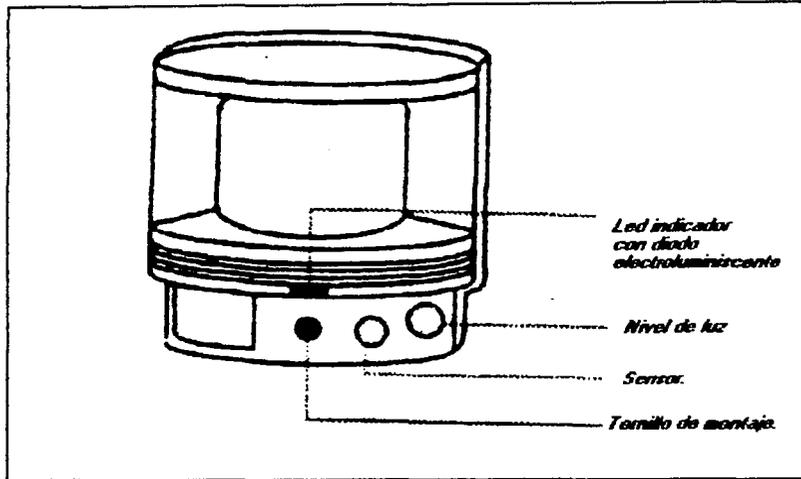


Fig. 20. Detector de rayos infrarrojos pasivos.

Los detectores de rayos infrarrojos pasivos (PIR), reaccionan solo a determinadas fuentes de energía, tal como la que desprende el cuerpo humano. Estos detectores captan una presencia detectando la diferencia entre el calor emitido por el medio ambiente y el que es emitido por el cuerpo humano.

En el momento que se da un cambio de temperatura en alguno de los radios o zonas de control, detecta la presencia y conecta o desconecta la carga de la red eléctrica.

Este tipo de detectores puede operar lámparas del tipo incandescente y también lámparas fluorescentes y compacto fluorescente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los detectores de presencia ultrasónicos están diseñados con una tecnología de retroalimentación de la señal emitida al medio, la señal emitida es producida por la excitación de un cristal de cuarzo.

La detección es producida por la presencia de alguna persona que se encuentre ubicada dentro del área de control. La señal que es emitida por el detector, debe de retornar en un cierto intervalo de tiempo, cuando se produce algún retraso en el tiempo de retorno se debe a las desviaciones que sufre la señal al chocar con algún cuerpo que se encuentre dentro del área de control.

Los detectores de microondas o duales, operan de forma muy parecida al de los detectores ultrasónicos, pero estos detectan la presencia – ausencia por algún cambio en la frecuencia de la señal de control enviada por el dispositivo. Alteración que es producida por el movimiento de alguna persona que se encuentre dentro del área de control.

## **Capítulo III.- Cálculo del sistema de iluminación.**

### **3.1. Metodología para el proyecto de iluminación**

Varios son los métodos empleados para el diseño de sistemas de iluminación, de los cuales destacamos el Método Lumen, el cual se ocupa para el diseño de sistemas de iluminación en interiores, otra metodología es la denominada Punto por punto, la cual se encarga de estudiar la forma de impacto en un lugar específico donde incidan fuentes luminosas puntuales.

En nuestro análisis emplearemos el Método Lumen, partiendo de los datos obtenidos en el levantamiento físico del edificio en cuestión, elaborando un inventario de cada una de las luminarias instaladas, abarcando cada uno de los detalles de composición de luminarios, se zonificara cada recinto de acuerdo a la actividad que sea desempeñada.

Con los datos obtenidos, procederemos al diseño del nuevo sistema de iluminación, teniendo en consideración un programa de mantenimiento preventivo y correctivo si es necesario, para mantener siempre en un estado óptimo los luminarios y de esta forma no se disminuyan los niveles de iluminación.

Una vez planteado la metodología a seguir, comenzaremos por establecer los últimos fundamentos técnicos para el diseño.

### 3.2. Procedimiento para el diseño de un sistema de iluminación por método

#### Lúmen.

El método de Lúmen, es utilizado para el diseño de sistemas de iluminación para interiores, actualmente es uno de los mas usados para diseñar la iluminación en cuartos cerrados. Para su desarrollo es necesario realizar una serie de pasos, que para una comprensión mas simple serán descritos a continuación punto por punto.

- Determinar el nivel de iluminación.- De acuerdo a lo publicado en la Norma **NOM – 025 – STPS – 1999**, denominada " *Condiciones de iluminación en los lugares de trabajo* " ( Anexo D), publicada el 27 de Octubre de 1999, son establecidos los niveles de iluminación que deben de tener en cualquier momento en un recinto, para realizar cualquier actividad establecido para el recinto. Este dato es necesario obtenerlo, ya que de este valor emitido en luxes (lúmenes / m<sup>2</sup>), se desprenderá el posterior análisis.
- Determinación del coeficiente de iluminación.- El coeficiente de iluminación, es la relación de lúmenes que llegan al plano de trabajo, con respecto a los que son emitidos por la lámpara. De toda la cantidad de luz que es generada por las lámparas, solo una parte sale de la luminaria, el resto es absorbido por la misma, mientras que otra parte importante se pierde en las paredes y en el medio ambiente

El coeficiente de utilización se toma de valores establecidos en tablas, estos valores se van obteniendo al interpolar los valores de las reflectancias efectivas de cavidad y la relación de cavidad del local.

Lo primero es elaborar un cuadro en los que se incluyan los siguientes datos:

Datos básicos del inmueble	
Largo =	?
Ancho =	?
H.altura =	?
Altura de la cavidad del local =	?
Altura de la cavidad del techo =	?
Altura de la cavidad del suelo =	?

Una vez obtenido estos datos se comienzan a calcular las relaciones de cavidad tanto del local como la del techo, por medio de la siguiente formula:

$$\text{Relación de cavidad del local} = \frac{5 \cdot \text{Altura de la cavidad del local} (\text{largo} + \text{ancho})}{\text{largo} \cdot \text{ancho}}$$

Con la misma formula puede calcularse la cavidad del techo, solo con sustituir la altura de la cavidad del local por la del techo, las cavidades de un local pueden ser observadas en la figura 1.

Seguido de esto se deben de calcular las reflectancias efectivas de cavidad, obteniendo las lecturas de una tabla, en la que intervienen los valores de las reflectancias base del techo, de las paredes y la relación de cavidad de local y en su momento del techo.

Las reflectancias correspondientes a techo y paredes se obtienen considerando la siguiente tabla T1 de factores de reflexión, de acuerdo con la tonalidad de la que estén pintadas

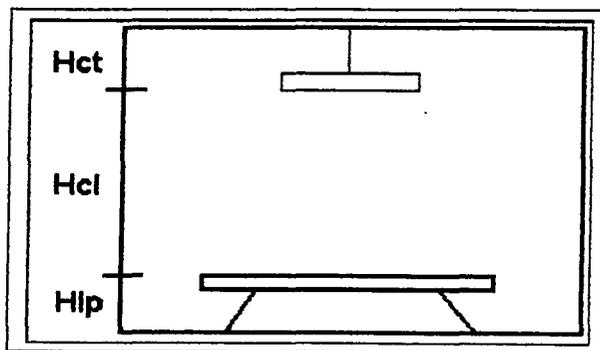


Figura 1. Cavidades en un local

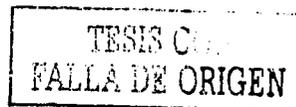
Una vez obtenidas las reflectancias reales, se deben de calcular las reflectancias efectivas en paredes y techo. Estos valores se calculan en base a la tabla T<sub>1</sub>, que se encuentra dentro del Anexo A. En esta tabla se muestran los porcentajes de las reflectancias efectivas, a partir de la relación de cavidad del local y las reflectancias reales del recinto.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<b>Factores de reflexión de techo y paredes</b>	
<b>Tonalidad</b>	<b>Factor (p)</b>
Techo de color blanco	0.8
Techo de color muy claro	0.8
Techo de color claro	0.7
Techo de color medio	0.5
Paredes de color claro	0.5
Paredes de color medio	0.3
Paredes de color oscuro	0.1
Techo color oscuro	0.3
Piso común	0.2

Tabla T1

Con estos valores, entonces uno ya puede determinar el coeficiente de utilización. Se debe dirigir a la tabla de coeficientes de utilización por tipo de luminaria que se haya decidido emplear. Los datos que intervienen directamente en esta tabla corresponden a la relación de cavidad del local, la reflectancia efectiva del techo y por último la reflectancia efectiva de pared.



- Después de haber determinado el coeficiente de utilización y de conocer el nivel de iluminación que indica la norma, se debe de calcular lo que se conoce como **Factor de perdidas totales (FPT)**. El factor de perdidas totales es la consolidación de todas las perdidas parciales que se pueden generar por diversos factores. Se define como el cociente de la iluminación cuando alcanza su nivel mas bajo en el plano de trabajo (antes de realizar alguna acción correctiva), entre el nivel nominal de iluminación de las lámparas. Cabe mencionar que los fabricantes clasifican a las lámparas de filamento de acuerdo a la luminosidad que emiten cuando están nuevas, mientras que las lámparas de descarga de vapor (Fluorescentes, de mercurio y las mas frecuentes) las catalogan según la emisión luminosa que tiene después de 100 Horas de funcionamiento. La perdidas totales están compuestas por ocho factores de perdidas, algunos de ellos pueden dimensionarse a través de gráficas, mientras que otros solo son valores estimados de los efectos correspondientes.
  - a. Características de funcionamiento del balastro. La asociación de fabricantes de balastros de EU. , especifica que las lámparas fluorescentes requieren de una balastro con una reactancia tal que la lámpara emita el 95% de la luminosidad que proporciona con un balastro patrón. En los balastros que no se especifica el cumplimiento de esa condición, se debe de considerar una perdida mayor. En el caso de las lámparas de mercurio, se debe de preguntar al fabricante para que especifique este valor. En el caso de las lámparas de filamento, no hay perdida por este factor.

- b. Tensión de alimentación de las luminarias. En este caso, se considera para lámparas de filamento y también para lámparas de mercurio, una desviación del 1% de la tensión nominal, causa aproximadamente una variación del 3% en los lúmenes emitidos. En las reactancias de salida regulada (potencia constante) la emisión de la lámpara es independiente de la tensión primaria. Los lúmenes emitidos por las lámparas fluorescentes, varían aproximadamente un 1 % por cada 2.5% de variación de la tensión.
- c. Variaciones de la luminaria. Este es un efecto pequeño, pero puede ser significativo después de un largo periodo de tiempo en las luminarias con acabados o plásticos de inferior calidad. No se dispone de datos precisos.
- d. Lámparas fundidas. La pérdida de iluminación es proporcional al porcentaje de las lámparas fuera de servicio
- e. Temperatura ambiente. Las lámparas fluorescentes están calibradas fotométricamente para que operen a una temperatura de 25 ° C, por lo que una variación de temperatura ya sea un incremento o decremento, pueden significar pérdidas sustanciales. En el caso de las lámparas de filamento y las de mercurio, no se ven afectadas por este tipo de fenómenos.
- f. Luminarias con intercambio de calor. Existen luminarias que están diseñadas para formar parte del sistema de ventilación o aire acondicionado. Se calibran fotométricamente sin el paso de aire. Por tanto, cuando son instaladas, se extrae o se inyecta aire a través de ellas, su

eficiencia aumenta hasta un 20%. Este incremento es función de la cantidad del aire que pasa través e la luminaria.

g. Degradación luminosa de la luminaria. La reducción gradual de la luminosidad producida por el paso del tiempo es diferente para cada tipo de lámpara. Para el 70% de la vida estimada, la disminución aproximada de los lúmenes emitidos es de 8% para lámparas fluorescentes, del 8.5% para las de filamento de 6.5% para las de vapor de mercurio. Las gráficas que nos apoyan en el cálculo de la degradación luminosa del luminario, se encuentran en el Anexo B, de la cual se obtiene los valores de las seis categorías de los luminarios.

h. Disminución de la emisión luminosa por suciedad. Este factor varia con el tipo de luminaria y el ambiente en que trabaja. Las tablas que representan cierto tipos de luminarias clasificadas en seis categorías y las graficas de los factores de degradación por suciedad, se muestran a continuación. El factor se suministra en función del tiempo transcurrido desde la ultima vez que se limpio la lámpara y el grado de suciedad del ambiente que la rodea. Las gráficas en donde se obtiene los valores de la degradación luminosa por suciedad en el local, se incluyen en el Anexo C .

$$FPT = (\text{Rendimiento del reactor})(\text{Factor de Tensión})(\text{Factor de lámparas inutilizadas})(\text{Factor de temperatura ambiente})(\text{Factor de intercambio de calor})(\text{Degradación luminosa})(\text{Degradación de suciedad})$$

- Una vez determinado el factor de pérdidas totales, procedemos a calcular el número de luminarias que compondrán el sistema de iluminación. Se puede calcular la cantidad de luminarias por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{E \cdot x \cdot S}{\Phi \cdot x \cdot l \cdot x \cdot C \cdot U \cdot x \cdot FPT}$$

Donde:

N = Numero e luminarias o unidades de alumbrado.

E = Iluminación requerida.

S = Superficie.

Φ = Flujo luminoso por lámpara.

l = Numero de lámpara por luminaria.

- El ultimo punto que compone el método lumen es el que corresponde a la determinación del acomodo de las luminarias. Para conseguir una distribución uniforme de iluminación sobre una zona, se recomienda respetar la separación resultante al usar los factores “ Separación entre luminarias no superior a “ tomado de las tablas correspondientes al Coeficiente de utilización. Si la relación entre la separación y altura de montaje excede el limite de esa tabla, se debe de escoger mayor número de unidades de menor potencia para eliminar los conos de sombras. Si por el contrario resulta demasiado baja, se deberá escoger unidades del mismo tipo, pero más potentes. Una vez determinado el número de luminarias conforme al plano real, se vuelve a calcular el nivel luminoso con la relación:

$$E_e = \frac{N_e \cdot x \cdot l \cdot x \cdot C \cdot U \cdot x \cdot FPT}{S}$$

Donde :

$E_e$  = Iluminación resultante según nueva especificación.

$N_e$  = Número de luminarias de la nueva especificación.

### 3.3. Método punto por punto.

El cálculo de un sistema de iluminación mediante el método punto por punto, tiene por objeto el predecir el nivel de iluminación que incide, sobre una área específica de trabajo previamente determinada en el recinto.

El flujo luminoso incidente está formado por dos componentes de iluminación. Una de ellas es la componente directa, producida por el flujo luminoso que llega directamente a la zona de trabajo. La otra parte complementaria del flujo luminoso es la componente de iluminación reflejada, debida al flujo luminoso reflejado desde las superficies del local hacia el área de trabajo.

Calculo de la componente de iluminación directa.

Para obtener el valor correspondiente a la componente de iluminación directa, es necesario calcular los valores correspondientes a dos ángulos que componen este dato, que son: el ángulo  $\alpha$  y el ángulo  $\beta$ .

El ángulo  $\alpha$ , es aquel que forma la vertical (perpendicular al techo) que pasa por el punto de trabajo (punto P), y una línea que va desde el punto de trabajo (punto P) hasta el extremo de la luminaria. Para el caso de que ubiquemos nuestro punto de trabajo en medio de una luminaria,  $\alpha$  tomara dos valores, ver figura dos.

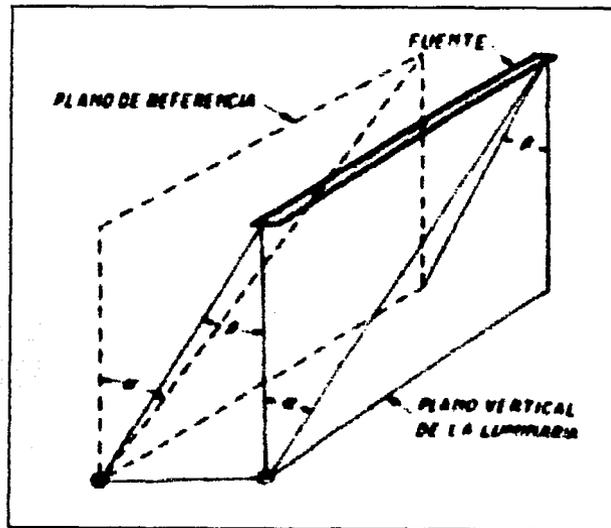


Figura 2, Diagrama del plano de referencia.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la situación que el punto de trabajo no se ubique en la vertical de la luminaria, se trazara un plano de referencia para obtener el punto de referencia que sea paralelo al plano vertical.

El valor de  $\alpha$ , se obtiene de una gráfica en la cual se toman en cuenta el valor de la distancia paralela del punto de trabajo (P) con respecto al borde de las luminarias, este valor se conoce como H, y esta dado en metros. También es necesario conocer la distancia vertical que existe entre la luminaria y el punto de trabajo (cavidad del local). En el punto en el que se intersectan los valores de H y V, se obtiene en la gráfica el valor del ángulo  $\alpha$ .

El valor del ángulo  $\beta$ , también se obtiene de esta gráfica en la cual, V toma el valor de la altura del montaje de las luminarias sobre el plano de trabajo y H, asume el valor de la distancia horizontal desde la zona de la tarea visual a la hilera de las luminarias medida perpendicularmente a ellas.

Ya que se obtuvo los valores de los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ , se debe de recurrir a la tabla de componentes de iluminación directa de la luminaria en particular que será utilizada en el proyecto de iluminación. En esta tabla, se obtienen los niveles de iluminación ya sea en un punto del plano de trabajo, sobre un punto del área de trabajo y en un punto perpendicular a las luminarias.

Algo que es importante mencionar es que las componentes de iluminación directa se basa en el supuesto de que la luminaria esta montada a 1.80 metros por encima del plano de trabajo. Si a altura de montaje con relación a este plano es distinta a de 1.8 m, el valor obtenido de la tabla de componentes de iluminación directa deberá

multiplicarse por la relación  $\frac{1.8}{V}$ , donde V, es la altura de montaje de las luminarias en metros.

Así pues, la componente total de iluminación directa será producto de  $\frac{1.8}{V}$  por la suma de las componentes individuales de iluminación directa para cada fila.

Calculo de la componente de iluminación reflejada en superficies horizontales.

La componente de iluminación reflejada en superficies horizontales se calcula exactamente del mismo modo que la iluminación media, empleando el método Lúmen, con la excepción de que el CRR o Coeficiente de Radiación Reflejada sustituye al coeficiente de Utilización..

La ecuación para determinar la cantidad de intensidad luminosa reflejada sobre una superficie horizontal es:

$$\text{Lux reflejados sobre una superficie horizontal} = \frac{(I)(\Phi)(CRR)(FC)}{\text{Area. por luminancia}}$$

Donde:

I = Número de lámpara por luminaria.

$\Phi$  = Flujo luminoso por lámpara.

CRR= Coeficiente de Radiación Reflejada.

FC = Factor de conservación.

El coeficiente de radiación reflejada =  $CL_p + MP(CL_t - CL_p)$

Siendo  $CL_p$  = Coeficiente de luminancia de pared.

$CL_t$  = Coeficiente de luminancia de la cavidad de techo.

$MP$  = Multiplicador de posición del local.

El coeficiente de luminancia de pared y el de la cavidad del techo se obtienen de elaborar la relación de cavidad de local, tal como se hace en el método Lúmen, y refiriéndolo a la tabla de componentes de iluminación directa de la luminaria en cuestión. El multiplicador de posición del local es función de la cavidad del local y del emplazamiento en el punto en el que se pretende iluminar, es decir el punto P.

### **3.4. Carga total instalada (Situación actual del sistema)**

El módulo de Extensión Universitaria del Campus, fue puesto en operación en el año de 1985 con una tecnología de vanguardia, pero tras de 16 años de operación, observamos un considerable grado de atraso tecnológico. Los resultado arrojados en el levantamiento físico de información, determinaron una atención especial en la optimización de los recursos, la necesidad de un seccionado de circuitos para que sean controlados los luminarios de forma independiente y así no permanezcan zonas inactivas iluminadas.

La composición del sistema de iluminación que se encuentra actualmente instalada, fue desglosada en la tabla T2, en el cual podemos observar la representatividad al sistema y a la carga instalada.

Cabe mencionar que la mayor parte del consumo por concepto de iluminación en el edificio, se encuentra ubicado en el escenario de la Sala José Vasconcelos, pero por cuestiones de estética y a su factor de demanda, no pueden ser sustituidos los luminarios que emiten el flujo luminoso necesario para el desarrollo de las diversas actividades culturales. Por esa razón, se decidió considerar esta área en particular como un recinto virtualmente ajeno a nuestro propósito de estudio.

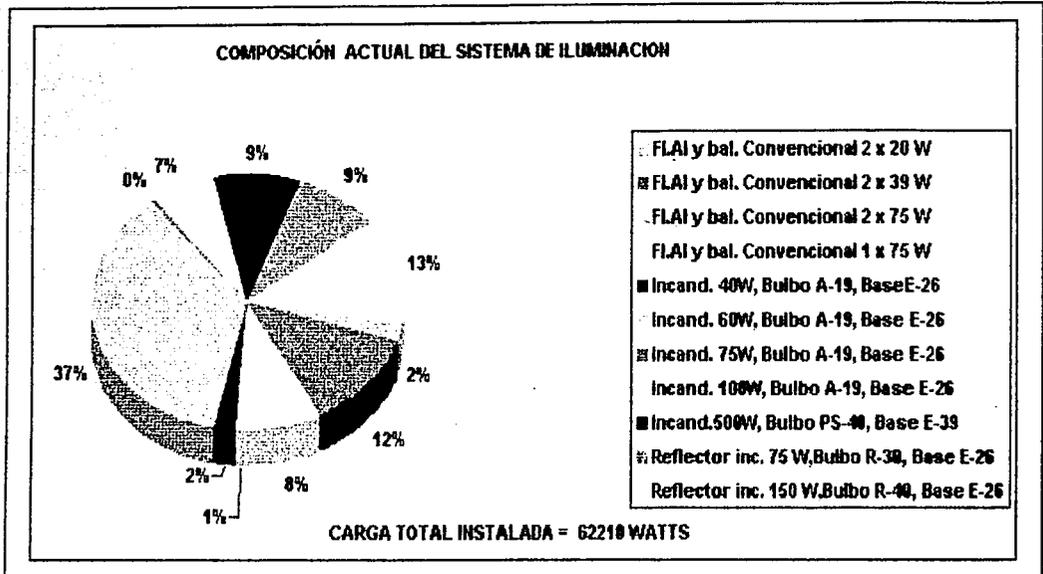
La composición de las luminarias, su consumo y su representatividad al sistema de iluminación se describen en el siguiente cuadro:

<b>COMPOSICIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO</b>					
Tipo de Luminario	Carga unitaria [W]	Componentes instalados	Carga total	Porcentaje al sistema	Porcentaje a la carga
Fl.Al y bal. Convencional 2 x 20 W	67	20	1340	2.76%	2.15%
Fl.Al y bal. Convencional 2 x 39 W	100	77	7700	10.64%	12.38%
Fl.Al y bal. Convencional 2 x 75 W	180	28	5040	3.87%	8.10%
Fl.Al y bal. Convencional 1 x 75 W	97	5	485	0.69%	0.78%
Incand. 100W, Bulbo A-19, Base E-26	100	41	4100	5.66%	6.59%
Incand. 40W, Bulbo A-19, Base E-26	40	32	1280	4.42%	2.06%
Incand. 60W, Bulbo A-19, Base E-26	60	374	22440	<b>51.66%</b>	<b>36.07%</b>
Incand. 75W, Bulbo A-19, Base E-26	75	4	300	0.55%	0.48%
Incand.500W, Bulbo PS-40, Base E-39	500	11	5500	1.52%	8.84%
Reflector inc. 150 W,Bulbo R-40, Base E-26	150	55	8250	7.60%	13.26%
Reflector inc. 75 W,Bulbo R-30, Base E-26	75	77	5775	10.64%	9.28%
		<b>724</b>	<b>62,210</b>		

Tabla T<sub>2</sub>

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Gráficamente lo podemos analizar de la siguiente manera.



Se observó que muchos de los gabinetes de los luminarios se encontraban muy deteriorados, en algunos casos les faltaba el controlador y algunas lámparas están fundidas o flojas, lo que perjudica gravemente el equipo de iluminación.

### 3.5. Diseño del sistema de iluminación.

Se decidió plantear dos escenarios los cuales tienen como finalidad el ahorro de energía eléctrica en el edificio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En primer lugar se decidió un diseño del sistema de iluminación, el cual cumpliera con las nuevas tecnologías de ahorro de energía que se presentan en la actualidad, empleando equipo ahorrador de energía.

Por otro lado, se buscó el no impactar económicamente al sustituir el equipo instalado por otro equipo que disminuya el gasto de energía y no afecte los niveles de iluminación.

El diseño se elaboró de acuerdo al método Lumen, empleando los datos recabados del levantamiento físico.

Se busco en la mayoría de los casos emplear lámparas ahorradoras de energía, acopladas (cuando fuese necesario) a balastos electrónicos premium, para obtener el mayor flujo lumínico que emite la lámpara, sin que consumiera demasiada energía del sistema. También se opto por emplear los gabinetes de las luminarias mas adecuados para cada recinto. Se decidió seccionar algunos circuitos para que no permanecieran encendidos durante periodos inactivos las luminarias y en el caso de algunas oficinas, el control por detectores de presencia PIR's.

Tomando en cuenta datos de los recintos como son: dimensiones del local, factores de reflexión, techo, paredes, relaciones de cavidad y para las luminarias que se tomaron en cuenta, coeficientes de utilización. Se procedió a aplicar el método Lumen, el cual arrojó los siguientes resultados para cada local y su respectivo coeficiente de iluminación.

Los resultados del diseño se muestran en la tabla T3, el proceso viene adjunto en la memoria de cálculos.

Elaboraremos un ejemplo de cómo se llevaron a cabo los cálculos:

Zona : APB011

Descripción: Área secretarial.

Datos del local:

Largo = 11.5 m      Ancho = 4.25 m      Altura = 2.75 m      Superficie = 35.08 m<sup>2</sup>.

Cavidades del local :

Techo = 0

Suelo = 0.75 m

Local = 2 m.

Factores de reflexión :

Factor de reflexión techo = 0.8 (Tonalidad blanca).

Factor de reflexión paredes = 0.5 (Tonalidad clara).

Factor de reflexión de piso = 0.2 (Piso común).

Nivel de iluminación recomendada = 500 lux.

Cálculo del coeficiente de utilización :

Se decide emplear un luminario categoría Cinco, que permite un 0% de componentes de luz hacia arriba y un 62% de componentes de luz hacia abajo. Se selecciona una lámpara fluorescente ahorradora, cuyo código es F48T12/D/SS. Produce un flujo luminoso de 6500 lúmenes, una vida útil de 9000 horas y una potencia de operación de 32 Watts.

El fabricante recomienda emplear un balastro electrónico de alta eficiencia, por esa razón decidimos emplear un balastro electrónico generación plus.

Tomando el valor de las reflectancias efectivas de las cavidades, las proyectamos junto con la Relación de cavidad del local, en la tabla de coeficientes de utilización de la luminaria ya seleccionada.

Tras una interpolación de los valores de F.R.T.3 con el R.C.L.4 obtenemos el valor de 5.19 % de Coeficiente de Utilización.

Determinamos los factores de pérdidas totales de la luminaria, que adoptan los siguientes valores:

1. Rendimiento del reactor = 0.95
2. Factor de tensión = 1
3. Factor de reflectancia = 0.98
4. Factor de lámparas inutilizadas = 1 (No se desean lámparas inútiles)
5. Factor de temperatura ambiente = 1

---

3 Forma abreviada para determinar al Factor de Reflexión del Techo.

4 Forma abreviada para determinar ala Relación de Cavidad del Local.

6. Factor de intercambio de calor = 1
7. Degradación de la luminaria = 0.8
8. Degradación por suciedad = 0.89

Factor de pérdidas totales = 0.6628

Cálculo de luminarias por sistema:

De la ecuación del calculo de luminarias obtenemos

$$N = \frac{E \cdot x \cdot S}{\Phi \cdot x \cdot l \cdot x \cdot C \cdot U \cdot x \cdot F \cdot P \cdot T}$$

Donde:

N = Numero e luminarias o unidades de alumbrado.

E = Iluminación requerida.

S = Superficie.

$\Phi$  = Flujo luminoso por lámpara.

l = Numero de lámpara por luminaria.

$$N = \frac{(500 \text{ Lum/m}^2)(35.08 \text{ m}^2)}{(6500 \text{ lum})(2)(0.519)(0.6628)}$$

$$N = 3.92 \approx N \approx 4 \text{ lámparas}$$

$$E_e = 509 \text{ lux}$$

El emplazamiento de las luminarias no debe ser mayor a 3.3 metros de acuerdo a las características de la luminaria.

### **3.6. Acciones sin inversión y con inversión.**

Dentro del marco de las acciones que se pueden adaptar para elaborar un menor consumo de energía eléctrica corresponde en primer termino a un programa de limpieza , y reacomodo de componentes dentro de las luminarias.

Tras nuestro levantamiento físico descubrimos la ausencia de controletes prismáticos que distribuyen uniformemente dentro del recinto el flujo luminoso que emite la luminaria. Los gabinetes que si tienen controletes, demuestran que han permanecido por mas de 24 meses sin ser limpiados, lo cual si nos referimos a los factores de pérdidas totales por luminaria, encontramos que puede irse depreciando hasta un 80% del flujo luminoso inicial emitido por las luminarias.

En algunos de los casos se observo que las lámparas no funcionaban de forma correcta, debido a un mal contacto en las clavijas de la lámpara y las de las bases

del luminaria, lo cual además de producir una disminución entre el flujo luminoso de las luminarias, produce un sobre calentamiento en el balastro aumentando el consumo de corriente y un disminución entre a vida del mismo balastro.

Se propone una revisión de la adecuada sujeción de las lámparas a las bases de los luminarios, con el fin de evitar un falso contacto y un sobrecalentamiento del balastro.

.El no sustituir las lámparas fundidas, disminuye el flujo luminoso y en las que van conectadas a un balastro, como ya lo mencionamos eleva el consumo de energía.

En algunos recintos los colores con los que están pintadas paredes y techos, no permiten un buena reflexión del flujo luminoso por lo que proponemos el cambió de color de la atmósfera, cambiando las tonalidades de los recintos a colores claros.

Se pudo observar también que en algunos casos el dispositivo de control de las luminarias, se encontraba muy alejado del recinto, y que en muchos recintos, eran controlados por los interruptores termo-magnéticos ubicados en el tablero correspondiente, por lo que permanecen encendidos durante mas de 12 horas sin ser ocupados.

El último punto y mas importante de todos, es necesario crear conciencia en el personal del edificio, acerca del uso racional de la energía eléctrica, pues como es bien sabido, el mantener las luminarias encendidas en un tiempo que no son utilizadas realmente, provoca un consumo de energía innecesario.

Se montaran en las paredes un tipo de anuncio en que se recomiende el debido uso del equipo de iluminación, recomendando el desactivar del sistema cuando no se utilice o no sea necesario.

### *Acciones con inversión*

Comparando el sistema actual con el sugerido, pudimos observar que relativamente se asemejan, por lo cual consideramos que los gabinetes con los que se cuentan, bien pueden ser adaptados, y es recomendado la sustitución de lámparas y balastos ahorradores en algunos luminarios, en algunos otros en donde sea necesario un alto nivel de iluminación, es necesario adaptar un reflector de aluminio especular. La mayoría de las lámparas incandescentes deben ser sustituidas por lámparas compacto fluorescentes, las cuales aprovecharán más la energía de operación y tendrán una vida útil mucho más longeva. En algunas oficinas, se propone acondicionar sensores infrarrojos de presencia, para que de forma automática desconecten los sistemas de la red, al no ser necesario su funcionamiento.

En cuestión de los gabinetes de los luminarias, se decidió equipar en algunos casos reflectores de aluminio especular, a fin de aprovechar en porcentaje de transmitancia que en las longitudes de Ondas visibles, corresponden en los 400 nm, a un 87 % de transmitancia, para los 500 nm un 82% y para los 600 nm 86%., con lo que se pretende elevar el flujo luminoso a un 180 % que el que se emite normalmente.

Las lámparas ahorradoras en conjunto con los balastos electrónicos ofrecen una disminución significativa en el consumo de energía, pues tiene un desempeño importante al consumir menos potencia y emitir altos flujos luminosos.

### *Plan de mantenimiento*

Se solicita implantar un sistema de mantenimiento en el cual intervengan tanto las personas que desarrollan sus actividades en cada recinto junto con los técnicos encargados del edificio. Se instalara una bitácora de mantenimiento en la cual se anotaran todos los desperfectos que se presenten en el sistema de iluminación.

Personal de mantenimiento valorará la urgencia con la que se atenderán las reparaciones y dará seguimiento y reparación a cada uno de los desperfectos.

Cada mes se realizara una revisión general de las luminarias y se elaborara un ciclo de limpieza de luminarias, desde controlete, lámparas y gabinetes.

## **CAPITULO IV.- Costos de aplicación.**

En este capítulo elaboraremos la evaluación económica del proyecto, la cual se fundamenta de tres puntos importantes que nos determinara la ventaja de implantar el diseño.

En primer lugar consideremos el ahorro eléctrico, posteriormente el ahorro económico y por último consideraremos la inversión requerida para aplicar el proyecto.

Comenzaremos por elaborar una comparación entre los equipos seleccionados que pueden entrar en licitación para llevar a cabo la implantación del diseño.

### **4.1 Comparativo y selección de equipo y componentes.**

El diseño del nuevo sistema de iluminación tuvo como premisa el sustituir los equipos sin demeritar los niveles de iluminación designado para cada recinto.

Los sistemas de iluminación de acuerdo a lo arrojado por el diseño, los agrupamos en diez tipos, los cuales se muestran a continuación:

1. Lámpara fluorescente de treinta y dos watts, T-8 con balastro electrónico.

2. Lámpara fluorescente de cincuenta y nueve watts, T-8 con balastro electrónico.
3. Dos lámparas fluorescentes de treinta y dos watts, T-8 con balastro electrónico.
4. Dos lámparas fluorescentes de cincuenta y nueve watts, T-8 con balastro electrónico.
5. Lámpara compacto fluorescente integrada de veintitrés watts.
6. Lámpara incandescente tubular de ciento cincuenta watts.
7. Lámpara compacto fluorescente circular integrada de veintidós watts.
8. Lámpara de luz mixta de quinientos watts.
9. Lámpara incandescente de sesenta watts.
10. Reflector incandescente de setenta y cinco watts.

Sobre la base de estos equipos, se compararon los productos elaborados por tres empresas del ramo asentadas en nuestro país. Los puntos de comparación fueron el flujo luminoso emitido por la lámpara, la potencia de operación, la vida útil de la lámpara y por último el costo de operación.

Las marcas que se consideraron corresponden a Osram de México, General Electric y Phillips México.

De esta comparación se decidió elegir los equipos mas calificados y se elaboro una tabla comparativa, en la que podemos observar las ventajas de los distintos equipos, que se puede observar a continuación:

UNAM CAMPUS ARAGÓN	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	FECHA
		02/02/02

**Inmueble : MÓDULO DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA.**

Equipo 1			
Lámpara	Lunapet II 22 127LDD C/ADA	Circulight FCA22/D/HPF	TL'5C 22W/827 Circular
Fabricante	Osram	General Electric	Phillips
Potencia de operación	22	22	22
Lúmenes iniciales	900	800	1800
I.r.c.	70	75	70
Tonalidad	Luz de día	Luz de día	Luz incandescente
Vida útil	12,000	10,000	10,000
Costo de la Lámpara	\$ 69.00	USD \$ 7.77	\$ 68.50

Equipo 2			
Lámpara	Línestra 150LIN	Incandescente Tubular 40T10	No se ubico similar
Fabricante	Osram	General Electric	Phillips
Potencia de operación	150	40	
Lúmenes iniciales	1200	420	
I.R.C.	-	-	
Tonalidad	Luz de día	Claro	
Vida útil	1,000	1,000	
Costo de la Lámpara	\$ 103.16	USD \$ 1.30	\$ -

Equipo 3			
Lámpara	CF23ELT/860	FLE25TBX/HPF/SPX27	Universal PLEU23WI27
Fabricante	Osram	General Electric	Phillips
Potencia de operación	23	25	23
Lúmenes iniciales	1580	1520	1500
I.R.C.	82	82	82
Tonalidad	Luz de día	Luz interna	Luz blanco
Vida útil	12,000	10,000	8,000
Costo de la Lámpara	\$ 121.99	USD \$ 16.10	\$ 133.00

Equipo 4			
Lámpara	75BR30/SP	75PAR/SP/65WM	75BR30/SP
Fabricante	Osram	General Electric	Phillips
Potencia de operación	75	75	75
Lúmenes iniciales			
I.R.C.			
Tonalidad	Luz de día	Luz de día	Luz de día
Vida útil	1000	1000	1000
Costo de la Lámpara	\$ 45.00	USD \$ 4.50	\$ 42.00

TESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN

UNAM CAMPUS ARAGÓN	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	FECHA
		02/02/02

Inmueble : **MÓDULO DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA.**

Equipo 5			
Lámpara	FO32/841	F32T8/SPX50	TLD36'W/865NG
Fabricante	Osram	General Electric	Phillips
Potencia de operación	32	32	36
Lúmenes iniciales	3000	3250	3250
I.R.C.	80	82	80
Tonalidad	Blanco frío	Blanco frío	Luz de día frío
Vida útil	20,000	20,000	18,000
Costo de la Lámpara	\$ 19.73	\$ 28.34	\$ 30.25

Equipo 6			
Lámpara	FO59/841	F96T8/SPX41	TLD'58W/865 NG
Fabricante	Osram	General Electric	Phillips
Potencia de operación	59 watts	59 watts	58 watts
Lúmenes iniciales	5900	5950	5000
I.R.C.	80	80	80
Tonalidad	Blanco frío	Blanco frío	Luz de día frío
Vida útil	15,000	15,000	15,000
Costo de la Lámpara	\$ 60.10	\$ 71.6565	\$ 65.00

Equipo 7			
Lámpara	HWL 500/220	LM 500 CC/4D	LM 500/220/D
Fabricante	Osram	General Electric	Phillips
Potencia de operación	500	500	500
Lúmenes iniciales	14000	14750	13800
I.R.C.	-	50	-
Tonalidad	Bco. de lujo corregido	Bco. de lujo corregido	Bco. de lujo corregido
Vida útil		6,000	
Costo de la Lámpara	\$ 149.00	\$ 167.00	\$ 156.00

Equipo 8			
Lámpara	IC60/E26	IC60/E26	IC60/E26
Fabricante	Osram	General Electric	Phillips
Potencia de operación	60 watts	60 watts	60 watts
Lúmenes iniciales			
I.R.C.	-		
Tonalidad	Luz de día	Luz de día	Luz de día
Vida útil	1000	1000	1000
Costo de la Lámpara	\$ 3.60	\$ 4.25	\$ 4.00

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

El equipo que se decidió emplear fue el producido por la empresa Osram de México, por las ventajas tanto económicas, logísticas y técnicas mostradas sobre los demás equipos.

Para seguir adelante en nuestro estudio, es necesario definir las tarifas eléctricas que son aplicadas en nuestro país por consumo eléctrico.

## **4.2 Tarifas Eléctricas**

Las tarifas de energía eléctrica son las disposiciones específicas, que contienen las cuotas y condiciones que rigen los suministros de energía eléctrica, agrupados en cada clase de servicio.

Las tarifas se identifican oficialmente por su número y /o letra (s) según corresponda el tipo de suministro.

En nuestro país de acuerdo a su aplicación, las tarifas eléctricas se clasifican en específicas y generales, esto de acuerdo a características particulares de cada uno de los usuarios..

Conforme al acuerdo del 91-11-10, se procedió al diseño de tarifas que consideren las diferentes regiones y estaciones climáticas en los costos del suministro de energía eléctrica para usuarios en media y alta tensión con el objeto de reflejar el costo real de servicio. Se formaron ocho regiones tarifarias dentro de nuestro país.

Para nuestro caso en particular la tarifa que es aplicada al Campus Aragón por concepto de consumo energético, es la tarifa general en media tensión H-M y la región tarifaria a la que pertenece el Campus es la región Central.

La tarifa H-M, es una tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 KW o mayor. Esta tarifa es aplicable a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 KW o más.

Los conceptos que integran el cobro por uso de energía en esta tarifa son: La demanda facturable, la energía punta, la energía intermedia y la energía de base. En la siguiente tabla se les hace referencia, a los cargos aplicados en el año 2001 para cada uno de los conceptos antes mencionados.

<i>Región</i>	Cargo por kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt - hora de energía de punta	Cargo por kilowatt - hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt - hora de energía de base
Central	\$ 65.34	\$ 1.2342	\$ 0.3949	\$ 0.3298

### Periodos de punta, intermedio y base

Para entender de forma clara los conceptos que se emplean para elaborar el cobro por suministro de energía, describiremos los periodos denominados punta, intermedio y base.

Estos periodos se definen en cada una de las regiones tarifarias para distintas temporadas del año, como se describe a continuación:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre

Día de la semana	Periodo Base	Periodo Intermedio	Periodo Punta
Lunes a Viernes	0:00 - 6:00	6:00-20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
Sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
Domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril

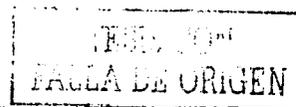
Día de la semana	Periodo Base	Periodo Intermedio	Periodo Punta
Lunes a Viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
Sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
Domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

Energía de punta, intermedia y de base

Energía de punta es la energía consumida durante el horario establecido que es considerado como periodo de punta, ver tabla anterior.

Energía intermedia es la energía consumida durante el horario establecido que es considerado como periodo intermedio, ver tablas anteriores.

Energía de base es la energía consumida durante el horario establecido que es considerado como periodo de base, ver tablas anteriores.



*Demanda contratada*

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 100 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado. En el caso de que el 60% de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, sólo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

*Demanda facturable*

La demanda facturable se define como se establece a continuación:

$$DF = DP + FRI \times \max (DI - DP, 0) + FRB \times \max (DB - DPI, 0)$$

Donde:

DP es la demanda máxima medida en el periodo de punta

DI es la demanda máxima medida en el periodo intermedio

DB es la demanda máxima medida en el periodo de base

DPI es la demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio

FRI y FRB son factores de reducción que tendrán los siguientes valores, dependiendo de la región tarifaria:

Región	FRI	FRB
Central	0.300	0.150

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En las fórmulas que definen las demandas facturables, el símbolo "máx.", significa máximo, es decir, que cuando la diferencia de demandas entre paréntesis sea negativa, ésta tomará el valor cero. Las demandas máximas medidas en los distintos periodos se determinarán mensualmente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda media en kilowatts, durante cualquier intervalo de 15 minutos del periodo en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo correspondiente.

Cualquier fracción de kilowatt de demanda facturable se tomará como kilowatt completo.

Una vez establecido los conceptos de cobro por el suministro eléctrico, pasaremos a la etapa de evaluación y viabilidad del proyecto.

### **4.3 Evaluación económica del proyecto**

Como lo mencionamos al principio del capítulo abordaremos el análisis del proyecto, el aspecto de ahorro eléctrico, el ahorro económico y la inversión necesaria para implantar el sistema.

#### *4.3.1. Ahorro eléctrico.*

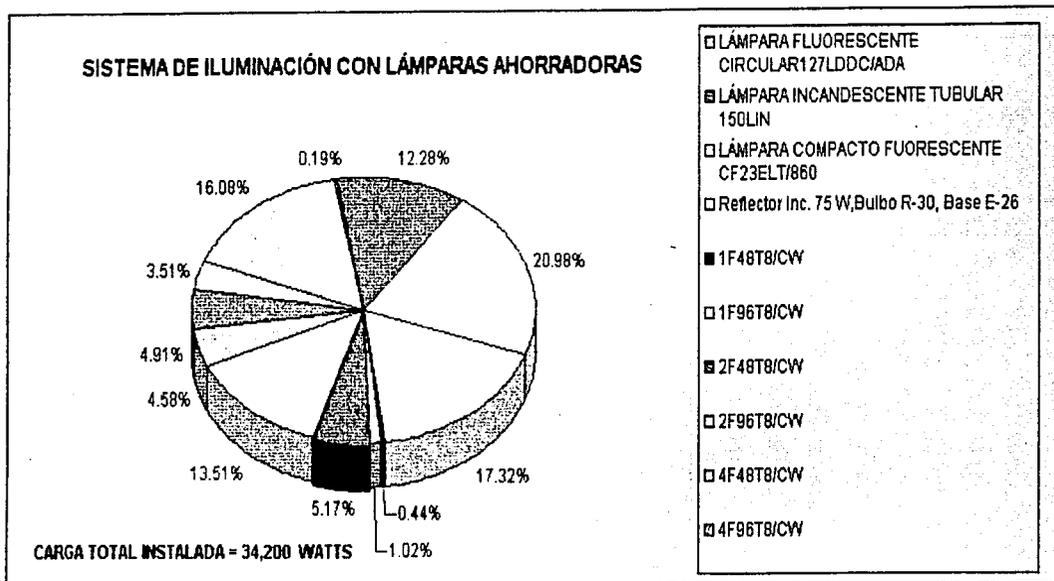
Tras el diseño del nuevo sistema de iluminación, se pudo disminuir la carga instalada en 43.15 %. La composición del sistema de iluminación propuesto, lo podemos observar en el siguiente cuadro:

**SISTEMA DE ILUMINACIÓN AHORRADOR**

TIPO DE LUMINARIA	Carga unitaria [W]	Número de componentes Instalados	Carga total instalada [W]	Porcentaje al sistema	Porcentaje a la carga
LÁMPARA FLUORESCENTE CIRCULAR	22	3	66	0.53%	0.19%
LÁMPARA INCANDESCENTE TUBULAR	150	28	4,200	4.99%	12.28%
LÁMPARA CF23ELT/860	23	312	7,176	55.61%	20.98%
Reflector inc. 75 W, E-26.	75	79	5,925	14.08%	17.32%
1F48T8/CW	30	5	150	0.89%	0.44%
1F96T8/CW	58	6	348	1.07%	1.02%
2F48T8/CW	57	31	1,767	5.53%	5.17%
2F96T8/CW	105	44	4,620	7.84%	13.51%
4F48T8/CW	112	14	1,568	2.50%	4.58%
4F96T8/CW	210	8	1,680	1.43%	4.91%
LÁMPARA INCANDESCENTE DE 60 WATTS	60	20	1,200	3.57%	3.51%
LÁMPARA DE LUZ MIXTA E-40 HWL500/220	500	11	5,500	1.96%	16.08%
		<b>561.00</b>	<b>34,200.00</b>		

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Gráficamente lo podemos observar de la siguiente forma:



*Composición del sistema de iluminación ahorrador.*

De implantar este sistema de iluminación se disminuye la carga instalada de 62.21 kWatts instalados a 34.2 kWatts la carga total instalada, lo cual nos representa un ahorro de 45.02% a la carga instalada.

En lo que se refiere a la demanda energética, se pudo disminuir de 39.894 k Watts a un 21.3967 k Watts lo que nos representa ahorro del 46.36 %.

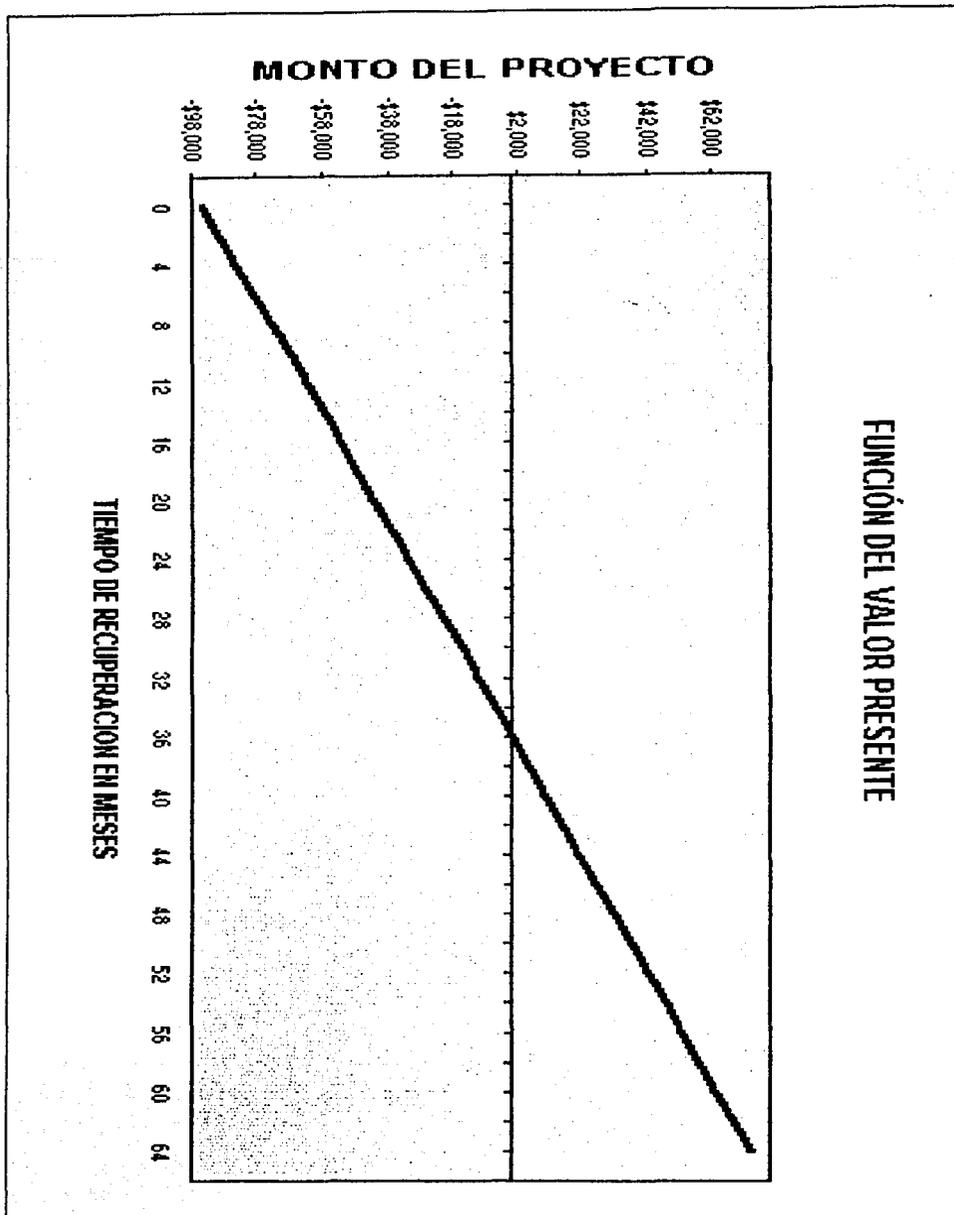
Del punto de vista de ahorro económico observamos que el nuevo sistema presenta algunas ventajas en comparación con el sistema que funciona actualmente.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En primer lugar, observamos que la mayoría de las lámparas propuestas, tienen una vida útil que se ubica entre las 10,000 y 20,000 horas, lo cual permite que algunos sistemas se mantengan operando durante 3.3 años sin ser sustituidas las lámparas y en algunos otros casos los sistemas pueden permanecer funcionando hasta 6.6 años sin ser necesario el sustituir las lámparas.

Por otro lado, el sistema actual consume 6.4 M watts-hora / mes, mientras que el sistema propuesto, consumiría un promedio de 4.42 M Watts-hora / mes. De los datos antes mencionados, podemos observar que al sistema actual se le cobra un total de \$ 77,636.46 m.n. por año por suministro de energía eléctrica. El sistema propuesto, alcanzaría una facturación de \$ 43,752.21 m.n. por el mismo concepto, lo cual nos representa un ahorro del 43.65 % en la facturación emitida por el distribuidor del servicio eléctrico.

La inversión requerida para implantar el nuevo sistema de iluminación es de \$ 95,000.00 M.N., si se toma en cuenta de que el acondicionar el edificio con este sistema nos generaría un ahorro económico de \$ 2,823.68 M.N. mensual, con respecto a la facturación emitida con el sistema anterior. Se puede recuperar la inversión en un periodo aproximado de 33.6 meses, lo que nos representa un periodo de recuperación de la inversión inicial de menos de tres años. Podemos observar lo mencionado en la siguiente grafica:



Gráfica de recuperación de inversión inicial

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La relación beneficio / costo es el resultado de dividir los beneficios económicos entre los costos, ambos a valor presente, esta relación debe ser mayor o igual a 1; en caso de no serlo, la medida se rechaza y se busca otra alternativa.

En la siguiente tabla, podemos observar un consolidado de la tendencia tanto energética como económica, que se obtiene al implantar el sistema ahorrador:

EMPRESA: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		DEN IN:
INMUEBLE : MODULO DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA DEL CAMPUS ARAGÓN		FECHA: MAR - 02
<b>Sustitución del sistema actual de iluminación por el sistema propuesto.</b>		
Tiempo de operación (M/mes):		233.33
<b>AHORRO ELÉCTRICO</b>		
EN CARGA INSTALADA =	28.01	KW
EN DEMANDA MÁXIMA =	18.4973	MW al mes
EN CONSUMO =	1.98	M Wh/mes
<b>AHORRO ECONÓMICO</b>		
MONTO =	2,873.68	\$mes
<b>INVERSIÓN</b>		
MONTO =	95,000	\$
VIDA DEL PROYECTO =	84	meses
TASA REAL DE DESCUENTO =	35.66 %	anual
<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>		
BENEFICIO COSTO =	1.08	
AHORRO A VALOR PRESENTE =	33,884.5	\$ año
TIEMPO DE RECUPERACIÓN =	36	meses

*Consolidado de datos energéticos económicos*

Al disminuir la demanda y el consumo energético del edificio, se obtienen beneficios ambientales derivados de los potenciales del ahorro de energía. Según datos de la estructura eléctrica nacional, al disminuir 1.98 M Wh/mes, podemos disminuir la emisión de contaminantes a la atmósfera, necesarios para la generación de la energía.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

El beneficio ambiental del sistema lo podemos observar en el siguiente cuadro:

BENEFICIO AMBIENTAL		
Concepto	Cantidad	Unidades
Reducción de CO <sub>2</sub>	10,890.00	kg/año
Reducción de SO <sub>2</sub>	198.00	kg/año
Reducción de NO <sub>x</sub>	19.80	kg/año
Reducción de combustóleo	4,554.00	L/año
Reducción en el consumo de agua	56,133.00	L/año

*Beneficio ambiental por año de funcionamiento del sistema.*

Con el objeto de tener una visión general de todas las ventajas del sistema de alumbrado propuesto, elaboramos la tabla de medidas de inversión para el ahorro de energía, en la cual se observan los porcentajes de ahorro económicos con respecto a los datos de la facturación para cada una de las medidas de ahorro de energía, en carga instalada, potencia demandada, consumo de energía y ahorro económico. Todos estos datos los agrupamos en la siguiente tabla:

MAE	Descripción	Reducción		Ahorros					Inversión propuesta	Vida útil (años)	Beneficio/ año	TIR (%)	Recuperación (meses)	
		Carga instalada		Demanda		Consumo		Económico						
		kW	%	kW	%	MWh	%	\$						%
1	Substitución del sistema actual por el sistema propuesto. Tiempo de creación (tiempo: 29) h/mes	28.01	45.02	18.40	45.36	1.98	30.93	33.88	5/año	930.00	64	1.07	33.33	36

Figura 6. Tabla de medidas de inversión para el ahorro de energía

TRABAJO CON FALLA DE ORIGEN

## **CONCLUSIONES**

La tesis que se presenta, tuvo como objetivo el lograr un ahorro de energía en el edificio en el edificio del Modulo de extensión Universitaria del Campus Aragón.

El punto de partida de la hipótesis se refería que al no sustituir las luminarias obsoletas producirá significativo gasto energético y económico, que puede ser disminuido cerca de un cincuenta por ciento, en comparación con la carga instalada, al seccionar los circuitos que alimentan lámparas parásitas; cambiar los equipos obsoletos por sistemas ahorradores y concientizar a las personas que utilizan la iluminación artificial, del uso racional de la energía.

Los resultados arrojados por la investigación, nos demuestran que el sustituir las lámparas incandescentes que se encuentran en el edificio y sustituirlas por lámparas compacto fluorescentes se disminuye notablemente la carga instalada en el edificio. Pero también pudimos constatar que esta tecnología no se encuentra con todos los avances en nuestro país. Pues en algunos recintos no se pudo implementar estos equipos, debido a la falta de componentes en el mercado Nacional. Sin embargo, este tipo de sucesos, nos permitió expandimos a otro tipo de tecnologías que aunque son nuevas, tiene mucho mayor presencia en México.

Se observo que no solo mediante la sustitución de los equipos ahorradores, se consigue disminuir el consumo eléctrico y ahorrar energía eléctrica. El principio de

ahorro de energía parte del uso racional de la misma. Al seccionar circuitos alimentadores y separar los circuitos secundarios, se pudo lograr tener un mayor control del flujo luminoso de las luminarias, y al agregar dispositivos de control que apoyan la tarea de conexión – desconexión de los sistemas que no están utilizándose, se puede disminuir el consumo innecesario de energía.

De sustituir los componentes obsoletos de las luminarias, por los propuestos en la investigación, se obtiene un 45.02% menos en lo que se refiere a la carga instalada y un 43.65% de la facturación mensual con respecto al sistema actual.

Cabe mencionar que los cálculos de ahorro de energía se basan en la disminución de la carga instalada, pero una vez establecido el seccionado de circuitos y adaptados los controles dentro del recinto, consideramos un ahorro más significativo del consumo eléctrico.

Pero este diseño no solo aportara beneficios energéticos y económicos, también se tiene un beneficio ambiental dado que al disminuir un kilowatt /h el consumo eléctrico, se reduce la emisión de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO a la atmósfera, y de la misma forma se disminuye el consumo de combustóleo y de agua utilizada en la generación de la energía.

Hacer conciencia de los recursos naturales y del consumo energético, es necesario y de mutuo beneficio para el ser humano y su entorno social, partiendo de esta

premisa, se considera que la tesis cumple su objetivo al reducir de forma considerable el consumo eléctrico del edificio.

## Material Bibliográfico

Schmelkes, Corina.

**Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación ( Tesis ).**

Segunda edición. Oxford University Press.

México 1999. ISBN – 970-613-354-2.

Bratu Serban, Neago y

Campero Littlewood, Eduardo.

**Instalaciones eléctricas, (Conceptos Básicos).**

Segunda edición. Alfa-omega grupo editor.

México 1995.

Westinghouse.

**Manual de alumbrado.**

Cuarta edición. Westinghouse Electric Cooperation.

U.S.A. 1988.

Ramírez Vázquez, José.

**Luminotécnia.**

Segunda edición. Ed. Ceac.

España 1986.

Holophane.

**Catálogo condensado.**

México, 2000.

Osram.

**Catálogo general de luz, 2001/2002.**

México, 2001.

Fideicomiso para el ahorro de energía.

**Proyectos de ahorro de energía.**

México.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

General Electric.  
**Lamp, products & electronic catalog.**  
México.

National lighting product information program.  
**CFL Downlights.**  
Vol. 3, Num. 2. August 1995.

National lighting product information program.  
**Dimming electronic ballasts.**  
Vol. 7, Num. 3. October 1999.

Comisión Nacional para el ahorro de energía.  
**MANUAL DE TRABAJO PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN**  
México, 2001.

Illuminating Engineering, Society  
**I.E.S. Lighting Handbook**  
USA, 1995.

**NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de  
iluminación en los centros de trabajo.**  
Diario Oficial de la Federación, Octubre 27 de 1999.

Enriquez Harper.  
**Guia práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas.**

Carranza Castellanos, Emilio.  
**Luminotecnia y sus aplicaciones.**

Diaz Caballero, Antonio.  
**Análisis y propuesta del sistema de alumbrado para el edificio L2  
del Campus Aragón**  
Tesis 415. Biblioteca Jesús Reyes Heróles.

Marquez Juárez, Julian.  
**Análisis y comparativo entre las lámparas convencionales y la  
ahorradoras.**  
Tesis 12187, E.S.I.M.E. Instituto Politécnico Nacional.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Websites

[www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx)

[www.fide.org.mx](http://www.fide.org.mx)

[www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx)

[www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

[www.ligthing.philips.com/](http://www.ligthing.philips.com/)

[www.rpi.edu/dept/lrc/LRC.html](http://www.rpi.edu/dept/lrc/LRC.html)

[www.geiluminacion.com](http://www.geiluminacion.com)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# Anexos

TRIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

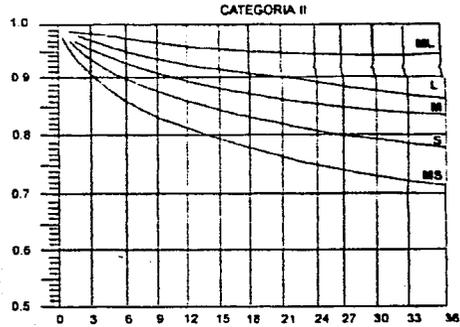
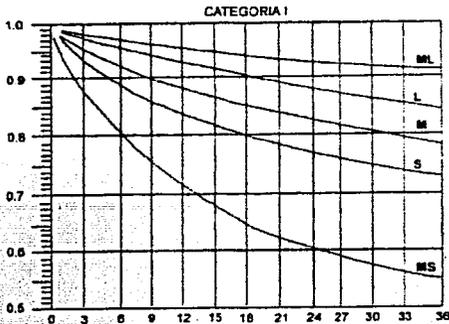
Porcentaje de las reflectancias efectivas de techo o piso para varias combinaciones de reflectancias

% de Reflectancia de Paredes	% de Reflectancia de Techo																																											
	40	30					20					10					0																											
02	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
04	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
06	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
08	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
10	41	40	38	37	35	33	32	31	29	27	25	24	23	22	20	18	16	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	42	40	38	36	34	32	30	29	27	25	23	22	21	19	18	16	14	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	42	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21	20	18	17	15	14	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	42	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21	20	18	17	15	14	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	42	39	36	34	31	28	26	24	22	21	19	18	16	15	14	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	42	39	36	34	31	28	26	24	22	21	19	18	16	15	14	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	43	39	36	33	30	27	24	22	19	18	16	15	13	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	43	39	35	32	29	26	23	20	17	16	14	13	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	43	39	35	32	28	25	22	19	16	14	13	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	43	38	35	31	27	24	21	18	16	13	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	43	38	35	31	27	23	20	17	15	13	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	43	38	34	30	26	23	20	17	14	12	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	44	38	34	30	26	22	18	16	14	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	44	38	33	29	25	22	18	16	13	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	44	38	33	29	25	21	18	15	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	44	38	33	29	24	21	17	15	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	44	38	33	28	24	20	17	14	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	44	38	32	28	23	19	16	14	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48	44	38	32	27	22	18	15	13	10	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50	43	38	31	27	22	18	15	13	10	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60	44	37	30	25	20	17	13	11	8	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
70	44	36	28	22	18	15	12	10	7	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
80	44	35	28	21	16	13	11	8	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
90	44	35	26	21	16	13	10	8	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
100	43	34	25	20	15	12	8	7	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

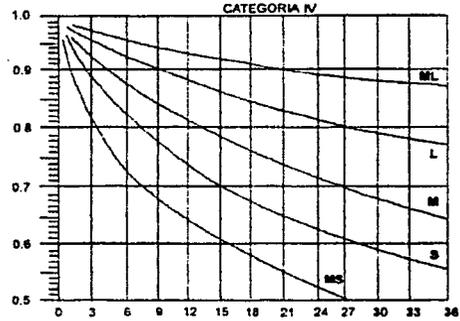
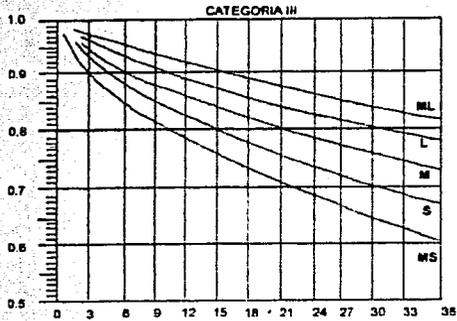
Cintra IES Handbook

Anexo A . Porcentaje de reflectancias efectivas.

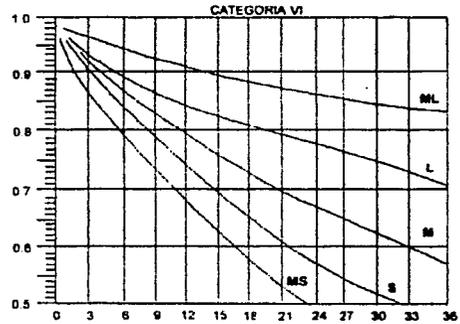
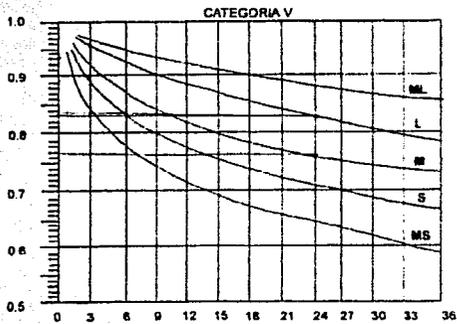
**CURVAS DE DEGRADACION POR SUCIEDAD EN EL LUMINARIO**



MESES



MESES



MESES

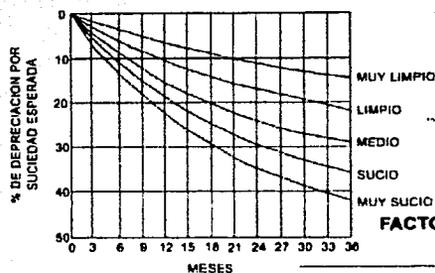
ML = MUY LIMPIO  
 L = LIMPIO  
 M = MEDIO  
 S = SUCIO  
 MS = MUY SUCIO

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**Anexo B . Curvas de degradación por suciedad en el luminario.**

**CLASIFICACION DE LUMINARIOS DE ACUERDO A SU CURVA DE DISTRIBUCION**

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



**FACTORES DE DEPRECIACION POR SUCIEDAD ACUMULADA EN LAS SUPERFICIES DEL CUARTO**

RELACION DE CAVIDAD DE CUARTO R.C.R.	TIPO DE DISTRIBUCION DE LUMINARIOS																			
	DIRECTO				SEMI-DIRECTO				DIRECTO-INDIRECTO				SEMI-INDIRECTO				INDIRECTO			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.80	.76	.94	.87	.80	.73	.90	.80	.70	.60
2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.94	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59
3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.74	.94	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.94	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.83	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	.76	.68	.89	.77	.66	.54
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.84	.75	.67	.88	.75	.63	.51
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50

**TRIS CON FALLA DE ORIGEN**

**Anexo C . Degradación luminosa por suciedad en el local.**

**NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría del Trabajo y Previsión Social

MARIANO PALACIOS ALCOCER, Secretario del Trabajo y Previsión Social, con fundamento en los artículos 16 y 40 fracciones I y XI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 512, 523 fracción I, 524 y 527 último párrafo de la Ley Federal del Trabajo; 3º, fracción XI, 38 fracción II, 40 fracción VII, 41, 43 a 47 y 52 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 3º, 4º 95 y 96 del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, 3º, 5º. y 22 fracciones I, XIII y XV del Reglamento Interior de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, y

**CONSIDERANDO**

Que con fecha 25 de mayo de 1994, fue publicada en el **Diario Oficial de la Federación** la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1993, Relativa a los niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo;

Que esta Dependencia a mi cargo, con fundamento en el artículo cuarto transitorio, primer párrafo del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el día 21 de enero de 1997, ha considerado necesario realizar diversas modificaciones a la referida Norma Oficial Mexicana, las cuales tienen como finalidad adecuarla a las disposiciones establecidas en el ordenamiento reglamentario mencionado; Que con fecha 25 de agosto de 1998, en cumplimiento de lo previsto en el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social presentó ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente Laboral, el Anteproyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana, y que el 29 de septiembre de 1998 el citado Comité lo consideró correcto y acordó que se publicara como proyecto de modificación en el **Diario Oficial de la Federación**;

Que con objeto de cumplir con los lineamientos contenidos en el Acuerdo para la desregulación de la actividad empresarial, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 24 de noviembre de 1995, las modificaciones propuestas a la Norma fueron sometidas por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial a la opinión del Consejo para la Desregulación Económica, y con base en ella se realizaron las adaptaciones procedentes, por lo que dicha dependencia dictaminó favorablemente acerca de las modificaciones contenidas en la presente Norma;

Que con fecha 31 de mayo de 1999, y en cumplimiento del Acuerdo del Comité y de lo previsto en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el Proyecto de Modificación de la presente Norma Oficial Mexicana, a efecto de que, dentro de los siguientes 60 días naturales a dicha publicación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente Laboral;

Que habiendo recibido comentarios de 3 promoventes, el Comité referido procedió a su estudio y resolvió oportunamente sobre los mismos, publicando esta Dependencia las respuestas respectivas en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1999, en cumplimiento a lo previsto por el artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización;

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Que en atención a las anteriores consideraciones y toda vez que el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente Laboral, otorgó la aprobación respectiva, se expide la siguiente: Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

## ÍNDICE

1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Obligaciones del patrón
6. Obligaciones de los trabajadores
7. Niveles de iluminación
8. Reconocimiento
9. Evaluación
10. Control
11. Reporte del estudio
12. Unidades de verificación y laboratorios de prueba

Apéndice A Evaluación de los niveles de iluminación

Apéndice B Evaluación del factor de reflexión

Apéndice C Contenido mínimo de los reportes para unidades de verificación y laboratorios de prueba

13. Vigilancia
14. Bibliografía
15. Concordancia con normas internacionales

### Transitorios

#### 1 Objetivo

Establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, de tal forma que no sea un factor de riesgo para la salud de los trabajadores al realizar sus actividades.

#### 2 Campo de aplicación

La presente Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo.

#### 3 Referencias

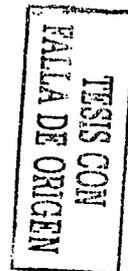
Para la correcta interpretación de esta Norma, debe consultarse la siguiente norma oficial mexicana vigente:

NOM-008-SCFI-1993, Sistema general de unidades de medida.

#### 4 Definiciones

Para efectos de esta Norma, se establecen las definiciones siguientes:

- a) área de trabajo: es el lugar del centro de trabajo, donde normalmente un trabajador desarrolla sus actividades.
- b) autoridad del trabajo; autoridad laboral: las unidades administrativas competentes de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, que realicen funciones de inspección en materia de seguridad e higiene en el trabajo y las correspondientes de las entidades federativas y del Distrito Federal, que actúen en auxilio de aquellas.



- c) brillo: es la intensidad luminosa de una superficie en una dirección dada, por unidad de área proyectada de la misma.
- d) deslumbramiento: es cualquier brillo que produce molestia, interferencia con la visión o fatiga visual.
- e) Iluminación; iluminancia: es la relación de flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área, expresada en lux.
- f) iluminación complementaria: es un alumbrado diseñado para aumentar el nivel de iluminación en un área determinada.
- g) iluminación localizada: es un alumbrado diseñado para proporcionar un aumento de iluminación en el plano de trabajo.
- h) luminaria; luminario: equipo de iluminación que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una lámpara o lámparas y el cual incluye todo los accesorios necesarios para fijar, proteger y operar esas lámparas y los necesarios para conectarse al circuito de utilización eléctrica.
- i) luxómetro: es un instrumento para la medición del nivel de iluminación.
- j) nivel de iluminación: cantidad de energía radiante medida en un plano de trabajo donde se desarrollan actividades, expresada en lux.
- k) plano de trabajo: es la superficie horizontal, vertical u oblicua, en la cual el trabajo es usualmente realizado, y cuyos niveles de iluminación deben ser especificados y medidos.
- l) reflexión: es la luz reflejada por la superficie de un cuerpo.
- m) sistema de iluminación: es el conjunto de luminarias destinadas a proporcionar un nivel de iluminación para la realización de actividades específicas.
- n) tarea visual: actividad que debe desarrollarse con determinado nivel de iluminación.

## 5 Obligaciones del patrón

5.1 Mostrar a la autoridad del trabajo, cuando así lo solicite, los documentos que la presente Norma le obligue a elaborar.

5.2 Efectuar y registrar el reconocimiento, evaluación y control de los niveles de iluminación en todo el centro de trabajo, según lo establecido en los capítulos 8, 9 y 10.

5.3 Informar a todos los trabajadores por escrito, sobre los riesgos que puede provocar el deslumbramiento o un deficiente nivel de iluminación.

5.4 Elaborar el programa de mantenimiento de las luminarias, incluyendo los sistemas de iluminación de emergencia.

5.5 Instalar sistemas de iluminación eléctrica de emergencia, en aquellas áreas del centro de trabajo donde la interrupción de la fuente de luz artificial represente un riesgo.

## 6 Obligaciones de los trabajadores

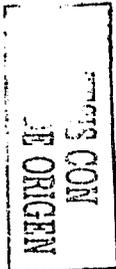
6.1 Informar al patrón de las condiciones no seguras, derivadas de la iluminación en su área de trabajo.

6.2 Utilizar los sistemas de iluminación, de acuerdo a las instrucciones del patrón.

6.3 Colaborar en las evaluaciones y observar las medidas de control.

## 7 Niveles de iluminación

Los niveles mínimos de iluminación que deben presentarse en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la tabla 1.



**TABLA 1  
NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN**

TAREA VISUAL DEL PUESTO DE TRABAJO	ÁREA DE TRABAJO	NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN (LUX)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble e inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies, y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabado con pulidos finos.	Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino.	1,000

**TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN**

Alto grado de especialización en la distinción de detalles. Áreas de proceso de gran exactitud. 2,000

**8 Reconocimiento**

8.1 El propósito del reconocimiento, es determinar las áreas y puestos de trabajo que cuenten con una deficiente iluminación o que presenten deslumbramiento, para lo cual se deben considerar los reportes de los trabajadores y realizar un recorrido por todas las áreas del centro de trabajo donde haya trabajadores, así como recabar la información técnica y administrativa que permita seleccionar las áreas y puestos de trabajo por evaluar.

8.2 La información que debe recabarse y registrarse es la siguiente:

- a. plano de distribución de áreas, luminarias, maquinaria y equipo;
- b. descripción del proceso de trabajo;
- c. descripción de los puestos de trabajo;
- d. número de trabajadores por área de trabajo.

**9 Evaluación**

9.1 A partir de los registros del reconocimiento, se debe realizar la evaluación de los niveles de iluminación, de acuerdo a lo establecido en el apéndice A, en las áreas o puestos de trabajo.

9.2 Determinar el factor de reflexión en las áreas y puestos de trabajo, según lo establecido en el apéndice B y compararlo contra los niveles máximos permisibles del factor de reflexión de la tabla 2.

**TABLA 2  
NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL FACTOR DE REFLEXIÓN**

CONCEPTO	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE REFLEXIÓN $K_r$
TECHOS	90 %
PAREDES	60 %
PLANO DE TRABAJO	50 %
SUELOS	50 %

NOTA: Se considera que existe deslumbramiento en las áreas y puestos de trabajo, cuyo  $K_r$  supere los valores establecidos en esta tabla.

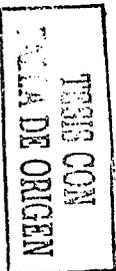
9.3 La evaluación de los niveles de iluminación debe realizarse en una jornada laboral bajo condiciones normales de operación. Se puede hacer por áreas de trabajo, puestos de trabajo o una combinación.

9.4 La evaluación debe realizarse y registrarse al menos cada dos años, o antes si se modifican las tareas visuales, el área de trabajo o los sistemas de iluminación.

**10 Control**

10.1 Si en el resultado de la evaluación se detectaron áreas o puestos de trabajo que deslumbren al trabajador, se deben aplicar medidas de control para evitar que el deslumbramiento lo afecte.

10.2 Si en el resultado de la evaluación se observa que los niveles de iluminación en los puntos de medición para las tareas visuales o áreas de trabajo están por debajo de los niveles indicados en la tabla 1, o que los factores de reflexión estén por encima de lo establecido en la tabla 2, se debe dar mantenimiento, modificar el sistema de iluminación o su distribución, y en



caso necesario, instalar la iluminación complementaria o localizarla donde se requiera de una mayor iluminación, para lo cual se deben considerar los siguientes aspectos:

- a. evitar el deslumbramiento directo o por reflexión al trabajador;
- b. seleccionar un fondo visual adecuado a las actividades de los trabajadores;
- c. evitar bloquear la iluminación durante la realización de la actividad;
- d. evitar las zonas donde existan cambios bruscos de iluminación.

10.3 Se debe elaborar y cumplir un programa de implantación de las medidas de control a desarrollar.

10.4 Una vez que se han realizado las medidas de control, se tiene que realizar una nueva evaluación, para verificar que las nuevas condiciones de iluminación cumplen con lo establecido en esta Norma.

### 11 Reporte del estudio

Se debe elaborar y mantener un reporte que contenga la información recabada en el reconocimiento, los documentos que lo complementen, los datos obtenidos durante la evaluación y al menos la siguiente información:

- a. informe descriptivo de las condiciones normales de operación, en las cuales se realizó la evaluación, incluyendo las descripciones del proceso, instalaciones, puestos de trabajo y el número de trabajadores expuestos por área y puesto de trabajo;
- b. plano de distribución del área evaluada, en el que se indique la ubicación de los puntos de medición;
- c. resultados de la medición de los niveles de iluminación;
- d. comparación e interpretación de los resultados obtenidos, contra lo establecido en las tablas 1 y 2;
- e. hora en que se efectuaron las mediciones;
- f. programa de mantenimiento;
- g. copia del documento que avale la calibración del luxómetro expedida por un laboratorio acreditado y aprobado conforme a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización;
- h. conclusión técnica del estudio;
- i. las medidas de control a desarrollar y el programa de implantación;
- j. nombre y firma del responsable del estudio;
- k. resultados de las evaluaciones hasta cumplir con lo establecido en las tablas 1 y 2.

### 12 Unidades de verificación y laboratorios de prueba

12.1 El patrón tiene la opción de contratar una unidad de verificación o laboratorio de prueba, acreditado y aprobado, según lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, para verificar o evaluar esta Norma.

12.2 Los laboratorios de pruebas solamente pueden evaluar lo referente al reconocimiento y evaluación, establecidos en los capítulos 8 y 9 de esta Norma.

12.3 Las unidades de verificación pueden comprobar el cumplimiento de esta Norma, verificando los apartados 5.2, 5.3 y 5.4.

12.4 La unidad de verificación o laboratorio de prueba debe entregar al patrón sus resultados de acuerdo con el listado correspondiente del apéndice C.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

12.5 La vigencia de los dictámenes emitidos por las unidades de verificación y de los reportes de los laboratorios de prueba será de dos años, a menos que las tareas visuales, áreas de trabajo o sistemas de iluminación se modifiquen.

**APÉNDICE A**

**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN**

**A.1 Objetivo**

Evaluar los niveles de iluminación en las áreas y puestos de trabajo seleccionados.

**A.2 Metodología**

De acuerdo con la información obtenida durante el reconocimiento, se establecerá la ubicación de los puntos de medición de las áreas de trabajo seleccionadas, donde se evaluarán los niveles de iluminación.

A.2.1 Cuando se utilice iluminación artificial, antes de realizar las mediciones, se debe de cumplir con lo siguiente:

- a. encender las lámparas con antelación, permitiendo que el flujo de luz se estabilice; si se utilizan lámparas de descarga, incluyendo lámparas fluorescentes, se debe esperar un período de 20 minutos antes de iniciar las lecturas. Cuando las lámparas fluorescentes se encuentren montadas en luminarias cerradas, el periodo de estabilización puede ser mayor;
- b. en instalaciones nuevas con lámparas de descarga o fluorescentes, se debe esperar un período de 100 horas de operación antes de realizar la medición;
- c. los sistemas de ventilación deben operar normalmente, debido a que la iluminación de las lámparas de descarga y fluorescentes presentan fluctuaciones por los cambios de temperatura.

A.2.2 Cuando se utilice exclusivamente iluminación natural, se debe realizar al menos una medición por cada área o puesto de trabajo.

**A.2.3 Ubicación de los puntos de medición.**

Los puntos de medición deben seleccionarse en función de las necesidades y características de cada centro de trabajo, de tal manera que describan el entorno ambiental de la iluminación de una forma confiable, considerando: el proceso de producción, la ubicación de las luminarias y de las áreas y puestos de trabajo, y la posición de la maquinaria y equipo.

A.2.3.1 Las áreas de trabajo se deben dividir en zonas del mismo tamaño, de acuerdo a lo establecido en la columna A (número mínimo de zonas a evaluar) de la tabla A1, y realizar la medición en el lugar donde haya mayor concentración de trabajadores o en el centro geométrico de cada una de estas zonas; en caso de que los puntos de medición coincidan con los puntos focales de las luminarias, se debe considerar el número de zonas de evaluación de acuerdo a lo establecido en la columna B, (número mínimo de zonas a considerar por la limitación) de la tabla A1. En caso de coincidir nuevamente el centro geométrico de cada zona de evaluación con la ubicación del punto focal de la luminaria, se debe mantener el número de zonas previamente definido.

**TABLA A1  
RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE ÁREA Y EL NÚMERO DE ZONAS DE MEDICIÓN**

ÍNDICE DE ÁREA	A) NUMERO MÍNIMO DE ZONAS A EVALUAR	B) NUMERO DE ZONAS A CONSIDERAR POR LA LIMITACIÓN
----------------	-------------------------------------	---

TRABAJO CON FALLA DE ORIGEN

IC < 1	4	6
1 ≤ IC < 2	9	12
2 ≤ IC < 3	16	20
3 ≤ IC	25	30

El valor del índice de área, para establecer el número de zonas a evaluar, está dado por la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{(x)(y)}{h(x+y)}$$

donde:

IC = índice del área.

x, y = dimensiones del área (largo y ancho), en metros.

h = altura de la luminaria respecto al plano de trabajo, en metros.

En pasillos o escaleras, el plano de trabajo por evaluar debe ser en un plano horizontal a 75 cm ± 10 cm, sobre el nivel del piso, realizando mediciones en los puntos medios entre luminarias contiguas.

A.2.4 En el puesto de trabajo se debe realizar al menos una medición en cada plano de trabajo, colocando el luxómetro tan cerca como sea posible del plano de trabajo, y tomando precauciones para no proyectar sombras ni reflejar luz adicional sobre el luxómetro

### A.3 Instrumentación

A.3.1 Se debe usar un luxómetro que cuente con:

- detector para medir iluminación;
- corrección cosenoidal;
- corrección de color, detector con una desviación máxima de ± 5% respecto a la respuesta espectral fotópica;
- exactitud de ± 5%.

A.3.2 Se debe ajustar y operar el luxómetro al inicio y durante la evaluación, de acuerdo al manual del fabricante. A.3.3 El luxómetro deberá estar calibrado y contar con el documento de calibración vigente, de acuerdo a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

## APÉNDICE B EVALUACIÓN DEL FACTOR DE REFLEXIÓN

### B.1 Objetivo

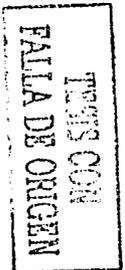
Evaluar el factor de reflexión de las superficies en áreas y puestos de trabajo seleccionados.

### B.2 Metodología

Los puntos de medición deben ser los mismos que se establecen en el apéndice A.

B.2.1 Cálculo del factor de reflexión de las superficies:

- se efectúa una primera medición ( $E_1$ ), con la fotocelda del luxómetro colocada de cara a la superficie, a una distancia de 10 cm ± 2 cm, hasta que la lectura permanezca constante;
- la segunda medición ( $E_2$ ), se realiza con la fotocelda orientada en sentido contrario y apoyada en la superficie, con el fin de medir la luz incidente;
- el factor de reflexión de la superficie ( $K_f$ ) se determina con la siguiente ecuación:



$$K_f = \frac{E_1}{E_2} (100)$$

### APÉNDICE C

#### CONTENIDO MÍNIMO DE LOS REPORTES PARA UNIDADES DE VERIFICACIÓN Y LABORATORIOS DE PRUEBA

##### C.1.1 Datos del centro de trabajo:

- nombre, denominación o razón social;
- domicilio completo;
- nombre y firma del representante legal.

##### C.1.2 Datos de la unidad de verificación:

- nombre, denominación o razón social;
- número de registro otorgado por la entidad de acreditación;
- número de aprobación otorgado por la STPS;
- fecha en que se otorgó la acreditación y aprobación;
- determinación del grado de cumplimiento del centro de trabajo con la presente Norma y en su caso, salvedades que determine la unidad de verificación;
- resultados de la verificación;
- nombre y firma del representante legal;
- lugar y fecha de la firma del dictamen;
- vigencia del dictamen.

##### C.2 Para el reporte de laboratorios de prueba

##### C.2.1 Datos del centro de trabajo:

- nombre, denominación o razón social;
- domicilio completo;
- nombre y firma del representante legal.

##### C.2.2 Datos del laboratorio de pruebas:

- nombre, denominación o razón social;
- número de registro otorgado por la entidad de acreditación;
- número de aprobación otorgado por la STPS;
- fecha en que se otorgó la acreditación y aprobación;
- contenido del estudio, de acuerdo a lo establecido en el capítulo 11, a excepción de las medidas de control a desarrollar y el programa de implantación.
- resultados de la evaluación;
- nombre y firma del representante legal;
- lugar y fecha de la firma del reporte;
- vigencia del reporte.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 13 Vigilancia

La vigilancia en el cumplimiento de la presente Norma, corresponde a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

#### 14 Bibliografía

- a) Ley Federal sobre Metrología y Normalización, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 1° de julio de 1992, México.
- b) Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** del 21 de enero de 1997, México.
- c) Conocimientos Básicos de Higiene y Seguridad en el Trabajo, Ruiz Iturregui, José Ma., Editorial Deusto, 1978, Madrid, España.
- d) Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, International Labour Office, Geneva. Third Edition 1983, Fourth Impresión, 1991.
- e) Física General, Zemanski, Mark W., Sears, Francis W. Editorial Aguilar, 1966, México.
- f) Guide on Interior Lighting, 2° edition, International Commisision On Illumination. CIE 29.2 86, 1998, Viena, Austria.
- g) I.E.S. Lighting Handbook. 1995, Iluminating Engineering, Society, USA.
- h) Iluminación Interna, Vittorio Re. Editorial MARCOMBO, S.A., 1979, Barcelona España.
- i) Luminotécnia, Enciclopedia CEAC de Electricidad. Dr. Ramirez V., José, Editorial CEAC, S.A., 1972, México.
- j) Manual de Ingeniería, Perry, J.H.; Perry, R.H. Editorial Labor, S.A., 1966, Madrid, España.
- k) Manual del Alumbrado, Westinghouse. Editorial Dossat, S.A., 1985, Madrid, España.
- l) Principios de Iluminación y Niveles de Iluminación en México. Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación, Asociación Civil. Revista Ingeniería de Iluminación, mayo-junio 1967, México.
- m) The Industrial Environment. Its Evaluation & Control. U.S. Departemnet of Health, Education, and Welfare Public Health Service; Center for Disease Control; National Institute for Occupational Safety and Health, 1973, USA.

#### 15. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma no concuerda con ninguna norma internacional, por no existir referencia alguna al momento de su elaboración.

#### Transitorios

**PRIMERO.**- La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los dos meses posteriores a su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

**SEGUNDO.**- Durante el lapso señalado en el artículo anterior, los patrones cumplirán con la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1993, Relativa a los niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo, o bien realizarán las adaptaciones para observar las disposiciones de la presente Norma Oficial Mexicana y, en este último caso, las autoridades del trabajo proporcionarán a petición de los patrones interesados, asesoría y orientación para instrumentar su cumplimiento, sin que los patrones se hagan acreedores a sanciones por el incumplimiento de la Norma en vigor.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, Distrito Federal, a los ocho días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y nueve.- El Secretario del Trabajo y Previsión Social, **Mariano Palacios Alcocer**.-Rúbrica.

*Anexo D. Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1993, Relativa a los niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo.*

