

101  
2el.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN

**"AHORRO EFICIENTE DE ENERGIA  
ELECTRICA EN SISTEMAS DE  
ILUMINACION PARA INTERIORES"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
( ELECTRICA - ELECTRONICA )  
P R E S E N T A N :  
HUGO TRUJANO FLORES  
BLAS VICENTEÑO MARTINEZ

ASESOR ING RAUL BARRON VERA

México

1997.

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CAMPUS ARAGÓN

UNIDAD ACADÉMICA

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

En atención a la solicitud de fecha 23 de octubre del año en curso, por la que se comunica que los alumnos BLAS VICENTEÑO MARTÍNEZ y HUGO TRUJANO FLORES, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, han concluido su trabajo de investigación intitulado "AHORRO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN PARA INTERIORES", 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 HABLARA EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 24 de octubre de 1997  
EL JEFE DE LA UNIDAD

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.  
c c p Interesado.

AIR/IIa.



**Dedico este último esfuerzo .....**

**A mis padres:**

**Sr. José Trujano Alonso  
Sra. Ma. Luisa Flores de Trujano**

**Por su apoyo incondicional, así como por su comprensión  
ya que esto hizo posible llegar al término de esta  
carrera.**

**A mis hermanos:**

**Ana Lilia  
José Antonio  
Agustin  
Montserrat**

**Al igual que a Javier, Ana Gabriela y Fco. Javier**

**Por su ayuda en todo momento**

**A mis amigos:**

**José Olivo, Raymundo Guerrero y Perfecto Garcia A.**

**Por sus consejos, que son muy sabios.**

**Dedico este esfuerzo a quienes me han enseñado a no claudicar.**

**Mis padres:**

**Sr. Roberto Vicenteño Islas.  
Sra Felipa Martínez de Vicenteño.**

**Por el apoyo y comprensión que siempre me han brindado.**

**Mis hermanos:**

**Ma. Guadalupe.  
José.**

**Quienes me han apoyado.**

**Y a todas aquellas personas, que con sus consejos me han permitido alcanzar una etapa más.**

**A nuestro asesor:**

**Ing. Raúl Barrón Vera.**

**A nuestros profesores:**

**Ing. Abel Verde Cruz.**

**Ing. José J. Ramón Mejía Roldan.**

**Ing. Narciso Acevedo Hernández.**

**Mat. Luis Ramírez Flores.**

**Y a todos aquellos que nos faltaron por mencionar.**

**Así como a la U.N.A.M. CAMPUS - ARAGON.**

**Por ser una fuente de inagotable riqueza.**

# INDICE :

INTRODUCCION.....1

## CAPITULO I EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO.

I.1 Radiación visible.....	6
I.2 La radiación y el ojo humano.....	7
I.3 Factores que influyen en la visión.....	10
I.4 Comportamiento de un rayo de luz.....	14

## CAPITULO II FUENTES DE LUZ.

II.1 Lámpara incandescente.....	19
II.2 Lámparas de descarga en baja presión.....	23
II.2.1 Lámpara fluorescente.....	23
II.2.2 Lámpara de sodio baja presión.....	28
II.3 Lámparas de descarga en alta presión.....	30
II.3.1 Lámpara de sodio alta presión.....	30
II.3.2 Lámpara de vapor de mercurio.....	33
II.3.3 Lámpara de halogenuros metálicos.....	36

## CAPITULO III BALASTROS.

III.1 Definición.....	40
III.2 Balastos para lámparas fluorescentes.....	41
III.2.1 Balastro electromagnético.....	41
III.2.2 Balastro híbrido.....	43
III.2.3 Balastro electrónico.....	44
III.3 Balastos para lámparas de H.I.D. ....	50

## CAPITULO IV SISTEMAS Y EQUIPOS DE ILUMINACION.

IV.1 Alumbrado general y localizado.....	58
IV.2 Sistemas de iluminación.....	59
IV.3 Luminarios.....	63
IV.4 Clasificación de luminarios.....	68
IV.5 Selección de equipo.....	71
IV.6 Niveles de iluminación.....	74

## CAPITULO V CALCULOS DE ILUMINACION.

V.1 Descripción del local a iluminar.....	80
V.2 Determinar los factores de depreciación de la luz.....	82
V.3 Cálculos de iluminación.....	84
( Propuestos para el Salón de usos Múltiples de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales - ARAGON ).	

CONCLUSIONES.....	126
-------------------	-----

BIBLIOGRAFIA.....	128
-------------------	-----



## INTRODUCCION

En la actualidad vivimos en un mundo, que crece a pasos agigantados y la exigencia de bienes y servicios, es cada día mayor.

Para satisfacer éstas necesidades, se tienen que consumir grandes cantidades de energía, para mover las innumerables industrias e instituciones que proveen dichos bienes y servicios.

La energía a la cual hacemos mención, es la energía eléctrica, para producir dicha energía hacemos uso de plantas:

- Termoeléctricas.
- Hidroeléctricas.
- Geotérmicas.
- Carboeléctricas.
- Nucleoeléctricas.

De todas éstas fuentes, de la cual obtenemos la mayor cantidad de energía es de las plantas termoeléctricas, las cuales requieren de 277 Kgs. de combustóleo para producir un MWH. Dando también como resultado una producción de 20 Kg. de contaminantes, que son arrojados al medio ambiente.

Por lo tanto, si queremos entrar o mantener una competencia internacional, debemos aprovechar al máximo los recursos naturales (en especial los no renovables); para asegurar a las futuras poblaciones una vida decorosa.

Sin que por ello se tengan, que provocar impactos ambientales negativos al medio ambiente, como los que se están observando en la actualidad.

Una de las áreas, donde podemos ser más eficientes, es en los sistemas de iluminación. Debido a que los sistemas de iluminación, los tenemos en todas partes y representan el 30 % de las instalaciones eléctricas; y en algunos casos llegan a representar hasta un 60 % o más, como en el caso de centros comerciales y hoteles.

Por lo tanto, el objetivo primordial de este trabajo es obtener una máxima eficiencia de cualquier sistema de iluminación: mediante una

selección de luminarios acordes a las características del local a iluminar. Así como un control de los mismos que nos permita desactivar aquellos luminarios en ciertas horas y lugares donde no se requiera la iluminación. Sin olvidarnos del objetivo primordial de la iluminación, el cual es, presentar un confort y una seguridad visual.

Otro hecho importante que cabe mencionar, es la relación que existe entre la radiación calorífica, que emite una fuente luminosa y los sistemas de aire acondicionado, debido a que al incrementarse la temperatura en la caja donde se aloja el balastro éste incrementará su consumo y a su vez lo irradiará como calor, repercutiendo esto en pérdidas en el sistema eléctrico.

Para determinar si un sistema es eficiente o diseñar un sistema eficiente de iluminación comenzaremos por determinar el significado de la luz (la luz se define como la energía radiante considerada de acuerdo a su capacidad para producir sensaciones visuales), así como de que elementos se compone y su interacción con el ojo humano. Para determinar las mejores condiciones de percepción visual, se tiene que conocer el funcionamiento del ojo humano lo que nos permitirá determinar las necesidades visuales para desarrollar una actividad en diferentes condiciones, así como la influencia de la edad en relación a la cantidad de luz requerida por la actividad visual.

Conociendo los puntos anteriores se pueden determinar algunos factores importantes que influyen en la visión, ya que la iluminación en general está estrechamente relacionada con el aumento de la productividad y con la reducción de accidentes de trabajo.

Por otra parte el conocer el comportamiento de un rayo de luz sobre diferentes materiales y medios nos permite saber como se transmite, propaga, refleja o las pérdida que puede sufrir al pasar de un medio a otro. Dando como resultado, conocer el medio u elemento más apropiado para su propagación.

En esta época, se han logrado incorporar otras fuentes emisoras de luz, para las diferentes necesidades de alumbrado. Como podemos mencionar el éxito del alumbrado fluorescente, puesto que su característica principal consiste en no producir la luz desde un solo centro luminoso, (como la lámpara incandescente) sino por la radiación suave y difusa en toda la extensión del tubo, eliminando

resplandores y sombras, las cuales ocasionan el forzar la visión al percibir un objeto determinado.

El alumbrado fluorescente, se considera que ha llegado a ser la fuente normal de iluminación en las nuevas construcciones y es considerado como un sistema óptimo para modernizar los edificios actuales. Cabe mencionar que en este tiempo el alumbrado fluorescente no ha podido desplazar en su totalidad al alumbrado incandescente, debido al bajo costo de este con respecto al fluorescente.

Por otra parte, el uso de lámparas de descarga en aplicaciones especiales, a tomado mucha importancia, ya que representa otra opción para la iluminación; por ejemplo en la iluminación de interiores es muy factible debido a que las lámparas tienen una excelente calidad de luz la cual permite una mejor reproducción de los colores. Dentro de los tipos de fuentes de luz de descarga encontramos las siguientes: lámparas de sodio de baja y alta presión, lámparas de vapor de mercurio, lámparas de halógenos metálicos y aditivos metálicos.

Independientemente de las características de operación de las lámparas, el factor que más llama la atención es el flujo luminoso, es decir, los lúmenes emitidos por la lámpara por cada watt consumido, seguido del índice de rendimiento de color esto con la finalidad de reproducir los colores más naturales, estos dos parámetros nos permiten seleccionar la fuente requerida en función del nivel de iluminación y calidad.

Otro elemento que interviene y que es de suma importancia es el balastro. Ya que este dispositivo le permite a la lámpara arrancar y operar en las mejores condiciones posibles. Los balastros los podemos clasificar en dos grupos: balastros para lámparas fluorescentes y balastros para lámparas de HID.

Los balastros para lámparas fluorescentes se dividen en balastros electromagnéticos, híbridos y electrónicos; de estos tres tipos el balastro que más auge tiene es el balastro electromagnético debido más que nada al costo ya que este es el más económico, este tipo de balastro se construye en tres tipos el primero se conoce como balastro económico, el segundo balastro de línea normal y un tercero como balastro de alta eficiencia, dentro de estos tres el más utilizado es el económico, y como se mencionó es por el costo.

Los balastos híbridos, presentan la opción de ahorro de energía así como el balastro de alta eficiencia, el balastro híbrido presenta mejores condiciones de operación pero su costo es superior, este tipo de balastro puede operar lámparas normales así como lámparas T-8.

La mejor opción de ahorro de energía la presenta el balastro electrónico y esto se debe a que opera a altas frecuencias (del orden de 20 a 60 KHz.). Las lámparas fluorescentes que trabajan a altas frecuencias son más eficientes, esto significa que el balastro suministra menores corrientes a la lámpara, obteniendo un poco menos de luz, o la misma que se obtendría con un balastro convencional; dando como resultado un menor consumo.

En lo que se refiere a balastos para lámparas de descarga de alta intensidad, se tienen en la actualidad balastos del tipo normal, es decir que operan a plena potencia y a temperaturas normales. Sin embargo, ya existen modelos de alta eficiencia que operan con menor cantidad de pérdidas.

En la iluminación de un local, intervienen varios factores de los cuales mencionaremos el tipo de actividad a desarrollar, el flujo luminoso requerido, así como la altura a la que estará suspendida la fuente o empotrada. Esto permitirá determinar el tipo de iluminación que se implementará.

Otros factores que se considerarán será el tipo de atmósfera que predominará en el medio, lo cual permite elegir las características más idóneas que deba presentar el luminario.

En la actualidad los fabricantes presentan una gama de luminarios los cuales son destinados en función de la actividad que se desarrolla, como son: comerciales, industriales, de alumbrado público y decorativos por mencionar algunos. Cada uno de estos luminarios tiene parámetros ópticos distintos en base a su actividad; otro aspecto que cabe mencionar es el tipo de lámpara que aloja en su interior lo cual cambiará sus parámetros al sustituir esta por otra que no sea igual.

Por otro lado una buena selección de la fuente luminosa, así como una determinada reproducción luminosa, en base al área a iluminar y actividad (es) a realizar, nos dará como resultado, un estado de ánimo ápto para desarrollar un trabajo u actividad.

No basta tener un flujo luminoso en cantidad suficiente en una determinada zona ya sea residencial, pública, comercial o industrial; si no también darle una calidad a dicha luz. Es decir eliminar efectos molestos como brillo directo e indirecto, sombras no deseadas. Con respecto a lo anterior los fabricantes de luminarios han diseñado equipos que atenúan y controlan el flujo luminoso en ciertas direcciones, no hay que olvidar que años atrás los niveles de iluminación se establecían muy altos, en la actualidad los niveles de iluminación se han normalizado con el fin de evitar las molestias antes descritas y darle la mejor calidad posible a la iluminación con la finalidad de hacer más eficiente un sistema y presentar las menores pérdidas posibles.

Como ejemplo se realiza un estudio comparativo del Salón de usos Múltiples del Campús Aragón. El estudio se efectuará en el sistema de iluminación actual. Para este ejemplo, primero se realizó un levantamiento de las condiciones de los luminarios, así como su distribución, altura de montaje y períodos de operación. Realizándose un muestreo del flujo luminoso en distintas zonas. La comparación se efectuará en base a las condiciones en que se encuentra actualmente y las que se pretenden implementar, las cuales comprenden la modificación de luminarios (esto es con respecto a su ubicación), así como el cambio de las potencias de las lámparas fluorescentes y de HID, esto es con la finalidad de tener un excelente confort visual implementando lámparas fluorescentes T-8 y T-12. Por otra parte la implementación de un programa de mantenimiento que permita mantener un flujo de iluminación promedio y un control, para las lámparas en aquellos lugares donde carecen de apagadores para evitar un gasto innecesario de energía eléctrica.

Con la implementación de nuevas técnicas y equipos, cabe mencionar que para lograr los beneficios perseguidos por medio de las disposiciones mencionadas es necesario evaluar las instalaciones antes y después de cualquier actividad correctiva, ya que una evaluación previa nos permite conocer las necesidades y determinar la ruta más viable para un ahorro eficiente de energía.

# CAPITULO I

## EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

El espectro electromagnético es la representación gráfica de los diferentes tipos de radiación. El espectro electromagnético comprende desde las ondas mas cortas de millonésimas de milímetro, tales como las radiaciones cósmicas pasando por los rayos gama, las ondas de corriente alterna y de telecomunicaciones que suelen especificarse en km., las radiaciones hertzianas en metros. Para las longitudes de onda que nos interesan en iluminación son excesivas estas unidades y no resultan prácticas, por otro lado los cm. y mm. son también muy grandes para el fin propuesto, y por eso se emplean varias unidades menores como son:

El micron (  $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$  ).

El milímicron ó nanómetro (  $1 \mu\text{m} = 1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm}$  ).

El Angstrom (  $1 \text{ \AA} = 10^{-7} \text{ mm} = 0.1 \mu\text{m}$  ).

Esto se representa en la figura 1.1

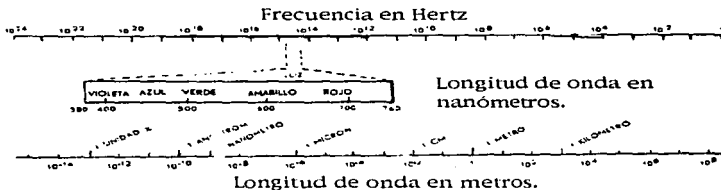


Fig. 1.1

### I.1 RADIACION VISIBLE.

La energía visible o luz es una porción sumamente pequeña del espectro electromagnético, enorme gama de energía radiante que se desplaza a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas, que se encuentra comprendida entre las longitudes de onda de 380 a 780 nanómetros (3800 a 7800 Å).

## COLOR.

El color es una sensación, es decir, la respuesta a un estímulo luminoso que se capta por medio de un órgano sensorial (el ojo humano), y que seguidamente se percibe por el cerebro.

El efecto de toda radiación luminosa, varía con su longitud de onda; dicho de otra manera, a cada longitud de onda corresponde una sensación particular de color; por lo tanto, cada longitud de onda será asociada a un color determinado como se muestra a continuación :

Color	Longitud de onda en A°
violeta	3800 a 4500
azul	4500 a 4900
verde	4900 a 5600
amarillo	5600 a 5900
naranja	5900 a 6300
rojo	6300 a 7800

## COMPOSICION DE LA LUZ.

La superposición de todos los colores forman la luz blanca, la cuál en sí no es una radiación original, por lo tanto con la adición de los diferentes colores se puede formar luz blanca y con la substracción de los mismos eliminarla.

## DEFINICION DE LA LUZ.

Para propósitos de Ingeniería de Iluminación, el Instituto de Ingeniería de Iluminación de Norte América, ha definido la luz como la energía radiante considerada de acuerdo a su capacidad para producir sensaciones visuales.

## 1.2 LA RADIACION Y EL OJO HUMANO.

El ojo humano es el órgano fisiológico mediante el cual se perciben las sensaciones de luz y color, es decir, es el órgano que recoge las radiaciones luminosas, por medio del fenómeno denominado sensación visual y las envía al cerebro para que este órgano las interprete mediante el proceso llamado percepción visual.

En la figura 1.2 se muestra un corte longitudinal esquemático del ojo humano.

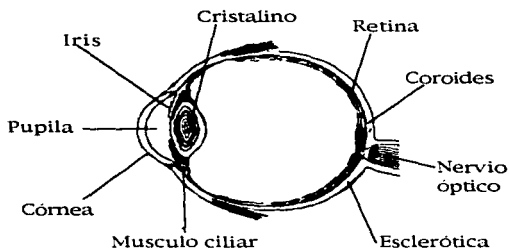


Fig. 1.2

A continuación se explican las partes principales del ojo y su funcionamiento:

**Córnea.-** Es una membrana transparente situada en la parte frontal que protege el ojo, la córnea se prolonga hacia la parte interior del ojo, por medio de otra membrana llamada esclerótica que cierra el ojo ocular.

**Iris.-** Detrás de la córnea, se encuentra el iris que gradúa automáticamente la abertura de entrada de luz en el ojo; tiene una perforación circular por la que penetra la luz hacia el interior del ojo, y que se llama pupila. El iris y la pupila se adaptan automáticamente a la cantidad de luz recibida.

**Cristalino.-** Es una membrana transparente, cuyo objetivo es enfocar los rayos luminosos sobre la retina, por medio de los músculos ciliares, puede variar su curvatura, acomodando automáticamente, la visión para diferentes distancias, esta propiedad del ojo se denomina acomodación.

**Coroides.-** El cristalino se prolonga por la parte interior del ojo por una membrana llamada coroides, destinada a contener la parte más sensible a la luz.



**Retina.-** Sobre la coroides se extiende una delgadísima membrana denominada retina, que está muy sensibilizada; sobre ella se forman las imágenes luminosas que quedan impresas y pueden generarse continuamente; y además puede recibir un mayor número de imágenes luminosas.

**Nervio óptico.-** Las imágenes impresas en la retina pasan al nervio óptico que las conduce al cerebro, donde tiene lugar la verdadera percepción luminosa, es decir que las imágenes que se forman en el ojo, sólo el cerebro es capaz de interpretarlas .

El nervio óptico conduce hasta el globo del ojo un gran número de pequeñas fibras llamadas bastoncillos y conos. Los bastoncillos y los conos son los órganos realmente sensibles a los estímulos luminosos y en ellos es donde se transforma la energía luminosa en sensación visual.

El ojo es capaz de trabajar un amplio campo de niveles de iluminación mediante el proceso conocido como adaptación, que incluye un cambio en el tamaño de la abertura de la pupila.

El tiempo requerido para el proceso de adaptación depende de la magnitud del cambio. En general la adaptación a un nivel más alto de iluminación se lleva acabo mas rápidamente que en sentido contrario.

La mayor intensidad de adaptación suele tener lugar al primer minuto, mientras que el proceso de adaptación a la obscuridad, se verifica a los 30 minutos y para la completa adaptación a la obscuridad puede ser necesario una hora.

#### **CURVA DE SENSIBILIDAD DEL OJO HUMANO.**

El conjunto de radiaciones de la luz del día, cuyas longitudes de onda van desde 3800 A° para el color violeta, hasta 7800 A° para el color rojo, estos valores corresponden a los límites de sensibilidad del ojo humano a la luz. Fuera de los mismos el ojo es ciego, esto es, no percibe ninguna clase de radiación.

Si cada una de las radiaciones que contiene la luz blanca, se hace llegar al ojo independiente, éste las captará en sus diversos colores con distinta intensidad, debido a que la sensibilidad de los conos de la retina es diferente para cada color.

Si se representa mediante una gráfica la sensibilidad de la retina del ojo humano para las distintas longitudes de onda de la luz del mediodía soleado, se obtiene una curva acampanada que se denomina "Curva de sensibilidad luminosa del ojo humano".

El ojo tiene la mayor sensibilidad para una longitud de onda de 5550 A° que corresponde al color amarillo-verdoso, y la mínima a los colores rojo y violeta como se observa en la figura 1.3 (curva punteada).

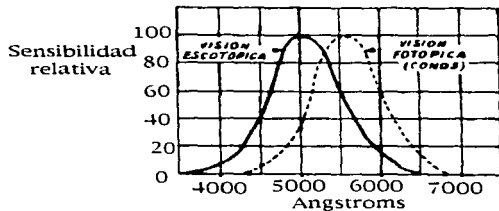


Fig. 1.3

La curva de sensibilidad del ojo humano, está basada en la visión por conos (fotópica), es decir, a niveles ordinarios durante el día. Cuando la visión es efectuada por los bastoncillos (escotópica), la curva de sensibilidad se verifica de acuerdo con una nueva curva de la misma forma que la fotópica, pero desplazada +80 A° hacia el extremo azul del espectro. Esta translación es conocida como efecto Purkinje, desplaza la sensibilidad máxima del ojo de los 5550 A° como se observa en la figura 1.3 (curva de línea continua). El resultado es que en la obscuridad y a pesar de que la visión carece completamente de color, el ojo se hace relativamente muy sensible a la energía del extremo azul del espectro y casi ciego al rojo.

### 1.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VISION.

En la percepción visual, intervienen muchos factores, dependiendo al tipo de actividad a realizar, por ejemplo algunos de los factores que intervienen son: la edad del personal, así como el detalle a percibir de los objetos, tiempo de exposición o de observación.

Los encargados de realizar los sistemas de iluminación; concuerdan en cuatro factores, los cuales son de suma importancia en la percepción visual, y estos son:

- Iluminación.
- Deslumbramiento
- Contraste.
- Sombras.

### ILUMINACION.

Se ha demostrado que la percepción visual depende del nivel del flujo luminoso, ya que este puede afectar, el estado de ánimo de las personas, su capacidad para desarrollar una actividad y en ocasiones pone en peligro su integridad física.

Para cada actividad se requiere de un determinado nivel de iluminación promedio que prevalezca en la zona en que se desarrolla el trabajo o actividad. Cuando existe dificultad en la percepción visual por la actividad desarrollada, mayor será el nivel de iluminación que se requiera.

Esta dificultad se presenta en personas de edad avanzada, por lo cual requieren de un nivel de iluminación mayor, en comparación; una persona joven requiere un nivel menor de iluminación para desarrollar la misma actividad.

Los valores mínimos de iluminación para cada actividad, se indican en las normas correspondientes, como se observa en el capítulo cuatro " Niveles de Iluminación " .

### DESLUMBRAMIENTO.

Es un fenómeno que afecta la capacidad visual, debido a una inadecuada distribución de las luminarias, así como un contraste excesivo, y el deslumbramiento puede ser:

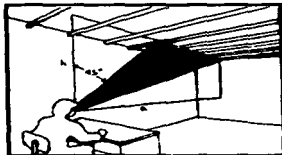
**Psicológico.**- (Molesto), es algo más bien personal, y la reacción de las personas a una situación de deslumbramiento varía ampliamente.

**Fisiológico.** a) Perturbador, hace que se aparte la vista del trabajo y se dirija hacia la fuente de deslumbramiento, b) Que incapacite , impide la realización de una tarea en la forma que debe ser hecha, esto es, se produce una reacción fotoquímica en la retina del ojo

la cual queda insensibilizada durante un cierto tiempo transcurrido, en el cual vuelve a recuperarse. La forma de producirse el deslumbramiento, puede ser directo o indirecto.

**Deslumbramiento Directo.** Como el que proviene de los luminarios o ventanas, que se encuentran situados dentro del área visual.

**Deslumbramiento Indirecto.** Reflejado por superficies de gran reflectancia, como las superficies metálicas pulidas, superficies de escritorios, pantallas de monitores. En el deslumbramiento interviene el nivel de flujo luminoso de las fuentes de luz, así como las superficies iluminadas. El deslumbramiento tiene lugar dentro del ángulo visual a partir de los  $45^\circ$  el cual depende de la profundidad (a) y de la altura (h) a que se encuentran los luminarios sobre el ojo, como se muestra en la figura 1.4 .



Angulo de deslumbramiento

Fig. 1.4

#### CONTRASTE.

El contraste es la diferencia de brillo entre el objeto y su entorno como se observa en la figura. 1.5.

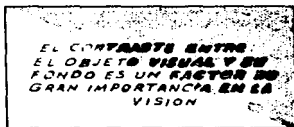


Fig. 1.5

Un trabajo de gran dificultad visual, requiere de un mayor contraste. Se han establecido relaciones para limitar el brillo dentro de un local.

Entre el trabajo y la zona adyacente de 3 a 1  
Entre el trabajo y las zonas más remotas de 10 a 1  
Entre el luminario y las zonas cercanas de 4 a 1

#### Contraste de Colores.

Color del objeto	Color de fondo
negro	amarillo
verde	blanco
rojo	blanco
azul	blanco
negro	blanco
amarillo	negro
blanco	rojo
blanco	verde
blanco	azul
blanco	negro

#### SOMBRAS.

La apreciación de los objetos en relieve, se debe gracias a que contamos con dos ojos, los cuales forman una imagen del objeto observado ligeramente distinta una de la otra y al estimular el cerebro da la sensación de relieve, como se muestra en la figura 1.6 .



Sombra tenue. Sombra fuerte.  
Fig. 1.6

Para presentar el relieve en los objetos es necesario que éstos presenten zonas menos iluminadas que otras. Las zonas menos iluminadas son las que destacan las formas plásticas de los objetos que se observan.

Las sombras son el resultado de una diferencia de brillo en las zonas iluminadas. Se distinguen dos clases de sombras:

**Fuertes.**  
**Suaves.**

Las sombras fuertes es el resultado de iluminar un objeto con luz dirigida intensa desde un punto determinado, y se caracteriza por una profunda oscuridad y un alto efecto de relieve, como se observa en la fig. 1.6 .

Las sombras suaves , resultan de iluminar un objeto con luz difusa, es decir, iluminado desde varios lugares, presentando un menor efecto de relieve y sombras muy tenues, ver fig. 1.6 .

#### **I.4 COMPORTAMIENTO DE UN RAYO DE LUZ.**

Una vez obtenida la luz, mediante el manantial luminoso correspondiente, se presenta el problema de su control ya que, debido a su gran luminancia, la mayoría de los manantiales luminosos existentes en la actualidad no realizan por sí mismos una distribución del flujo luminoso que permite su aplicación directa, si no 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 con vistas a una aplicación eficiente de luz emitida puede realizarse aprovechando uno o varios de los fenómenos físicos que se citan a continuación:

- Reflexión.
- Refracción.
- Absorción.
- Transmisión.

##### **REFLEXION.**

Cuando una superficie devuelve la luz que incide sobre ella, dice que refleja la luz. La reflexión de la luz depende, esencialmente de las siguientes circunstancias:

- 1.- De la superficie, una superficie lisa refleja mejor la luz que una rugosa.
- 2.- Del ángulo de incidencia de los rayos luminosos.
- 3.- Del color de los rayos incidentes, la luz blanca se refleja mejor que la luz de color.

Cuando un rayo choca contra una superficie, como un espejo una parte de luz rebota como una pelota arrojada contra la pared, como se muestra en la figura 1.7 .

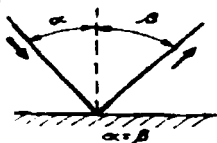


Fig. 1.7

Cuando la superficie es rugosa y mate, por ejemplo un trozo de tela blanca, el rayo incidente se refleja por igual en todas las direcciones del espacio y, por lo tanto, no se cumple la ley fundamental de la reflexión. En este caso, se habla de reflexión difusa, puesto que si colocamos una lámpara de luz incidente se dispersa en todos los sentidos.

Con la reflexión difusa se evita el efecto del deslumbramiento, que se aprecia cuando en el cambio de la visión existen elementos cuya luminancia es mucho mayor que de los elementos circundantes, esto se muestra en la figura 1.8 .



Fig.1.8

## REFRACCION.

La dirección de los rayos luminosos queda modificada al pasar de un medio al otro de diferente densidad. Este cambio de dirección se efectúa debido al cambio de velocidad que sufre la luz al pasar de un medio a otro con diferente densidad.

La refracción se aprovecha donde se requiere un control efectivo de luz, como en la iluminación de oficinas, pizarrones, tableros de medición.

Para lograr éste efecto, se utilizan: superficies de caras paralelas, prismas, lentes.

En la figura 1.9. se pueden observar típicos resultados de refracción con los elementos mencionados.



Fig.1.9

## ABSORCION.

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. Por lo tanto los fenómenos de reflexión y de absorción están íntimamente ligados.

La consecuencia más interesante del fenómeno de absorción es el color de los cuerpos. Si el cuerpo es de color blanco quiere decir que al incidir sobre él la luz blanca, se refleja enteramente, sin haber absorción; por el contrario los cuerpos negros absorben por completo la luz blanca, sin haber reflexión y si es de color gris, parte de la luz blanca es reflejada y parte absorbida. Un cuerpo es, por ejemplo, de color rojo a causa de que absorbe todos los colores que componen a la luz blanca excepto el rojo, pues éste mismo lo refleja.



## TRANSMISION.

Al pasar los rayos luminosos a través de los cuerpos transparentes se dice que estos rayos han sido transmitidos.

La transmisión de luz puede ser dirigida si el rayo luminoso sufre solamente la variación debida a la refracción normal; se consigue esta clase de transmisión utilizando cristales claros (es decir transparentes) y se produce intenso deslumbramiento debido a la gran luminancia de los rayos incidentes como se muestra en la figura 1.10 .

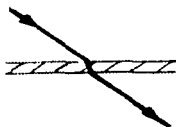


Fig. 1.10

La transmisión de luz se llama difusa como en la figura 1.11, cuando el rayo luminoso incidente queda dispersado al chocar con el material, de manera que quede iluminada uniformemente toda la superficie del cuerpo del que se trate; en la figura citada se puede apreciar como una parte del flujo luminoso incidente se refleja con reflexión también difusa.

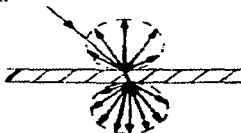


Fig. 1.11

## RELACION ENTRE REFLEXION, ABSORCION Y TRANSMISION.

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

Esto quiere decir que los tres fenómenos -reflexión, absorción y transmisión- están íntimamente ligados y en todos los casos tendremos:

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

Hemos de tener en cuenta las siguientes consideraciones que por otra parte, son de sentido común:

1.- **En los cuerpos opacos, el flujo luminoso transmitido es nulo.** Pues la principal cualidad de los cuerpos opacos es, precisamente, que no dejen pasar la luz o, dicho de otra forma, que no transmitan la luz. Si lo hicieran, dejarían de ser opacos.

2.- **No existen, en ningún caso, cuerpos reflejantes puros.** El cuerpo más reflejante que se conoce es la plata pulida, y aún en este caso una parte del flujo luminoso queda absorbido por el cuerpo.

3.- **Según estas explicaciones, los cuerpos iluminados se convierten en fuentes luminosas secundarias, y una parte del flujo luminoso que procede de estas fuentes pueden percibirse visualmente.**

## CAPITULO II

### FUENTES DE LUZ

Las fuentes de luz (lámparas), que se utilizan actualmente para la iluminación artificial, pueden ser clasificadas en tres categorías principales, como pueden ser:

Incandescentes. Descarga en baja presión. Descarga en alta presión.

Las lámparas incandescentes son las que llamamos comunmente focos.

Las lámparas del tipo descarga en baja presión son las fluorescentes y las de sodio en baja presión. Las lámparas de vapor de mercurio, (aditivos metálicos), halogenuros metálicos y sodio alta presión, son consideradas lámparas de descarga en alta presión (HID).

Estas son las Fuentes de Luz más comúnmente usadas en el campo de la Ingeniería de Iluminación. Además la efectividad energética de una instalación de alumbrado está ante todo condicionada para la eficacia (lúmen por watt), del tipo de lámpara utilizada. A continuación se describen algunos tipos de lámparas más comunes.

#### II.1 LAMPARA INCANDESCENTE.

La lámpara incandescente estandar se compone de un filamento de alambre que va colocado en un montaje adecuado y encerrado en un bulbo (bombilla) de vidrio relleno de gas (nitrógeno y argón) o al vacío. Al conectar la lámpara a la tensión de línea, la corriente que pasa por el alambre del filamento tiene que superar su resistencia y la energía consumida calienta el filamento al punto de incandescencia, haciendo que éste destelle. La figura 2.1, representa la lámpara incandescente estandar.

#### . COMPONENTES PRINCIPALES.

**Filamentos.-** Fabricado principalmente en tungsteno, pues éste tiene un punto de fusión de 3 655 ° K. su temperatura de operación es

de alrededor de los 3 000 ° K, esto con la finalidad de asegurar una duración adecuada de la fuente luminosa.

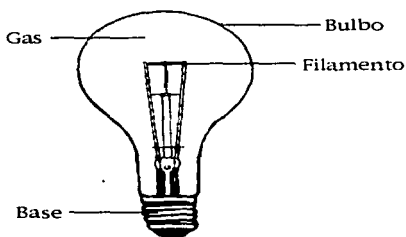


Fig.2.1

La designación de los filamentos se hace mediante una letra para indicar el tipo de construcción del alambre y con un número seleccionado arbitrariamente para indicar la forma de dicho filamento. Si es recto sería (S), de espiral simple (C) y si es espiral doble (CC). En otras palabras un filamento C-9; sería un filamento espiral simple de la forma 9.

El largo, diámetro y forma de un filamento se determina mediante cuidadosas consideraciones de su uso, potencia y duración deseada. El propósito primordial es el de diseñar una fuente que produzca la luz al menor costo para el fin perseguido. En la figura 2.2 se muestran algunos tipos de filamentos.



Fig. 2.2

**Bulbos.-** En el diseño de las lámparas se toma en cuenta el tamaño y la forma del bulbo, pues de ello depende la potencia, el uso al que será destinado, así como la temperatura de trabajo del vidrio de la base.

En la figura 2.3 se indican la forma de los bulbos que más se emplean en las lámparas incandescentes. Dichas formas se denominan mediante letras de acuerdo a su forma física, así como de un número que designa el tamaño en octavos de pulgada. Las casas habitación y aún las industrias utilizan para su iluminación lámparas incandescentes de la forma de A y de PS, la diferencia entre estas dos es solamente el largo del cuello de la PS con respecto a la forma A. Como ejemplo, si tenemos una designación PS-40 significa: PS - Forma de pera cuello recto, 40/8" de diámetro

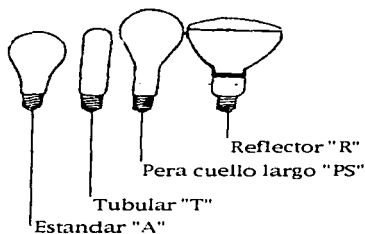


Fig. 2.3

**Gas de llenado.-** Normalmente es una mezcla de nitrógeno y argón, ya que estos retardan la evaporación del filamento de tungsteno. Se usa en lámparas de 40 watts y más. (Para lámparas de menor potencia son fabricadas al vacío).

**Bases.-** Las bases desempeñan dos funciones muy importantes. En primer lugar, sujeta firmemente la lámpara en el portalámparas y, en segundo lugar, conduce la electricidad del circuito hasta los hilos de conexión de la lámpara. Debido a la inmensa variedad de los usos a que se destinan las lámparas, éstas van dotadas de bases de distintos tamaños como los que se muestran en la figura 2.4.

Cabe mencionar que las lámparas de servicio general de menos de 300 w utilizan la roscada mediana y 300 a 500 w, utilizan una roscada base mogul.

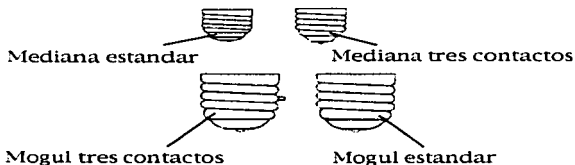


Fig. 2-4

### CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

**Variación de voltaje.-** La variación de voltaje en una lámpara incandescente, por arriba ó abajo del voltaje nominal afectará las características de la lámpara. Por ejemplo, si una lámpara de 120 volts nominales es operada a 125 volts (+ 4 % de incremento), la lámpara producirá 15 % más lúmenes, consumirá 7 % más watts, y tendrá 38 % menos de vida. Ahora con una lámpara de 120 volts nominales opera a 115 volts (- 4 % menos), proporcionará 13 % menos lúmenes, consumirá 65 % menos watts pero tendrá 62 % mas de vida.

**Depreciación de lúmenes.-** La resistencia del filamento aumenta con el tiempo debido a la evaporación del tungsteno, dando como resultado una disminución del diámetro del filamento. También una reducción adicional en la salida de lúmenes es debido a la absorción de la luz por el tungsteno depositado en la superficie interior de la lámpara.

**Eficacia.-** La eficacia de una lámpara es la cantidad de luz (medida en lúmenes), por unidad de energía consumida (watts). Ejemplo, una lámpara normal de 60 watts con una producción luminica de 820 lúmenes tiene una eficacia de 13.6 lm/watt; resulta de la división de la producción luminica entre el número de watts de la lámpara.

**Vida de la lámpara.**- Tanto el flujo luminoso como la vida de la lámpara están determinados por la temperatura de trabajo de su filamento. A mayor temperatura en el filamento de una lámpara mayor será su eficacia (lm/watt), pero más corta su vida. El promedio de vida que el fabricante proporciona no significa una garantía del funcionamiento total de una lámpara cualquiera, más bien se refiere a la duración promedio de grandes muestras de lámparas de una misma especificación.

## II.2 LAMPARAS DE DESCARGA EN BAJA PRESION

### II.2.1 LAMPARA FLUORESCENTE.

La lámpara fluorescente, esencialmente es un bulbo tubular revestido de polvo fluorescente y que dentro contiene una pequeña cantidad de mercurio y de gas (argón o neón). Un electrodo especialmente tratado que va sellado en ambos extremos del bulbo, esto se ve reflejado en la figura 2.5 .

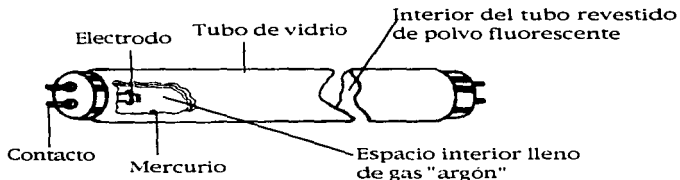


Fig. 2.5

Al encenderse una lámpara fluorescente, el paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos hace que estos se calienten y liberen electrones del material emisivo con el cual están revestidos. Además de los electrones liberados térmicamente, existen también electrones liberados por la diferencia de potencial entre los electrodos. Estos electrones viajan a altas velocidades de un electrodo hacia el otro estableciendo de esta forma una descarga eléctrica o arco a través del vapor de mercurio.

Un arco de esta naturaleza, encerrado en un tubo de vidrio, tiene ciertas características que varían con la presión del gas y con el voltaje aplicado a los electrodos. La característica más importante es la producción de radiaciones ultravioleta a una longitud de onda de 253.7 nanómetros. La radiación ultravioleta es convertida en luz visible por el fósforo, el cual tiene la propiedad de absorber la energía ultravioleta y, volvería a irradiar a longitudes de onda mayores que se puedan observar como luz visible. El color de la luz producida depende de la composición del revestimiento que va dentro del bulbo.

#### COMPONENTES PRINCIPALES.

**Electrodos.-** El electrodo que va en cada uno de los extremos de las lámparas fluorescentes consiste generalmente en un alambre con revestimiento de tungsteno de doble o triple enrollamiento espiral. Este alambre emite electrones cuando se calienta a una temperatura de 950 °C.

A esta temperatura los electrones se desprenden libremente. Este proceso se denomina "emisión termoiónica", ya que el calor es más responsable por la emisión de electrones que el mismo voltaje. Por esta razón se le llama cátodo caliente (suele denominarse también cátodo incandescente).

**Gases.-** Los gases utilizados más comúnmente son el argón, neón y algunas veces se utiliza el Kriptón. Además de una pequeña cantidad de gotas de mercurio que es colocado en el interior del tubo fluorescente. Durante la operación de la lámpara, el mercurio se vaporiza a una presión baja. A esta baja presión, la corriente fluye a través del vapor provocando que éste radie energía en la región ultravioleta (253.7 nanómetros).

**Fósforo.-** Este es el recubrimiento químico en la pared interior del bulbo. Cuando el fósforo es excitado por radiación ultravioleta a 253.7 nanómetros, este produce luz visible. Es decir, la luz visible de una lámpara fluorescente es producida por la acción de la energía ultravioleta, así como el recubrimiento de fósforo dentro del bulbo.

**Bulbos.-** La forma y tamaño del bulbo de una lámpara fluorescente se expresa mediante una clave que consiste en la letra "T" (designa la forma tubular del bulbo), la cual va seguida de un número que expresa el diámetro del bulbo en octavos de pulgada (").



El diámetro puede variar desde T-5 (5/8") a T-17 (2-1/8"). Esto es representado en la figura 2.6 .

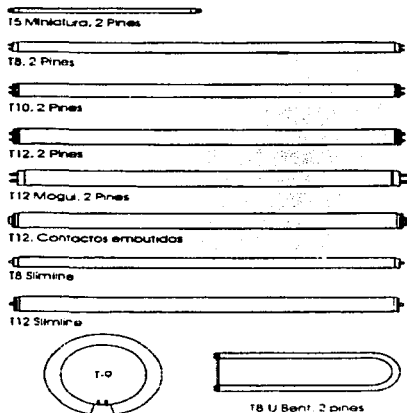


Fig. 2.6

**Bases.-** Las bases proporcionan la conexión eléctrica entre la lámpara y el soquet y sirve como soporte y alineamiento de la misma lámpara. Existen tres grupos de bases asociados con lámparas fluorescentes.

1) Doble alfiler (miniatura, mediana y mogul): Estas se utilizan en todas las de precalentamiento y en la mayoría de las lámparas de arranque rápido.

2) Doble contacto embutido: Se utilizan en las lámparas de alta emisión. Su propósito es proteger a los usuarios de alto voltaje en los contactos.

3) Contacto sencillo: Usadas en lámparas de arranque instantáneo.

## CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO.

Existen tres variedades de lámparas fluorescentes de cátodo caliente y se definen por los diferentes encendidos para los cuales han sido diseñadas.

1.- **Encendido de Pre calentamiento.** Su función principal consiste en un arrancador que suministra durante varios segundos un flujo de corriente a través de los cátodos esto es con la finalidad de precalentarlos, este periodo es el tiempo que transcurre desde el encendido de la lámpara hasta que ésta emite luz. El arrancador consiste de una ampolla con dos laminillas que son dobladas por la acción del calor de la corriente suministrada, esto permite que se calienten los electrodos a un punto de incandescencia y emitan electrones, cuando las laminillas se enfrían y se abren, dan lugar a que el balastro lance un impulso de tensión con el que se consigue iniciar la descarga del arco y su funcionamiento de la lámpara.

2.- **Encendido Instantáneo.** Las lámparas Slimline surgen con el propósito principal de eliminar el encendido precalentado. Este encendido instantáneo trabaja sin la necesidad del arrancador ya que el balastro suministra un voltaje lo suficientemente alto como para producir el arco en forma instantánea, simplificando así el sistema de alumbrado y el mantenimiento correctivo. Para las lámparas Slimline se requieren bases con una sola espiga a cada extremo de la misma.

3.- **Encendido Rápido.** Las lámparas de encendido rápido arrancan con suavidad y sin la necesidad del arrancador. En realidad lo hace tan rápido que se puede comparar con las Slimline y por lo tanto, en un periodo de tiempo mucho más corto que las lámparas de precalentamiento, usando un balastro mucho más eficiente y más pequeño que los utilizados en encendido instantáneo. Los electrodos de este tipo de encendido son de baja resistencia, los cuales son calentados continuamente con muy bajas pérdidas. La lámpara de encendido rápido es la más común y es adecuada para la mayoría de las aplicaciones. Las lámparas circulares y las de forma de "U" están disponibles para operar en circuitos de encendido rápido, estas lámparas son compatibles en los encendidos de precalentamiento. Sin embargo, una lámpara con designación de "precalentamiento" no puede ser utilizada en un circuito de encendido rápido.

**Eficacia.-** Una de las ventajas más importantes de las lámparas fluorescentes, es su alta eficacia. Suelen compararse con las lámparas incandescentes, pero la potencia de las primeras deben incluir las pérdidas del balastro para que la comparación sea exacta. según los fabricantes la mayoría de las lámparas tienen una eficiencia de 75 a 80 Lúmenes /watt.

**Temperatura de color.-** Existen una gran variedad de tubos fluorescentes en las tres tonalidades básicas, las cuales son: Cálida, Intermedia y Fría. Los términos utilizados para distinguir a dichos tubos fluorescentes son de acuerdo a su ( $T_c$ ) en grados Kelvin, como se muestra a continuación. (Solo se mencionan los límites de las tonalidades básicas).

Terminos	Temperatura de color ° K
Cálida (blanco cálido)	2700 a 3000
Intermedia (blanco)	4000 a 5000
Fría (luz de día)	5300 a 6500

La temperatura de color, es la comparación que se efectúa entre el color aparente emitido por una lámpara y el cuerpo negro de Planck, el cual es calentado hasta una temperatura que iguala el color emitido por la lámpara en comparación; la medición se efectúa en grados Kelvin ( $^{\circ}K = ^{\circ}C + 273$ ).

**Valor del IRC.-** Se le define a la capacidad que tiene una lámpara para reproducir los diferentes colores del objeto iluminado. Este índice se maneja en un porcentaje de 0 a 100 donde el valor máximo es representado por la fuente natural que se conoce como el sol. El índice de rendimiento de color para las lámparas fluorescentes es de acuerdo a lo que indican los fabricantes, mencionaremos algunos así como la tonalidad de la lámpara y su temperatura de color.

Tonalidad	IRC	$T_c$ ( ° K)
Blanco cálido	53	3000
Blanco ligero	51	4100
Blanco frío	67	4100
Luz de día	79	6500

El índice de rendimiento de color, está clasificado en tres grupos diferentes. El primero está considerado de 85 a 100 %, el cual se considera excelente; el segundo en un valor de 70 a 85 % el cual es normal y el tercer valor menos de 70 % es considerado bajo.

Vida.- Las lámparas fluorescentes se apagan cuando desaparece la sustancia emisiva de alguno de los electrodos. Así la duración de la lámpara es función del número de encendidos, dado que cada arranque supone la pérdida de una pequeña parte de sustancia emisiva.

## II.2.2 LAMPARA DE SODIO BAJA PRESION.

En esta lámpara de descarga eléctrica se produce a través del metal sodio vaporizado a baja presión, el cual provoca la emisión de una radiación visible casi monocromática, es decir constituida por dos rayas muy próximas entre sí y cuyas longitudes de onda son 589 y 589.6 nanómetros (nm). El rendimiento luminoso máximo de estas lámparas se presentará cuando la presión del vapor de sodio sea muy pequeña. Debido a la característica del amarillo monocromático no existe rendimiento de color, esto es que todos los colores aparecen como diferentes tonos de gris y café excepto los colores amarillos. Debido a la presencia de esas dos rayas amarillas en el espectro luminoso del vapor de sodio el rendimiento de las lámparas es muy elevado, alcanzando valores de hasta 183 lm/W (refiriendonos a la de 180W).

### CONSTRUCCION DE LA LAMPARA SODIO BAJA PRESION.

Las lámparas de vapor de sodio de baja presión están constituidas principalmente por un tubo de vidrio en forma de horquilla, en el cual se realiza la descarga. Este tubo se encuentra dentro de una ampolla tubular de vidrio, que le sirve de protección mecánica y térmica; esta ampolla tubular está reforzada por el vacío que se forma entre el tubo de descarga y la misma ampolla. Debido a que el sodio ataca el vidrio ordinario, la pared interna del tubo de descarga se protege con una fina capa de vidrio al borax. Como habíamos dicho antes, entre el tubo y la ampolla se hace al vacío ya que para obtener la presión conveniente del vapor, la pared del tubo de descarga ha de estar a una temperatura aproximada de 180 °C y la ampolla exterior actúa de aislante térmico, con lo que se evitan las pérdidas de calor por radiación.

En la figura 2.7, vemos los componentes de la lámpara de SBP.

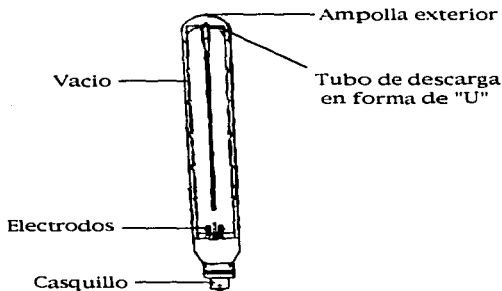


Fig. 2.7

En las lámparas actuales el tubo y la ampolla no son desmontables, sino de una sola pieza es decir, vienen integradas y además en la pared interna de la ampolla exterior se ha incluido una delgada capa de óxido de estaño o de óxido de indio que refleja más del 90% de las radiaciones infrarrojas emitidas por el tubo de descarga. En uno de los extremos del tubo de descarga se encuentran dos electrodos, formados por un filamento doble o triple espiralado de tungsteno donde se deposita un material emisor de electrones (generalmente óxido de torio). El interior del tubo contiene además un gas noble -neón-, que favorece el encendido de la lámpara y una cantidad de sodio en forma de pequeñas gotas que se depositan una vez condensado después de la descarga, en unas pequeñas cavidades existentes en la periferia del tubo es decir, estas pequeñas cavidades vienen en la superficie interior del tubo.

#### FUNCIONAMIENTO DE LA LAMPARA DE SODIO BAJA PRESION.

La tensión de encendido de la lámpara depende de los diferentes voltajes de la misma, que van de 340 a 400 V, y como la tensión de la red de alimentación es de 220 V, esta lámpara necesita de un aparato

de alimentación con autotransformador, para elevar la tensión de la red hasta el valor de tensión de encendido. La lámpara de vapor de sodio tarda en encender entre 5 y 15 minutos. Durante ese tiempo se inicia la descarga en el gas neón que rellena el tubo y la lámpara adquiere la tonalidad rojiza característica de dicho gas debido al paso de corriente que genera calor en el tubo de descarga, el sodio se volatiliza convirtiéndose en vapor e iniciando así la descarga en arco del vapor de sodio. En el periodo inicial de arranque, la lámpara va adquiriendo el tono amarillo característico del sodio hasta que, hacia el final de este mismo periodo la luz amarilla del sodio domina completamente el tono rojizo producido por el neón.

## **APLICACION DE LA LAMPARA DE SODIO BAJA PRESION.**

Como se había mencionado anteriormente, las lámparas de sodio de baja presión permiten intensidades luminosas más altas (llegan a alcanzar hasta 183 lm/watt) . La comodidad visual en una vía iluminada depende también del rendimiento en color de las lámparas instaladas, debido a su color característico no pueden ser usadas donde se desean distinguir los colores. Por consiguiente, las lámparas de sodio de baja presión tienen preferente aplicación en el alumbrado de carreteras, muelles de carga y descarga, es decir en instalaciones portuarias y en los exteriores de las minas.

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

## **II.3 LAMPARAS DE DESCARGA EN ALTA PRESION.**

### **II.3.1 LAMPARA DE SODIO ALTA PRESION.**

Con el fin de mejorar el tono de luz y también la reproducción cromática de las lámparas de sodio de baja presión, se crearon las lámparas de vapor de sodio de alta presión. Esta lámpara tiene una presión más alta en el interior del tubo de descarga y con esto se destacan en el espectro otros colores además del amarillo (el cual se encuentra entre las longitudes de onda de 589 y 589.6 nm), que es característico del sodio; esto hace que el espectro tenga cierta continuidad, destacándose de esta composición de colores una luz de

color blanco-dorado ésta luz es mucho más agradable para la vista y además permite distinguir los objetos con una reproducción más fiel de sus colores.

### CONSTRUCCION DE LA LAMPARA DE SODIO ALTA PRESION.

Esta lámpara está compuesta por un tubo o ampolla de descarga; éste tubo está fabricado de cerámica de óxido de aluminio policristalino, porque éste material tiene la propiedad de resistir altas temperaturas y además una cualidad muy importante es resistente al ataque corrosivo del vapor de sodio. El tubo de arco ó descarga es largo y de un diámetro delgado, ya que esto facilita y determina la vaporización del sodio debido a las altas temperaturas que éste tubo tiene que soportar y que es aproximadamente 100 °C. Dentro de éste tubo de descarga se encuentran los componentes que son: sodio, mercurio, y un gas noble, que puede ser xenón ó argón. En la figura 2.8, observamos los principales componentes de la lámpara de vapor de sodio de alta presión.

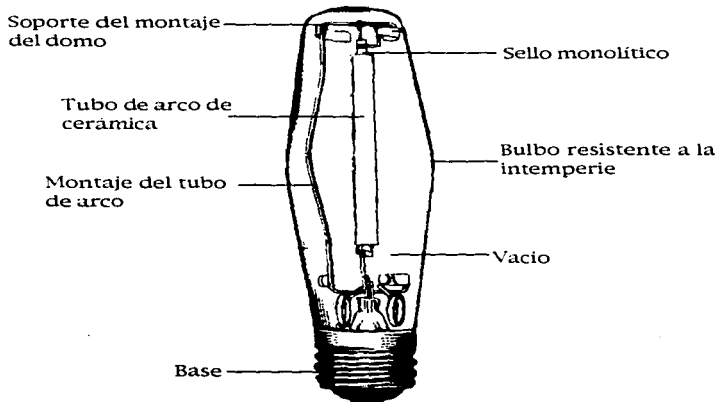


Fig. 2.8

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

Como habíamos mencionado anteriormente, el tubo de descarga tiene en su interior los componentes: sodio, mercurio y gas (xenón o argón). Precisamente el mercurio tiene la función de reducir la conducción de calor del arco de descarga a la pared del mismo tubo y también aumenta la tensión del arco. El gas noble es agregado para obtener un encendido seguro, aun teniendo bajas temperaturas en el ambiente.

#### FUNCIONAMIENTO DE LA LAMPARA DE SAP.

La tensión de arranque que necesitan esta lámpara es de 1800 V es decir, es bastante elevada y para esto se necesita de un balastro para que pueda arrancar, este balastro incluye un arrancador (ignitor) que provee un pulso de alta tensión de 2500 volts pico o mas. Este pulso tiene suficiente duración para ionizar al gas xenón y así iniciar la secuencia de arranque de la lámpara.

El tiempo que necesita para arrancar es de tres o cuatro minutos y el tiempo de enfriamiento es de dos a tres minutos. Esta lámpara tiene un exceso de sodio en forma de amalgama con mercurio porque después de un período de operación parte del vapor de sodio se pierde en el flujo del arco y en la absorción de las paredes y este exceso sirve para compensar precisamente estas pérdidas.

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



## APLICACION DE LA LAMPARA DE SODIO ALTA PRESION.

Debido a su alto rendimiento y a su aceptable tono de luz amarillo-dorado, esta lámpara ha ampliado sus aplicaciones tanto en el alumbrado público e industrial. Se utiliza principalmente en grandes arterias como son: Areas industriales, estacionamientos, andadores, jardines, calles residenciales (poco tráfico), calles comerciales, avenidas de tráfico moderado, plazas, carreteras, autopistas, ejes viales, almacenes o bodegas y fachadas de edificios.

### II.3.2 LAMPARA DE VAPOR DE MERCURIO.

#### CONSTRUCCION DE LA LAMPARA DE VAPOR DE MERCURIO.

Esta lámpara está constituida por dos bulbos (bombillos), uno exterior a manera de "cubierta" y otro interior que es el tubo de arco. El tubo de arco fabricado de cuarzo contiene a los electrodos principales que van colocados en sus extremos, estos electrodos están constituidos de tungsteno y en cuyas cavidades van rellenas de producto emisor de electrones, por ejemplo: torio u óxido de bario.

En las inmediaciones de un electrodo de operación va colocado un electrodo de arranque o electrodo de encendido, constituido éste de tungsteno ya que es un metal de alto punto de fusión, y que se encuentra conectado a una resistencia de larga vida.

Uno de estos electrodos de operacion va conectado a un electrodo de arranque por medio de una resistencia de 10 000 ohms. En el interior del tubo de cuarzo existe un gas noble generalmente argon, y una cantidad de mercurio que se encuentra entre 10 y 300 miligramos según la potencia de la lámpara.

La ampolla exterior, de forma elipsoidal está fabricada de vidrio borosilicato (duro) que además de ser resistente a los cambios bruscos de temperatura, sirve de soporte al tubo de descarga proporcionándole un aislamiento térmico a la vez que evita la oxidación atmosférica de las partes metálicas. Interiormente está cubierta de una sustancia fluorescente (Vanadato de itrio), que activada por las radiaciones ultravioleta del arco de mercurio emite radiaciones rojas las cuales se suman a las propias del espectro del mercurio. El espacio que se encuentra entre el tubo de cuarzo y la ampolla exterior está relleno de un gas neutro, generalmente nitrógeno a una presión bastante elevada

pero que no sobrepasa la presión atmosférica, ya que esto evita la formación del arco entre las partes metálicas internas de la ampolla. Finalmente, la lámpara lleva un casquillo de bronce niquelado y que generalmente es de rosca Edison (E-40) de donde se lleva la corriente a los electrodos principales por medio de bandas conductoras de molibdeno que tambien aseguran el cierre hermético del tubo de cuarzo. En la figura 2.9 vemos los componentes que constituyen esta lámpara.

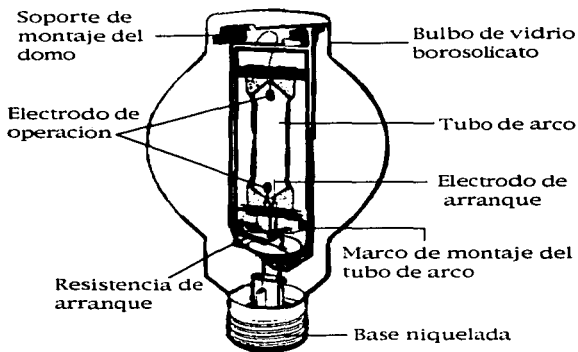


Fig. 2.9

#### FUNCIONAMIENTO DE LA LAMPARA DE VM.

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

Debido a la presencia de la resistencia de arranque, la tensión entre ambos electrodos o sea el de arranque y el de operación es de unos 20 volts; entonces se establece una descarga entre ambos electrodos, el de arranque y el de operación, esta descarga provoca la

ionización del gas argón contenido en el tubo de descarga y que inicia la descarga principal. En el momento en que se establece esta descarga principal, el mercurio está todavía a la temperatura ambiente; la tensión en los bornes de la lámpara es de unos 20 volts.

Cuando ocurre la descarga eléctrica, primero se calienta el mercurio y se volatiliza gradualmente esto hace que aumente la presión en el interior del tubo de descarga y también la tensión en los bornes de la lámpara. Como la temperatura aumenta uniformemente va a llegar un momento en que la caída de tensión entre los electrodos va a ser igual a la tensión de la red y en este caso la descarga eléctrica cesaría inmediatamente.

Para evitar esto, se dosifica muy exactamente la cantidad de mercurio introducido en el tubo, de tal manera que la presión del vapor y por tanto, la tensión entre los electrodos, no puedan sobrepasar cierto valor previamente calculado. Debido a esta circunstancia la lámpara es muy poco sensible a las fluctuaciones de tensión.

El tiempo de encendido varía de 2 a 4 minutos, una vez apagada la lámpara no puede volver a encenderse hasta pasado un tiempo de enfriamiento, generalmente igual al de calentamiento en éste tiempo alcanza los valores nominales para que la presión en el tubo de descarga descienda al valor correspondiente para que pueda iniciarse nuevamente la descarga.

Una de las características sobresalientes de la lámpara de vapor de mercurio es su larga vida. Casi todas estas lámparas usadas en alumbrado general de 100 a 1000 watts, tienen una vida promedio de 24 000 hrs. La vida económica o útil de una lámpara también es afectada por diversas condiciones de funcionamiento que pueden ser la temperatura ambiental excesivamente alta, el voltaje de la línea y el diseño del balastro. Puesto que la emisión luminosa puede bajar ligeramente durante las primeras horas de vida, el flujo inicial nominal de las lámparas de mercurio se fija pasadas las primeras 100 hrs. de servicio.

#### APLICACION DE LA LAMPARA DE VAPOR DE MERCURIO.

Debido a la gran economía que representan sobre todo por su elevado rendimiento luminoso, es decir una gran eficiencia luminosa (lm/w), y buen promedio de vida (24 000 hrs.).

El empleo de ésta lámpara está dirigido para alumbrado exterior, es decir alumbrado de calles (las lámparas de 100, 175 y 250 watts se utilizan para alumbrado de calles con menor tránsito, y las lámparas de 400, 700 y 1 000 watts para vialidades con alto flujo vehicular.).

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

Por otro lado, podemos comparar a las lámparas de aditivos metálicos con las de vapor de mercurio, pues físicamente la lámpara de aditivos metálicos es de tamaño compacto y tiene las mismas dimensiones exteriores correspondientes a la de vapor de mercurio. Interiormente difieren considerablemente puesto que estas tienen un tubo de descarga de cuarzo ligeramente menor que el correspondiente a una lámpara de vapor de mercurio de la misma potencia, la diferencia es el contenido que existe en el tubo de descarga y estos elementos son: gas argón, mercurio, así como un par de metales como son sodio y escandio los cuales son los responsables del extraordinario rendimiento de color.

### II.3.3 LAMPARA DE HALOGENUROS METALICOS.

Esta lámpara es en sí la de vapor de mercurio, pero tiene en el interior diversos halógenos de las tierras raras, estos halógenos son: dysprosio (dy), holmio (ho) y tulio (tm); con estos halógenos se consiguen rendimientos luminosos más elevados y además una mejor reproducción cromática que viene siendo superior a las que se obtienen con las lámparas de vapor de mercurio convencionales.

Esta lámpara presenta una mayor distribución espectral, esto se refiere a que su longitud de onda abarca desde los 300 a los 750 nanómetros, dando como resultado una mejor aceptación de cualquier textura de color en la percepción visual. Como aclaración un halógeno es una sal formada por un halógeno que viene siendo Fluor, cloro, bromo o yodo y un metal que en éste caso son las tierras raras.

## CONSTRUCCION DE LA LAMPARA DE H.M.

La constitución de sus elementos es similar a la de vapor de mercurio a alta presión, es decir, que el tubo de descarga es también de cristal de cuarzo en forma tubular, éste tubo lleva colocados en sus extremos un electrodo de tungsteno en el que va depositado un material emisor de electrones y que generalmente es óxido de torio, como se observa en la figura 2.10.

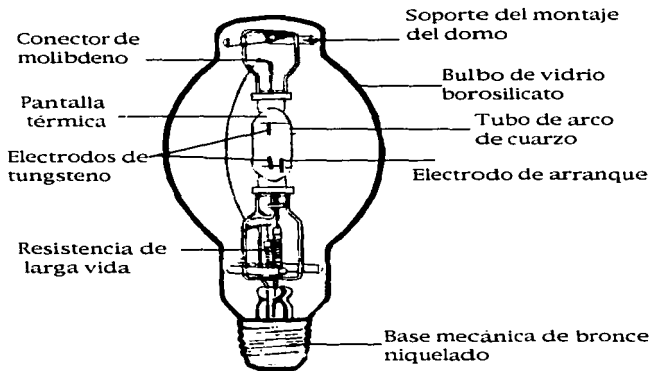


Fig. 2.10

La corriente llega a los electrodos por medio de unas laminillas de molibdeno que van selladas herméticamente con el cristal de cuarzo. El tubo de cuarzo lleva en su interior mercurio, yoduro tálico y uno o varios de los halógenos de las tierras raras como son el dysprosio, holmio, tulio y argón, que sirve como gas para el arranque. Debido a que en los extremos del tubo de descarga se encuentran los puntos más fríos, éstos extremos van cubiertos por una capa exterior de óxido de circonio que sirve como estancador térmico. Cuando está en funcionamiento la lámpara, el tubo de descarga se encuentra a una temperatura de alrededor de 6000 °C.

A ésta temperatura los halogenuros de las tierras raras se encuentran como vapores es decir, que están por encima de la fase líquida sin que éstos lleguen a gasificarse pero todas las demás sustancias como el mercurio, el yoduro tálico y el argón se evaporan completamente. La ampolla exterior que protege al tubo de descarga está construido de borosilicato, es decir un vidrio duro para que pueda resistir los cambios bruscos de temperatura.

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

#### **FUNCIONAMIENTO DE LA LAMPARA DE H.M.**

El funcionamiento de ésta lámpara es parecido a la de vapor de mercurio, éste es, van conectadas a un balastro y alimentadas con una tensión de red de 220 volts.

#### **APLICACION DE LA LAMPARA DE H.M.**

Esta lámpara tiene un gran campo de aplicación, tanto en interiores como en exteriores, ya que como se había mencionado tienen un elevado rendimiento luminoso, alta temperatura de color y una excelente reproducción cromática.

En el siguiente cuadro esquemático podemos observar algunas aplicaciones de ésta lámpara en función de su potencia.

Potencia de lámpara	Interiores	Exteriores
3500 W 2000 W	Escenarios para cine	Estadios deportivos Industrias Aeropuertos
1000 W 400 W	Exhibiciones deportivas Industriales	Calles públicas
250 W 150 W 70 W 35 W	Colegios Escaparates de joyería salas de venta acuarios	Reflectores Luz de seguridad

### CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS.

Lámpara	Ventajas	Desventajas
Incandescente	bajo costo inicial, buen rendimiento de color, buen control luminoso, encendido instantáneo.	bajo rendimiento luminoso, vida corta de la lámpara (500-2000 hrs), alto costo de operación.
Mercurio	larga vida de lámpara (24000 hrs), buena eficiencia luminosa, bajo costo de operación.	alto costo inicial, control luminoso limitado no reencendiendo inmediatamente después de falla en el sistema.
Aditivos metálicos	buena vida de lámpara (7500-20,000 hrs), alta eficiencia luminosa, buena definición de color, bajo costo de operación.	alto costo inicial, no reencendiendo inmediatamente después de la falla en el sistema.
Sodio alta presión	buen control del haz, larga vida de lámpara (24,000 hrs), alta eficiencia luminosa.	alto costo inicial, mala definición de color, no reencendiendo inmediatamente después de la falla en el sistema.
Fluorescente	buena vida de lámpara (9,000-20,000 hrs), buena eficiencia luminosa, bajo costo de operación, baja brillantez.	altocosto inicial, control luminoso pobre, luminarios muy grandes, la emisión luminosa puede variar con la temperatura.

## CAPITULO III

### BALASTROS

#### III.1 DEFINICION.

Según NMX-J-156-1994-ANCE. Es un dispositivo que, por medio de inductancias, capacitancias o resistencias, solas o en combinación, limita la corriente de las lámparas fluorescentes al valor requerido para su operación correcta y también, cuando es necesario suministra la tensión y corriente de arranque y en caso de balastros para lámparas de arranque rápido, provee la tensión para el calentamiento de los cátodos.

Hemos visto que para establecer la descarga autónoma es necesario alimentar la lámpara con una tensión suficiente, denominada tensión de encendido.

Se comprende fácilmente que es conveniente disminuir al máximo la tensión de encendido o producirla solamente en un tiempo muy pequeño, para reducir después la tensión hasta el valor de alimentación de la lámpara. Para conseguir estos resultados se han recurrido a ciertos arreglos y estos pueden ser:

- a) Producción espontánea de electrones por cátodos termoiónicos.
- b) Encendido por sobretensión momentánea producida por un dispositivo apropiado ( por ejemplo, el cebador empleado en muchas lámparas).
- c) Empleo de electrodos auxiliares muy próximos entre si que producen una descarga a baja tensión.
- d) Tira metálica y conductora en la superficie externa o interna de la lámpara y unida o no a uno de los electrodos.

En resumen, una lámpara de descarga necesita dos tipos de dispositivos:

- 1.- Dispositivos que aseguren una tensión de encendido conveniente y algunas veces, diferentes arreglos que reduzcan dicha tensión de encendido.



2.- Dispositivos que permitan el funcionamiento de la lámpara a la corriente nominal para la que ha sido construida, asegurando, eventualmente una suficiente regulación de ésta corriente.

### **III.2 BALASTROS PARA LAMPARAS FLUORESCENTES.**

Los cuales los podemos clasificar en:

- Balastros electromagnéticos, híbridos y electrónicos.

Una de las áreas donde se observa la aplicación de los balastros en todas sus variedades, es sin duda en la iluminación por medio de lámparas fluorescentes, debido a que en este tipo de lámparas se han aplicado las diversas tecnologías en función del balastro para operarlas, en sus distintas formas de encendido.

#### **III.2.1 BALASTRO ELECTROMAGNETICO.**

Este tipo de balastro esta conformado por devanados arrollados sobre un núcleo laminado de hierro, y cuenta con dispositivos (capacitores y resistencias ), y algunos otros arreglos, cuentan con otros aditamentos , esto se debe básicamente al costo.

Este balastro es el básico y actualmente se fabrican diversos tipos en base a la conexión de encendido de las lámparas y balastros en base a un ahorro económico y energético. Los balastros construidos en base a su encendido para lámparas fluorescentes son:

- de encendido precalentado, instantáneo y rápido.

Estos arreglos surgieron con la aparición de las lámparas fluorescentes, a causa o como consecuencia de soluciones para el mejor aprovechamiento de la energía eléctrica, así como una mejor reproducción luminosa y una vida más larga del equipo.

En la actualidad existen tres tipos de balastros para lámparas fluorescentes, que pueden tener cualquier tipo de arreglo antes mencionado o combinado para balastros electromagnéticos y estos son:

- Balastros económicos, normales y de alta eficiencia.

**Balastos económicos.-** Estos predominan en la actualidad y son los más económicos. Proporcionan una potencia a la salida de la lámpara de un 70 a un 80 %, operan a una temperatura máxima permitida consumen menos potencia que un balastro normal por lo cual la lámpara trabaja a una potencia reducida dando un flujo de luz menor que el indicado por el fabricante. Presenta el porcentaje mayor de pérdidas de los tres tipos mencionados, y no cumple con el factor de eficiencia de balastro (BEF).

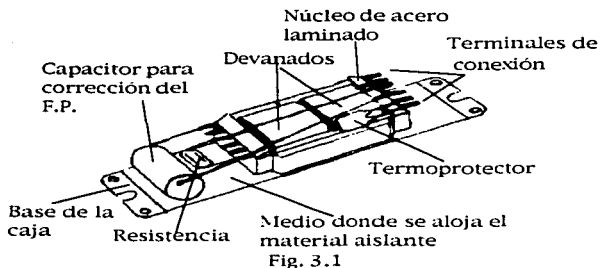
**Balastos normales.-** Este balastro opera la lámpara a su potencia plena con una tolerancia de  $\pm 7.5\%$  de la potencia nominal y 92.5% (factor de balastro), mínimo de la producción de luz de la lámpara para el caso de encendido rápido. Las pérdidas en porcentaje son menores que las que presenta un balastro económico, su temperatura de operación es la máxima permisible, no cumple con el BEF y su costo es mayor que el económico.

**Balastos de alta eficiencia.-** Estos balastos presentan un ahorro de energía; trabajan las lámparas a plena potencia y luminosidad (con valores dentro de  $\pm 7.5\%$  de la potencia nominal), y presenta el mínimo de luz que permiten las normas para las lámparas. Opera a una temperatura del 80 % aproximadamente de los valores permitidos lo que permite una vida más larga de los aislamientos y del alambre magneto en los devanados, por lo tanto tendremos una vida útil de los mismos de aproximadamente del doble. La vida normal de un balastro se estima de 7 a 8 años, por consiguiente la vida de los balastos de alta eficiencia será de 14 a 16 años.

En nuestro país este balastro cuenta con un termoprotector, el cual al detectar un sobre calentamiento abre el circuito de alimentación por lo cual el equipo se desenergiza hasta llegar a una temperatura menor y cierra el circuito sucesivamente hasta que el sobre calentamiento sea suprimido. Esto da protección al equipo y al usuario.

Este balastro opera lámparas tradicionales, ahorradoras (T-8, lámparas curvas en forma de "U"), presentando así un ahorro de energía.

Un esquema representativo de estos balastos es el siguiente. Fig. 3.1.



### III.2.2 BALASTROS HIBRIDOS.

Los balastros híbridos están contruidos con una parte electromagnética, (a base de devanados o bobinas ensambladas u arrolladas sobre laminaciones de acero), y una parte electrónica, que cuenta con un circuito electrónico suplementario que efectúa funciones específicas tales como ayudar al arranque de las lámparas, o bien efectuando desconexiones de los devanados de tensión de calentamiento de los cátodos en los sistemas de encendido rápido. Estos balastros son casi tan eficientes como los balastros electrónicos pero estos son de menor costo. Esta tecnología a vuelto a tomar vigencia ante el caracter económico.

En la primera generación de balastros surgen como ya se menciona: electromagnético, híbrido y electrónico.

Para la segunda generación se considera al balastro híbrido, mejor conocido como balastro electrónico de baja frecuencia.

Un balastro electrónico de baja frecuencia es aquel que opera las lámparas a la frecuencia de la red pero con una eficiencia cercana a la operación de alta frecuencia.

Los balastros electrónicos de baja frecuencia presentan por el lado de alimentación, es decir a la entrada una parte electromagnética similar a la convencional y una parte electrónica a la salida.

El bloque electrónico opera durante el encendido de la lámpara, una vez activada la lámpara este bloque se desconecta automáticamente. Para este tipo de balastos se muestra el siguiente esquema. Fig. 3.2 .

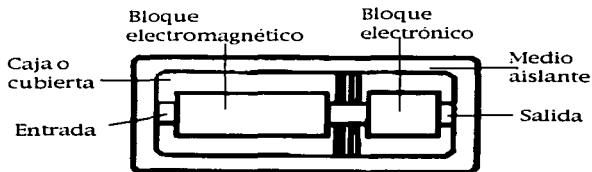
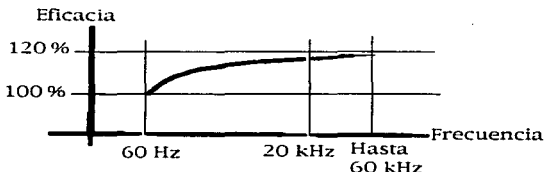


Fig. 3.2

### III.2.3 BALASTRO ELECTRONICO.

Los balastos electronicos normalmente estan termoprotectidos, en base a que no tienen devanados ni laminaciones, su consumo por perdidas es muy bajo (debido a que sus componentes son electrónicos y de bajo consumo). El diseño de este balastro se basa en el aumento de la eficiencia de la lámpara en función de la frecuencia. Las lámparas fluorescentes incrementan su flujo luminoso por cada watt aplicado hasta alcanzar un máximo según el tipo de lámpara entre 20 y 60 KHz. Se pueden esperar incrementos de hasta un 18 % en la producción luminica de una lámpara al operarla en alta frecuencia. Como se observa en la grafica. fig. 3.3 .



Eficacia vs frecuencia  
Fig. 3.3

Como a altas frecuencias de operación, las lámparas fluorescentes son más eficientes, los balastos suministran menores corrientes a las lámparas obteniendo menor o igual luz que la que se obtiene con un balastro convencional, dando por resultado un menor consumo total y una mayor eficacia.

Los balastos electrónicos, disminuyen el efecto de parpadeo (flicker) en las lámparas al ser operadas a altas frecuencias. Una representación de estos balastos es la que se observa en la fig. 3-4.

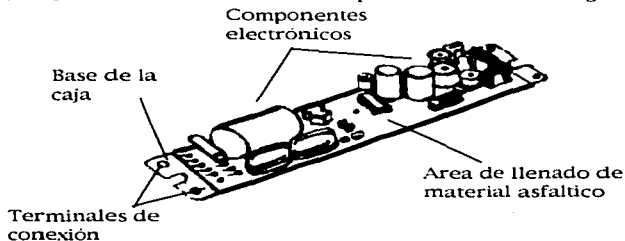


Fig. 3-4

Las componentes armonicas que liberan este tipo de balastos pueden ser muy altas:

20 % mayor para balastos electrónicos con lámparas fluorescentes compactas y menos del 10 % con lámparas T-12 y T-8.

#### PARAMETROS DE OPERACION DE LOS BALASTROS.

Los balastos para lámparas fluorescentes deben cumplir con ciertos parametros de operación tales como:

**Factor de balastro (FB).**- Es la capacidad que presenta un balastro para producir el flujo luminoso especificado por la lámpara.

$$FB = \frac{\text{balastro comercial (lm/w)}}{\text{balastro de laboratorio (lm/W)}}$$

Se considera como mínimo un valor aceptable de 92.5 %.

**Factor de eficiencia del balastro (BEF).**- Eficiencia que presenta un balastro al operar una lámpara.

$$\text{BEF} = \frac{\text{factor de balastro} \times 100}{\text{potencia de entrada (W)}}$$

A continuación se muestran los valores del factor de eficiencia del balastro para distintas lámparas, así como un determinado encendido, según la norma mexicana. NMX - J - 156 - 1994 - SCFI.

Balastro.	Tipo de encendido.	BEF.
2X34	Rápido	1.17
2X74 o 2X75	Instantáneo	0.57
2X40	Rápido	1.06
2X32	Rápido	1.25
2X39	Instantáneo	1.06
2X32	Rápido	1.23
2X60	Instantáneo	0.71 2

**Factor de potencia (FP).**- Describe que tan eficiente es la potencia suministrada al balastro, para convertirla en watts aprovechables por la lámpara.

El FP, es una medida relativa de la diferencia de fase entre la corriente y el voltaje.

$$\text{FP} = \frac{\text{potencia de entrada}}{\text{voltaje de línea} \times \text{corriente de línea}}$$

Los balastros se clasifican de acuerdo a su factor de potencia de la siguiente forma:

- balastros con alto factor de potencia, de 90 % o más.
- balastros con factor de potencia corregido, de 80 a 89 %.

c) balastos con factor de potencia normal (bajo), de 79 % o menos.

Por consiguiente es recomendable operar con un FP; de un 90 % o mayor, a la entrada del balastro.

**Factor de cresta.**- Es el valor pico de una onda senoidal dividida entre su valor RMS. Como se observa en la fig. 3.5.

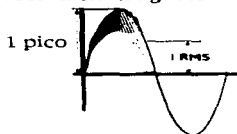


Fig. 3.5

$$\text{Factor de cresta} = \frac{1 \text{ pico}}{1 \text{ RMS}}$$

El factor de cresta que se considera, es de un valor de 1.41. El factor de cresta es uno de los criterios que se utiliza para estimar la vida de las lámparas. Los valores de cresta muy altos, acortan la vida de las lámparas, por lo tanto los valores cercanos al valor de 1.41, alargará la vida útil de las lámparas.

**Distorsión de armónicas (THD).**-Las corrientes con forma de onda no senoidal, que resultan de la saturación de elementos magnéticos producen la llamada distorsión armónica. Como se muestra en la fig. 3.6.



Fig. 3.6

Esto produce efectos perjudiciales para el sistema eléctrico, sobrecarga y calentamiento de conductores, produce una mala regulación y por tanto cortocircuitos.

Una señal de corriente distorsionada, está formada por la suma de una onda de corriente oscilando a 60 hertz, y por un número de componentes de menor magnitud y mayor frecuencia conocidos como armónicos, de 120 y 180 hertz.

**Sonido (dB).**-Es el zumbido que se asocia a las vibraciones de las laminillas del núcleo del transformador (balastro electromagnético).

A continuación se muestran los niveles de ruido que presentan los balastos como son:

electromagnético. ----- 31 dB.  
 ahorrador de energía (electromagnético).---32 dB.  
 electrónico.-----25 dB.

A continuación se muestra una tabla con la selección de balastro de acuerdo al nivel de ruido aceptable para diversas áreas.

Local	Promedio de ruido en dB.	Clasificación
residencias (1) bibliotecas (1) estaciones de radio y T.V.	de 20 a 24	A
bibliotecas (2) residencias (2) escuelas	de 25 a 30	B
edificios oficinas (1) almacenes (1)	de 31 a 36	C
tiendas (1) oficinas (2) salas de clase	de 37 a 42	D
tiendas (2) almacenes (2) industria ligera	de 43 a 49	E
industria pesada alumbrado publico parques (ferias)	de 49 en adelante	F



A continuación se muestra una tabla de opciones en la elección de balastos en función de un local.

Nivel de ruido ambiental	Primera elección	Segunda elección	Tercera elección
de 20 a 24 dB	A	B	C
de 25 a 30 dB	B	C	D
de 31 a 36 dB	C	D	
de 37 a 42 dB	D		

En la primera elección, el balastro satisface el nivel de ruido ambiental.

En la segunda elección, el balastro deberá montarse en el luminario y se considerarán las características resonantes del local .

En la tercera elección, el balastro se afianzará mediante un buen montaje, no debera de existir mucha resonancia del local.

**Temperatura de operación.-** Por cada 10 ° C menos en su temperatura de operación, se duplica la vida de un balastro electromagnético. Los balastos electrónicos operan 30 ° C por debajo de los balastos convencionales y 12 ° C más fríos que los ahorradores. La disminución de la temperatura, provee un ahorro en el sistema de aire acondicionado. A continuación se muestra una tabla con algunas temperaturas de operación:

Balastro electromagnético standar ----- 80 °C.  
 Balastro electromagnético ahorrador --- 62 °C.  
 Balastro electrónico ----- 50 ° C.  
 Temperatura ambiente ----- 25 ° C.

Cada 1 ° C, de aumento en la temperatura ambiental, causa un incremento de 0.9 ° C en la temperatura de la caja del balastro.

### III.4 BALASTROS PARA LAMPARAS DE H.I.D.

Por lo general, el balastro que más predomina en el mercado, para este tipo de lámparas es del tipo electromagnético.

A continuación se presenta una tabla con los balastos más utilizados para este tipo de lámparas.

APLICACION DE BALASTROS PARA DIFERENTES TIPOS DE LAMPARA	
TIPO DE LAMPARA	TIPO DE BALASTRO
VAPOR DE MERCURIO	TRANSFORMADOR DE POTENCIA CONSTANTE
VAPOR DE SODIO ALTA PRESION	AUTOTRANSFORMADOR AUTOREGULADOR EN ADELANTO
VAPOR DE SODIO BAJA PRESION	TRANSFORMADOR CON REACTOR SERIE
ADITIVOS METALICOS	AUTOTRANSFORMADOR AUTOREGULADOR CON PICO

#### CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS BALASTROS.

Al igual que las lámparas fluorescentes, todas las lámparas de HID deben ser operadas con ayuda de un balastro; este limita la corriente disponible para la lámpara y se encarga de entregar la tensión y la corriente necesarios para el arranque además corrige el FP; influye en la vida útil de la lámpara, en la cantidad de luz que la lámpara entrega, por lo tanto el balastro deberá proporcionar:

- Una corriente de arranque óptima.
- El voltaje necesario para producir el arco.
- Un voltaje que estabilice el arco y opere la lámpara.
- Un control de flujo de la corriente a través de la descarga del arco.
- Un FP. óptimo.

Un ejemplo de esto se observa en la tabla siguiente.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS BALASTROS.					
TIPO DE BALASTRO	Potencia de la lámpara (watts)	variación de potencia de la lámpara	variación de voltaje en la línea	Factor de potencia	Perdidas (watts)
TRANSFORMADOR DE POTENCIA CONSTANTE	100-400	3 %	13 %	0,9-0,95	12-45
AUTO TRANSFORMADOR AUTORREGULADO EN ADELANTO	100-1000	5 %	10 %	0,9	13-30
TRANSFORMADOR CON REACTOR SERIE	35-180	10 %	5 %	0,9	4-12
AUTO TRANSFORMADOR AUTORREGULADO CON PICO	175- 1000	10 %	10 %	0,9	36-70

**Corriente de arranque.**- La cual se aplica a la lámpara durante los primeros 30 seg. mas o menos del ciclo de calentamiento.

Esta corriente, estara en función de la lámpara a emplear (características del fabricante), si es mayor se acortará la vida de la lámpara, y si es menor, la lámpara no alcanzará su temperatura óptima.

Las lámparas de mercurio, requieren de una cantidad de corriente de arranque, similar a su corriente de operación; y su corriente máxima es de aproximadamente el doble. La corriente mínima que requieren las lámparas de halogenuros metálicos y las de sodio de alta presión es de cuando menos igual a la de operación, y la corriente máxima es casi 50 % mayor.

**Voltaje de arranque.**- Es el voltaje de circuito abierto proveniente del balastro, el cual proporciona suficiente ionización en el tubo del arco para establecer un flujo continuo entre los electrodos principales. Esto excita el arco y hace que la lámpara se caliente. Las lámparas de sodio de alta presión no tienen electrodo auxiliar, por ello requieren de un impulso de alto voltaje para arrancar. El impulso de arranque necesario para una lámpara de SAP de 400 watts o menos, es de 2500 volts; para una lámpara de 1000 watts se requieren 3000 volts o más (5000 volts). Esto es suficiente para ionizar los gases del tubo del arco y activarlo.

En el caso de lámparas con electrodo auxiliar, éste proporciona un impulso de alto voltaje y alta frecuencia cuando la onda de 60 Hz. se encuentra a la mitad de su ciclo. Tan pronto como se activa el arco desaparece éste impulso añadido a la frecuencia normal de la línea, pero debe ser capaz de operar por periodos prolongados como sucede cuando una lámpara comienza a fallar o a parpadear al final de su vida útil.

Las lámparas de mercurio y de halogenuros metálicos requieren de un voltaje más elevado cuando arrancan a bajas temperaturas. Esto se debe a que en tales casos existe menos mercurio vaporizado en el tubo para provocar la ionización. Por ejemplo, una lámpara de mercurio de 400 watts requiere 190 volts para arrancar a 10 ° C y 225 volts para arrancar a -29 ° C.

La mayoría de los balastos para lámparas de intemperie deben tener la capacidad para arrancar estas a -29 ° C; algunos balastos para lámparas de SAP, pueden operar a temperaturas todavía más bajas. Los balastos deben proporcionar el voltaje necesario para el arranque a estas bajas temperaturas a través de todos sus límites de voltaje de línea.

**Voltaje de operación.-** Cada lámpara está diseñada para operar a cierto voltaje nominal. Sin embargo, una lámpara nueva puede tener una amplia variación en su voltaje real de operación. Por lo tanto, el balastro debe acoplarse a esta variación para minimizar la variación de los watts de la lámpara.

En las lámparas de mercurio y en las de halogenuros metálicos, el voltaje de la lámpara original permanece más o menos constante a través de toda su vida. Esto significa que en estas fuentes de luz, los watts de la lámpara varían casi en la misma proporción que los volts de la lámpara, los cuales, a su vez, permanecen relativamente constantes.

Las lámparas de SAP, por el contrario tienen una dotación adicional de mercurio y de amalgama de sodio. De este modo cuando disminuye el brillo del tubo del arco lentamente se incrementa el balance térmico y la presión por lo que el voltaje de la lámpara se eleva. El voltaje se eleva a una tensión de 1 a 2 volts cada 1000 hrs., aproximadamente hasta llegar a 140 volts al final de una lámpara de 400 watts. El balastro por lo tanto, debe elevar también su voltaje

desde 84 ó 90 volts cuando la lámpara está nueva, hasta 140 volts al final de la vida de ésta.

Los nuevos balastos de estado sólido pueden satisfacer esta creciente demanda de voltaje, permitiendo mantener casi constante el wattaje de la lámpara, así como su nivel de luminosidad.

Algunas lámparas, especialmente las de mercurio, operan a cierto voltaje cuando se encuentran en posición vertical y a otro cuando se instalan en posición horizontal. Esto puede originar cambios en los watts de la lámpara.

**Flujo de corriente (Factor de cresta).**- Es la relación entre la corriente pico en la lámpara y la corriente RCM en la lámpara.

$$\text{Factor de cresta} = \frac{\text{corriente pico}}{\text{corriente RCM}}$$

Los balastos están diseñados para regular el flujo de la corriente a través del arco de la lámpara. El factor cresta proporciona la imagen de la forma que tiene la onda eléctrica. El factor de cresta es la razón del pico máximo al valor rcm (raíz media cuadrática o corriente eficaz) de la corriente. El factor de cresta es una función del balastro, no de la lámpara. El factor de cresta de una onda senoidal es de 1.41 .

El factor de cresta es importante en el diseño de balastos debido a su efecto sobre el mantenimiento de los lúmenes; esto es, la cantidad de luz que produce una lámpara durante toda su vida útil.

Los fabricantes de lámparas tienen establecidos factores de cresta máximos para los diversos tipos de fuentes de luz. Las lámparas de mercurio toleran un balastro con un factor de cresta de 2.0 o menor; las lámparas de halógenos metálicos y las de SAP deben tener balastos con un factor de cresta no mayores que 1.8. Estos criterios se establecieron con el fin de minimizar las variaciones del rendimiento nominal que podrían originar los factores de cresta de corriente más elevados.

Los factores de cresta de voltaje pueden ser mayores que 1.41, sin que esto afecte el mantenimiento de los lúmenes .

En ocasiones, incluso se requieren factores de cresta de voltaje más elevados para arrancar las lámparas, así como para lograr el voltaje eficaz necesario para mantener el arco al nivel más bajo posible. La instalación de balastos con altos picos de voltaje puede ayudar a disminuir costos.

**Factor de potencia.-** En la combinación lámpara-balastro, es conveniente tener un factor de potencia lo más elevado posible.

El factor de potencia para las lámparas de mercurio es bastante alto 91 % y para las lámparas de SAP, el factor de potencia es de 86 % aproximadamente. Cuando se trata de una fuente de SAP el uso de un balastro adecuado compensa el factor de potencia de la descarga del arco. La mayoría de las combinaciones lámpara-balastro SAP, tiene factores de potencia de 90 a 95 %.

#### CARACTERISTICAS DE OPERACION DE LOS BALASTROS.

Existe cierta información estandar, que los fabricantes proporcionan acerca de sus balastos. El diseñador deberá tener conocimiento general de los factores que intervienen en el funcionamiento, antes de elegir un tipo de balastro.

**Voltaje de línea.-** Siempre es necesario saber si existen restricciones en el voltaje de línea de la instalación en la que se va a operar un balastro. El balastro sólo debe conectarse a circuitos con el voltaje y la frecuencia para la que fueron diseñados; de lo contrario, la lámpara operará con valores diferentes de los nominales debido al cambio en los volts de la lámpara, además, esto podría dañar al balastro.

**Límites de voltaje de entrada.-** En la mayoría de los sistemas de distribución de electricidad se regula el voltaje nominal de la línea de manera que no varíe +/- 5 %. Algunos sistemas sin embargo, pueden tener variaciones hasta de +/- 10 %. Algunos balastos no toleran cambios de +/- 5 %; en cambio otros no se ven afectados por variaciones de +/- 13 %. La elección de balastos se debe de hacer de acuerdo con las variaciones de voltaje de línea esperados en el sistema donde se van a instalar. Si éste voltaje cae por debajo de los límites tolerados por el balastro, las lámparas no podrán arrancar o si lo hacen no se estabilizarán. También puede ocurrir que las lámparas lleguen a calentarse, pero a un wataje reducido.

**Factor de potencia.-** Los balastos con un factor de potencia elevado hacen un uso más eficiente de los sistemas de distribución de electricidad que los balastos con un factor de potencia normal o bajo. El factor de potencia, es la razón de los watts de línea a los volts-amperes de la línea, como se indica en la ecuación:

$$\% \text{ FP} = \frac{\text{watts de línea}}{(\text{volts} \times \text{corriente}) \text{ de línea}} \times 100$$

De acuerdo con las normas del ANSI, un balastro se puede clasificar como "de alto factor de potencia", si tiene un factor de potencia de más 90 %. La mayoría de los balastos normales y de factor de potencia bajo tienen un FP de 50 % aproximadamente.

Un FP menor significa más corriente de línea por balastro, esto es, alambres conductores más gruesos, interruptores más grandes y un transformador de distribución mayor que el que se requiere para un consumo equivalente.

Un balastro con factor de potencia normal, requiere casi el doble de corriente de línea que un balastro con factor de potencia elevado. El bajo costo inicial de los balastos con un FP bajo, puede redundar en un costo mayor de los sistemas de distribución.

**Corriente de arranque.-** Es necesario conocer la relación, que existe entre la corriente de arranque y la corriente de operación, para determinar si los fusibles y los interruptores de control pueden soportar un incremento en el flujo de la corriente.

**Caída de voltaje de entrada (4 seg.).-** La caída del voltaje de entrada es la caída del voltaje de línea que tiene que tolerar el balastro hasta que se extingue la lámpara. El punto en el cual la lámpara se extingue se conoce como voltaje de extinción, y el ANSI lo define como "el valor más alto del voltaje de suministro que causa la extinción de la lámpara ya que dicho voltaje se reduce continuamente a una razón de 2 a 3 % por segundo del valor nominal hasta el punto en que la lámpara se extingue". Todos los sistemas de distribución están sujetos a caídas de voltaje debido a sobrecarga y a otros factores, estas caídas generalmente son del 10 % , aunque en algunos circuitos pueden llegar al 20 ó 30 %.

La mayoría de las caídas duran de 16 a 30 ciclos, y pueden ser causadas por fuertes demandas de corriente de corta duración, tales como las de los equipos de soldadura eléctrica. Las caídas breves pueden deberse a parpadeos y en ocasiones llegan incluso a apagar totalmente a las lámparas.

El balastro debe ser capaz de eliminar las caídas de voltaje esperadas en la línea de suministro, y evitar la extinción de la lámpara. Como la mayoría de los balastros operan a 60 ciclos/seg., una caída de + seg. equivale a una caída de 2-40 ciclos.

**Pérdidas del balastro.**- Las pérdidas o la eficiencia de un balastro se determina por medio de la siguiente fórmula.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{watts de salida}}{(\text{w}) \text{ de entrada}} = \frac{\text{watts de la lámpara}}{(\text{w}) \text{ de lámpara} + \text{pérdidas del balastro}}$$

Un balastro que tiene una eficiencia del 90 % proporciona el 90 % de la potencia a la lámpara y pierde sólo el 10 % por calentamiento. Las pérdidas del balastro se miden en laboratorio a fin de obtener datos verificables. Cuando los balastros se encuentran en alojamientos herméticos, las pérdidas por dispersión se incrementan en 2 o 3 %, aproximadamente. Los watts que se pierden en el balastro incrementan el número total de watts consumidos.

**Factor de cresta** de la corriente de la lámpara.- Como ya se dijo anteriormente el factor de cresta de una onda senoidal es de 1.41. Las lámparas de mercurio deben tener un balastro con un factor de cresta de 2 o menor. Los balastros para las lámparas de halógenos metálicos y las que se utilizan con lámparas de SAP deben tener un factor de cresta no mayor de 1.8.

**Flujo luminoso del conjunto lámpara-balastro.**- Es el flujo que se produce en la lámpara al emplear un balastro específico. Este puede ser diferente al flujo que se obtiene al emplear un balastro patrón.

**Factor de balastro.**- Es la relación expresada en porcentaje, entre la salida de la lámpara, al emplear un balastro específico con respecto a la salida, al emplear un balastro patrón.



**Método de potencia :**

$$FB = \frac{\text{potencia de la lámpara con balastro específico}}{\text{potencia de la lámpara con balastro patrón}} \times 100$$

**Método de luz :**

$$FB = \frac{\text{flujo luminoso con balastro específico}}{\text{flujo luminoso con balastro patrón}} \times 100$$

En nuestro país se ha establecido un factor de balastro mínimo de 92.5 %.

**Factor de eficiencia del balastro.-** Es una medida de la eficiencia energética del balastro, se calcula:

$$BEF = \frac{\text{factor de balastro}}{\text{potencia de línea}}$$

Conforme mayor sea éste número, mayor eficiencia tendrá el balastro. Con éste valor se deben comparar exclusivamente balastros para lámparas de potencia similares.

**Para determinar que un balastro ahorra energía debiera cumplir:**

Con un F.B. superior o igual a 92.5 %.

Que su BEF. sea tan alto como sea posible.

Tener perdidas tan bajas como sea posible.

Su FP. debiera ser mayor o igual a 90%.

El factor de cresta lo más cercano a 1.41

Cumplir con el criterio de regulación del trapecoide.

## CAPITULO IV

### SISTEMAS Y EQUIPOS DE ILUMINACION

#### IV.1 ALUMBRADO GENERAL Y LOCALIZADO.

En el alumbrado de interiores existen básicamente dos clasificaciones, relacionadas con la distribución de la luz necesaria sobre el área de trabajo a iluminar. Estas clasificaciones son el alumbrado general y el alumbrado localizado.

##### ALUMBRADO GENERAL.

Se denomina alumbrado general, al que proporciona una distribución uniforme de la luz en todos los lugares de un interior produciendo idénticas condiciones de visión. El alumbrado general presenta la ventaja de que la iluminación es independiente de los puestos de trabajo, por lo que estos pueden ser dispuestos o combinados en la forma que se desee, tiene el inconveniente de que la iluminación proporcionada, debe corresponder a las zonas que por su trabajo requieren niveles más altos de iluminación. El alumbrado general es empleado en oficinas generales, aulas de escuelas y fábricas.

##### ALUMBRADO LOCALIZADO.

Consiste en colocar un alumbrado directo para disponer de elevados niveles medios de iluminación en puestos específicos de trabajo que así lo requieran. Para eliminar en todo lo posible las molestias de continuas y fuertes adaptaciones visuales que lleva consigo este sistema de alumbrado, debe de procurarse que la relación de brillo entre zonas de trabajo y el ambiente general no sea excesivo. Para lograr estas dos clasificaciones, contamos con los siguientes sistemas de iluminación.

#### IV.2 SISTEMAS DE ILUMINACION.

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

Si la mayor parte del flujo luminoso se envía hacia abajo se produce una iluminación directa; por el contrario, si la mayor parte del flujo luminoso se envía hacia el techo para que llegue a la superficie iluminada después de proyectarse en el mismo y en las paredes, tenemos la iluminación indirecta. Los demás sistemas de iluminación pueden considerarse como formas intermedias en las cuales, la luz emitida se envía tanto hacia arriba como hacia abajo.

#### ILUMINACION DIRECTA.

Entre el 90 y el 100 % del flujo luminoso se dirige hacia abajo de la horizontal, (considerando que la horizontal es la fuente de luz), hacia el área de trabajo u área a iluminar. Sin embargo, esta eficacia se consigue a expensas de factores de calidad tales como sombras y deslumbramientos. El resultado de iluminar con luz dirigida intensa desde un punto determinado dá como resultado sombras demasiado fuertes: en éste caso se produce además de las sombras una penumbra alrededor del área de trabajo, así como una penumbra en el techo (esto es en el caso de luminarios colgantes y gran distancia de separación entre ellos; aplicado básicamente en la industria). En las figuras 4.1 se ha representado esquemáticamente una iluminación directa cuyos aparatos de alumbrado van provistos de lámparas fluorescentes.

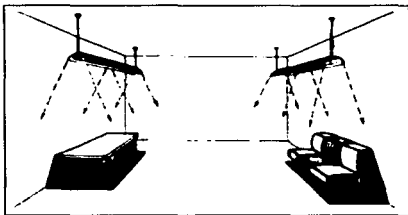


Fig. 4.1

#### ILUMINACION SEMIDIRECTA.

Entre el 60 y el 90 % del flujo luminoso se dirige hacia abajo, esto es por debajo de la horizontal. En esencia, el nivel de iluminación

eficaz que éste sistema proporciona en el plano de rabajo normal es resultado de la luz que viene directamente de la luminaria; la cantidad restante que es enviada al techo, también proporciona cierta iluminación gracias a la reflexión del techo, con esto se disminuye el deslumbramiento directo (que incapacita), y las sombras son suaves y los objetos poseen un menor efecto de relieve. En las figuras 4.2. se ha representado esquemáticamente una iluminación semidirecta, cuyos aparatos de alumbrado van provistos de lámparas fluorescentes.

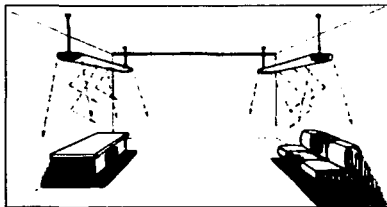


Fig. 4.2

#### ILUMINACION DIRECTA-INDIRECTA.

Del 40 al 60 % del total de flujo luminoso se dirige hacia abajo, esto es por debajo de la horizontal. La mayor parte de la iluminación existente en el plano de trabajo es resultado de la luz que se produce directamente de la luminaria; pero una misma porción de este flujo luminoso es dirigido hacia el techo y a las paredes laterales, reflejándose siempre y cuando éstas sean de un color claro. Con este sistema de iluminación se consigue por completo la eliminación de sombras y, al hacer más extensa la superficie luminosa, se reduce aun mas el peligro de deslumbramiento. El efecto que se consigue es agradable, aunque un tanto monotonó a la vista del observador, por estar todo el espacio iluminado y no existir zonas oscuras, como en los casos anteriores. Sin embargo este sistema no resulta apropiado en algunos casos ya que existen inconvenientes que pueden ser decisivos, al no-existir sombras en los objetos, éstos aparecen planos y no dan sensación plástica de relieve. En las figuras 4.3, se ha representado esquemáticamente una iluminación directa-indirecta, cuyos aparatos de alumbrado van provistos de lámparas fluorescentes.

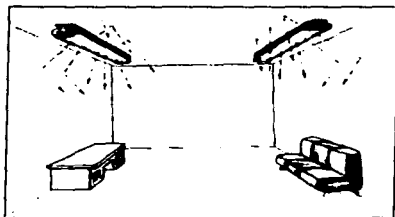


Fig. -4.3

### ILUMINACION SEMIINDIRECTA.

Del 60 al90 % de la intensidad del flujo luminoso se dirige hacia el techo, por arriba de la horizontal, mientras que el flujo que resta, se dirige hacia abajo. El rendimiento luminoso es bajo porque en las sucesivas reflexiones que sufre la luz antes de llegar a la superficie que se trata de iluminar, parte del flujo luminoso es absorbido por el techo y paredes. Para conseguir resultados efectivos, las paredes y el techo han de estar pintadas con sustancias de elevado poder de reflexión es decir, con pinturas de colores claros o mate.

Con esto se consigue una buena iluminación de calidad, casi totalmente exenta de deslumbramientos y con sombras suaves, muy agradable a la vista del observador.

En las figuras 4.4, se ha representado esquemáticamente, una iluminación semiindirecta, con aparatos de alumbrado provistos de lámparas fluorescentes.

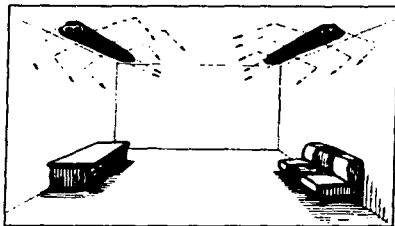


Fig. 4.4

### ILUMINACION INDIRECTA.

El 90 % de la intensidad del flujo luminoso del luminario, se dirige hacia el techo, esto es por arriba 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; ya que el techo se considera como la fuente de luz. La iluminación producida es bastante difusa.

Aunque la iluminación indirecta no es tan eficiente como algunos de los casos anteriores, esto es en terminos puramente cuantitativos; su distribución uniforme, ausencia de sombras y de brillo reflejado lo hacen frecuentemente el más recomendable para oficinas, escuelas y otras aplicaciones similares.

Por ultimo, podemos mencionar que es la forma más noble y mas artistica de iluminación artificial, y es al mismo tiempo, la más semejante a la luz natural.

En las figuras 4.5, se ha representado esquemáticamente, una iluminación indirecta, con aparatos de alumbrado provistos con lámparas fluorescentes.

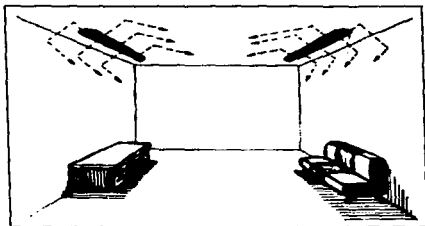


Fig. 4.5

### IV.3 LUMINARIOS

Un luminario para alumbrado, es un dispositivo que distribuye, filtra y controla la luz emitida por una o varias lámparas, y en el cual se incluyen accesorios para fijar, proteger y operar éstas lámparas, así como para conectarlas al circuito de operación eléctrica. Un luminario debe tener las siguientes propiedades:

- a) Distribuir el flujo luminoso emitido por la lámpara, a fin de obtener los resultados requeridos.
- b) Controlar el flujo luminoso a fin de evitar cualquier molestia visual a los usuarios.
- c) Proteger las lámparas y los sistemas ópticos y eléctricos contra la acción de las inclemencias del tiempo, también de agentes corrosivos y contaminantes en la atmósfera que puedan afectar su eficiencia.

Un luminario debe constituir una unidad homogénea con la lámpara o lámparas, integradas para cumplir sus funciones. Sólo se deberán usar las lámparas de tipo y características que indique el fabricante del luminario.

## CARACTERISTICAS DE LOS LUMINARIOS.

La misión de los luminarios es modificar la distribución luminosa de las lámparas desnudas, según las características deseadas de iluminación, además de ocultar los manantiales luminosos de la visión directa del observador con el objeto de evitar el deslumbramiento.

Podemos describir una clasificación de los luminarios según sea el sistema de iluminación resultante. Por lo tanto, éstos se denominarán directos, semidirectos, directo-indirecto, semiindirectos e indirectos; como ya se ha mencionado anteriormente según el sistema de iluminación conseguido por cada uno de ellos. Cabe mencionar que para conseguir una determinada distribución luminosa, hemos de recurrir a diversas propiedades de la luz como son: reflexión, refracción y difusión. A continuación describiremos los componentes de los luminarios.

### LAMPARAS.

Un luminario está equipado con una o varias lámparas de ciertas características, compatibles con el mismo. Si se utiliza un luminario con varias lámparas, el sistema óptico deberá estar diseñado de forma tal que asegure la distribución de la luz para que ésta sea aceptable, independientemente del número de lámparas que estén trabajando.

### DIFUSORES.

Los difusores actúan sobre la distribución luminosa de la lámpara, su misión es sobre todo, difundir la luz para disminuir los efectos de deslumbramiento. Recordemos que el efecto deslumbramiento aumenta con el brillo del manantial. Así el difusor sustituye el manantial luminoso primario, constituido por la lámpara que tiene poca superficie radiante y por lo tanto, elevado brillo, por un manantial luminoso secundario, constituido por el mismo difusor de gran superficie radiante y consiguientemente de mucho menor brillo que la lámpara. Por lo tanto, con el difusor se reduce considerablemente los efectos nocivos del deslumbramiento.

### REFLECTORES.

Los reflectores son elementos con la forma y cualidades ópticas adecuadas para dirigir el haz luminoso producido por la lámpara al



área por iluminar. Para su funcionamiento utiliza los fenómenos de la reflexión y puede ser fabricado en cristal liso o prismático, aluminio mate o brillante, también puede ser de lámina de acero pintada en color brillante. Pero sin importar el tipo de material el reflector debe tener un tratamiento contra la corrosión que garantice la óptima eficiencia en el mayor tiempo posible, bajo cualquier condición de ambiente u operación.

Existen muchas clases de reflectores, hasta el punto de que resulta muy difícil dar noticia de todos los tipos existentes en el mercado; por esta razón solamente citaremos a dos tipos principales, como son:

#### REFLECTORES DE SUPERFICIE DIFUSA.

Los reflectores de superficie difusa, están constituidos generalmente, de una plancha de acero esmaltada, ya que el esmalte vitrificado o blanco tiene un factor de reflexión del orden de 93 %. De éstos reflectores esmaltados, su principal característica es disminuir en todo o en parte el deslumbramiento que se produciría con las lámparas desnudas; por esta razón, muchas veces no se les considera reflectores propiamente dichos, y reciben el nombre genérico de armaduras.

#### REFLECTORES OPTICOS ESPECULARES.

Estos reflejan la luz de manera regular; estaban anteriormente constituidos de cristal plateado, después de aluminio pulido y en la actualidad sobre todo de aluminio anodizado y posteriormente abrigantado, esto gracias a procedimientos electroquímicos. Estos materiales tienen un coeficiente de reflexión que alcanza el 84 % de su totalidad. Una de las características de estos reflectores ópticos, es que en la práctica sólo son manantiales concentradores del haz luminoso, produciendo un alto nivel de brillo el cual es molesto al observador.

#### REFRACTORES.

Los refractores están basados en las leyes de la reflexión. En este caso, la lámpara puede estar completamente encerrada en un globo de cristal prismático claro, ya que ahora no es necesario prever una abertura por la que salga el flujo luminoso, como sucedía en el caso de los reflectores. Por lo tanto, aquí es posible trabajar sobre la totalidad del flujo luminoso. Un refractor, está constituido esencialmente por un

aparato de cristal o vidrio compuesto de prismas, destinados a orientar los rayos luminosos.

Las funciones del vidrio utilizado para los refractores en iluminación es la siguiente:

- Control de luz., protección de la lámpara, seguridad y decoración.

#### GABINETE O CARACAZA.

El gabinete o carcaza, proporciona protección contra la intemperie a la lámpara, balastro y demás partes de la unidad. Estos deben tener resistencia a impactos mecánicos, rigidez, así como resistencia a la corrosión y no deben ser deformados por elementos extraños o por vibraciones.

Su forma, dimensiones y el material de fabricación deben corresponder al tipo de luminario y potencia de la lámpara, así como a la zona de instalación, su diseño debe facilitar el mantenimiento y remplazo de la lámpara y además debe ser un cuerpo estético. En particular, estos elementos deberán:

- Permitir el remplazo y el ajuste de las lámparas en forma sencilla.
- Asegurar la protección de la lámpara y de las partes eléctricas.
- Tener una excelente resistencia a la corrosión.

#### CUALIDADES DE LOS LUMINARIOS ABIERTOS Y CERRADOS.

Los luminarios tipo abierto son muy fáciles de usar y de mantener debido a que se tiene un acceso directo a las lámparas y a los elementos principales de la unidad. En este tipo de luminarios se debe evitar la absorción parcial del flujo luminoso por la cubierta. Sin embargo bajo ciertas condiciones atmosféricas, el sistema óptico y la lámpara rápidamente decrecen en su eficiencia.

Los luminarios de tipo cerrado protegen a los componentes, de acuerdo a la calidad del sello que tengan los luminarios, si la hermeticidad es defectuosa, el polvo se acumulará en las cubiertas disminuyendo así la cantidad de flujo luminoso. Algunos luminarios están equipados con un filtro que evita el paso de polvos e insectos, al mismo tiempo que mantiene una presión interna igual a la externa.

Las diferentes partes de las unidades de alumbrado deberán resistir a las temperaturas correspondientes al uso normal. El calor producido por la lámpara y por el balastro, no deberá alcanzar niveles peligrosos, especialmente para el alumbrado interior y los aislamientos; y no deberán calentar excesivamente las partes metálicas de la unidad. Las unidades de iluminación generalmente se fabrican para una temperatura ambiente de 25 ° C. Todos los materiales empleados no deberán ser sometidos a temperaturas mayores que las indicadas como aceptables en las pruebas realizadas sobre los mismos.

A fin de hacer una selección adecuada de los luminarios, no se debe olvidar la selección desde el punto de vista estético.

El aspecto diurno de las instalaciones de alumbrado, deben ser examinadas con un especial cuidado; las unidades se deben escoger para armonizar con las características arquitectónicas del lugar a iluminar. En la mayoría de los casos, los luminarios existentes en el mercado permiten satisfacer esta condición.

#### **CARACTERISTICAS PARA LA SELECCION DE UN LUMINARIO.**

Las características que determinan la selección de un luminario son numerosos, y a continuación se describen:

##### **A nivel técnico.**

- Necesidad de usar un luminario cerrado o abierto.

##### **Desde el punto de vista óptico.**

- Tipo y potencia de la lámpara.
- Distribución del flujo luminoso para el mejor uso.

##### **Desde el punto de vista eléctrico y térmico.**

- Calidad y seguridad en los contactos.
- Protección contra sobrecalentamiento.
- Calidad de los materiales aislantes y los aditamentos eléctricos.

##### **Desde el punto de vista mecánico.**

- Dimensiones del luminario.
- Calidad y tipo de materiales usados.
- Simplicidad y seguridad de ajuste en los aditamentos de montaje.
- Protección de la lámpara y sus accesorios.

**A nivel estético.**

- Armonía con el ambiente.
- Balance y simplicidad.

#### **IV.4 CLASIFICACION DE LUMINARIOS.**

Los luminarios en general se pueden clasificarse de dos formas, por su uso y por el tipo de lámpara que utilizan.

**POR SU USO:** Estos luminarios se pueden clasificar de acuerdo a lo siguiente:

- a) Comerciales.
- b) Industriales.
- c) Alumbrado público.
- d) Exteriores.
- e) Decorativos.

##### **a) LUMINARIOS COMERCIALES.**

Debido a que normalmente los luminarios del tipo comercial, son instalados en interiores como: aulas escolares, oficinas, tiendas y salas de exposición; estos luminarios deben proporcionar las siguientes características: Buena difusión de luz, Baja brillantez, Alta eficiencia, Ocultamiento de las lámparas, Facilidad de montaje y limpieza.

Para este tipo de luminarios, es recomendable utilizar los siguientes tipos de lámparas : Fluorescentes, Vapor de mercurio, Vapor de sodio alta presión, y Halógenos metálicos.

##### **b) LUMINARIOS INDUSTRIALES.**

Este tipo de luminarios trabaja normalmente en naves industriales con alturas de montaje altas, por lo que se requiere que estos luminarios sean capaces de alojar lámparas de alta emisión luminosa y reflectores especiales. Algunos luminarios del tipo industrial trabajan en lugares donde se tienen atmósferas explosivas, vapores o líquidos corrosivos, por lo que su construcción debe ser hermética contra los elementos externos perjudiciales para que ofrezcan seguridad. En términos generales estos luminarios deben proporcionar las siguientes cualidades:

Buena difusión de luz, Alta eficiencia, Resistencia mecánica, Construcción de un material adecuado a su función y Facilidad de mantenimiento.

Para éstos luminarios es recomendable que utilicen lámparas de Vapor de mercurio, Vapor de sodio alta presión y también pueden llegar a utilizar lámparas Fluorescentes.

#### c) LUMINARIOS PARA ALUMBRADO PUBLICO.

Estos luminarios están diseñados para difundir el flujo luminoso de la lámpara o lámparas en una sola dirección específica deseada, además de utilizarse para iluminar avenidas, autopistas, cruces de vías de comunicación.

En áreas para peatones como: estacionamientos, jardines, parques de diversiones o zonas residenciales; se utilizan luminarios tipo punta de poste, estos luminarios encuentran su aplicación a grandes alturas de montaje del orden de 3 a 4 metros. Estos luminarios deben tener las siguientes características: Iluminación uniforme, Baja brillantez, Construcción sólida, Facilidad de instalación, Mantenimiento y Diseñados para trabajar a la intemperie.

Estos luminarios operan con lámparas de Sodio baja y alta presión, así como lámparas de Vapor de mercurio.

#### d) LUMINARIOS PARA EXTERIORES.

Estos luminarios se utilizan básicamente para iluminar fachadas, monumentos, campos deportivos, terrazas, estacionamientos. Estos luminarios deben proporcionar las siguientes cualidades: Iluminación uniforme, Alta eficiencia, Facilidad de montaje e inspección periódica y diseñados para trabajar a la intemperie.

Las lámparas utilizadas en estos luminarios pueden ser del tipo incandescente, así como la utilización de las de vapor de sodio baja y alta presión y vapor de mercurio.

#### **e) LUMINARIOS DECORATIVOS.**

Este tipo de luminarios deben de ayudar a crear un ambiente agradable al integrarse al conjunto arquitectónico y decorativo del interior a iluminar; por otra parte se recomienda que al estar encendidos o apagados, estos luminarios, deben crear la misma apariencia decorativa. Estos presentan éstas características que se listan: Iluminación uniforme, Apariencia agradable, Construcción de acuerdo a las necesidades y Fáciles de limpiar.

Dentro de estos luminarios es aconsejable utilizar las lámparas de descarga tales como las de Sodio baja presión y Halogenuros metálicos.

#### **POR EL TIPO DE LAMPARA QUE UTILIZAN.**

Es difícil establecer una clasificación de los luminarios con respecto al tipo de lámpara que utilizan ya que excepto en el caso de los luminarios para lámparas fluorescentes por lo general, un mismo luminario sirve para distintos lámparas. No obstante, desde este punto de vista se pueden agrupar en :

- Luminarios para lámparas incandescentes.
- Luminarios para lámparas fluorescentes.
- Luminarios para lámparas de vapor de mercurio y halogenuros metálicos.
- Luminarios para lámparas de vapor de sodio.

Los luminarios para las lámparas de HID, tienen que alojar en su interior tanto a las lámparas para su buen funcionamiento, así como los balastos.

#### **IV.5 SELECCION DE EQUIPO.**

Para la selección de equipo, hay que considerar el conjunto de lámpara- balastro, gabinete o carcaza (accesorios mecánicos, eléctricos y ópticos ). A parte de estas consideraciones de equipo, se deben tomar en cuenta los factores que influyen en el consumo de energía.

#### **CONSIDERANDO LAMPARAS.**

Existen diferentes tipos de lámparas, las cuales pueden ser utilizadas en alumbrado, con base a sus características de iluminación.

Cada una de ellas presenta diferentes ventajas y desventajas de acuerdo al área a iluminar así como su utilización en un tiempo determinado.

- **Lámpara incandescente.** Se utilizan principalmente en sistemas de alumbrado decorativo como: jardineras, monumentos y algunos tipos de fachadas de edificios; su vida útil es muy corta y se considera un costo de operación y mantenimiento barato.
- **Lámparas fluorescentes.** Se aplican generalmente en el alumbrado interior; con respecto al alumbrado público se ve limitado su uso por el corto alcance de su haz luminoso, sin embargo se utiliza en alumbrado provicional, locales descubiertos de parques y jardines o construcciones afines, para fines comerciales o recreativos.
- **Lámparas de vapor de mercurio.** Debido a que estas son más eficiente y tiene una vida mayor que la incandescente, en la actualidad se utiliza en los sistemas de alumbrado público donde se requiere un mayor rendimiento de color y también es requerida en la iluminación industrial. Con la aparición de lámparas de vapor de sodio, el uso de alumbrado en calles y avenidas se va reduciendo considerablemente, sin embargo por las características del color que emite la lámpara de vapor de mercurio, se sigue utilizando en áreas comerciales y de estacionamientos.
- **Lámparas de vapor de sodio baja presión.** Esta lámpara es más eficiente, su vida útil es bastante aceptable, presenta la desventaja de distorcionar los colores de los objetos iluminados; debido a sus características se recomienda para alumbrado de zonas donde frecuentemente se presentan nieblas densas.
- **Lámparas vapor de sodio alta presión.** Actualmente, se utiliza en la mayoría de los sistemas de alumbrado público por eficiencia y vida útil aceptables, así por su costo moderado y baja depreciación.
- **Lámparas de halogenuros metálicos.** Hoy en día, su uso se empieza a expandir debido a que proporciona alta eficiencia y características de color; (su costo de producción en la actualidad es todavía elevado, por lo cual en un futuro cercano se podrá abatir dicho costo).

Por lo tanto, en la selección de una lámpara es necesario considerar lo siguiente:

- Potencia en watts de la lámpara, lúmenes iniciales, lúmenes por watt, vida promedio (hrs.), índice de rendimiento de color y costo.

La tabla siguiente muestra una comparación de las características principales de algunos tipos de lámparas más comunes existentes en el mercado.

CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE LAMPARAS.							
Tipo de lámpara	Potencia (watts)	Eficiencia (lm / w)	Eficiencia Relativa (%)	Lúmenes iniciales	Depreciación (%)	Vida aproximada en horas (días)**	Costo relativo (%)*
INC	25-500	10.2-17.2	27-28.5	255-8600	90-90.5	750-1000 (6.3) (8.3)	14
LM	160-500	19-20	49-51	3100-1400	N.R.	6000 (500)	115-130
FLUO	20-75	6.3-8.4	149-170	1260-6300	79	9000-12000 (750) (1000)	26-37
VM	100-400	37-56.2	100-100	3700-22500	46-54	24000 (2000)	100-100
VSAP	70-400	8.3-12.5	220-250	5800-50000	72	24000 (2000)	155-210
VSBP	35-180	1.37-18.4	325-370	4800-43000	N.R.	18000 (1500)	330-490
ADMET	175-1000	80-110	200-175	14000-110000	48-71	10000-20000 (8.3.3) (1670)	177-190

INC..... incandescentes.  
 LM..... Luz mixta.  
 FLUO..... Fluorescente.  
 VM..... Vapor de mercurio.  
 VSAP..... Vapor de sodio alta presión.  
 VSBP..... Vapor de sodio baja presión.  
 ADMET..... Aditivos metálicos.  
 NR..... No reportado por el fabricante.

NOTAS : \* Con el objeto de hacer más ilustrativa esta tabla, se tomó como base las lámparas de vapor de mercurio

\*\* Este dato se basa en servicio continuo. Para la conversión de horas a días se utilizó el valor promedio de operación diaria de 12 horas.



## EN FUNSION DEL BALASTRO.

El balastro influye en la vida útil de la lámpara, en la cantidad de luz que la lámpara entrega, y garantiza la calidad del consumo de energía.

En la actualidad existen diferentes tipos de balastros, los cuales se mencionaron anteriormente: electromagnético, híbrido y electrónico. Siendo el más utilizado el primero, en sus diversas modalidades, (arreglos internos, es decir eléctricos, así como su costo, el cual es accesible para diversos usos y aplicaciones).

Todos los balastros presentan una resistencia interna la cual produce pérdidas de energía, las cuales conjuntamente con las pérdidas de los cables de los sistemas son del 15 al 25 % de la potencia de la lámpara. Cabe mencionar que cada tipo de lámpara funciona mejor con determinado tipo de balastro, y en algunos casos solo con un balastro determinado.

## CONSIDERANDO EL GABINETE.

El gabinete puede ser de una pieza o composición de varios elementos que pueden ser desensamblados, y puede constituir parcial o totalmente el conjunto óptico.

Su forma, dimensión y componentes, así como su construcción deberán corresponder al tipo y potencia de la lámpara a utilizar, a las especificaciones estéticas y deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Permitir el remplazo y el ajuste de las lámparas de forma sencilla y efectiva (mantenimiento).
- Asegurar la protección de las lámparas y de las partes eléctricas.
- Tener una excelente resistencia a la corrosión.
- El cuerpo deberá tener una resistencia a los impactos mecánicos, una alta rigidez y no deberá ser deformado por elementos extraños o por vibraciones.

## FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE ENERGIA.

**Eficiencia.-** La eficiencia de un sistema de alumbrado significa básicamente, una mejor iluminación con el menor consumo de energía eléctrica.

**Pérdidas.-** El principal factor que influye en la eficiencia de un sistema eléctrico es la presencia de pérdidas internas de la energía presentadas por los equipos, así como en el cableado.

**Depreciación.-** Es un efecto que se presenta en el luminario por la acumulación de polvo y partículas extrañas en un periodo determinado, lo cual provoca una pérdida luminica de la lámpara así, como un deterioro del equipo en general.

**Temperatura de operación.-** El exceder los valores dados por los fabricantes en la temperatura de operación de los equipos, se ve reflejado un incremento de perdidas de los mismos, así como una reducción de su vida útil con lo cual es necesario mantener la temperatura del balastro a la mencionada por el fabricante proporcionando una ventilación apropiada.

#### **IV.6 NIVELES DE ILUMINACION.**

Hasta hace algunos años, la mayoría de los diseñadores de sistema de iluminación recomendaban niveles de luminosidad cada vez más altos. Las fuentes de luz no eran tan eficientes como lo son en la actualidad; por lo mismo, se requerían de niveles mayores de iluminación para que cualquier individuo trabaje en forma más cómoda y eficiente.

Hoy en día, en cambio se encuentran disponibles fuentes de luz muy eficientes; además que cada vez es más aceptable la necesidad de ahorrar energía con el uso eficiente de las fuentes de luz. Mucho antes de que llegaran los niveles actuales de iluminación, el costo de la electricidad era demasiado elevado. Por esta razón los diseñadores de los sistemas de iluminación ya habían empezado a preguntarse cuanta luz se requería realmente.

Los expertos en iluminación no consideran únicamente, el tamaño del área que se va a iluminar, también el tipo de actividad que se desempeñará ahí.

En caso de que se vayan a realizar más de una actividad en el lugar, entonces el espacio tendrá que ser dividido en secciones más pequeñas, lo cual facilitará el diseño del sistema de iluminación.

Los niveles de iluminación recomendados para cualquier actividad, por la IES ( Sociedad de Ingenieros Eléctricos).

En todos los casos se recomienda tener constantes los niveles de iluminación. El flujo luminoso de la mayoría de las fuentes de luz disminuye con el paso del tiempo, no sólo por depreciación de los lúmenes de la lámpara (DLL), sino también a otros factores, tales como la acumulación de polvo en la superficie de los luminarios o de los mismos interiores de cualquier área. Por lo tanto, cuando se diseña un sistema de iluminación, se tienen en cuenta estos factores por lo que se aplica un nivel de iluminación inicial ligeramente mayor, a fin de tener durante mucho tiempo los niveles mínimos recomendados.

Para aquellas actividades que se caracterizan por la minuciosidad que requieren bajo prolongados periodos de atención visual, son las que requieren los niveles más altos de iluminación. Las actividades menos difíciles desde el punto de vista visual son las que requieren niveles de iluminación más bajos, los niveles de iluminación recomendados son ideales para cada actividad; esto significa que las instalaciones pueden tener niveles ligeramente más altos o más bajos, sin dejar por ello de ser aceptables.

La precisión del diseño depende de la exactitud de la información utilizada en la elaboración de los cálculos, por lo que se debe tener mucho cuidado cuando se conjunte la información, antes de diseñar el sistema de iluminación; aun si se obtienen datos precisos, rara vez es posible calcular exactamente el nivel de iluminación deseado; debido a factores como la tolerancia del fabricante de lámparas, ligeros errores en la estimación de los factores de pérdida de luz o en las reflectancias de las superficies, pueden ocasionar variaciones en los niveles de iluminación real ya instalado. Por fortuna en la mayoría de los casos, el diseño será satisfactorio si se siguen adecuadamente los procedimientos recomendados.

Los niveles actuales de iluminación, tienen una variación del valor calculado con respecto a su valor real, la cual no es considerada una desventaja, en la calidad de un sistema de iluminación, si se llega a presentar una variación del 10 % apenas es perceptible. En general, es aceptable una variación hasta del 15 % . Por otra parte, el nivel de iluminación adecuado es un aspecto considerable muy importante en el ahorro de energía, basado en la eficiencia de la iluminación.

Se pueden mantener los niveles óptimos de iluminación iniciales, compensando las diversas pérdidas de la luz que ocurran con el paso de los años en cualquier sistema; para esto, el diseñador y el personal encargado del mantenimiento deberán establecer un programa activo de mantenimiento y remplazo de lámparas. Este programa previene contra la utilización de niveles iniciales de iluminación altos. (ésto se debe como es sabido a que durante las primeras horas de vida de una lámpara se tiene el mayor índice luminico y posteriormente mantiene un nivel óptimo como por ejemplo las lámparas fluorescentes despues de las primeras cien horas de vida mantiene constante su flujo luminico). Niveles recomendados por la I.E.S. en luxes (para algunas areas).

<b>Edificios industriales</b>	<b>Luxes</b>
<b>Manuf actura de</b> <b>automoviles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensamblado</li> <li>• Acabado e inspección</li> </ul>	  1000 2000
<b>Manufactura de aviones</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción</li> <li>• Inspección</li> <li>• Acabado de piezas</li> </ul>	  1000 2000 1000
<b>Cuarto de pintura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeccion de fuselaje</li> <li>• Soldadura</li> <li>• Iluminación general</li> </ul>	  1000 500 1000
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensamblado final</li> <li>• Colocacion de motores</li> <li>• Inspeccion de ensamble</li> <li>• Reparación con m á q u i n a s y herramientas</li> </ul>	  1000 1000 1000 1000
<b>Industria cervecera</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboracion</li> <li>• Llenado de botellas</li> </ul>	  300 500
<b>Industria de dulces</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección. y envoltura</li> </ul>	 500

<b>Edificios industriales</b>	<b>Luxes</b>
<b>Manufactura de equipo eléctrico</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislado, embobinado, pruebas.</li> </ul>	1000
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manufactura de estructuras</li> </ul>	500
<b>Manufactura de explosivos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hechuras finas</li> <li>• Moldeo</li> </ul>	500 1000
<b>Taller de servicio</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparaciones</li> <li>• Estacionamientos, entrada</li> <li>• Espacio para circulación</li> </ul>	1000 500 100
<b>Productos de hule</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparación de material</li> </ul>	300
<b>Productos lácteos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacén de botellas</li> <li>• Llenado e inspección</li> <li>• Laboratorio</li> </ul>	300 1000 1000
<b>Trabajo de laminación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prensas, guillotinas, troqueladoras</li> <li>• Inspección, galvanizado</li> </ul>	500 2000
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrias de lavado y planchado</li> </ul>	500
<b>Industrias de pan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuarto de mezclado</li> <li>• Cuarto de terminado</li> </ul>	500 300
<b>Trabajos sobre piel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planchado, trenzado, barnizado</li> <li>• Cocido</li> </ul>	2000 3000
<b>Fabricas de vidrio</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuarto de hornos, mezcladoras</li> <li>• Esmerilado fino,</li> <li>• Biscelado</li> <li>• Grabado, decoración</li> </ul>	300 1000 2000

<b>Oficinas y escuelas</b>	<b>Luxes</b>
<b>Auditorios</b>	
• Para exhibiciones	30
• Para asambleas	150
• Actividades sociales	50
<b>Bancos</b>	
• Vestibulos	500
• Pagadores, contadores	1500
• Gerencia.	1500
<b>Bibliotecas</b>	
• Sala de lectura	700
• Anaqueles	300
• Archiveros, catálogos	700
<b>Gimnasios</b>	
• Ejercicio recreativo	300
• Competencias	500
<b>Escuelas</b>	
• Salón de clases	700
• Salón de dibujo	1000
<b>Mercados</b>	
• Carnicerías	500
• Mercerías	500
• Ferrerías	500
• Papelerías, jugueterías	500
• Sanitarios, baños	100
<b>Oficinas</b>	
• Proyectos y diseños	2000
• Contabilidad	1500
• Archivos	1000
• Sala de conferencia, entrevistas,	300
<b>Terminales y estaciones</b>	
• Salas de espera	300
• Oficina de boletos	1000
• Equipaje	500
• Andenes	200

Hoteles, Tiendas, Restaurantes	Luxes
Zonas comerciales	
• Iluminación general	2000
• Atracciones principales	10000
Gasolineras	
• Areas de servicio	300
• Cuarto de ventas	500
• Estantes	1000
Hoteles	
• Recamaras	100
• Para lectura y escritura	300
• Administración	500
• Areas de trabajo	300
• Juegos de mesa	300
• Lavado y planchado	500
• Entradas, escaleras y descansos	100
Restaurantes y cafeterias	
• Area de comedor, caja	500
• Area con ambiente ligero	100
• Area con ambiente acogedor	30
Cocinas	
• Inspección, etiquetado	700
Salones de baile	
• Areas de circulación	30
• Areas de mercancia	1000
• Mostradores y vitrinas	2000

Para dar la iluminación requerida, es necesario usar una combinación del alumbrado general, antes indicado más el alumbrado suplementario. El diseño e instalación de éstos sistemas combinados no deberá únicamente proveer una cantidad suficiente de luz, sino que también deberá dar la dirección apropiada a la luz (difundir el haz luminoso), y además dará protección a la visión de cualquier observador.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## CAPITULO V.

### CALCULOS DE ILUMINACION.

La finalidad de un sistema de iluminación, es la de proporcionar un nivel óptimo de luz (iluminación), que permita desarrollar un trabajo visual y/o manual, en el ambiente más ideal.

Para desarrollar el cálculo de iluminación en interiores, se deberán considerar los siguientes puntos:

#### V.1 DESCRIPCION DEL LOCAL A ILUMINAR

a) Determinar el tipo de trabajo que se desarrollará en el local. Esto servirá para determinar la cantidad y calidad de luz que se necesita. Dentro del capítulo cuatro se mencionan valores recomendables para la iluminación de algunos locales o áreas de trabajo en función de la actividad a desarrollar.

b) Determinar que condiciones ambientales prevalecerán en el área. Esto nos permitirá determinar los efectos provocados por el polvo y suciedad en los luminarios, así como en las paredes, pisos y techo; ya que esto disminuye el grado de reflexión de los mismos sobre el plano de trabajo.

c) Determinar las condiciones físicas y operacionales del local. Esto incluye dimensiones del local (largo, ancho y altura), reflectancias (pared, piso y techo), estas reflectancias pueden ser estimadas de acuerdo a cada material como pueden ser:

Acabados metálicos.

COLOR	REFLEXION EN %
Blanco polarizado	70-85
Esmalte horneado	70-85
Aluminio pulido	75
Aluminio mate	75
Aluminio claro	79
Aluminio claro	59



## Superficies de pintura.

TONO	COLOR	REFLEXION EN %
Muy claro	Blanco nuevo	88
	Blanco viejo	76
	Azul verde	76
	Crema	81
	Azul	65
	Miel	76
Claro	Gris	86
	Azul verde	72
	Crema	79
	Azul	55
	Miel	70
Mediano	Gris	73
	Azul verde	54
	Amarillo	65
	Miel	63
Obscuro	Gris	61
	Azul	8
	Amarillo	50
	Cafe	10
	Gris	25
	Verde	7
	Negro	3

## Acabados de construcción aparente

TIPO	REFLEXION EN %
Roca basáltica	18
Cantera blanca	18
Tabique muy pulido	48
Tabique rojo vidriado	30
Tabique pulido	30
Tabique rojo barnizado	30
Cemento	27
Concreto	30
Marmol blanco	45
Vegetacion	25
Asfalto limpio	7
Adoquin	17

## Superficies de madera.

COLOR	REFLEXION EN %
Maple	43
Nogal	16
Caoba	12
Pino	48

Por otra parte, la ubicación del plano de trabajo esta considerada como una condicion física, mientras que las operacionales son las siguientes: Tensión de línea, variación de voltaje, temperatura ambiente, período de operación en Hrs. al día/meses/año, así como período de encendido y apagado.

d) Selección de luminario y lámpara. Con los datos antes expuestos, se puede determinar que lámpara cumple con las características de iluminación para dicha área como son: Lúmenes iniciales, potencia, índice de rendimiento de color, temperatura en °K, y tensión de operación.

## V.2 DETERMINAR LOS FACTORES DE DEPRECIACION.

No recuperables y Recuperables.

### A) LOS FACTORES NO RECUPERABLES SON.

**Temperatura ambiente.**- Una variación de temperatura mayor o menor que lo normal ubicada en el interior de un local, tiene poco efecto en lámparas incandescentes y en las lámparas de H.I.D. Pero presenta un efecto mayor en las lámparas fluorescentes, puesto que al tener una variación de temperatura, la presión del vapor de mercurio cambia la emisión luminica de la lámpara; el rendimiento luminoso decrece a temperaturas mayores de 25 °C y a temperaturas menores de 25 °C. Esto demuestra que la cantidad de luz depende de la temperatura que alcance el tubo.

**Tensión de alimentación.**- La regulación de tensión es difícil de predecir puesto que al variar esta, afecta la salida del flujo luminoso emitido por la lámpara.

En la siguiente tabla se muestran algunas variaciones de las lámparas.

LAMPARA	VARIACION DE VOLTAJE	VARIACION DEL FLUJO LUMINOSO
Incandescente	1%	3%
Vapor de mercurio	1%	3%
Fluorescente	2.5%	1%

**Factor de balastro.-** El factor de balastro, es la capacidad que presenta el mismo para producir el flujo luminoso especificado por la lámpara. Por norma se considera como mínimo un valor de 92.5 %.

**Depreciación de las superficies del luminario.-** En este se involucran los cambios que sufren el conjunto óptico y sus acabados como es el metal, la pintura y los componentes plásticos u acrílicos (conjunto óptico); dando como resultado una reducción en el flujo luminoso.

#### B) LOS FACTORES RECUPERABLES SON.

**Depreciación por suciedad en las superficies del cuarto.-** La acumulación de polvo en dichas superficies reduce la reflexión del flujo luminoso al plano de trabajo.

**Depreciación de lúmenes de la lámpara (L.L.D.).-** Esta información es proporcionada por el fabricante, la cual nos muestra el valor medio de la producción lumínica para cada tipo de lámpara.

**Depreciación por suciedad en el luminario (L.D.D.).-** La acumulación de suciedad en el luminario, tiene como efecto una pérdida en la emisión lumínica y como resultado una baja iluminación en el plano de trabajo.

La depreciación por suciedad en el luminario esta clasificada en seis categorías de mantenimiento que a continuación se describen.

CATEGORIA	CARACTERISTICAS
I	Las lámparas se muestran desnudas y no utilizan reflector.
II	Las lámparas se muestran desnudas y son del tipo fluorescente, utilizan reflector. A este tipo de luminario se le denomina industrial fluorescente.
III	Este tipo de luminarios utilizan un reflector que distribuye mas del 70% del flujo luminoso hacia la superficie por iluminar normalmente se utilizan a alturas de montaje altas y medias.
IV	Son luminarios que alojan en su interior lámparas fluorescentes, pueden ser del tipo empotrar o sobreponer, su característica principal es que utilizan rejillas para evitar que las lámparas sean vistas directamente bajo un determinado ángulo.
V	Estos luminarios son como los de la categoría IV, pero utilizan difusores en lugar de rejillas para obtener un mejor control de luz.
VI	En esta categoría se encuentran el plafón luminoso y la iluminación por medio de cornisas, su característica principal es que son elementos de iluminación que estan interconstruidos como parte de la estructura arquitectónica del local a iluminar.

Por otra parte con el fin de simplificar los cálculos, se usan los dos factores que afectan en mayor proporción la pérdida de luz y estos son:

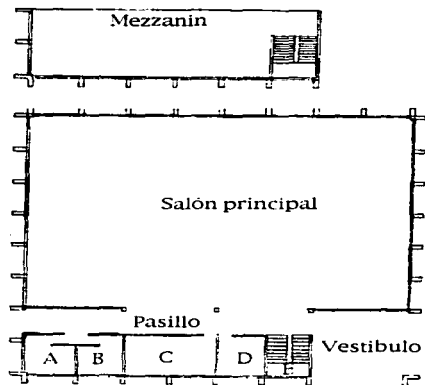
- L.L.D. Depreciación de lúmenes de la lámpara.
- L.D.D. Depreciación por suciedad en el luminario.

Multiplicando estos dos parámetros se obtiene el factor de mantenimiento (F.M.). Algunos fabricantes proporcionan ciertos valores estimativos para las diversas áreas, en base a un tipo de ambiente; estos valores son aceptables.

### V.3 CALCULOS DE ILUMINACION.

Para propósitos de cálculos en iluminación, se realiza una evaluación del sistema de iluminación del salón de usos múltiples del Campus Aragón, con la finalidad de una mayor eficiencia del sistema. Logrando con ello un ahorro de energía.

Como punto de partida, el área a evaluar será distribuida en varias secciones de acuerdo al plano siguiente



donde:

A= baño de hombres.

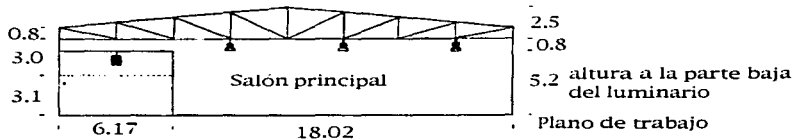
B= baño de mujeres.

C= bodega.

D= cuarto de usos multiples.

E= escaleras.

Comenzaremos con la evaluación en la zona denominada salón principal.



## 1.- Los datos correspondientes al salón principal son:

Altura: 8.6 mts.

Ancho: 18.02 mts.

Largo: 24.39 mts.

Altura del plano de trabajo: a nivel del piso, es decir a 0 mts.

Nivel de iluminación recomendado: 300 Lx.

Reflectancia de techo: 50%.

Reflectancia de pared: 30%.

Reflectancia de piso: 45%.

\* Las reflectancias fueron tomadas en base a las estimaciones de los fabricantes de luminarios, algunos ejemplos se presentan en los cuadros anteriores.

Tipo de ambiente: en este caso se considera un ambiente medio.

\* Se considero un tipo de ambiente medio, por las zonas adyacentes, las cuales proporcionan una cantidad de polvo considerable, el cual penetra a dichas instalaciones y con el paso del tiempo disminuye el flujo lumínico en el luminario.

Horas de operación por año: (4 hrs./día)(228días) = 912 hrs. por año.  
Siendo esta area la de uso principal.

\* Para esta estimación no se consideran sabados y domingos, asi como un período de 45 dias por vacaciones.

Altura a la parte baja del luminario: 5.2 mts.

Trabajo a realizar: ejercicios diversos y actividades sociales.

Con los datos expuestos se procede a la selección de luminario.

### Potencia en candelas del luminario.

Por el método de punto por punto, procederemos a encontrar la curva de distribución más adecuada que nos aproxime abajo del luminario el nivel de iluminación deseado.

Procedimiento.



Utilizando la formula de luxes iniciales

$$E = (I/H \text{ exp } 2)$$

donde:

E = Nivel de iluminación en luxes.

I = Potencia en candelas.

H = Altura por debajo del luminario al plano de trabajo.

Sustituyendo valores:

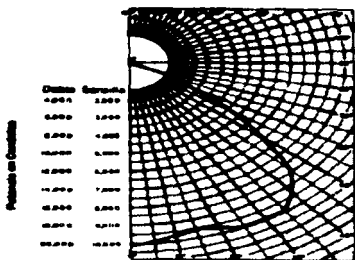
$$I = E \times H^2 = 300 \times (5.2^2) = 8112 \text{ candelas.}$$

La potencia en candelas nos permite saber la potencia que deberá tener la lámpara en watts, en este caso se necesita de una lámpara de 400 W. Como sabemos el tipo de actividad que se desarrollará, podemos elegir el tipo de tonalidad o reproducción de color; para nuestro caso la lámpara que elegimos es de aditivos metálicos de 400 W. Este tipo de lámpara tiene un alto índice de reproducción del color, además de presentar un ambiente fresco y limpio.

Nota: En este caso se desconoce la curva de distribución del luminario empleado (luminario metalarc, tipo suspender, equipo existente ).

Por lo cual se utilizara la curva fotométrica del luminario HI- LO de 400W, aditivos metálicos de unidad sencilla, tipo de haz abierto, lúmenes de la lámpara 34 000, acabado claro, L.L.D.= 0.80, vida en horas 20 000, número de catálogo HIL40MW035, balastro autorregulado de 220 V, variación de línea de +/-10%, marca Crouse-hinds.

La curva fotométrica del luminario mencionado es la siguiente:



### Haz Abierto

Distancia	Área	Distancia	Área
0	1.0000	2.0000	3.1416
1	3.1416	3.0000	9.4248
2	12.5664	4.0000	25.1328
3	28.2744	5.0000	47.1239
4	50.2656	6.0000	75.3982
5	78.5399	7.0000	109.9557
6	113.0976	8.0000	150.7963
7	154.0464	9.0000	208.9571
8	200.9664	10.0000	283.7385
9	253.3344		
10	311.3200		
11	375.0016		
12	443.3664		
13	516.4032		
14	594.0000		
15	676.1568		
16	762.8736		
17	854.0504		

### METODO DE LUMEN.

Cálculo del número de luminarios:

$$\text{No.} = \frac{E \times \text{Area}}{(\text{lumenes de luminario})(C.U.)(F.M.)}$$

donde:

No. = Número de luminarios requeridos.

E = Nivel de iluminación en luxes deseado.

C.U. = Coeficiente de utilización.

F.M. = Factor de mantenimiento.

Lumenes de luminario = (Lumenes iniciales de la lámpara x lámparas dentro del luminario).

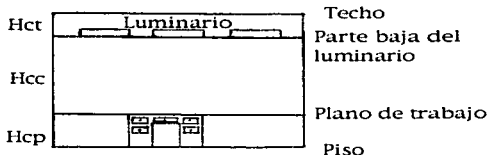
Como se observa, los valores que se desconocen son: C.U. y F.M.

El C.U., se determina de la información técnica del luminario, que proporciona el fabricante; para obtener dicho valor se manejan dos métodos.



## EL METODO DE INDICE DE CUARTO O METODO DE CAVIDAD ZONAL.

Cualquiera que sea el método, se deberá determinar una relación de cavidad, para lo cual la figura siguiente nos servira de ayuda.



**Cavidad de techo ( Hct ) :** Area medida desde el plano del luminario al techo, en luminarios colgantes existirá cavidad de techo, en luminarios empotrados o directos al techo no existe cavidad de techo.

**Cavidad de cuarto (Hcc) :** Es el espacio comprendido del plano del luminario al plano de trabajo, es decir al área donde se realiza la actividad, en algunos casos se considera a nivel del piso.

**Cavidad de piso (Hcp) :** Se considera desde el piso a la parte superior del plano de trabajo o donde se realiza la actividad, para oficinas es de 76 cm. , y en bancos para la industria de 92 cm. aproximadamente; si la actividad se desarrolla a nivel del piso no existirá cavidad de piso.

### METODO DE CAVIDAD ZONAL.

Relacion de cavidad de cuarto =  $\frac{(5)(\text{altura de cav. de cuarto})(\text{largo} + \text{ancho})}{\text{Area}}$

$$\text{Relación de cavidad de cuarto} = \frac{5 \times 5.2 \times (24.39 + 18.02)}{439.5078} = 2.51$$

Con los valores establecidos de reflectancias de piso, techo, pared y el valor de cavidad de cuarto, determinamos el C.U.

En la tabla de coeficientes del luminario seleccionado establecemos dichos valores antes mencionados.

Techo = 50%, Pared = 30%, Piso = 45% y, Relación de cav. de cuarto = 2.51

Como se observa el valor que buscamos es un valor intermedio, (valores tomados de la tabla de coeficientes de utilización).

% de reflectancia efectiva						
Techo (pcc)	Pared (pw)	Radio de cavidad de cuarto				
		1	2	3	4	
80	50	.845	.770	.702	.636	.577
	30	.821	.731	.655	.582	.519
	10	.799	.696	.618	.540	.476
70	50	.828	.756	.691	.626	.567
	30	.805	.720	.647	.676	.514
	10	.785	.692	.612	.536	.473
50 *	50	.793	.728	.669	.606	.552
	30 *	.775	.69*	.63*	.564	.505
	10	.780	.673	.601	.529	.469
30	50	.763	.704	.649	.589	.537
	30	.749	.680	.617	.552	.495
	10	.735	.658	.591	.523	.464

por lo cual procederemos a interpolar. (valores obtenidos de la tabla).

2	0.699
3	0.632

El valor sobre el cual vamos a interpolar es el valor de cavidad de cuarto.

2		0.699
	2.51	
3		0.632
- 1	-0.51	0.067
-1	-0.067	
	-0.51	x

$$x = \frac{(-0.51)(0.067)}{-1} = 0.0342$$

donde:

$$\frac{0.6990}{-0.0342}$$

$$C.U. = 0.6648$$

Para la determinación del F.M.

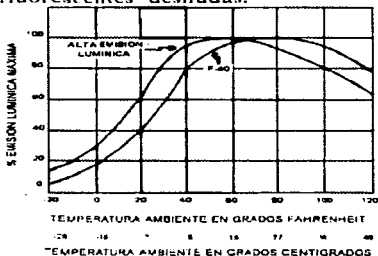
Consideraremos los factores que afectan en mayor proporción la pérdida de luz como son:

#### FACTORES NO RECUPERABLES.

a) **Temperatura ambiente.**- Este factor no afecta las lámparas de H.I.D. por lo cual el factor que consideramos es un valor unitario.

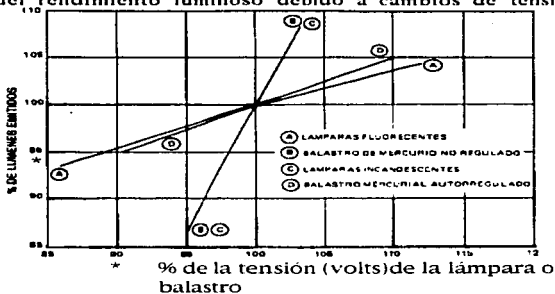
Si fuesen lámparas fluorescentes se utilizaría la gráfica siguiente.

Cambio en el rendimiento lumínico con la temperatura ambiente de las lámparas fluorescentes desnudas.



b) **Variación en la tensión de alimentación.**- En las características técnicas del fabricante de balastos o lámparas, buscamos la variación permisible en la tensión de alimentación, que para nuestro caso es de +/- 10 %.

## Cambio del rendimiento luminoso debido a cambios de tensión



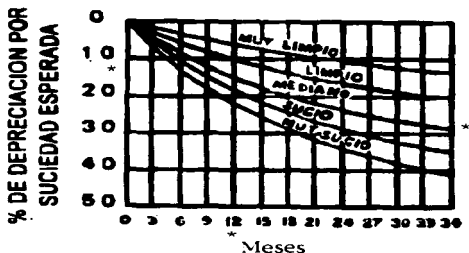
Ubicando el valor obtenemos un factor de 0.94.

c) **Factor de balastro.**- Este valor por norma se considera de 0.925 como mínimo.

d) **Depreciación de la superficie del luminario.**- Para determinar este factor, se debe considerar, la pintura, el reflector, el reflector, así como el uso de las superficies del luminario y los daños que resultan en él, por lo que se considera un valor unitario.

### FACTORES RECUPERABLES.

e) **Depreciación por suciedad acumulada en las superficies del cuarto.**-Para determinar este factor, hacemos uso de la siguiente gráfica.



Utilizamos primero la gráfica superior y procedemos a encontrar la depreciación por suciedad esperada, en base a un año (12 meses).

Con estos valores dados por la gráfica, apoyándonos con la tabla de factores de depreciación y tipo de iluminación.

% de depreciación por suciedad esperada	Tipo de distribución de luminarios							
	Directo				Semi- directo			
Relación de cavidad de cuarto	Directo				Semi- directo			
	10	20	30	40	10	20	30	40
1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84
2*	.98*	.96*	.94	.92	.96	.92	.88	.83
3*	.98*	.95*	.93	.90	.96	.91	.87	.82
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80
5	.97	.94	.90	.89	.94	.90	.84	.79

Encontramos los límites del valor buscado; para determinarlo con exactitud. Interpolamos con el valor de cavidad de cuarto.

% de la depreciación por suciedad esperada.	10	20
relación de cavidad de cuarto.	2	0.98
	2.51	0.96
	3	0.95

Interpolando. (con respecto a 20)

2		0.96
	2.51	
3		0.95
----	----	----
-1	-0.51	0.01

$$\begin{array}{r} -1 \text{-----} 0.01 \\ -0.51 \text{-----} x \end{array}$$

$$x = \frac{(-0.51)(0.01)}{-1} = 0.0051$$

donde:

$$\begin{array}{r} 0.9600 \\ -0.0051 \\ \hline 0.9549 \end{array}$$

Interpolando con respecto a un valor de 15% de suciedad esperada (valor obtenido de la grafica).

10		0.98
	15	
20		0.9549
----	----	----
-10	-5	0.0251

$$\begin{array}{r} -10 \text{-----} 0.0251 \\ -5 \text{-----} x \end{array}$$

$$x = \frac{(-5)(0.0251)}{-10} = 0.0125$$

donde:

$$\begin{array}{r} 0.9800 \\ -0.0125 \\ \hline 0.9675 \end{array}$$

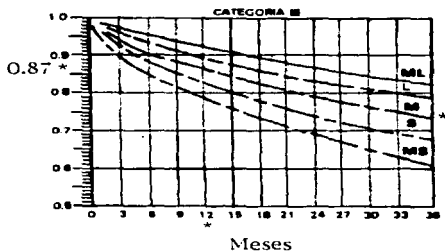
Con el valor anterior se estima un 15 % de la depreciación por suciedad esperada.

f) Lámparas quemadas.- Valor que se recomienda, no menor de 95 %.

g) Depreciación de los lúmenes de la lámpara (L.L.D.).- Factor proporcionado por el fabricante de lámparas y este valor es de 0.80.

h) Factor de depreciación por suciedad acumulada en el luminario (L.D.D.).- Este factor lo determinamos de las curvas de degradación por suciedad del luminario, para esto consideramos la categoría del luminario, en nuestro caso una categoría III, el tipo de ambiente que se considera es medio, por las condiciones del ambiente en que se ubica nuestro local.

La gráfica de degradación es la que se observa a continuación:



Como se estimó la depreciación de un año (12 meses), el valor que encontramos es de 0.87.

La forma más sencilla de obtener el F.M., es la de multiplicar los dos últimos factores, o en su caso se pueden utilizar porcentajes estimados por los fabricantes.

La primera opción:  $F.M. = L.L.D. \times L.D.D. = (0.8)(0.87) = 0.696$

La opción que se considera más real es la que involucra todos los factores antes mencionados.

$$F.M. = (1) (0.94) (0.925) (1) (0.9675) (0.95) (0.8) (0.87) = F.M. = 0.556.$$

Como se observa existe una diferencia de un método a otro, la variación de este factor al igual que el C.U. puede repercutir en un mayor o menor número de luminarios. Pero cabe mencionar que al acomodar nuestros luminarios este valor de luminarios por lo general se incrementa.

Obtenidos los valores procedemos al cálculo de luminarios requeridos.

$$\text{No.} = \frac{\text{(E) (Area)}}{\text{(lumenes del luminario) (C.U.) (F.M.)}}$$

Sustituyendo valores:

$$\text{No.} = \frac{(300) (18.02 \times 24.39)}{(34\,000) (0.6648) (0.556)} = 10.49 \text{ aproximadamente } 11.$$

Para iluminar el local requerimos 11 luminarios, por lo que comprobaremos su ubicación.

**Ubicación de los luminarios.**

Como primer paso verificaremos si no rebasamos el espaciamiento máximo recomendado por el fabricante.

Smáx. = espaciamiento máximo entre luminarios.

Smáx = 1 : 1.5 dato del fabricante.

Smax = factor proporcionado x altura de cavidad de cuarto.

$$S_{máx} = (1.5) (5.2) = 7.8 \text{ mts.}$$

El **espaciamiento real** para una distribución uniforme se calcula de la siguiente forma. (SQR = raíz cuadrada).

$$S = \text{SQR}(\text{Area} / \text{No de luminarios})$$

$$S = \text{SQR}(439.5078 / 11) = 6.32 \text{ mts.}$$



El espaciamiento real es menor que el espaciamiento máximo por lo cual es aceptable el número de luminarios.

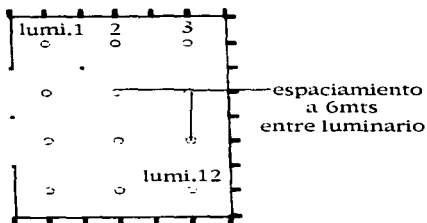
Para determinar como se ubicaran los luminarios en el local se procede de la siguiente manera.

$$\text{a lo largo} = \frac{\text{largo}}{\text{S real}} = \frac{24.39}{6.32} = 3.86 \text{ aproximadamente } 4 \text{ luminarios.}$$

$$\text{a lo ancho} = \frac{\text{ancho}}{\text{S real}} = \frac{18.02}{6.32} = 2.85 \text{ aproximadamente } 3 \text{ luminarios.}$$

Si observamos en la distribución se ha incrementado el número de luminarios, con respecto al calculado; el espaciamiento real es de 6 mts.

la distribución es la siguiente:



El nivel de iluminación por acomodo es el siguiente.

$$E = \frac{(\text{No. de luminarios} \times \text{lumenes de la lámpara} \times \text{C.U.} \times \text{F.M.})}{\text{Area}}$$

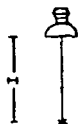
Sustituyendo valores:

$$E = \frac{(12) (34\,000) (0.6648) (0.556)}{439.5078} = 343.13 \text{ luxes promedio mantenidos.}$$

## METODO PUNTO POR PUNTO.

Este método es complementario del método del lumen y se usa para comprobar si el nivel es el recomendado.

Como inicio es necesario saber el nivel que se ubica debajo del luminario, para lo cual la figura siguiente nos sirve de ejemplo.



La fórmula que se aplica en este caso es la sig:

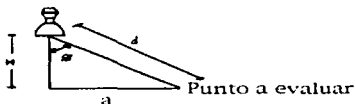
$$E = \frac{I}{H^2}$$

donde: E = nivel en luxes.

I = potencia en candelas

H = altura medida desde la parte baja del luminario al plano de trabajo

Para determinar el nivel de iluminación en un punto determinado, que se ubique a una distancia determinada; se evalúa de la siguiente forma:



En la figura se representa el punto citado, y a continuación se representan dos fórmulas para determinar dicho valor en el punto mencionado.

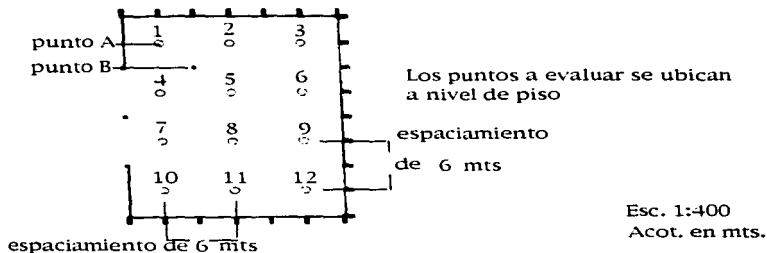
$$E = \frac{I \cos \alpha}{d^2}$$

donde,  $\alpha$  = ángulo formado por la vertical (H) y la distancia al punto a evaluar (d). O bien se puede aplicar la siguiente fórmula:

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

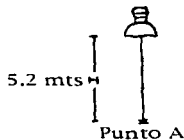
Como parte complementaria del estudio del salón principal, aplicaremos el método de punto por punto.

Para el desarrollo comenzaremos por establecer la distribución de los luminarios.



El primer punto de evaluación sera el punto A.

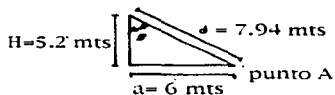
Con el luminario No. 1, ( potencia debajo de este luminario).



a 0° la potencia en  
candelas = 10,052

$$E = \frac{10,052}{(5.2 \exp 2)} = 371.74 \text{ luxes iniciales}$$

Luminario No.2, y luminario No.4 (ubicados a la misma distancia).

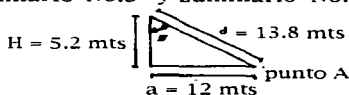


$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(6/5.2) = 49.08^\circ$$

la potencia en candelas para este ángulo = 7000

$$E = \frac{(7000)(\text{Cos } 49.08)}{(7.94^2)} = 72.73 \text{ luxes iniciales.}$$

Luminario No.3 y Luminario No.7

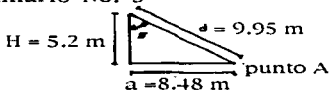


$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(12/5.2) = 66.57^\circ$$

Para este ángulo la potencia en candelas es de 376.

$$E = \frac{(376)(\text{Cos } 66.57)}{13.8^2} = 1.62 \text{ luxes iniciales.}$$

luminario No. 5



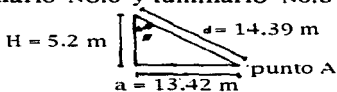
$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(8.48/5.2) = 58.48^\circ$$

Para este ángulo corresponde una potencia de 3329 candelas.

$$(3329)(\cos 58.48)$$

$$E = \frac{\text{---}}{9.95^2} = 17.58 \text{ luxes iniciales.}$$

Luminario No.6 y luminario No.8



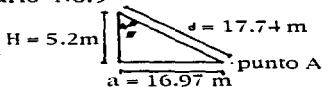
$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(13.42/5.2) = 68.82^\circ$$

La potencia en candelas para este ángulo es de 627.

$$(627)(\cos 68.82)$$

$$E = \frac{\text{---}}{14.39^2} = 1.09 \text{ luxes iniciales.}$$

Luminario No.9



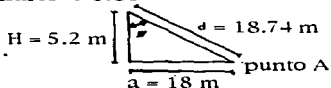
$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(16.97/5.2) = 72.96^\circ$$

Para este ángulo corresponde una potencia de 335 candelas.

$$(335)(\cos 72.96)$$

$$E = \frac{\text{---}}{17.74^2} = 0.33 \text{ luxes iniciales.}$$

luminario No.10

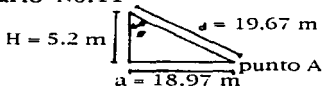


$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(18/5.2) = 73.88^\circ$$

la potencia para este ángulo es de 294 candelas.

$$E = \frac{(294)(\cos 73.88)}{18.74^2} = 0.23 \text{ luxes iniciales.}$$

luminario No.11

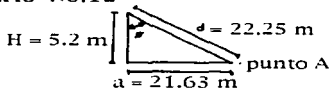


$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(18.97/5.2) = 74.67^\circ$$

para este ángulo corresponde una potencia de 242 candelas.

$$E = \frac{(242)(\cos 74.67)}{19.67^2} = 0.165 \text{ luxes iniciales.}$$

luminario No.12



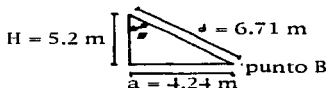
$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(21.63/5.2) = 76.48^\circ$$

para este ángulo corresponde una potencia de 194 candelas.

$$E = \frac{(194)(\cos 76.48)}{22.25^2} = 0.091 \text{ luxes iniciales.}$$

Para el punto B, se desarrolla de la misma forma.

**luminario No.1**



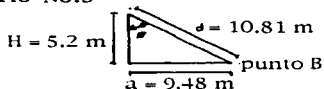
$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(4.24/5.2) = 39.19^\circ$$

La potencia que corresponde a este ángulo es de 9289 candelas.

$$E = \frac{(9289)(\text{Cos } 39.19)}{6.71^2} = 159.9 \text{ luxes iniciales.}$$

los luminarios que se ubican a esta distancia son el No.2, No.4 y No.5, con 159.9 luxes iniciales.

**luminario No.3**



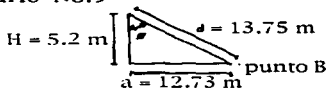
$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(9.48/5.2) = 61.25^\circ$$

para este ángulo corresponde una potencia de 2288 candelas.

$$E = \frac{(2288)(\text{Cos } 61.25)}{10.81^2} = 9.42 \text{ luxes iniciales.}$$

Los luminarios que se ubican a esta distancia son el No.6, No.7 y No.8, con 9.42 luxes iniciales.

**luminario No.9**

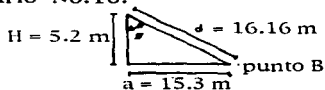


$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(12.73/5.2) = 67.78^\circ$$

Para este ángulo corresponde una potencia de 697 candelas.

$$E = \frac{(697)(\text{Cos } 67.78)}{13.75^2} = 1.39 \text{ luxes iniciales.}$$

**luminario No.10.**



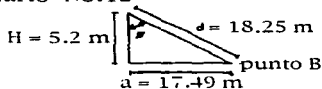
$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(15.3/5.2) = 71.29^\circ$$

Para este ángulo corresponde una potencia de 465 candelas.

$$E = \frac{(465)(\text{Cos } 71.29)}{15.3^2} = 0.57 \text{ luxes iniciales.}$$

El luminario que se ubica a la misma distancia es el luminario No.11.

**luminario No.12**



$$\theta = \text{Ang } \text{tg}^{-1}(17.49/5.2) = 73.44^\circ$$

para este ángulo corresponde una potencia de 323 candelas.



$$E = \frac{(323) (\cos 73.44)}{18.25^2} = 0.27 \text{ luxes iniciales.}$$

Luxes iniciales en los puntos tratados.

Punto	1	2	3	4	5	6
A	371.73	72.73	1.62	72.73	17.58	1.09
B	159.9	159.9	9.42	159.9	159.9	9.42

7	8	9	10	11	12	Total lx.
1.62	1.09	0.33	0.23	0.165	0.091	541.016
9.42	9.42	1.39	0.57	0.57	0.27	680.08

Total 1221.096
-------------------

Cálculo de luxes promedio.

$$E \text{ promedio inicial} = \frac{1221.096}{2} = 610.548 \text{ lx. promedio iniciales.}$$

Luxes promedio mantenidos.

$$E \text{ promedio mantenidos} = E \text{ promedio inicial} \times F.M.$$

$$E = (610.548)(0.566) = 339.46 \text{ lx. promedio mantenidos}$$

Cálculo con lámparas de 250 W, como posible propuesta para una sustitución.

Lámparas de 250 Watts aditivos metálicos, balastro autorregulado +/- 10 %, lúmenes iniciales de la lámpara 20.500. Con los mismos datos y sólo cambiando aquellos que involucran al luminario. C.U. = 0.6552

Factores no recuperables:

- Factor de temperatura : 1
- Variación de la tensión (balastro autorregulado +/- 10 %) : 0.94
- Factor del balastro : 0.925
- Variación en las superficies del luminario : 1

### Factores recuperables:

- e) Depreciación por suciedad acumulada en el local : 0.9674
- f) Lámparas quemadas : 0.95
- g) Depreciación de los lúmenes de la lámpara (L.L.D.) = 0.83
- h) Depreciación por suciedad acumulada en el luminario (L.D.D.) : 0.87

$$F.M. = (1)(0.94)(0.925)(1)(0.9675)(0.95)(0.87) = 0.5771$$

### Cálculo de No. de luminarios.

$$\text{No.} = \frac{(300)(439.5078)}{(20500)(0.6052)(0.5771)} = 18.415 \text{ aproximadamente } 18.$$

### Espaciamiento de los luminarios.

$$\text{Espaciamiento máximo.} = S_{\text{máx}} = (1.18)(5.2) = 6.136 \text{ mts.}$$

$$\text{Espaciamiento real.} = S = \text{SQR}(439.5078/18) = 4.94 \text{ mts.}$$

### Distribución de los luminarios.

$$\text{A lo largo} = \frac{24.39}{4.94} = 4.94 \text{ aproximadamente } 5$$

$$\text{A lo ancho} = \frac{18.02}{4.94} = 3.64 \text{ aproximadamente } 4$$

El total de luminarios requeridos es de 20 equipos para tener un nivel de iluminación de 300 luxes.

### Luxes mantenidos.

$$E = \frac{(20)(20\ 500)(0.6052)(0.5771)}{439.5078} = 325.81 \text{ luxes mantenidos.}$$

Cuadro comparativo de lámparas de 400 W, por una posible sustitución por lámparas de 250 W.

Lámpara de:	Lúmenes	Vida en horas	acabado	Eficiencia lm/ w	Potencia de línea, más balastro. W
400W	34000	20000	claro	100	455
250W	20500	10000	claro	82	295

Para esta parte del estudio:

Con lámparas de 400 w, y 12 luminarios, se requieren 5460 w para tener 300 luxes de iluminación.

Con luminarios de 250 w, necesitamos 20 equipos y un consumo de 5900 W, para tener el mismo nivel de 300 luxes aproximadamente.

Para evaluar las condiciones del nivel de iluminación se llevo acabo un muestreo del mismo. Para el salón principal el nivel de iluminación que se obtuvo fué el siguiente:

Debajo de un luminario

- 847 luxes ( cerca de la pared del local)
- 473 luxes ( al centro del local)
- 385 luxes ( al centro del local)
- 375 luxes ( al lado del pasillo)

Entre dos luminarios

- 725 luxes (cerca de la pared del local)
- 425 luxes (al centro del local)
- 380 luxes ( al lado del pasillo)

Entre cuatro luminarios

- 820 luxes (cerca de la pared del local)
- 760 luxes (al centro del local)
- 564 luxes (al centro del local)

El nivel promedio que se registro fué por encima de 500 luxes.

Con el equipo encendido (alternado), el nivel promedio que se registro, fué de 200 luxes aproximadamente.

Con el equipo apagado el nivel que se registro a los extremos fue de 700 luxes, esto por iluminación exterior (natural), ya que existen pequeños ventanales continuos.

Para tener una idea más clara de los datos, mencionaremos que:

Iluminación al centro del local, equipo encendido = 520 luxes

Iluminación al centro del local, equipo apagado = 170 luxes

Iluminación real aproximada. = 350 luxes promedio

Nota : Las mediciones se realizaron al medio día ( de 12:00 a 14:00 hrs), por lo cual las mediciones se observan muy altas y disparejas.

Siguiendo con la evaluación de los niveles de iluminación, en las demás área de dicho salón, la finalidad es tener un panorama actual en función de una eficiencia del equipo logrando como resultado un Ahorro de Energía.

Los niveles de iluminación que se encontraron se muestran en el siguiente cuadro; posiblemente no existe un mantenimiento preventivo del sistema de iluminación por lo cual los niveles de iluminación son bajos.

AREA DESIGNADA	Nivel medido en luxes	Nivel que debería existir
MEZZANIN	135	330
PASILLO	90	170
CUARTO DE USOS MÚLTIPLES	57	90
BODEGA	200	241
ESCALERAS	23	110
BANOS	78	117

Esto da como resultado que el equipo actual no es eficiente, esto significa que el flujo luminoso de cada una de las lámparas no esta siendo aprovechado como debería ser, como se ha dicho anteriormente posiblemente no exista un plan de mantenimiento preventivo. Así mismo estos equipos al ser utilizados estan desperdiciando la carga demandada al no iluminar las áreas con los respectivos niveles establecidos, debido a la suciedad que presentan.

Ahora bien, si estamos teniendo pérdidas con el sistema de iluminación actual del Salón de Usos Múltiples; el propósito fundamental de esta evaluación es: tener un Ahorro Eficiente de Energía Eléctrica en el Sistema de Iluminación, por lo cual se efectuará un estudio de cada una de las áreas que componen el salón de usos múltiples, implementando lámparas de menor potencia, ya sean T-8 ó T-12. Con la finalidad de lograr un menor consumo sin sacrificar el nivel de iluminación, sin olvidarnos del costo de implementación; ya que este puede no ser viable.

A continuación evaluamos las siguientes áreas

2.- Actualmente para el Mezzanin existen 8 luminarios con lámparas 2 x 75 w, T-12. Por lo cual el nivel de iluminación es de 330 luxes promedio.

Nota : El luminario es de tipo envolvente, por lo que el C.U. se obtuvo del luminario de Holophane REALITE-II 6800, que es semejante al que existe en esta área. Con respecto al factor de mantenimiento se consideraron los dos factores más representativos de la depreciación como son L.L.D y L.D.D obtenidos por el dato del fabricante y la curva de depreciación a seis meses.

PROPUESTA.

Los datos del mezzanin son:

Altura : 3.80 mts.

Ancho : 6.17 mts.

Largo : 15.21 mts.

Altura del plano de trabajo : 0 mts. (a nivel de piso)

Nivel de iluminación recomendado: 300 lx.

Reflectancia de techo : 50 %

Reflectancia de pared : 30 %

Reflectancia de piso : 40 %

Tipo de ambiente : medio

Horas de operación al año : de poco uso.

Altura de la parte baja del luminario : 2.90 mts.

Trabajo a realizar : ejercicio general, y otros

Selección de luminario : Se utiliza para esta propuesta un luminario REALITE-II 6800 de Holophane. El cual aloja en su interior lámparas T-12 de 2x55 W, encendido Slimline, tono de luz blanco frío (+100 °K), lúmenes de la lámpara 4600 y un factor de depreciación L.L.D.=0.83

Utilizando el Método de Lúmen, por cavidad zonal, procedemos a encontrar la relación de cavidad de cuarto; tenemos.

$$R.C.R = \frac{(5)(2.90)(15.21 + 6.39)}{97.19} = 3.22$$

Con este valor de cavidad de cuarto, así como con cada una de las reflectancias estimadas, el C.U. obtenido de la tabla de coeficientes del luminario es de 0.41

Determinamos el F. M.

Factor de depreciación de la lámpara (L.L.D.) = 0.83  
Factor de depreciación por suciedad en el luminario (L.D.D.) = 0.88

Como ya se ha mencionado este dato (L.D.D), lo obtenemos de las curvas de degradación por suciedad del luminario . Y para este caso consideramos una categoría V (luminario con difusor), con un ambiente medio (por las condiciones del local), este valor es considerando 6 meses de depreciación. Por lo tanto,

$$F.M. = L.L.D. \times L.D.D. = 0.83 \times 0.88 = 0.73$$

Obtenidos los valores, procedemos a calcular el No. de luminarios.

$$\text{No.} = \frac{(300)(97.19)}{(9200)(0.41)(0.73)} = 10.58 \quad \text{se consideran 10}$$

Para iluminar el local con un nivel de 300 luxes aproximados requerimos 10 luminarios, por lo cual comprobaremos su ubicación.

Espaciamiento entre luminarios.

Espaciamiento máximo.

$$S_{\text{máx}} = (1.25)(2.90) = 3.625 \text{ mts.}$$

Espaciamiento real.

$$S_{\text{real}} = \text{SQR}(97.19/10) = 3.11 \text{ mts.}$$

Como se observa el espaciamiento es aceptable.

### Ubicación de los luminarios en el local.

$$\text{A lo largo} = \frac{\text{largo}}{\text{Sreal}} = \frac{15.21}{3.11} = 4.89 \text{ consideramos } 5$$

$$\text{A lo ancho} = \frac{\text{ancho}}{\text{Sreal}} = \frac{6.37}{3.11} = 2.04 \text{ consideramos } 2$$

Si observamos requerimos dos luminarios más que el sistema actual, pero no olvidemos que el nuevo equipo es de 2 x 55 w.

El nivel de iluminación por acomodo es el siguiente.

$$E = \frac{(10)(9200)(0.41)(0.73)}{97.19} = 284 \text{ luxes promedio}$$

Nota. Las normas permiten tener una variación de un 10 a un 15 % del flujo luminoso total, al igual que lo recomiendan los diseñadores y expertos en iluminación.

3.- Para el Pasillo, actualmente se tienen 6 luminarios con lámparas T-12 de 2 x 39 w. Por lo cual el nivel de iluminación es de 170 luxes promedio. El pasillo esta compuesto de seis divisiones que conforman cubos en la parte del techo dedido a la saliente de las trabes. Nota: Para este caso se considera el luminario REALITE-II con lámparas T-12 de 2 x 30 w.

#### PROPUESTA.

Los datos del pasillo son los siguientes.

Altura : 3.00 mts.

Ancho : 2.21 mts

Largo : 17.98 mts.

Altura del plano de trabajo: 0 mts. (a nivel de piso)

Nivel de iluminación recomendado : 100 lx.

Reflectancia de techo : 80 %

Reflectancia de pared : 30 %

Reflectancia de piso : 70 %

Tipo de ambiente : medio

Horas de operación al año : pocas horas.

Altura de la parte baja del luminario : 2.90 mts.

Selección de luminario : Para este caso se utilizará el mismo luminario, solamente cambia la lámpara que ahora es T-12 2 x 30 W., encendido instantáneo, lúmenes de la lámpara 2180, tono de luz blanco frío (4100 °K), y una depreciación de L.L.D.= 0.81

Utilizando el Método de Lumen , por cavidad zonal.

$$R.C.R = \frac{(5)(2.90)(17.98 + 2.21)}{39.73} = 7.36$$

Conociendo las reflectancias estimadas y el valor de la cavidad de cuarto, procedemos a encontrar el C.U. en la tabla del luminario que el fabricante proporciona. Por lo tanto el valor estimado es de 0.29.

Determinamos el F.M. = L.L.D. x L.D.D. = 0.81 x 0.88 = 0.71

Determinamos el número de luminarios.

$$No. = \frac{(100)(39.73)}{(4360)(0.29)(0.71)} = 4.42 \text{ consideramos } 4$$

Espaciamiento entre luminarios.

S<sub>máx</sub> = (1.25)(2.90) = 3.625 mts.

S<sub>real</sub> = SQR( 39.73/4) = 3.15 mts.

Ubicación de los luminarios en el local.

$$\text{A lo largo} = \frac{17.98}{3.15} = 5.70 \text{ consideramos } 6$$

$$\text{A lo ancho} = \frac{2.21}{3.15} = 0.70 \text{ consideramos } 1$$

El nivel de iluminación por acomodo es el siguiente.



$$E = \frac{(6)(4360)(0.29)(0.71)}{39.73} = 135 \text{ luxes promedio mantenidos}$$

Nota: Se requieren de seis luminarios, puesto que cada uno va a ir colocado al centro de cada uno de los cubos que conforman el pasillo.

4.- Actualmente para el Cuarto de usos multiples se requiere de un luminario con lámparas T-12 de 2 x 39 w, por lo que el nivel de iluminación es de 90 luxes promedio.

En esta área podemos observar que el nivel de iluminación es bajo, pero cabe mencionar que esta área es la de mayor uso junto con el salón principal, por lo cual se requiere de un mayor nivel de iluminación, debido a que en esta área a parte de leer se realizan otras actividades que demandan un mayor nivel del existente.

#### PROPUESTA

Altura : 3.00 mts.

Ancho : 3.65 mts.

Largo : 3.00 mts.

Altura del plano de trabajo : 0.76 mts.

Nivel de iluminación recomendado : 300 lx.

Reflectancias:

Techo : 80 %

Pared : 30 %

Piso : 40 %

Tipo de ambiente : medio

Horas de operación al año : 912 hrs. año

Altura de la parte baja del luminario : 2.14 mts.

Trabajo a realizar : lectura y otros.

Selección de luminario : Para esta área se propone un luminario REALITE-II, el cual aloja en su interior lámparas T-8 2 x 32 W, encendido rápido, tono de luz blanco frío, lúmenes de la lámpara 3050 y una depreciación de L.L.D.= 0.83

Utilizando el Método de Lumen, por cavidad zonal.

$$R.C.R = \frac{(5)(2.14)(3 + 3.65)}{10.95} = 6.49$$

Con este valor y las reflectancias correspondientes buscamos en la tabla proporcionada por el fabricante el valor del C.U. el cual es 0.31

Determinamos el F.M. = L.L.D.  $\times$  L.D.D. = 0.83  $\times$  0.88 = 0.73

Determinamos el No. de luminarios requeridos.

$$\text{No.} = \frac{(300)(10.65)}{(6100)(0.31)(0.73)} = 2.31 \text{ consideramos } 2$$

Espaciamiento entre luminarios.

$$\begin{aligned} S_{\text{máx}} &= (1.25)(2.14) = 2.675 \text{ mts.} \\ S_{\text{real}} &= \text{SQR}(10.65/2) = 2.30 \text{ mts.} \end{aligned}$$

Ubicación de los luminarios en el local.

$$\text{A lo largo} = \frac{3.65}{2.30} = 1.58 \text{ consideramos } 2$$

$$\text{A lo ancho} = \frac{3.00}{2.30} = 1.3 \text{ consideramos } 1$$

El nivel de iluminación por acomodo es el siguiente.

$$E = \frac{(2)(6100)(0.31)(0.73)}{10.65} = 259 \text{ luxes promedio mantenidos}$$

5.- Actualmente para la Bodega existen cuatro luminarios, con lámparas T-12 2  $\times$  39 w, por lo que el nivel de iluminación es de 241 luxes promedio.

PROPUESTA. Los datos de la bodega son los siguientes.

Altura : 3.00 mts.  
Ancho : 3.55 mts.  
Largo : 5.65 mts.  
Altura del plano de trabajo : 0 mts.

Nivel de iluminación recomendado : 200 lx.

Relectancias:

Techo : 80 %

Pared : 30 %

Piso : 70 %

Tipo de ambiente: medio

Horas de operación al año : de poco uso.

Altura de la parte baja del luminario : 2.90 mts.

Trabajo a realizar : Almacenaje de materiales medianos.

Selección de luminario : Se utiliza para esta propuesta un luminario REALITE-II 6800 de Holophane, el cual aloja en su interior lámparas T-12 2 x 32 W., encendido rápido, tono de luz blanco frío (4100 °K), lúmenes de la lámpara 2650 y una depreciación de L.L.D.=0.84

Utilizando el Método de lumen por cavidad zonal.

$$R.C.R = \frac{(5)(2.90)(5.65 + 3.55)}{20.05} = 6.65$$

Con este valor y el de las reflectancias procedemos a determinar el C.U. de las tablas obtenemos un valor de 0.31 .

Ahora determinamos el .F.M. = L.L.D. x L.D.D. = 0.84 x 0.88 = 0.73

Determinamos el No. de luminarios.

$$\text{No.} = \frac{(200)(20.05)}{(5300)(0.31)(0.73)} = 3.34 \text{ consideramos } 3$$

Espaciamiento entre luminarios.

S<sub>max.</sub> = (1.25)(2.90) = 3.625 mts.

S = SQR (20.05/3) = 2.58 mts.

Distribución de luminarios.

$$\text{A lo largo} = \frac{5.65}{2.58} = 2.19 \text{ consideramos } 2$$

$$\text{Alo ancho} = \frac{2.82}{2.58} = 1.09 \text{ consideramos } 1$$

El nivel de iluminación promedio por acomodo es el siguiente.

$$E = \frac{(4)(5300)(0.31)(0.73)}{20.05} = 239 \text{ luxes promedio mantenidos}$$

Nota: para este ejemplo el cálculo del No. de luminarios es de 3.4 consideramos 4 luminarios, debido a que no podemos ubicar 3 luminarios; ya que esto produciría una diferencia de contraste en la zona iluminada.

6.- Actualmente para los Baños existen tres luminarios, cada uno cuenta con un luminario de 1 x 60 w y dos de 1 x 39. Por lo tanto el nivel de iluminación para cada baño es el siguiente.

En el área de lavabos 173 luxes promedio, con dos lámparas de 2, 1 x 39

En el área de escusados 201 luxes promedio, con una lámpara de 1 x 60

En promedio tenemos un nivel de 187 luxes.

En esta área, contamos con un plafón falso el cual esta ubicado por debajo del techo a 40 cm. Las salidas en dicho plafón estan por debajo de cada luminario, el luminario actual es del tipo canaleta, por lo que la mayor parte del flujo luminoso queda en esta area comprendida entre el plafón y el techo.

Por lo que para la propuesta, consideraremos una altura por debajo del luminario, es decir la altura actual del plafón.

Los datos son los siguientes:

	LAVABOS	ESCUSADOS
Altura :	2.60 mts.	2.60 mts
Ancho :	3.55 mts.	2.70 mts
Largo :	1.415 mts.	1.415 mts.
Altura del plano de trabajo :	0.90 mts.	a nivel de piso
Nivel de iluminación :100 lx.		

Reflectancias:

techo : 80 %

Pared : 30 %

Piso : 70 %

Tipo de ambiente : medio

Horas de operaci3n al a1o : pocas horas

Atura de la parte baja del luminario:1.7 mts.

Selecci3n de luminario : Para el 1rea de lavabos y migitorios se utilizar1n luminarios tipo empotrado en el plaf3n que se encuentra a -40 cm por debajo del techo, el cual aloja en su interior una l1mpara T-8 1 x 17 w, encendido r1pido, B.frio, lumenes de l1mpara 1400 lm, una vida de 20 000 hrs. y un factor de depreciaci3n L.L.D. = 0.80

Utilizando el M3todo de Lumen por cavidad zonal.

$$R.C.C = \frac{(5)(1.7)(3.55 + 1.415)}{5.02} = 8.4$$

Con este valor y con las reflectancias, encontramos el valor del C.U., en las tablas del fabricante, y este es de 0.25.

Procedemos a encontrar el F.M. = L.L.D. x L.D.D. = 0.80 x 0.88 = 0.70

Determinamos el No. de luminarios.

$$No. = \frac{(100)(5.02)}{(1+00)(0.25)(0.70)} = 2.04 \text{ consideramos } 2$$

Espaciamiento entre luminarios

Smax. = (1.2)(1.7) = 2.04 mts.

S = SQR (5.02/2) = 1.58 mts.

Ubicaci3n de luminarios.

$$A \text{ lo largo} = \frac{1.415}{1.58} = 0.89 \text{ consideramos } 1$$

$$\text{A lo ancho} = \frac{3.55}{1.58} = 2.24 \text{ consideramos } 2$$

El nivel de iluminación por acomodo es el siguiente.

$$E = \frac{(2)(1400)(0.25)(0.70)}{5.02} = 97.60 \text{ luxes promedio mantenidos}$$

Selección de luminario para el área de escusados: Se utiliza el mismo luminario anterior con lámpara T-8 1 x 17 encendido rápido, B.frio, lumenes de lámpara 1400 y un factor de depreciación L.L.D. = 0.81.

Encontramos el valor de la relación de cavidad de cuarto. R.C.R. = 1.9

Con este valor y el de las reflectancias, buscamos el C.U. del luminario proporcionado por el Manual Conelec, y este valor es C.U. = 0.56

$$\text{Calculamos el F.M.} = \text{L.D.D.} \times \text{L.L.D.} = 0.80 \times 0.88 = 0.70$$

Calculamos el No. de luminarios.

$$\text{No.} = \frac{(100)(3.82)}{(1400)(0.56)(0.70)} = 0.69 \text{ consideramos } 1$$

Espaciamiento entre luminarios.

$$S_{\text{max.}} = 1.2 \times 2.6 = 3.12 \text{ mts.}$$

$$S_{\text{real}} = \text{SQR}(3.82/1) = 1.95 \text{ mts.}$$

El nivel de iluminación por acomodo es el siguiente.

$$E = \frac{(1)(1400)(0.56)(0.70)}{3.82} = 143.66 \text{ luxes promedio}$$

Como se aprecia el nivel de iluminación esta por encima de lo previsto (100 lx), pero en esta área los escusados están conformados por cubos por lo cual si se ubica el luminario al centro, a los extremos tendríamos sombras pronunciadas por lo cual se implementará otro

luminario con el fin de evitar dichas sombras. El nivel de iluminación que se tendría sería de 287 luxes, pero como se mencionó una parte de esta iluminación será detenida por las paredes y puertas de los escusados, esto se debe a la altura que presenta esta área.

7.- Actualmente para la Escaleras existe un luminario tipo canaleta de 1 x 39 w y dos luminarios tipo arbotante incandescentes de 100 w cada uno de los cuales se encuentran desconectados. Por lo tanto, el nivel de iluminación es de 110 luxes promedio.

#### PROPUESTA.

Los datos son los siguientes.

Altura : 4.50 mts.

Ancho : 2.82 mts.

Largo : 3.0 mts.

Altura de plano de trabajo: 0 mts.

Nivel de iluminación recomendado : 100 lx.

Reflectancias:

Techo : 50 %

Pared : 30 %

Piso : 40 %

Tipo de ambiente : medio

Horas de operación al año : poco uso

Altura de la parte baja del luminario : 2.50 mts.

Selección de luminario : Se propone un luminario tipo canaleta sencilla con ala o tipo condor. El cual aloja en su interior dos lámpara T-8 de 32 W, de encendido rápido, con un tono de luz blanco frío (+ 100 °K), lúmenes de la lámpara 3050, vida en hrs. 20 000 y una depreciación de L.D.D. =0.83 . Cabe mencionar que este luminario quedará empotrado en la pared a 2.5 mts., por encima del descanso.

Utilizando el Método de Lumen por cavidad zonal.

$$R.C.R = \frac{(5)(2.5)(3 + 2.82)}{8.46} = 8.59$$

Con este valor y las reflectancias, encontramos el valor del C.U. en los datos proporcionados por el fabricante y este es de 0.26

Determinamos el F.M. = L.L.D.  $\times$  L.D.D. =  $0.92 \times 0.88 = 0.76$

Ahora encontramos el No. de luminarios.

$$\text{No.} = \frac{(100)(8.46)}{(6100)(0.26)(0.76)} = 0.70 \text{ consideramos } 1$$

Espaciamiento entre luminarios: En este caso se ubicaría al centro. Pero lo que se pretende es iluminar el descanso, por lo cual la parte alta de la escalera tendrá más de 100 luxes y la inferior un poco menos, pero esta será iluminada parcialmente por el pasillo

El nivel de iluminación por acomodo es el siguiente.

$$E = \frac{(1)(6100)(0.24)(0.76)}{8.46} = 131 \text{ luxes promedio mantenidos.}$$

8.- Actualmente para el Vestíbulo, existe un luminario colgante de forma hexagonal, el cual aloja en su interior una lámpara de aditivos metálicos de 400 w, por lo que el nivel de iluminación es de 330 luxes promedio. Considerando que a nivel de piso se requieren 300, por lo cual para este caso no se propone ninguna modificación, lo que se sugiere es un mantenimiento preventivo.

Para este caso se consulto un luminario HI-LO, el cual se describe en el calculo para el salón principal.

El cuadro siguiente, representa el estudio efectuado al salón de usos multiples con la finalidad de un ahorro de energía eléctrica, en función de una posible sustitución de lámparas.



Area	Equipo actual	Luxes promedio	Consumo (W)	Propuesta de equipo	Luxes promedio	Consumo (W)	Ahorro (W).
Salon principal	(12) de 400	340	5400	—	—	—	—
Mezzanin	(8) 2x75 (1) 2x39	330	1440 100	(10) 2x55	284	1250	290
Pasillo	(6) 2x39	170	600	(6) 2x30	135	432	168
Cto. usos Múltiples	(1) 2x39	90	100	(2) 2x32	259	144	-44
Bodega	(4) 2x39	241	400	(4) 2x32	239	288	112
Baños II	(1) 1x60 (2) 1x39	187	90 100	(4) 1x17	192	164	26
Baños III	(1) 1x60 (2) 1x39	187	90 100	(4) 1x17	192	164	26
Escaleras	(1) 1x39 (2) 100	110	54 200	(1) 2x32	131	72	182
Vestibulo	(1) 400	340	455	—	—	—	—
<b>Total</b>			<b>9189</b>			<b>8429</b>	<b>760</b>

Los valores de potencia de línea demandados por cada lámpara en conjunto con su balastro son los siguientes.

Lámpara de 400 w, aditivos metálicos, potencia de línea en w., 455 con un balastro cuadrivolt alto factor de potencia.

Lámpara fluorescente de 2x75, balastro de alto factor de potencia, potencia de línea en w., 180 (encendido instantáneo).

Lámpara fluorescente de 2x39, balastro de alto factor de potencia, potencia de línea en w., 100 (encendido instantáneo)

Lámpara fluorescente de 1x39, balastro de alto factor de potencia, potencia de línea en w. 54 (encendido instantáneo).

Lámpara fluorescente de 2x60, balastro de alto factor de potencia, potencia de línea en w. 180 (encendido instantáneo).

Lámpara de fluorescente de 2x55, balastro de alta eficiencia, potencia de línea en w. 125 (encendido instantáneo).

Lámpara fluorescente de 2x30 ó 2x32, balastro de alta eficiencia, potencia de línea en w. 72 (encendido instantáneo y rápido).

Lámpara fluorescente de 2x17, balastro de alta eficiencia, potencia de línea en w. 41 (encendido rápido).

Otra posible alternativa que se puede llevar a cabo en esta área, es una nueva reconexión del sistema de alumbrado. La evaluación permitió detectar áreas que carecen de apagadores como son los baños, escaleras y mezzanin.

Estas sugerencias se realizan primero por la falta de apagadores, debido a que el equipo por lo general permanece encendido aun cuando estas áreas no son utilizadas; la causa de esta situación se debe a que todo el control está centralizado en un solo tablero, por lo cual se está desperdiciando la energía.

En el salón principal, existe un ahorro ya que existe una excelente penetración de luz natural, esto es a los extremos del salón, así mismo el nivel de iluminación es favorable ya que se cuenta con 700 luxes aproximados a nivel de piso, a los extremos y al centro contamos con 170 luxes esto es con el equipo apagado.

Ahora bien, podemos utilizar solo el equipo que se encuentra al centro del salón; es decir podemos utilizar la mitad de ellos los cuales en total son doce. Esto se puede llevar a cabo, puesto que el horario en que se utiliza con mayor frecuencia es a medio día; que es cuando se presenta la mayor penetración de luz natural.

Para realizar este cometido se tendría que rediseñar la instalación eléctrica, es decir tener un control de los luminarios más independiente y no en grupo como es el caso actual. Una estimación del ahorro de energía eléctrica con solo efectuar modificaciones del sistema eléctrico es:

Para el salón principal con solo 6 equipos, obtenemos 2730 w.

Para el mezzanin, en la actualidad no tiene una actividad continua, por lo que obtenemos 1540 w.

Para el pasillo utilizando el sistema actual alternado, obtenemos 300 w.

Cuarto de usos multiples, esta area es ocupada simultaneamente con el salón principal, por lo cual no presentaria un ahorro, ( en esta área se requiere elevar su iluminación).

Bodega esta area no es ocupada con frecuencia, por lo cual no hay ahorro.

Baños (H y M), por lo general es más utilizado el de mujeres por lo cual el ahorro seria de 190 w.

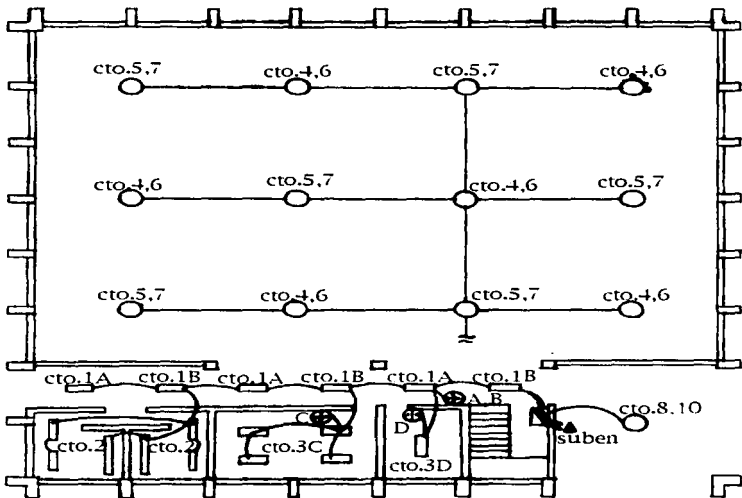
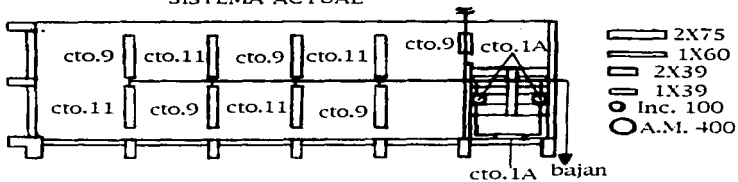
Escaleras, esta area solo seria ocupada de noche, por lo que obtenemos 254 w.

Vestibulo, area que no presenta ahorro por ser utilizada solo de noche.

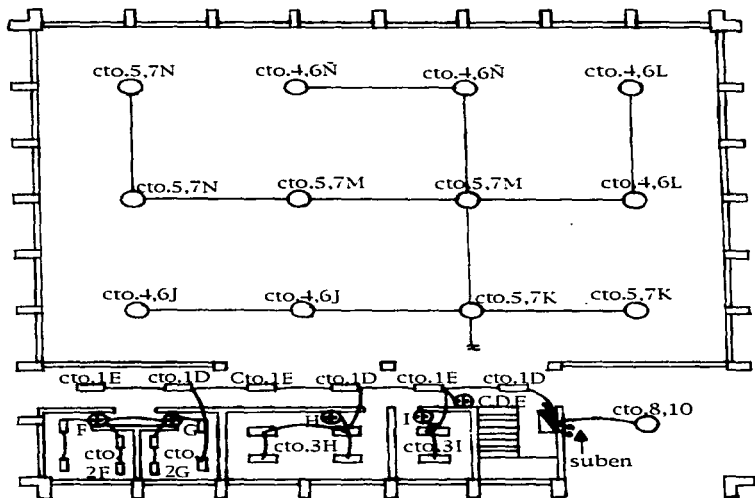
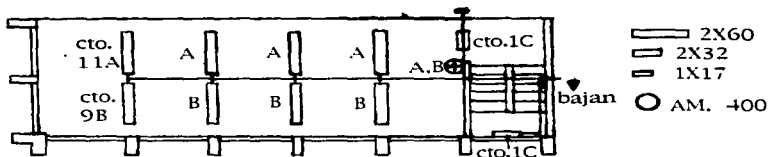
El ahorro que se tendria seria de 5014 watts, con solo modificar el sistema eléctrico y con el mismo equipo de iluminación (previo mantenimiento).

El ahorro se puede incrementar con la implementación de lámparas de menores watajes, como se ha presentado. Para tener un panorama más exacto de lo que se ha presentado a continuacion se muestra el plano actual del sistema de iluminación, asi como la propuesta de un nuevo sistema de iluminacion. (En este último se consideran lámparas de menores watajes, para el caso del mezzanin se recomiendan lámparas de 60 watts. Esto debido a que el costo de una modificación con lámparas de 55 watts es superior a lo que se ahorraria ).

SISTEMA ACTUAL



### SISTEMA PROPUESTO



## CONCLUSIONES

Para proceder a una modificación de cualquier sistema es necesario:

Evaluar las condiciones del sistema actual, con las que debería mantener por diseño. Esto permitirá determinar las zonas más problemáticas en las cuales se pueden lograr ahorros energéticos.

La determinación de zonas con mayores consumos, permite determinar que tan viable es la implementación de nuevos equipos, tomando en cuenta el costo de estos (costo por adquisición, de implementación, de operación y mantenimiento). Con respecto al ahorro que se tendría por la implementación.

Con respecto a la iluminación, se deben considerar el uso de colores claros en las superficies con la finalidad de aprovechar al máximo el flujo emitido por la fuente de luz.

Las lámparas se seleccionan de acuerdo: a su potencia, C.R.I, eficacia (lm/w), y período de vida (se debe considerar el tiempo de operación de la lámpara "encendido/apagado", para mantener su vida neta).

El balastro se deberá seleccionar con los mejores parámetros de operación, o en función de un alto F.P. u alta eficiencia.

Al diseñar el plano eléctrico se tendrá cuidado en el control de encendido/apagado de los luminarios, esto con la intención de mantener más independiente la utilización de los luminarios.

Por último el factor más aconsejable para tener un sistema más eficiente y mantenerlo estable es la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, así como la concientización del personal en general; con apoyo de carteles alusivos y pláticas de carácter voluntario enfocadas al tema de ahorro de energía eléctrica.

Este trabajo solo pretende dar a conocer algunos puntos importantes de un tema tan amplio como es la iluminación. Por consiguiente hemos pretendido resumir y considerar aquellos puntos

**que estimamos más importantes, los cuales puedan interesar a aquellas personas relacionadas a este campo; así como a quienes estén interesados en tener una idea sobre iluminación.**

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Catálogo condensado. Holophane 1997.
- 2.- Catálogo de balastos. axa lumisistemas.
- 3.- Catálogo de balastos. Philips 1996.
- 4.- Catálogo de iluminación industrial sección L. Crous-Hinds-Domex.
- 5.- Catálogo de luminarios industriales. axa lumisistemas.
- 6.- Catálogo de luminarios No. VII. Electro Lighting Mexicana.
- 7.- Catálogo general de especificaciones. Philips 1996.
- 8.- Catálogo general de luz. Osram 1996 y 97.
- 9.- Cursos abiertos : iluminación interior, principios, diseño y aplicación.
  - Facultad de Ingeniería de la UNAM.
  - División de educación continua.
  - A) Balastos.
  - B) Control de la luz.
  - C) Criterios para la iluminación de oficinas.
  - D) Fuentes de luz.
- 10.- Cursos proporcionados por :
  - ATPAE - Asociación de técnicos y profesionistas en aplicación energética A.C.
  - IESNA - Sociedad de ingenieros en iluminación de Norte América.
  - FIDE - Fideicomiso de apoyo al programa de ahorro de energía del sector eléctrico.
  - A) Balastos ahorradores.
  - B) Luminarios.
- 11.- Datos técnicos de balastos. Manufacturera de reactores S.A. de C.V.



- 12.- Fundamentos de lámparas e iluminación. Sylvania S.A. de C.V.
- 13.- Luminotécnica, enciclopedia CEAC de electricidad.  
Ramírez Vázquez José.  
Ed. CEAC
- 14.- Manual de iluminación industrial. Crous-Hinds-Domex S.A.de C.V.
- 15.- Manual de recomendaciones para ahorro de energía. FIDE.
- 16.- Manual eléctrico 4a. edición. Industrias conelec S.A. de C.V.
- 17.- Manual de iluminación. Holophane S.A. de C.V.
- 18.- Manual para instaladores y proyectistas. Osram S.A. de C.V.
- 19.- Revistas informáticas de ahorro de energía eléctrica. FIDE.
- 20.- Sistemas de iluminación industrial.  
P. Frier John  
E. Gazley Mary  
Ed. Limusa
- 21.- Tecnología aplicada a la capacitación y aplicación de los  
elementos de  
de alumbrado  
Ing. Lima V. Juan Ignacio  
I.P.N.