

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**Diseño de iluminación industrial  
utilizando ahorradores  
de  
energía**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ROBERTO LEONEL RETOLAZA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1997



410  
T(4127)  
C. 4

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado **Diseño de iluminación industrial utilizando ahorradores de energía**, tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 7 de febrero de 1995. No.EIME.049.95.



Roberto Leonel Retolaza Méndez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



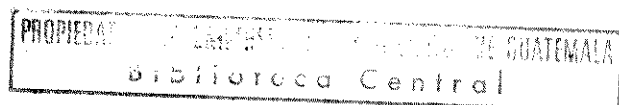
FACULTAD DE INGENIERIA

Miembros de la Junta Directiva

**DECANO:** Ing. Herbert René Miranda Barrios  
**VOCAL 1o:** Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra  
**VOCAL 2o:** Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano  
**VOCAL 3o:** Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez  
**VOCAL 4o:** Br. Victor Rafael Lobos Aldana  
**VOCAL 5o:** Br. Wagner Gustavo López Cáceres  
**SECRETARIO:** Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

**DECANO:** Ing. Julio González Podszueck  
**EXAMINADOR:** Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra  
**EXAMINADOR:** Ing. José Luis Herrera Gálvez  
**EXAMINADOR:** Ing. Walter Isai Guillen  
**SECRETARIO:** Ing. Francisco González López



Guatemala 12 de Mayo de 1997

Ingeniero  
José Luis Herrera Gálvez  
Coordinador del Area de Electrotecnia  
Escuela de Mecánica Eléctrica  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Presente

Ingeniero Herrera:

Adjunto a la presente le estoy remitiendo el trabajo de Tesis titulado "DISEÑO DE ILUMINACION INDUSTRIAL UTILIZANDO AHORRADORES DE ENERGIA", del estudiante universitario Roberto Leonel Retolaza Méndez, carnet número 8712047.

Luego de la revisión de su contenido y conclusiones, yo como su Asesor, recomiendo que el presente trabajo de Tesis sea aprobado.

Sin otro particular,

Atentamente,

  
Ing. Héctor Moris Polanco Mazariegos  
Colegiado 919  
Asesor



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 26 de mayo de 1,997

Señor Director  
Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: *Diseño de iluminación industrial utilizando ahorradores de energía*, desarrollado por el señor Roberto Leonel Retolaza Méndez, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Luis Herrera Gálvez  
Coordinador Area Electrotecnia

JLHG/sdem.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Roberto Leonel Retolaza Méndez, titulada: Diseño de iluminación industrial utilizando ahorradores de energía, procede a la autorización del mismo.

Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra  
Director

Guatemala, 8 de julio de 1,997.





**FACULTAD DE INGENIERIA**

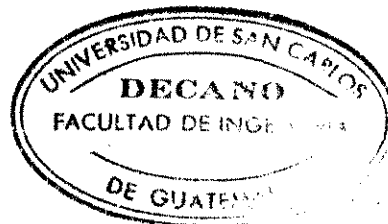
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: **Diseño de iluminación industrial utilizando ahorradores de energía**, del estudiante: **Roberto Leonel Retolaza Méndez**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios  
Decano



## **ACTO QUE DEDICO**

- A DIOS:** Por haberme dado fe y confianza en mí mismo, para concluir una meta en mi vida.
- A LA VIRGEN MARÍA:** Por sus infinitas bendiciones.
- A MI ESPOSA:** **Mercedes Aracely Reyna de Retolaza**  
Por todo su amor y apoyo incondicional.
- A MI HIJA:** **María Mercedes Retolaza Reyna**  
Por la alegría y bendición que le da a mi hogar.
- A MIS PADRES:** **Oscar Leonel Retolaza Tejeda**  
**Eleané Méndez de Retolaza,**  
Por todo el amor, dedicación y esfuerzos brindados.
- A MIS HERMANOS:** **Juan Carlos, Claudia María, Oscar Estuardo,**  
Por todo su cariño.
- A MIS ABUELITOS:** **Graciela Tejeda de Retolaza,**  
**Manuel Méndez Dardón,**  
**Victoria Carrillo de Méndez,**  
Por sus sabios consejos.
- A LA UNIVERSIDAD:** **DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
Por todos los conocimientos adquiridos.



# ÍNDICE

	Página
<b>Lista de gráficas</b> -----	<b>I</b>
<b>Lista de símbolos</b> -----	<b>II</b>
<b>Glosario</b> -----	<b>III</b>
<b>Introducción</b> -----	<b>IV</b>
<b>1: Principios de luminotecnia</b> -----	<b>1</b>
1.1 Radiación electromagnética y luz-----	1
1.2 Espectro electromagnético y espectro visible-----	1
1.3 Sensibilidad espectral del ojo humano-----	2
1.4 Color-----	3
1.5 Índice de rendimiento de color (IRC)-----	4
1.6 Temperatura de color-----	4
1.7 Propiedades ópticas de la materia-----	7
1.8 Magnitudes y unidades de radiación-----	8
1.8.1 Flujo radiante (Fr)-----	8
1.8.2 Eficacia radiante (Nr)-----	8
1.8.3 Intensidad radiante (Ir)-----	8
1.8.4 Irradiancia (Er)-----	8
1.9 Magnitudes y unidades de iluminación-----	9
1.9.1 Flujo luminoso (F)-----	9
1.9.2 Eficacia luminosa-----	10
1.9.3 Iluminancia (E)-----	10
1.9.4 Luminancia (L)-----	11
1.10 Vida o duración-----	11
<b>2: Principios físicos de funcionamiento y características</b> -----	<b>13</b>
2.1 Principios físicos de funcionamiento y características-----	13
2.2 Termorradiación (incandescencia)-----	13
2.3 Luminiscencia-----	14
2.4 Descripción general de las lamparas-----	14
2.5 Características generales-----	15



3: Lámparas-----	18
3.1 Lámparas incandescentes -----	18
3.1.1 Componentes-----	18
3.1.2 Características de funcionamiento-----	20
3.1.3 Características técnicas y energéticas-----	21
3.1.4 Nuevos desarrollos-----	22
3.1.5 Perspectivas de futuro-----	23
3.2 Incandescentes halógenas -----	23
3.2.1 Componentes-----	24
3.2.2 Características de funcionamiento-----	25
3.2.3 Características técnicas y energéticas-----	25
3.2.4 Nuevos desarrollos-----	28
3.3 Lámparas de vapor de mercurio -----	29
3.3.1 Lámparas de vapor de mercurio de baja presión ----	29
3.3.1.1 Componentes-----	30
3.3.1.2 Características de funcionamiento-----	32
3.3.1.3 Características técnicas y energéticas-----	36
3.3.1.4 Ventajas-----	39
3.3.1.5 Limitaciones-----	39
3.3.1.6 Nuevos desarrollos-----	39
3.3.2 Fluorescente compacta -----	40
3.3.2.1 Componentes-----	41
3.3.2.2 Característica de funcionamiento -----	41
3.3.2.3 Característica técnica y energética-----	42
3.3.2.4 Ventajas-----	44
3.3.2.5 Limitaciones-----	44
3.3.2.6 Nuevos desarrollos-----	44
3.3.3 Lámparas de vapor de mercurio de alta presión ----	44
3.3.3.1 Lámparas de vapor de mercurio-----	45
3.3.3.2 Lámparas de luz mezcla -----	49
3.3.3.3 Lámparas de halógenos metálicos -----	51
3.3.4 Lámparas de sodio-----	55
3.3.4.1 Lámparas de sodio de baja presión-----	55
3.3.4.2 Lámparas de sodio de alta presión -----	59

4: Luminarias y elementos auxiliares (balastos)-----	66
4.1 Luminarias -----	66
4.1.1 Clasificación-----	66
4.1.1.1 Clasificación según características ópticas---	66
4.1.1.2 Clasificación según características mecánicas	66
4.1.1.3 Clasificación según características eléctricas-	69
4.1.2 Características de luminarias -----	69
4.1.3 Tipos de luminarias-----	71
4.1.3.1 Luminarias para lámparas incandescentes ---	71
4.1.3.2 Luminarias para lámparas fluorescentes -----	71
4.1.3.3 Luminarias para lámparas de descarga de alta presión -----	73
4.2 Elementos auxiliares (balastos)-----	74
4.2.1 Principios de funcionamiento del balastro -----	75
4.2.2 Función del balastro-----	76
4.2.3 Tipos de circuitos -----	77
4.2.4 Tipos de arranque-----	78
4.2.5 Factores de operación-----	80
4.3 Balastos electrónicos -----	83
4.3.1 Funcionamiento y características -----	83
4.3.2 Características -----	84
 5: Ahorradores de energía-----	 87
5.1 Economía de las lámparas y de los sistemas de iluminación -----	 87
5.2 Costo de la lámpara-----	87
5.3 Reemplazo de sistemas -----	88
5.4 Reemplazo de lámparas en grupo-----	88
5.5 Vida de la lámpara-----	89
5.6 Nivel de luz-----	90
5.7 Economía en iluminación -----	90
5.8 Conversión de instalaciones existentes para ahorrar energía-----	 92
5.8.1 Cambio individual de lámparas -----	92
5.8.2 Cambio colectivo de lámparas-----	93
5.8.3 Costo de la renovación de lámparas-----	94

6: Aplicación y técnicas de diseño para utilizar ahorradores de energía---	96
6.1 Sistema de iluminación actual-----	111
6.2 Reemplazo de lámparas y balastos ahorradores de energía utilizando el mismo sistema de luminarias -----	114
6.3 Cálculo de iluminación utilizando un nuevo sistema de ahorradores de energía-----	122
6.3.1 Proceso de elaboración de un proyecto de iluminación-----	114
6.3.2 Tabla de resumen de luminarias utilizando procedimiento de inciso anterior-----	128
<b>Conclusiones-----</b>	<b>VIII</b>
<b>Recomendaciones-----</b>	<b>X</b>
<b>Bibliografía-----</b>	<b>XI</b>

## LISTA DE GRÁFICAS

- Fig. 1.1 Sensibilidad espectral del ojo humano.
- Fig. 1.2 Temperatura de color correlacionada.
- Fig. 1.3 Tipos de reflexión: a) especular; b) difusa; c) compuesta (principalmente difusa); d) compuesta (principalmente especular).
- Fig. 1.4 Diagrama de conceptos de luminotecnia.
- Fig. 2.1 Curvas de planck.
- Fig. 2.2 Iluminación media de una instalación.
- Fig. 3.1 Espectro de emisión de las lámparas incandescentes.
- Fig. 3.2 Variaciones de características con la tensión de red.
- Fig. 3.3 Ciclo del halógeno.
- Fig. 3.4 Casquillos para lámparas halógenas de baja tensión.
- Fig. 3.5 Tubos fluorescentes.
- Fig. 3.6 Circuitos típicos de funcionamiento.
- Fig. 3.7 Influencia de las variaciones de tensión.
- Fig. 3.8 Influencia de la temperatura en el flujo luminoso.
- Fig. 3.9 Depreciación del flujo luminoso.
- Fig. 3.10 Influencia de la frecuencia en el flujo luminoso.
- Fig. 3.11 Lámparas compactas.
- Fig. 3.12 Lámparas completas.
- Fig. 3.13 Espectro luminoso para lámpara de ampolla clara y color corregido.
- Fig. 3.14 Características de encendido.
- Fig. 3.15 Efectos de las variaciones de tensión y circuito de conexión.
- Fig. 3.16 Espectro luminoso.
- Fig. 3.17 Espectro luminoso de sodio de baja presión.
- Fig. 3.18 Circuito de conexión con balastro autotransformador.
- Fig. 3.19 Circuito de conexión con balastro híbrido.
- Fig. 3.20 Características de encendido.
- Fig. 3.21 Espectro luminoso de sodio de alta presión.
- Fig. 3.22 Diagrama de tipos de arrancadores.
- Fig. 3.23 Características de encendido.
- Fig. 4.1 Clasificación de los sistemas de alumbrado.
- Fig. 4.2 Rejillas de luminarias para fluorescentes.
- Fig. 4.3 Triángulo de potencia.
- Fig. 4.4 Circuito serie.
- Fig. 4.5 Circuito tipo autotransformador.
- Fig. 4.6 Diagrama y curva de precalentamiento.
- Fig. 4.7 Diagrama y curva de arranque instantáneo.
- Fig. 4.8 Diagrama y curva de arranque rápido.
- Fig. 4.9 Curvas de factor de potencia.
- Fig. 4.10 Curvas de factor cresta.
- Fig. 4.11 Formas de onda del balastro electrónico.
- Fig. 4.12 Comparación gráfica de temperatura ambiente.
- Fig. 5.1 Lámpara F40.
- Fig. 5.2 Curvas representativas de la duración de bombillas incandescentes y tubos fluorescentes.
- Fig. 6.1 Gráfica temperatura lámparas fluorescentes.
- Fig. 6.2 Gráfica de depreciación por suciedad acumulada.

## Lista de abreviaturas y símbolos

**IRC** = Índice de rendimiento de color.

**Fr** = Flujo radiante.

**Nr** = Eficacia radiante.

**Ir** = Intensidad radiante.

**Er** = Irradiancia.

**F** = Flujo luminoso.

**E** = Iluminancia.

**L** = Luminancia.

## Glosario

- Absorción.** Es la transformación de la energía radiante en otro tipo de energía por interacción con la materia.
- Absorción (factor).** El factor de absorción es la relación entre el flujo absorbido y el flujo incidente.
- Acomodación.** Es la capacidad del ojo humano para ajustarse automáticamente a las distintas distancias de los objetos observados, enfocándolos y obteniendo una imagen nítida.
- Adaptación.** Es el proceso por el que se modifica el sistema visual para ajustarse a las variaciones de los estímulos como luminancias o distribuciones espectrales.
- Agudeza visual.** Inverso de la separación angular, en minutos de arco, entre dos puntos o líneas, que el ojo es capaz de ver separados.
- Altura de montaje.** Distancia entre el plano de referencia y el plano en el cual se encuentran las luminarias.
- Ángulo de apertura del haz.** Ángulo correspondiente a la emisión de luz de un proyector, en que la intensidad luminosa es superior a un determinado porcentaje de la intensidad máxima, generalmente 10 o 50 %.
- Ángulo sólido.** Ángulo tendido en el centro de una esfera por un área de superficie numéricamente igual al cuadrado del radio. Unidad: estereorradián, sr.
- Balastro.** Dispositivo de estabilización de la descarga eléctrica necesario para el funcionamiento de las lámparas de descarga. Eléctricamente es una reactancia.
- Brillo.** Sensación visual subjetiva por la que un área parece emitir más o menos luz.
- Cebador.** Dispositivo para encender una lámpara de descarga (especialmente fluorescente) que provee el precalentamiento necesario de los electrodos o provoca una sobretensión momentánea en combinación con el balastro en serie.
- Coefficiente de utilización.** Relación entre el flujo luminoso que llega al plano de referencia, y la suma del flujo emitido por las lámparas funcionando fuera de la luminaria.
- Color.** Véase índice de rendimiento de color y temperatura de color.
- Contraste.** Estimación subjetiva de una diferencia de luminosidad. Se conoce como contraste de luminancias la diferencia de iluminancias entre la tarea y el fondo, expresado en proporción a la luminancia de fondo.
- Cuerpo negro.** Radiador térmico que absorbe completamente la radiación incidente, cualquiera que sea su longitud de onda, dirección de incidencia o polarización.

**Depreciación (factor).** El inverso del factor de mantenimiento.

**Deslumbramiento.** Pérdida de facultades visuales por parte de un observador como consecuencia de recibir estímulos excesivamente intensos.

La pérdida de facultades se manifiesta por:

- Disminución de agudeza visual.
- Aumento del contraste mínimo perceptible.
- Aumento del tiempo de percepción, acomodación y reacción.

**Dicroico.** Reflector de doble capa que permiten reflejar radiaciones de una cierta longitud de onda y transmitir las de otra. Se utiliza para lámparas de colores determinados, así como para lámparas que eliminan la radiación infrarroja (calor) y emiten luz fría.

**Difusión.** Cambio del reparto espacial de un haz de luz, que es desviado en múltiples direcciones por una superficie o por un medio.

**Distribución espectral.** Forma en que el flujo radiante, flujo luminoso u otra cantidad varía con la longitud de onda o frecuencia. La distribución espectral de una lámpara indica las características de luz que emite.

**Eficacia luminosa.** Indica el rendimiento con que una determinada fuente de luz convierte la energía eléctrica en luminosa. Se obtiene dividiendo el flujo luminoso en lúmenes producido por una determinada lámpara por su potencia, en vatios. Su unidad es, por tanto, el lm/W.

**Flujo directo.** Es el flujo luminoso que llega directamente al plano de referencia desde las luminarias.

**Flujo luminoso.** (Unidad: lumen, abreviatura: lm) es la cantidad de luz emitida por una fuente de luz en cualquier dirección, por unidad de tiempo.

**Getter.** Material sólido, generalmente metal, que se coloca en el interior de las lámparas para absorber las impurezas gaseosas que se producen durante el funcionamiento de la lámpara por evaporación de los filamentos o de los electrodos.

**Huminacia.** (Unidad: lux., abreviatura: lx) es la iluminación producida por un flujo luminoso que incide en una superficie por unidad de área. Una superficie de un metro cuadrado en la que incide un flujo de 1 lm, tiene una iluminancia de 1 lx.

**Incremento del umbral (TI).** es el contraste extra necesario para volver a ver un objeto cuando existe deslumbramiento respecto a si no existiese deslumbramiento.

**Índice del local.** Número que representa la geometría de una sala, utilizado en el cálculo del coeficiente de utilización o de la utilancia.



**Índice de rendimiento de color (IRC o Ra).** Es el grado de ajuste entre el aspecto coloreado de los objetos iluminados por la fuente de luz considerada y el de los mismos objetos iluminados por una fuente referencia.

Este índice se expresa por un número comprendido entre 0 y 100.

**Intensidad luminosa.** (Unidad: candela, abreviatura: cd) puede describirse como la fuerza de la luz en una dirección determinada. Más técnicamente es el flujo luminoso emitido dentro de un cono en una dirección determinada dividido por el ángulo sólido de dicho cono.

Una intensidad luminosa de una candela equivale a un flujo emitido de 1 lm en un ángulo sólido de un estereorradián.

**Ley del coseno.** Expresa que la iluminancia de un punto en un plano es proporcional al coseno del ángulo de incidencia (el ángulo comprendido entre la dirección de la luz incidente y una línea perpendicular a este plano).

**Ley de la inversa de los cuadrados.** Indica que la iluminancia en un punto de un plano perpendicular a la línea que une este punto con la fuente es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre fuente y plano.

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

**Longitud de onda.** Distancia, en el sentido de la propagación de una onda periódica, entre dos puntos sucesivos, en los cuales la fase es la misma.

**Lugar geométrico de Planck.** Línea en un diagrama de cromaticidad o triángulo de color que representa a radiadores completos a diferentes temperaturas.

**Luminancia.** Existen dos tipos de brillo, uno es la sensación que experimenta el ojo humano y que se denomina luminosidad; y otro es el brillo fotométrico que puede ser medido y calculado y que se denomina luminancia.

La luminancia de una fuente de luz primaria (produce la luz) o secundaria (la refleja), es la intensidad luminosa por superficie aparente de dicha fuente.

$$\frac{2}{2}$$

Su unidad es la cd/m<sup>2</sup> o la cd/cm<sup>2</sup>.

**Luminosidad.** Véase Brillo.

**Luz negra.** Término utilizado para la radiación ultravioleta cercana al espectro visible. Generalmente se utiliza la banda entre 320 y 400 nm.

**Mantenimiento (factor).** Relación entre la iluminancia media en el pleno de trabajo, después de un período determinado de utilización de la instalación de alumbrado, y la iluminación media obtenida en las mismas condiciones, por la instalación nueva.

**Metamerismo.** Fenómeno por el que estímulos de color con diferentes espectros aparecen idénticos en ciertas condiciones visuales y distintos para otros observadores o iluminantes.

**Nivel de iluminación.** Véase iluminancia.

**Reflexión difusa.** Difusión por reflexión caracterizada (en una escala macroscópica) por la ausencia de reflexión regular.

**Reflexión especular.** Reflexión sin difusión de la luz, de acuerdo con las leyes de la óptica (como en un espejo).

**Reflexión (factor).** Es la relación entre el flujo luminoso reflejado y el incidente.

**Refracción.** Cambio de la dirección de propagación de la luz al atravesar un medio translúcido o transparente.

**Rendimiento luminoso.** Véase eficacia luminosa.

**Rendimiento luminoso de una luminaria.** Relación entre el flujo luminoso de una luminaria medida bajo condiciones de trabajo, y la suma total del flujo luminoso de las lámparas funcionando fuera de la luminaria (bajo condiciones específicas).

**Rendimiento óptico de una luminaria.** Relación entre el flujo luminoso emitido, medido bajo condiciones específicas y la suma del flujo luminoso de las lámparas cuando están colocadas en la luminaria.

**Temperatura de color (K).** La temperatura de color de una fuente de luz es la temperatura de color del cuerpo negro en la que la apariencia de color es similar a la de la fuente considerada. Si no se trata de una fuente de luz que se emite por termorradiación (lámparas incandescentes), se debe utilizar el concepto de *temperatura de color correlacionada*.

**Temperatura de color correlacionada (K).** Temperatura de color que corresponde al punto del lugar geométrico de Planck que está más próximo al que representa la cromaticidad del iluminante considerando.

**Uniformidad.** Variación de la iluminancia expresada como relación entre la máxima y la mínima, o entre la máxima y la media.

**Utilancia.** Relación entre el flujo luminoso que llega al plano de referencia y el flujo que sale de una luminaria.

# INTRODUCCIÓN

Hoy más que nunca nuestro país necesita ser eficiente en todos los aspectos para poder crecer en una proporción tal, que asegure el futuro de toda la población.

Actualmente vivimos en un mundo dónde la competencia internacional, es cada vez más cerrada y donde definitivamente, sólo aquellos países que aprovechen al máximo sus recursos, podrán asegurar a su población un nivel decoroso de vida. Uno de los campos más importantes donde se necesita y se puede ser más eficientes es, sin duda en los sistemas de iluminación.

Como se sabe la luz artificial es instrumento para la creación de buenas condiciones de trabajo y ambiente, hace que el desarrollo diario sea más seguro y cómodo. El reducir la intensidad a valores por debajo de las normas para poder regular el consumo de energía es una medida contraproducente. Las pérdidas financieras que resultan de un alumbrado insuficiente pueden ser cuantiosas, desde el punto de vista de reducción de la productividad y que un alumbrado adecuado en la industria ayuda de sobremanera a reducir la fatiga, las piezas defectuosas y los accidentes.

Sin embargo hay muchas formas de ahorrar energía en el alumbrado existe un enorme potencial para el desarrollo de energía y para aprovecharlo no es estrictamente necesario vivir en la obscuridad o semipenumbra.

Por lo tanto es de esencial importancia para todos hacer uso racional de los recursos energéticos y estudiar toda posibilidad para mejorar la eficiencia de los procesos consumidores de energía no deja de ser un factor importante a considerar cuando se busca el ahorro energético. Eso no es difícil de lograr si se toma en cuenta que hoy se dispone de métodos apropiados para ello, o sea, de fuentes luminosas muchos más eficaces que antes, lo cual, permite diseñar una nueva instalación, con equipos más eficientes.

Este trabajo de tesis se limita a tratar un tema de importancia para estos tiempos; es el ahorro de energía en alumbrado, nuevos desarrollos en tecnología de iluminación, utilización de una forma correcta y racional de las fuentes de luz y el beneficio que se obtiene y la contribución para lograr este cometido.

# 1. Principios de luminotecnia

## 1.1 Radiación electromagnética y luz

La luz es una forma de energía que puede transmitirse desde un punto a otro sin necesidad de soporte material esta transferencia de energía no es sino un caso particular de otra más amplia que se conoce como radiación electromagnética, y que se define como el transporte de energía por medio de ondas electromagnéticas a través del espacio.

La radiación electromagnética, por su naturaleza ondulatoria, queda caracterizada por las siguientes magnitudes:

- Velocidad de propagación ( $c$ ): 300,000 km./s, en el vacío; esta velocidad sufre ligeras variaciones, dependiendo del medio de que se trate.
- Frecuencia ( $f$ ): número de oscilaciones del campo electromagnético en la unidad de tiempo. Su unidad es el hertz (Hz) o ciclo/s.
- Período ( $T$ ): tiempo, en segundos, durante el que se efectúa una oscilación o ciclo completo. Es el inverso de la frecuencia.
- Longitud de onda ( $\lambda$ ): distancia recorrida por la onda durante un período. Así, en el vacío, será:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

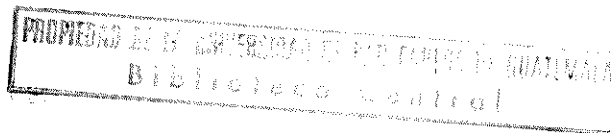
Si bien, tanto la frecuencia como el período son características invariables de la radiación electromagnética, la longitud de onda no lo es, ya que depende de la velocidad de propagación y, por tanto, del medio que se considere. A pesar de este hecho, y teniendo en cuenta que las variaciones de la velocidad de propagación son relativamente pequeñas, es una práctica generalizada utilizar la longitud de onda para clasificar las radiaciones electromagnéticas. Su unidad de medida más generalizada es el nanómetro.

(1 nm = 10<sup>-9</sup> ).

## 1.2 Espectro electromagnético y espectro visible

La clasificación de las radiaciones electromagnéticas, en función de la longitud de onda, configura el espectro electromagnético, que queda reflejado en la siguiente tabla:

Tipo de radiación	Longitudes de onda (nm)	
	-5	-3
Rayos cósmicos	10	10



	-3	-1	
Rayos gamma	10	-	10
	-1		
Rayos X	10	-	100
Ultravioleta	100	-	380
Visible	380	-	760
			6
Infrarrojo	760	-	10
	6		8
Radar	10	-	10
	8		9
Televisión y FM	10	-	10
	9		12
Radio AM	10	-	10
	12		16
Ondas eléctricas	10	-	10

Los límites que se señalan en esta tabla son meramente orientativos ya que, en general, existe un solape entre las distintas radiaciones.

La parte visible del espectro electromagnético ocupa una pequeña franja del mismo, dentro de la cual el ojo humano distingue las diferentes longitudes de onda por las diversas sensaciones de color que originan. Así el espectro visible está formado por las siguientes radiaciones:

<i>Tipo de radiación</i>	<i>Longitudes de onda (nm)</i>	
Violeta	380	- 436
Azul	436	- 495
Verde	495	- 566
Amarillo	566	- 589
Naranja	589	- 627
Rojo	627	- 760

Nuevamente, los límites señalados no son estrictos, sino que existen en ellos las mezclas de color o transiciones entre dos colores saturados.

### 1.3 Sensibilidad espectral del ojo humano

La sensibilidad del ojo humano no es constante en todo el espectro visible, sino que varía con la longitud de onda, según se muestra en la figura 1.1. Además, también influye el grado de luminosidad en el cual se desarrolla la función visual. Así, en las condiciones de luminosidad habituales en el diseño luminotécnico, la sensibilidad espectral viene indicada por la curva de la izquierda, produciéndose el máximo de sensibilidad del ojo a diferentes longitudes de onda en ambas situaciones.

Si se refiere únicamente a la curva de visión diurna (derecha), se observa que la respuesta visual es máxima en la zona verde-amarilla del espectro visible, correspondiendo a una longitud de onda de 555 nm. Esto condiciona la eficiencia de las fuentes de luz, siendo más eficientes aquellas fuentes de luz que consigan emitir la mayor parte de su radiación luminosa en las proximidades de la longitud de onda que corresponde a la máxima sensibilidad espectral; dicho de otro modo, para conseguir la misma sensación luminosa, se precisará menos energía emitida a 555 nm, que en cualquier otra longitud de onda.

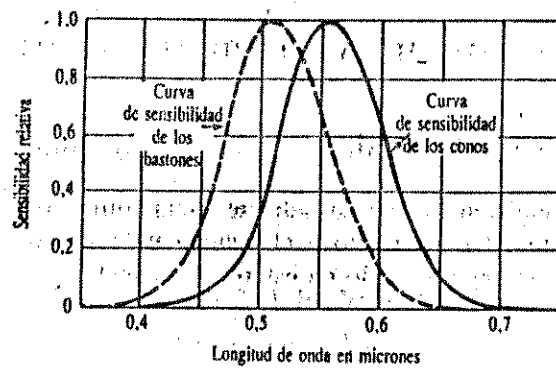


Fig. 1.1 Sensibilidad espectral del ojo humano.

#### 1.4 Color

Existen dos cualidades que definen las propiedades de color de una fuente de luz:

- La apariencia de color de la fuente, es decir, el color que presenta la propia fuente de luz.
- La reproducción cromática obtenida con una fuente de luz determinada, o lo que es lo mismo, cómo son reproducidos los colores de los objetos iluminados por esa fuente de luz.

Estas dos características dependen de la composición espectral de la luz emitida. Así, para una fuente de luz, los colores contenidos en su espectro de emisión determinarán el color resultante que presenta la propia fuente, y además los objetos iluminados reflejarán (reproducirán) los colores que reciben de esta fuente.

Sin embargo, aun dependiendo ambas de la composición espectral, la apariencia de color y la reproducción cromática son, en determinados casos, independientes, de tal modo que conocida una de ellas, no se puede asegurar nada sobre la otra; por ejemplo, dos lámparas de descarga con una apariencia de color muy similar pueden ocasionar reproducciones de color muy diferentes. En el caso de lámparas incandescentes, existe por el contrario una correspondencia biunívoca entre la temperatura de color y el espectro de emisión, es decir, su reproducción del color.

## 1.5 Índice de rendimiento de color (IRC)

La capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz, se caracteriza por medio del índice de rendimiento de color (IRC). Este índice ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de luz para reproducir unas muestras de colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz de referencia.

Convencionalmente, el IRC varía entre 0 y 100, pero no debe entenderse como un porcentaje de fiabilidad de reproducción de cada uno de los colores, sino como una cifra global que se obtiene como promedio de las reproducciones efectuadas de los colores de la muestra. Así, por ejemplo, dos lámparas de descarga pueden tener un mismo IRC, y sin embargo reproducir de modo distinto un determinado color.

En la tabla siguiente se especifican los índices de rendimiento de color mínimos de las fuentes de luz, expresados por grupos de calidad según CIE (Commission Internationale de L'Eclairage): 1, buen IRC; 2, IRC normal; 3, IRC mediocre.

<i>Grupo de rendimiento de color</i>	<i>Valores extremos del IRC</i>
1	> 85
2	70 - 85
3	< 70

## 1.6 Temperatura de color

Es un hecho conocido que la mayoría de los cuerpos, calentados hasta una temperatura suficientemente alta emiten una luz rojiza y, a medida que la temperatura aumenta, la luz emitida se va haciendo más blanca. Este fenómeno, que es válido para las emisiones de luz por incandescencia, establece una relación entre la temperatura de la fuente de luz y su apariencia de color. Así, el parámetro que caracteriza la tonalidad de la luz emitida recibe el nombre de temperatura de color.

La temperatura de color de una fuente de luz se determina por comparación con una fuente patrón. Para las lámparas que basan su funcionamiento en la incandescencia, la fuente patrón es una lámpara con unas características de emisión próximas a las del cuerpo negro o radiador integral. El cuerpo negro va tomando diferentes colores (emite en diferentes longitudes de onda) a diferentes temperaturas, que se denominan temperaturas de color. Cuando la apariencia de color de la fuente de luz ensayada y la patrón es la misma, se asigna a aquellas la temperatura de color de esta.

Si se representa en una curva las distintas cromaticidades de cuerpo negro a diferentes temperaturas dentro del diagrama de cromaticidad de la CIE, la curva formada (P) se conoce como lugar de Planck.

En el diagrama de cromaticidad de la CIE, los puntos representativos de cualquier color están indicados por sus coordenadas cromáticas X e Y. El blanco se representa por las coordenadas  $X= 0.33$  e  $Y= 0.33$ , y está situado en la curva P.

Únicamente si la fuente de luz es por incandescencia, su cromaticidad está sobre la curva de Planck, y su temperatura de color indica cuál es su distribución espectral.

Para las fuentes de luz que no son radiadores completos (lámparas de descarga), se emplea

el concepto de temperatura de color similar o correlacionada, que puede definirse como la temperatura a la que el cuerpo negro presenta una apariencia de color similar a la de la fuente de luz ensayada.

Las líneas de temperatura de color correlacionada de la figura 1.2, permiten conocer dicha temperatura, trazando una línea paralela desde el punto de cromaticidad de la fuente de luz considerada hacia la curva de Planck.

Se debe observar, que, la temperatura de color no debe utilizarse para especificar una cromaticidad que esté fuera del lugar de Planck, y que en este caso la temperatura de color correlacionada sólo sirve como una guía informativa de la apariencia de color, pero no de la distribución espectral.

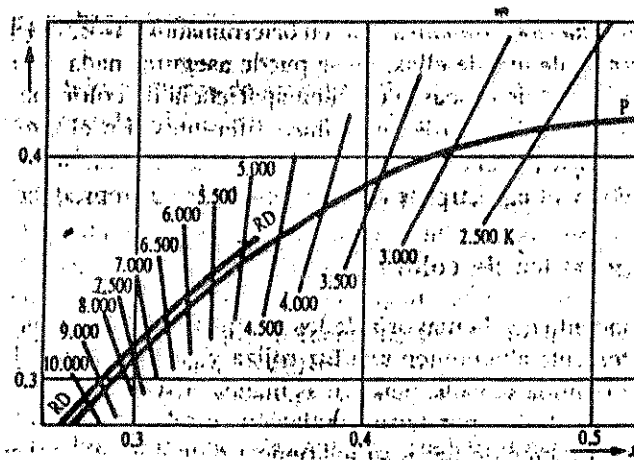


Fig. 1.2 Temperatura de color correlacionadas

La equivalencia práctica entre apariencia de color y temperatura de color se establece convencionalmente según la siguiente tabla:



*Apariencia de color*

*Temperatura de color (K)*

Cálida	< 3300
Intermedia	3300 - 5000
Fría (luz día)	> 5000

Dos aspectos prácticos en los que juega un papel decisivo la temperatura de color, son los siguientes:

-La utilización simultánea de fuentes de luz con temperaturas de color diferentes está totalmente desaconsejada, puesto que causa perturbaciones visuales debidas, en particular, a la adaptación cromática del ojo.

**IMPRESIÓN GENERAL ASOCIADA CON DIFERENTES ILUMINANCIAS Y DIFERENTES APARIENCIAS DE COLOR DE LA LUZ**

Apariencia de color de la luz			
Iluminancia (LUX)	Cálida	Intermedia	Fría
< 500	agradable	neutra	fría
500 - 1000			
1000 - 2000	estimulante	agradable	
2000 - 3000			
> 3000	antinatural	estimulante	

Nota: el termino iluminancia se tratara posteriormente.

- A medida que aumenta el nivel de iluminación, también debe de hacerlo la temperatura de color. Así, la experiencia demuestra que con iluminancias bajas se prefieren fuentes de luz cálidas y, a la inversa, con altos niveles de iluminación existe una preferencia por las fuentes de luz frías. También en este sentido juega un papel importante el clima; así, en los países cálidos (justo al contrario que en los nórdicos) suelen ser preferidas las lámparas de apariencia de color fría.

## 1.7 Propiedades ópticas de la materia

### Reflexión

Reflexión es el retorno de la radiación que incide en una superficie sin que se produzcan cambios de frecuencia en ninguno de los componentes monocromáticos que la integran.

Cuando se refleja la luz que incide en una superficie una porción de aquella se pierde por absorción. La razón entre el flujo reflejado y el incidente se llama reflectancia de la superficie (antes factor de reflexión).

Cualquier superficie que no sea perfectamente negra reflejará luz. La cantidad que refleje y la manera en que se refleje queda determinada por las propiedades reflectivas de la superficie. La reflexión de cualquier superficie puede ser clasificada en especular, difusa y mixta.

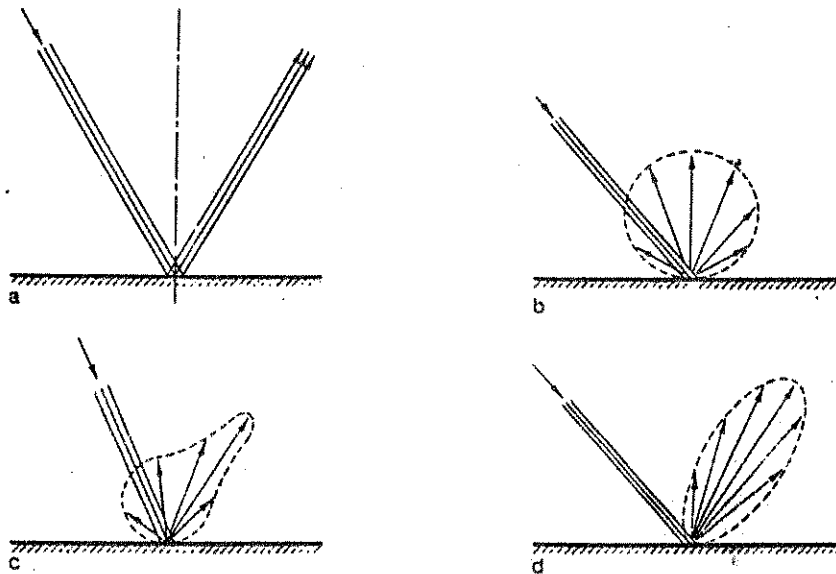


Fig. 1.3 Tipos de reflexión: a) especular; b) difusa; c) compuesta (principalmente difusa); d) compuesta (principalmente especular).

## 1.8 Magnitudes y unidades de radiación

### 1.8.1 Flujo radiante (Fr)

Es la potencia de la radiación electromagnética, que puede incluir componentes visibles y no visibles.

Su unidad de medida es el vatio (W).

El flujo radiante espectral ( $F_r$ ) es el flujo radiante por unidad de longitud de onda y se expresa en W/nm. Así, el flujo radiante corresponde a la integración de  $F_r$  en todo el espectro electromagnético.

$$Fr = \int F_{r\lambda} d\lambda$$

### 1.8.2 Eficacia radiante (Nr)

Es la relación entre el flujo radiante emitido y la potencia absorbida por el emisor (ambos expresados en W).

$$Nr = \frac{Fr}{P}$$

### 1.8.3 Intensidad radiante (Ir)

Corresponde a la emisión de energía radiante en una dirección determinada y se define como el flujo radiante emitido en el ángulo sólido que contiene dicha dirección (expresado este ángulo sólido en estereorradianes).

$$Ir = \frac{Fr}{\Omega}$$

Su unidad de medida es el vatio por estereorradián (W/sr).

### 1.8.4 Irradiancia (Er)

Es el flujo radiante recibido por una unidad de superficie.

$$Er = \frac{Fr}{S}$$

Su unidad de medida es el vatio por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

## Radiancia (Lr)

Es la relación entre la intensidad radiante de un emisor, en una dirección determinada y la superficie del emisor proyectada según dicha dirección.

$$L_r = \frac{I_r}{S \cos \theta} \quad (\theta, \text{ángulo de dirección})$$

Su unidad de medida es el vatio por estereorradián y metro cuadrado

$$(W/sr \text{ m}^2).$$

En resumen de magnitudes y unidades de radiación, queda reflejado en la siguiente tabla:

<i>Magnitud</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unidad</i>
Flujo radiante	Fr	W
Eficacia radiante	Nr	--
Intensidad radiante	Ir	W/sr
Irradiancia	Er	W/m <sup>2</sup>
Radiancia	Lr	W/sr m <sup>2</sup>

## 1.9 Magnitudes y unidades de iluminación

### 1.9.1 Flujo luminoso (F)

Es el flujo radiante emitido dentro del espectro visible y ponderado por la curva de sensibilidad visual del ojo humano.

$$F = 683 \int Fr_{\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

Su unidad de medida es el lumen (lm), que se define como el flujo luminoso producido por el flujo radiante de 1/683 W, emitido en la longitud de onda de 555 nm.

### 1.9.2 Eficacia luminosa

En esta magnitud se engloban dos posibles definiciones:

-Eficacia luminosa de la radiación (K), es la relación entre el flujo luminoso y el flujo radiante.

$$K = \frac{F}{\Phi_r} \quad (\text{expresado en lm/W})$$

-Eficacia luminosa (n) de la fuente de luz, es la relación entre el flujo luminoso y la potencia absorbida por la fuente.

$$n = \frac{F}{P}$$

Su unidad de medida es la candela, que corresponde al lumen por estereorradián (cd=lm/sr).

La candela es en realidad la unidad base del sistema internacional (SI) de unidades, por lo que las distintas unidades fotométricas se derivan de ella.

La definición actualmente vigente de la candela es: la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hertz, y cuya intensidad energética en dicha dirección es de  $1/683$  vatios por estereorradián.

12

La frecuencia de  $540 \times 10^{12}$  hertz corresponde a una longitud de onda de 555 nm en el aire.

### 1.9.3 Iluminancia (E)

Es el flujo luminoso recibido por unidad de superficie. Se designa también con el nombre de nivel de iluminación.

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

Su unidad de medida es el lux, correspondiente al lumen por metro cuadrado

(lx = lm/m<sup>2</sup> ).

### 1.9.4 Luminancia (L)

Es la relación entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada según dicha dirección.

$$L = \frac{I}{S \cos \theta} \quad (\theta, \text{ ángulo de dirección})$$

Su unidad de medida es la candela por metro cuadrada ( $\text{cd/m}^2 = \text{lm/sr m}^2$ ).

### 1.10 Vida o duración

Es el tiempo, medido en horas de funcionamiento, que transcurre hasta que una fuente de luz es considerada inútil según un determinado criterio. En general, se definen dos tipos de duración:

- Vida media: se considera que la fuente de luz es inútil cuando deja de funcionar. La vida media se determina mediante ensayos de duración, por lotes de lámparas, asignando el valor de vida media al número de horas de funcionamiento hasta que se ha producido el 50 % de fallos en el lote.
- Vida útil: se considera que la fuente de luz es inútil cuando, a pesar de seguir en funcionamiento, no satisface algún requisito de prestaciones, como por ejemplo el mantenimiento de un nivel determinado de flujo luminoso.

En la práctica, los fabricantes de lámparas suelen ofrecer datos de vida útil referida al número de horas de funcionamiento, hasta que el flujo luminoso emitido por la lámpara se reduce al 80 % de su valor inicial.

En resumen, las magnitudes y unidades más comunes en iluminación son las siguientes:

<i>Magnitud</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>
Flujo luminoso	F	lm
Eficacia luminosa	n	lm/W
Intensidad luminosa	I	cd
Iluminancia	E	lx

Luminancia	L	cd/m
Vida media	--	h
Vida útil	--	h

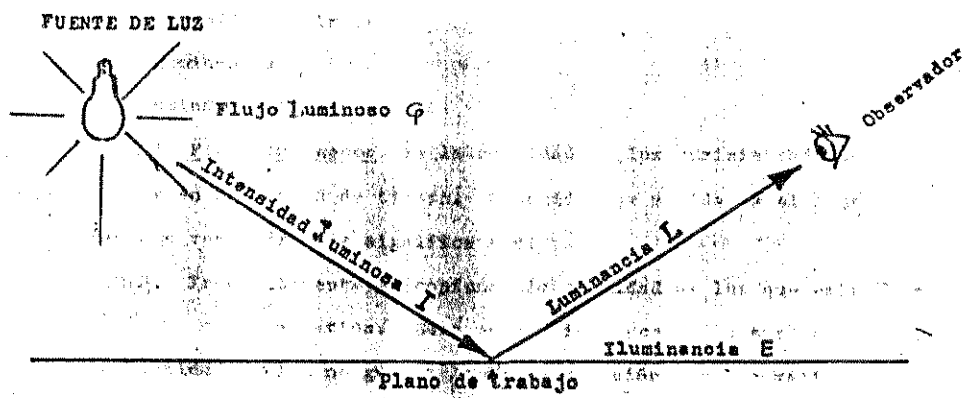


Fig. 1.4. Diagrama de conceptos de luminotecnia.

## 2. Principios físicos de funcionamiento y características

### 2.1 Principios físicos de funcionamiento

Principalmente, cualquier producción de luz proviene de la emisión de radiación electromagnética en el espectro visible por los electrones de la capa exterior de los átomos o las moléculas cuando pasan de un nivel de energía superior a un nivel de energía inferior. La frecuencia o la longitud de onda de la radiación emitida dependen de la diferencia entre estas dos energías, según la relación de Planck.

Las formas de producción de luz pueden clasificarse según la manera de excitar los electrones y, en general, se distinguen dos tipos, la termorradiación y la luminiscencia.

### 2.2 Termorradiación (incandescencia)

Se define como termorradiación a la emisión de energía radiante que depende exclusivamente de la temperatura del material. A la parte de esta radiación, emitida dentro del espectro visible, se le denomina incandescencia. Así, la incandescencia es la producción de luz por elevación de la temperatura de un cuerpo.

Las interacciones entre los átomos del cuerpo se intensifican a medida que aumenta su temperatura, de modo que los posibles niveles de energía crecen y su número llega a ser prácticamente infinito, por lo cual el espectro de la luz emitida es un espectro continuo (emite en todas las longitudes de onda visible). A medida que aumenta la temperatura del cuerpo emisor, la cantidad de energía radiada es mayor y la longitud de onda a la que se emite la máxima energía se hace más corta, es decir, más próxima al espectro visible.

El rendimiento visual, para una curva de emisión determinada, vendrá dado por la relación entre la energía radiada en el espectro visible y la energía radiada total, teniendo en cuenta la sensibilidad espectral del ojo humano. El valor máximo de este rendimiento visual se establece alrededor de los 4300K, cifra notablemente superior al punto de fusión de los materiales utilizados en la producción de luz por incandescencia.

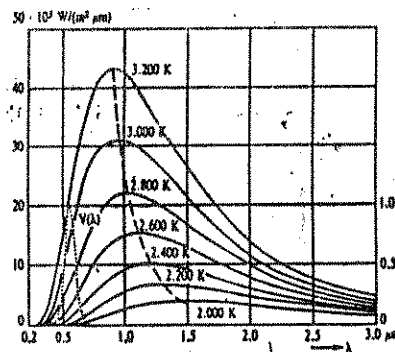


Fig. 2.1 Curvas de Planck.



### 2.3 Luminiscencia

Las radiaciones luminiscentes dependen, principalmente, de la estructura atómica de los materiales. Así, por oposición a la incandescencia, la luminiscencia consiste en la emisión de una radiación electromagnética visible cuya intensidad en determinadas longitudes de onda (características de cada material) es mucho mayor que la de la radiación térmica del mismo cuerpo a la misma temperatura.

La luminiscencia es la radiación luminosa emitida por un cuerpo, por efecto de un agente exterior que excita los átomos de dicho cuerpo. En este caso, el número de niveles de energía posibles es muy reducido y la luz se emite en un número limitado de longitudes de onda, lo que origina un espectro discontinuo. Dependiendo del agente excitador, la luminiscencia se puede clasificar, según sus aplicaciones prácticas, en:

-Electroluminiscencia: producida por la acción de un campo eléctrico en el seno de un gas o un material sólido. Y se puede encontrar lo siguiente:

1. Descarga a través de un gas (lámparas de descarga).
2. Diodos emisores de luz (LED).
3. Cátodoluminiscencia (tubos catódicos de TV).

-Fotoluminiscencia: Producida por la acción de otras radiaciones de distinta longitud de onda. Estas, pueden ser:

1. Fluorescencia: conversión de radiación ultravioleta en visible (lámparas fluorescentes). Es una fotoluminiscencia simultánea, puesto que el tiempo transcurrido entre la excitación y la emisión es inferior a 10 ns.
2. Fosforescencia: Fotoluminiscencia retardada, en la que existe emisión de luz durante cierto tiempo después que ha cesado la excitación.
3. Láseres (gases y sólidos).

### 2.4 Descripción general de las lámparas

Las dos grandes ramas de fuentes de luz existentes en el momento actual son la incandescencia que es la luz producido por termorradiación y la descarga (luz producida por luminiscencia).

Las lámparas que funcionan por incandescencia, se conectan directamente a la red eléctrica, sin necesidad de equipos auxiliares de conexión o encendido. Las lámparas de descarga tienen una característica de resistencia negativa, es decir, que disminuye a medida que aumenta la corriente que por ellas circula. Debido a esto, es necesario

utilizar un elemento limitador de dicha corriente de arco, para su conexión a la red. Asimismo, algunas lámparas de descarga necesitan para su encendido tensiones superiores a la de red, por lo que necesitan equipos arrancadores que suministran picos de tensión para el encendido.

Los tipos de lámparas existentes se pueden clasificar de la siguiente forma:

1. Lámparas incandescentes:

1.1 Incandescentes convencionales:

- -Estándar.
- -Reflectoras.

2.1 Incandescentes halógenas:

- -Simple envoltura (cuarzo-yodo).
- -Doble envoltura.
- -Baja tensión.
- -Incandescentes especiales.

2. Lámparas de descarga.

2.1 Vapor de mercurio de baja presión (fluorescentes).

- -Fluorescentes convencionales.
- -Fluorescentes trifósforo.
- -Fluorescentes de alta frecuencia.
- -Fluorescentes compactas (balasto incorporado).
- -Fluorescentes miniaturizadas (balasto separado).
- -Fluorescentes especiales.

2.2 Vapor de mercurio de alta presión:

- -Ampolla clara.
- -Color corregido.
- -Luz mixta.
- -Halogenuros metálicos.

2.3 Vapor de sodio de baja presión.

2.4 Vapor de sodio de alta presión.

- -Convencionales.
- -Autoencendido.

## 2.5 Características generales

Un sistema de iluminación debe producir luz en cantidad y calidad suficientes para que se ejerzan las funciones deseadas en el espacio iluminado.

La cantidad y la calidad del alumbrado debe considerar los siguientes factores:

1. Rendimiento o eficacia visual.
2. Bienestar y placer visuales.
3. Economía.

En cada caso particular, estos factores podrán tener unas prioridades diferentes. En cuanto a la cantidad de luz, el valor fundamental a fijar en el proyecto, es el nivel de iluminación o iluminancia. En la curva de la Fig. 2.2 se indica la variación de la iluminación media en una instalación, después de un cierto número de horas de utilización. Esta curva permite definir tres valores de la iluminancia media:

- Iluminancia media inicial: Es la obtenida en el momento de la puesta en servicio de la instalación.
- Iluminancia media en servicio: Es la que corresponde a la obtenida entre el momento inicial y la intervención para el mantenimiento ( es la más utilizada).
- Iluminancia media mínima: Es la que se obtiene en el momento en que se interviene con el mantenimiento.

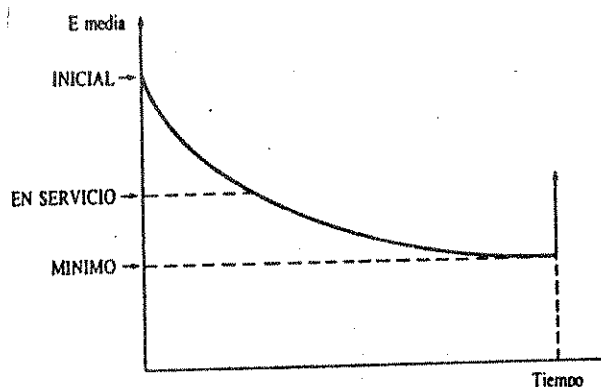


Fig. 2.2 Iluminación media de una instalación.

Además de los valores de iluminancia, es preciso cuidar que la uniformidad de la iluminancia o relación entre la iluminancia mínima y media, supere unos ciertos valores, en función del tipo de tarea que se pretende iluminar. La optimización del rendimiento visual, no depende únicamente de la cantidad de luz que suministra la instalación sobre la tarea a realizar, fijada por el nivel de iluminación o iluminancia, sino que existen otra serie de factores que inciden en los aspectos cualitativos o en el grado de calidad de las instalaciones de alumbrado. Estos son:

1. Distribución de luminancias en el campo
2. Deslumbramiento.
3. Modelado.

El equilibrio de luminancias dentro del campo visual es un factor importante en cuanto a la calidad de la visión y el confort de las personas, y fijará las luminarias a instalar según su clase fotométrica, así como las características de reflexión de la tarea y su entorno.

El deslumbramiento es una alteración del proceso de visión provocada por un estímulo excesivo, como puede ser una fuente de luz de alta luminancia. Se denomina directo o reflejado, atendiendo a que la fuente de luz sea primaria (lámparas, luminarias, ventanas, etc.) o secundaria (reflexión en superficies de alta reflectancia). El control del deslumbramiento mediante materiales translúcidos o mediante apantallamiento, condicionará el tipo de lámparas y luminarias a utilizar.

El modelado es la capacidad del sistema de iluminación de captar el relieve de los objetos. Esto se consigue mediante la apropiada combinación de luz difusa y luz direccional.

Además de estas características en cuanto a calidad y cantidad, el sistema de iluminación debe ser eficaz energéticamente, y para ello deben considerarse los siguientes aspectos:

1. Diseñar correctamente los siguientes sistemas de iluminación, con objeto de obtener de la forma más eficaz posible el nivel de iluminación deseado.
2. Utilizar la fuente de luz, idónea para cada aplicación que sea más eficaz.
3. Utilizar luminarias eficaces lumínicamente.
4. Conservar en perfecto estado el equipo de alumbrado, con programas de mantenimientos adecuados.
5. Utilizar diseños de alumbrados eficaces en ahorro energético.
6. Utilizar racionalmente la instalación de alumbrado, mediante controles apropiados.

Un sistema ideal de control sería aquel que proporcione suficiente luminancia para que la tarea se realice con suficiente confort, comodidad y seguridad, durante el tiempo que se realice la misma. El resto del tiempo la iluminación estará desconectada.

### 3. Lámparas

#### 3.1 Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes generan luz como consecuencia del paso de corriente a través de un filamento conductor, de modo que su temperatura se eleva, dando origen a la emisión por termorradiación. Una gran parte de la energía eléctrica absorbida por la lámpara se pierde en calor, lo que da lugar a una eficacia luminosa muy reducida (10-20 lm/W).

Su espectro de emisión es continuo, siendo la emisión de energía mayor para las longitudes de onda más largas, lo que determina un espectro cargado hacia los colores cálidos.

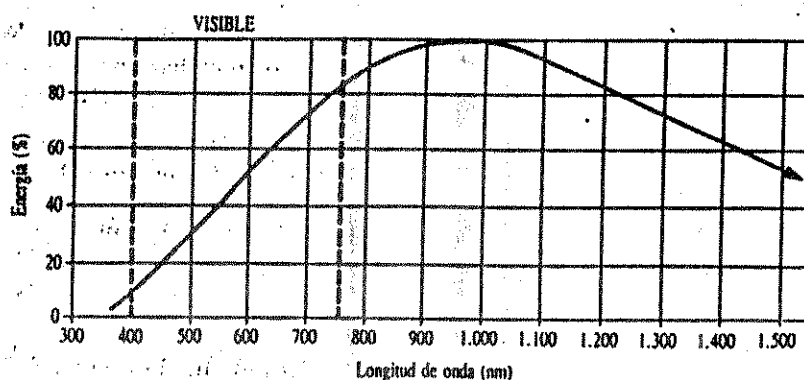


Fig. 3.1 Espectro de emisión de las lámparas incandescentes.

##### 3.1.1 Componentes

Los componentes más significativos de este tipo de lámparas son:

###### 1. Filamento.

Fabricado en tungsteno (wolframio), tiene un punto de fusión de 3653 K; sin embargo, su temperatura de funcionamiento es bastante más reducida (generalmente inferior a 3000 K) para asegurar una duración adecuada. El factor que condiciona la vida del filamento es la evaporación que se produce (creciente con la temperatura) degradando sus condiciones iniciales; además, el tungsteno volatilizado se deposita sobre la pared interna de la ampolla ennegreciéndola, lo que reduce el flujo luminoso emitido.

Las ejecuciones habituales de filamento son en hilo, en espiral y doble espiral, con objeto de incrementar la superficie de radiación.

## 2. Ampolla.

Es de vidrio soplado, aunque existen ejecuciones especiales de vidrio prensado (lámparas PAR). Su misión es aislar el filamento del medio ambiente y estar encerrado en una gas inerte y al mismo tiempo, permitir la evacuación del calor generado por aquél. Dentro de la amplia variedad existente, las formas más comunes son:

- - Estándar (pera).
- -Esférica.
- - Globo.
- - Vela.
- - Tubular.
- - Elíptica (reflectores de vidrio soplado).
- - PAR constituida por dos piezas de vidrio prensado, una de ellas con recubrimiento reflector (aluminio) y, la otra, una lente que permite dirigir el flujo luminoso en un haz ancho (extensiva) o estrecho (intensiva).

En cuanto a la transparencia, las ampollas pueden ser:

- - Clara.
- - Mateada.
- - Opalizada.

Estas dos últimas producen una disminución del flujo luminoso (1 y 8%, respectivamente) pero consiguen reducir de manera significativa la luminancia de la lámpara clara y, por tanto, su deslumbramiento.

## 3. Gas de llenado.

Las lámparas de potencia inferior a 25 W son de vacío. Para las potencias superiores, con objeto de atenuar la volatilización de tungsteno del filamento, se emplean como gases de llenado:

- - Argón.
- - Kriptón.
- - Xenón.

Todos ellos mezclados con nitrógeno.

## 4. Casquillo.

Entre los diversos tipos existentes, destacan:

- - E, rosca Edison.
- - B, bayoneta o Swan.

Ambos tipos se construyen en diversos tamaños normalizados.

### 3.1.2 Características de funcionamiento.

#### 1. Encendido.

Funcionan a cualquier tensión de red, aunque lógicamente sólo ofrecen sus prestaciones nominales cuando se conectan a la tensión nominal.

No precisan equipos auxiliares, ni para el encendido ni durante su funcionamiento.

Tanto el encendido como el reencendido son instantáneos.

Presentan una sobreintensidad de encendido del orden de 10-15 veces la intensidad nominal, en razón de la diferencia de resistividad del tungsteno en frío y en caliente. Sin embargo esta sobreintensidad es prácticamente instantánea y no suele considerarse a efectos de sobredimensionamiento del circuito de alimentación.

#### 2. Variaciones de tensión.

Afectan de manera diversa a las distintas características de funcionamiento de las lámparas. Un incremento de la tensión de alimentación ocasiona:

- - Mayor flujo luminoso ( $lm$ ).
- - Mayor potencia absorbida ( $W$ ).
- - Mayor eficacia luminosa, puesto que el incremento del flujo es superior al de la potencia ( $lm/W$ ).
- - Menor duración ( $h$ ).

Las disminuciones de la tensión por debajo del valor nominal producen el efecto contrario.

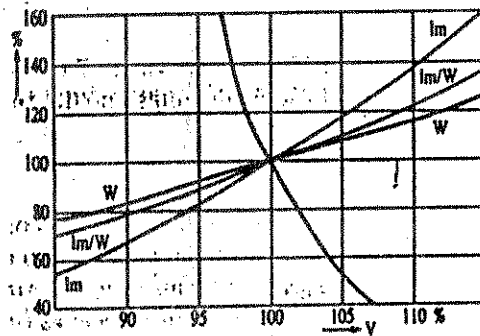


Fig. 3.2 Variaciones de características con la tensión de red.

#### 3. Temperatura de color.

Del orden de 2700K (cálida).

#### 4. Índice de rendimiento de color.

100.

#### 5. Duración

En las lámparas incandescentes el concepto de duración que se maneja es el de vida media, que corresponde al tiempo esperado de ruptura del filamento.

La vida media, según tipos de lámparas, es de:

- - 1000 h, estándar y reflectoras de vidrio soplado.
- - 2000 h, reflectoras PAR.

### 3.1.3 Características técnicas y energéticas.

#### 1. Lámparas estándar

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia luminoso (lm/W)
25	250	10
40	430	10.75
60	730	12
75	960	12.8
100	1380	13.8
150	2200	14.7
200	2950	14.8
300	4750	15.8
500	8400	16.8
750	13400	17.8
1000	18800	18.8
1500	30000	20
2000	40000	20

#### 2. Lámparas reflectoras de vidrio soplado.

Potencia (W)	Diámetro (mm)	Flujo luminoso* (lm)
25	50	180
30	39	220
40	50-80	320
60	80	530
75	80	730
100	80	1080
150	95-125	1520
300	125	3300



\*Flujo luminoso contenido en el ángulo de media proyección (ángulo de apertura del haz). Suele utilizarse normalmente el valor de la intensidad luminosa en el eje.

Sus ventajas más importantes son:

- -Bajo precio.
- -Sencillez de funcionamiento e instalación y ausencia de equipos auxiliares.
- -Encendido y reencendido instantáneo.
- -Ausencia de efecto estroboscópico.
- -Excelente rendimiento de color.
- -Gama amplia de potencias y tensiones de alimentación.

Sus limitaciones más importantes son:

- -Reducida eficacia luminosa que, en general, hace inviable su aplicación cuando se desean altos niveles de iluminación general (excesivo número de puntos de luz).
- -Poca adaptabilidad a sistemas de iluminación por proyección (tamaño excesivo del conjunto lámpara + reflector), incluso con las lámparas reflectoras.
- -Escasa duración.
- -Aportación de calor considerable, a tener en cuenta en instalaciones que requieren gran número de puntos de luz.

### 3.1.4 Nuevos avances.

Entre las aportaciones más recientes, destacan las siguientes:

#### 1. Lámparas de neodimio.

La ampolla contiene óxido de neodimio, que tiene la propiedad de absorber gran parte de la radiación amarillo-naranja del espectro visible. Este tipo de lámpara acentúa la reproducción de los colores fríos (azul y verde) y fundamentalmente del rojo, lo que la hace aplicable en el sector de alimentación.

#### 2. Nuevas lámparas reflectoras.

Son lámparas reflectoras de vidrio soplado con un nuevo diseño de la ampolla y de la sustancia reflectora que elimina la excesiva dispersión del haz, concentrando la luz en su eje mediante un proceso de doble reflexión; esto supone una mejora del orden del 20 % de la intensidad luminosa en el eje del haz y una reducción de su ángulo de apertura.

### 3. Nuevas formas de ampolla y recubrimiento.

Este tipo de mejoras tiene un carácter meramente comercial, que trata de ofrecer una nueva imagen de la lámpara estándar tradicional. La ampolla adopta una forma más cilíndrica y se ha mejorado el tipo de recubrimiento interior, consiguiendo una superficie difusora de baja luminancia. Adicionalmente, este recubrimiento es coloreado para conseguir distintos efectos decorativos.

#### 3.1.5 Perspectivas de futuro.

Los perfeccionamientos más espectaculares de lámparas incandescentes ya han tenido lugar, llegando a duplicar la eficacia luminosa a lo largo de su historia. No obstante, la investigación continua con vistas a conseguir mejorarla, en las siguientes líneas de actuación:

- -Aplicación de materiales más emisores que el tungsteno y de características de funcionamiento estables.
- -Formas esféricas de la ampolla y filtros selectivos incorporados al vidrio que permitan reflejar sobre el filamento la radiación infrarroja, de modo que se precise una potencia más reducida para mantener el filamento a la temperatura de trabajo.

La sustitución de la lámpara incandescente, en razón de su reducido coste, por otras fuentes de luz, no parece probable a mediano plazo en el sector doméstico, si bien está sufriendo la competencia de las lámparas halógenas y la fluorescencia compacta y miniaturizada. En el resto de los sectores está siendo claramente desplazada por otras fuentes de luz más eficaces, permaneciendo únicamente como iluminación localizada o iluminación complementaria de tipo decorativo.

### 3.2 Incandescentes halógenas.

Son lámparas incandescentes que contienen un aditivo de halógeno o compuesto halogenado (generalmente yodo). La acción del yodo consiste en combinarse con el tungsteno vaporizado del filamento, en las proximidades de la ampolla (a temperaturas superiores a 250°C) formando un yoduro de tungsteno, que se separa al aproximarse al filamento (a temperaturas superiores a 2000°C).

Esta doble reacción química tiene un triple efecto regenerador:

- -Retorno del tungsteno vaporizado al filamento.
- -Limpieza del interior de la ampolla al evitar el depósito de partículas de tungsteno (mantenimiento del flujo luminoso).
- -Incremento de la duración de la lámpara.

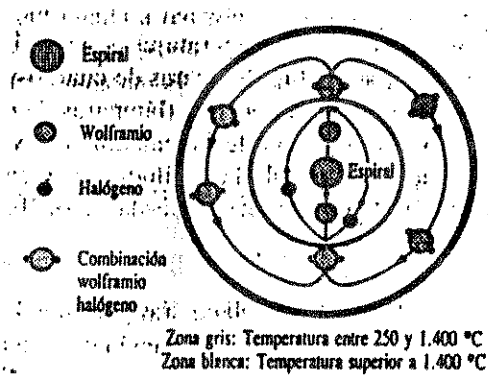


Fig. 3.3 Ciclo del halógeno.

El filamento trabaja a mayor temperatura que en las lámparas convencionales, lo que se traduce en una mayor emisión luminosa, con una mejora sustancial de la eficacia (20 lm/W) y una mayor temperatura de color. Su espectro de emisión es también continuo, si bien algo menos cálido que el de las lámparas convencionales (temperatura de color del orden de 3000-3200 K).

### 3.2.1 Componentes.

#### 1. Filamento.

Tungsteno como en las convencionales, montado en sentido longitudinal en el eje de la lámpara. Su temperatura de funcionamiento es más alta (superior a los 3000K).

#### 2. Ampolla.

De cuarzo, capaz de soportar las altas temperaturas que requieren el ciclo del halógeno. Esta ampolla puede ser accesible (lámparas de cuarzo-yodo) o estar situada en el interior de otra ampolla de vidrio normal (lámpara de doble envoltura) que aporta ventajas en cuanto a la posición de funcionamiento y manipulación de la lámpara. La forma de la ampolla es tubular (cilíndrica), y en general, se emplea la ampolla clara aunque existen versiones mateadas y opalizadas.

#### 3. Gas de llenado.

Las reducidas dimensiones de este tipo de lámpara permiten la utilización de gases inertes de mayor precio, básicamente kriptón y xenón. En las de doble envoltura se emplea nitrógeno con gas de relleno entre las dos ampollas.

#### 4. Casquillo.

Los más frecuentes son:

- -Cerámicos (R), en las de cuarzo-yodo.
- -Edison (E), en las de doble envoltura.
- -Espigas (G) o Bayoneta (B) en las de baja tensión.

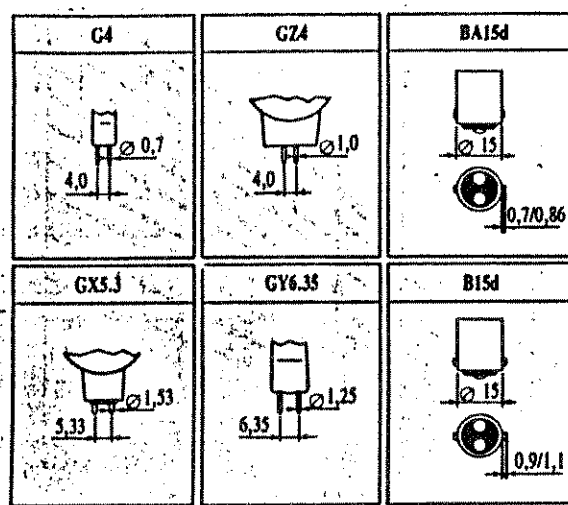


Fig. 3.4 Casquillos para lámparas halógenas de baja tensión.

### 3.2.2 Características de funcionamiento.

En cuanto al encendido se pueden considerar similares a las convencionales.

#### 1. Variaciones de tensión.

Una alimentación continuada a tensión reducida, por ejemplo, mediante el empleo de reguladores de flujo, puede reducir sensiblemente la vida de la lámpara al no verificarse correctamente el ciclo del halógeno.

#### 2. Duración.

Vida media de 2000 horas (3000 h, en algunas de baja tensión).

#### 3. Temperatura de color.

Aproximadamente 3000-3200 K (cálida).

#### 4. Índice de rendimiento de color.

100.

### 3.2.3 Características técnicas y energéticas.

Se describen a continuación las características de los distintos tipos de lámparas halógenas de uso generalizado.

## TIPOS DE LÁMPARAS HALÓGENAS

<u>Tensión</u>	<u>V(voltios)</u>	<u>Tipo</u>
Tensión Red	220 V	Simple envoltura Doble envoltura
.....		
	6 V	Sin reflector
Baja tensión	12 V	Con *
-Abiertas	24 V	Reflector: -
Cerradas		

\* Puede ser metálico o dicróico.

### 1. Lámparas de simple envoltura (cuarzo-yodo).

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
100	1650	16
150	2500	16
200	3200	16
300	5100	17
500	9500	19
1000	22000	22
1500	33000	22
2000	44000	22

### 2. Lámparas de doble envoltura (ampolla clara)

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
75	1100	15
100	1600	16
150	2550	17
250	4500	18
500	11000	22
1000	24000	24
2000	54000	27

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

### 3. Lámparas de baja tensión.

Para una potencia determinada, la alimentación en baja tensión (6-12-24 V) supone una intensidad elevada a través del filamento y, en consecuencia, una eficacia luminosa mayor. En las lámparas halógenas de baja tensión este efecto aumenta por la construcción del filamento (de dimensiones reducidas) que supone menores pérdidas de calor.

La conexión a la red de las lámparas de baja tensión requiere un transformador (individual o por grupo de lámparas). La tensión nominal más extendida es la de 12 V.

Los tipos más usuales de lámparas halógenas de baja tensión son los siguientes:

#### 3.1 Lámparas sin reflector.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con transformador (lm/W)
20	350	18	15
50	950	19	16
75	1450	19	17
100	2550	25	23

#### 3.2 Lámparas con reflector incorporado.

Este puede ser normal o dicróico (refleja la luz y transmite la radiación infrarroja hacia la parte posterior de la lámpara).

Las características ofrecidas por los fabricantes, para las lámparas reflectoras, varían según el ángulo de apertura del haz y, generalmente, los valores de flujo luminoso (cuando aparecen) se refieren al flujo emitido dentro del ángulo de media proyección (ángulo de apertura), siendo el dato más significativo, en estos casos, la intensidad (en candelas) en el eje del haz. Valores típicos del ángulo de apertura son: 6°, 10°, 12°, 14°, 24°, 28°, 36° y 38°.

#### 3.3 Lámparas con reflector cerrado (selladas):

Están derivadas de las anteriores y tienen, en su parte frontal, una lente de vidrio prensado que cierra herméticamente el conjunto. Su forma recuerda a una miniatura de las lámparas PAR. Ofrecen una protección adicional ante posibles proyecciones de cuarzo o tungsteno fundido, en caso de rotura de la lámpara.

En cuanto a sus características son muy similares a las de reflector abierto.

Sus ventajas más son:

- -Mayor duración (vida media doble que las de las incandescentes).
- -Mayor eficacia luminosa que las incandescentes convencionales. A igualdad de potencia de lámpara, entre un 20-30 % superior para las de cuarzo-yodo o doble envoltura y alrededor de un 60 % superior en el caso de las de baja tensión.
- -Factor de conservación del flujo luminoso más elevado, por la acción limpiadora del halógeno en la pared de la ampolla.
- -Dimensiones muy reducidas (en el caso de las de baja tensión prácticamente mínimas) que permiten su utilización ventajosa en soluciones de proyección.
- -Sencillez de funcionamiento e instalación y ausencia de equipos auxiliares.
- -Encendido y reencendido instantáneo.
- -Ausencia de efecto estroboscópico.
- -Excelente rendimiento de color.

Sus limitaciones son:

- -Para aplicaciones en las que se precisen altos niveles de iluminación general, su eficacia luminosa sigue siendo limitada, lo que conduce a la instalación de una potencia excesiva en relación con lámparas de descarga.
- -Igualmente, su duración, pese a duplicar a la incandescencia convencional, está aún lejos de los valores de las lámparas de descarga, pudiendo suponer unos costes de mantenimiento, por reposición de lámparas, elevados.
- -Aportación de calor considerable a tener en cuenta ante su aplicación en interiores.

#### 3.2.4 Nuevos desarrollos.

Se puede destacar como nuevos avances lo siguiente:

##### 1. Lámparas halógenas PAR-38.

Exteriormente es idéntica e intercambiable con una lámpara reflectora PAR-38 tradicional; sin embargo, en su interior, en lugar del filamento convencional existe una lámpara halógena miniatura.

Se ha comenzado a fabricar en dos versiones de 60 y 100W. La lámpara PAR halógena de 60W consigue las mismas prestaciones de flujo luminoso que la lámpara PAR de 120W (y que la aún existente de 150W), con las restantes características básicas de las lámparas halógenas.

##### 2. Lámparas globo halógenas.

Sustituyen a las incandescentes globo convencionales, mediante un

sistema similar a las anteriores. También se mantiene la intercambiabilidad con las lámparas existentes y se fabrica en una potencia de 150W, con ampolla exterior opalizada.

### 3.3 Lámparas de vapor de mercurio.

#### 3.3.1 Lámparas de vapor de mercurio a baja presión ( tubos fluorescentes)

La descarga en vapor de mercurio a baja presión genera, fundamentalmente, radiación ultravioleta ( de longitud de onda 253.7 nm). En las lámparas fluorescentes la luz se genera, por el fenómeno de fluorescencia, mediante la conversión de la radiación ultravioleta en visible que efectúan las sustancias fluorescentes situadas en la pared interior del tubo de descarga.

Para conseguir que la emisión ultravioleta se verifique en su mayor parte, en la banda de 253.7 nm, la presión del mercurio debe aproximarse a 1 Pa. Como casi siempre existe un exceso de mercurio en el tubo de descarga, la presión de vapor depende de la temperatura en el punto más frío del tubo que es aproximadamente 40 °C para lograr la presión óptima.

Dos características importantes de los tubos de descarga, en general, y de los fluorescentes en particular son las siguientes:

- -La característica tensión-corriente de la lámpara es negativa debido a que la generación de electrones e iones positivos en la descarga incrementa la intensidad de corriente a través de la lámpara. Por este motivo la descarga debe ser estabilizada mediante un balastro (por lo general una impedancia) conectada en serie con la lámpara. Este balastro absorbe una potencia que debe añadirse a la potencia de la lámpara para conocer la potencia total demandada.
- -El espectro de emisión es discontinuo, las radiaciones visible emitidas por la lámpara dependen de la composición de las sustancias fluorescentes y de su capacidad de conversión de la radiación ultravioleta en visible.

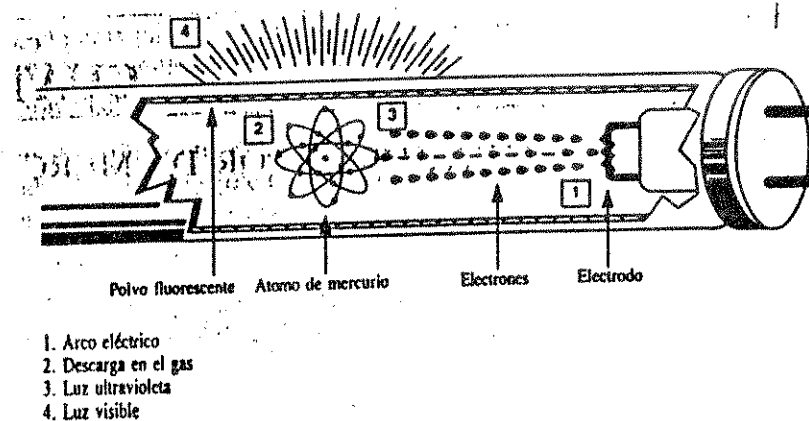


Fig. 3.5 Tubos fluorescentes.



### 3.3.1.1 Componentes

#### 1. Tubo de descarga.

De vidrio (opalizado por el recubrimiento fluorescente). Su forma más extendida es rectilínea, aunque existen otras ejecuciones especiales (circular, U, etc), y cilíndrica.

Los diámetros nominales usuales son:

- - 15mm: tubos de pequeña potencia.
- - 26mm: convencionales, trifósforo y alta frecuencia.
- - 38mm: convencionales antiguos, arranque rápido y arranque instantáneo.

Las longitudes y potencias más usuales (existen de otras longitudes y potencias) son las siguientes:

- - 0.6m: 16, 18 y 20 W.
- - 1.2m: 32, 36 y 40 W.
- - 1.5m: 50, 58 y 65 W.

#### 2. Electrodo.

Fabricados en tungsteno, normalmente en doble espiral y recubiertos por sustancias emisivas de electrones (compuestos de metales alcalino-térreos). De su calidad depende la lámpara, puesto que cuando uno de los electrodos pierde esta sustancia, la lámpara no consigue encenderse.

#### 3. Gas de llenado.

Las funciones que realiza el gas de llenado son las siguientes:

- -Facilitar el inicio de la descarga, por reducción de la tensión de encendido.
- -Reducir el recorrido libre medio de los electrones, para aumentar su probabilidad de colisión con los átomos de mercurio.
- -Proteger la sustancia emisiva de los electrones, reduciendo su tasa de evaporación, mediante un mecanismo análogo al de las lámparas incandescentes.

Los gases comúnmente empleados son:

- -Argón o mezcla argón-neón.
- -Kriptón, normalmente en las lámparas trifósforo de 26 mm de diámetro, cuya mayor masa atómica presenta ventajas desde el punto de vista de la mejora de la eficacia luminosa y de la protección de los electrodos. Por el contrario, el kriptón incrementa la tensión de encendido de la lámpara.

Además de estos gases se requiere la presencia de unas gotas de mercurio, exactamente dosificado para reducir los efectos nocivos de este metal en las sustancias fluorescentes.

#### 4. Las sustancias fluorescentes.

En general deben satisfacer las siguientes condiciones:

- -Ser materiales no tóxicos y estables desde el punto de vista físico y químico para soportar los procesos de fabricación y las condiciones de operación.
- -Ser muy absorbentes del ultravioleta corto (UV-C), en la región de los 253.7 y 185 nm, con la consiguiente fluorescencia.
- -Emitir en el espectro visible y no ser absorbentes en el mismo (es decir, no estar coloreados).
- -Presentar sus óptimas características de funcionamiento alrededor de los 40 °C.
- -Poder ser divididos en partículas muy finas sin disminución del rendimiento.

Las sustancias fluorescentes utilizadas en la actualidad no presentan riesgo por su composición química, en contraste con las primeras sustancias empleadas, de elevado contenido en berilio, considerado como tóxico; desde hace casi 40 años este tipo de sustancias no se emplean.

Los tipos de sustancias fluorescentes, comúnmente utilizadas, son las siguientes:

- -Halofosfatos de calcio, activados con antimonio, manganeso y europio, para lámparas en las que la eficacia luminosa prevalece sobre el rendimiento del color.
- -Fluogermanato de magnesio o silicato de calcio, activados con diversos componentes, para lámparas en las que se persigue el efecto contrario (las denominadas tradicionalmente de lujo).
- -Aluminatos de magnesio o vanadato de itrio, con diversos aditivos, para los tubos trifósforo, de elevada eficacia luminosa y alto rendimiento de color.

#### 5. Casquillos.

Los más frecuentes son:

- -G (espigas), en los tubos convencionales, trifósforo, alta frecuencia y arranque rápido.
- -R (un contacto), en los tubos de arranque instantáneo.

### 3.3.1.2 Características de funcionamiento

Existen tres tipos básicos de encendido:

- -Encendido por cebador (precalentamiento), utilizado en la mayoría de los tubos fluorescentes (convencionales y trifósforo). El cebador, situado en paralelo con el tubo, provoca el precalentamiento de los electrodos, aproximadamente un segundo después, el cebador interrumpe el circuito de precalentamiento, y en combinación con el balasto provoca un sobretensión instantánea que es suficiente para iniciar la descarga.

Otras características:

- -Uso de arrancador para calentamiento de electrodos.
- -Generalmente usado en lámparas de baja potencia (<26 W) y en lámparas fluorescentes compactas.
- -Parpadeo de la lámpara.
- -Encendido rápido, con precalentamiento de electrodos, utilizado en los tubos de arranque rápido. El calentamiento de los electrodos proviene del propio balasto y existe además una ayuda al encendido, consistente en una banda metálica externa conectada a uno de los electrodos, que juega el papel de electrodo auxiliar.

Otras características:

- -Calentamiento continuo de electrodos.
- -Consumo de 0.5-1.5 W en los electrodos de la lámpara.
- -Menor voltaje de encendido.
- -Máxima luminosidad del sistema después de un par de segundos de encendido.
- -Encendido instantáneo, o arranque en frío, que se produce bajo el efecto combinado de la tensión producida por el balastro y la ayuda externa.

Otras características:

- -No hay precalentamiento de electrodos.
- -Alto voltaje inicial de encendido.
- -Uso de autotransformador para elevar el voltaje de encendido.
- -Conexión paralela.

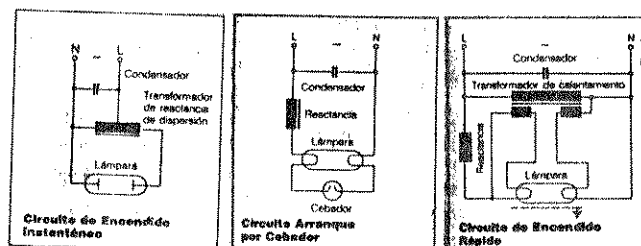


Fig. 3.6 Circuitos típicos de funcionamiento.

## 2. Estabilización de la descarga.

Las lámparas fluorescentes deben ser estabilizadas mediante un balastro en serie con el tubo. La tensión de alimentación, durante el funcionamiento, se divide entre el balastro y la lámpara, dado que prácticamente la tensión de funcionamiento de la lámpara es la mitad de la tensión de la red.

Los balastros más empleados son las bobinas de inductancia. En ocasiones se coloca en serie un condensador, constituyendo un balastro de tipo capacitivo-inductivo.

Si el balastro es de tipo inductivo únicamente, se suele colocar en paralelo un condensador para mejorar el factor de potencia, denominándose en este caso de alto factor.

Aparte de estabilizar adecuadamente la descarga de la lámpara, el balastro debe:

- -Tener un alto factor de potencia para garantizar el uso económico de la energía suministrada.
- -Generar el mínimo posible de armónicos.
- -Presentar alta impedancia a las audiofrecuencias.
- -Suprimir apropiadamente las interferencias de radio provocadas por la lámpara.
- -En muchos casos proporcionar a la lámpara las condiciones necesarias para el encendido.

## 3. Variaciones de tensión.

En general, un incremento de la tensión de alimentación ocasiona:

- -Mayor intensidad de corriente (I).
- -Disminución de la tensión en bornes de la lámpara (I).
- -Mayor flujo luminoso (F).
- -Mayor potencia absorbida (P) pero con un incremento relativo superior al del flujo luminoso, es decir, una disminución de la eficacia luminosa.

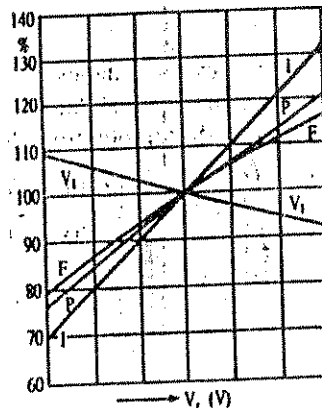


Fig. 3.7 Influencia de las variaciones de tensión.

#### 4. Influencia de la temperatura.

Las variaciones de temperatura modifican la presión del vapor de mercurio e influyen sobre las prestaciones de la lámpara. Cualquier modificación de la presión óptima del mercurio se traduce en una reducción del flujo luminoso emitido por la lámpara y en la disminución de su eficacia luminosa.

Para compensar los efectos derivados de la elevación de temperatura, se emplea amalgama (indio-mercurio), que tiene el efecto de liberar o absorber el mercurio en función de la temperatura, dando lugar a unas condiciones estables de emisión del flujo luminoso en un margen de temperaturas más amplio.

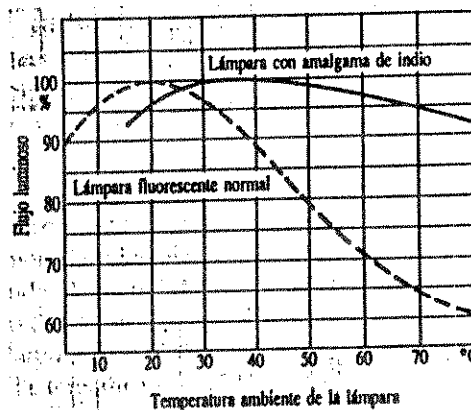


Fig. 3.8 Influencia de la temperatura en el flujo luminoso.

#### 5. Temperatura de color.

Existen tubos fluorescentes en las tres tonalidades básicas, si bien las denominaciones cambian con relación a las generales (cálida, intermedia, fría). Los términos utilizados y algunos valores típicos de temperatura de color son los siguientes:

Designación	Temperatura de color (K)
Blanco cálido	2700 - 3000
Blanco	4000 - 5000
Luz día	5300 - 6500

#### 6. Rendimiento de color.

En los tubos fluorescentes convencionales, el rendimiento de color y la eficacia luminosa han sido dos parámetros opuestos, dado que se consideraba que un buen IRC sólo podía ser obtenido mediante un espectro continuo, similar al de las lámparas incandescentes y, por tanto, de baja eficacia luminosa.

En este sentido, las antiguas denominaciones utilizadas para designar el rendimiento de color y sus valores usuales son los siguientes:

Denominación IRC	Valor IRC
Normal	50 - 60
De lujo	87 - 92
Especial de lujo	93 - 95

Normalmente se podía encontrar estos tres valores del IRC, dentro de cada apariencia de color, dando lugar a una gama completa de hasta nueve posibles tubos en cada fabricante. Como se ha señalado anteriormente, los valores de la eficacia luminosa se reducían a medida que los tubos evolucionaban hacia las categorías de lujo y especial de lujo.

Actualmente se sabe que las radiaciones de longitudes de onda 460 (azul), 540 (verde) y 610 nm (naranja - rojo), juegan un papel decisivo en el mecanismo de la visión de los colores. Así, una fuente de luz que emita en las cercanías de estas tres longitudes de onda presentará un buen rendimiento de color. Por otro lado, al emitir la mayoría de la radiación luminosa en al banda verde - amarilla y menos, comparativamente, en el azul y rojo (es decir, adaptando la emisión luminosa en las tres bandas a la curva de sensibilidad visual del ojo), aumenta significativamente la eficacia luminosa.

Mediante este procedimiento, utilizado en los tubos trifósforo, se ha resuelto el lo opuesto entre rendimiento de color y eficacia luminosa. Los valores usuales del IRC en estos tubos, son los siguientes:

Tipos de tubo	Valor IRC
Trifosforo normal	85
Trifosforo de lujo	95

## 7. Duración.

Las lámparas fluorescentes se extinguen cuando desaparece la sustancia emisiva de uno 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.

Los ensayos de duración se basan en períodos de 3 horas de conexión por encendido (8 encendidos/día) y ofrecen un resultado de vida media del orden de la 10000 horas.

Su vida útil se establece en 7500 horas con un flujo luminoso, al cabo de ese tiempo, del orden del 80 % del flujo inicial. Esta vida útil supone un régimen de funcionamiento de la lámpara igual al indicado anteriormente.

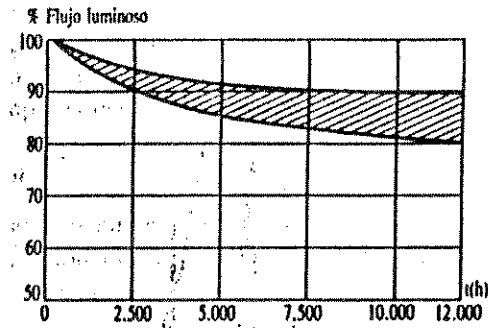


Fig. 3.9 Depreciación del flujo luminoso.

### 3.3.1.3 Características técnicas y energéticas.

Los datos que se ofrecen a continuación corresponden a tubos fluorescentes de arranque por cebador, a excepción de los de alta de frecuencia.

#### 1. Tubos convencionales de 38 mm (antiguos).

Potencia (W)	Color (*)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)
20	BC	1250	63
20	BC/L	850	43
20	B	1250	63
20	B/L	1080	54
20	LD	1250	63
20	LD/L	950	48
20	LD/EL	850	43
40	BC	3200	80
40	BC/L	2000	50
40	B	3200	80
40	B/L	2500	63
40	LD	3200	80
40	LD/L	2500	63
40	LD/EL	2000	50
65	BC	5100	79
65	BC/L	3300	51
65	B	5100	79
65	B/L	4000	62
65	LD	5100	79
65	LD/L	3900	60
65	LD/EL	3300	51

**\*Claves:**

BC: blanco cálido

B: blanco

LD: Luz de día

L: de lujo

EL: especial de lujo

**2. Tubos convencionales de 26 mm (actuales).**

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
18	1150	64	47
36	3000	83	68
58	4800	83	70

Todas ellas con IRC entre 55 -70, en las tres apariencias de color (sustituyen a los tipos BC, B Y LD normales).

**3. Tubos trifósforo de 26 mm (IRC= 85)**

Disponibles en tonalidades cálida, intermedia y luz día.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
18	1450	81	59
36	3450	96	79
58	5400	93	78

**4. Tubos trifósforo de 26 mm (IRC= 95).**

Únicamente para aplicaciones en las que el rendimiento de color es un factor crítico.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
18	1000	56	40
36	2350	65	54
58	3750	65	55



## 5. Tubos de alta frecuencia.

Si la frecuencia de alimentación de la lámpara fluorescente se eleva por encima de 15 kHz, manteniendo constante la potencia, su flujo luminoso se incrementa aproximadamente un 10 %; como la gama audible termina alrededor de los 20 kHz, la frecuencia adoptada para este tipo de lámparas es de 28 kHz. El encendido se realiza mediante el precalentamiento de electrodos producido por un balastro electrónico, este tema se tratara en el capítulo de balastros.

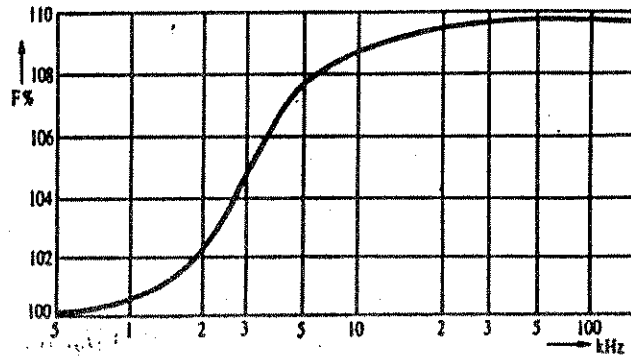


Fig. 3.10 Influencia de la frecuencia en el flujo luminoso.

En las lámparas fluorescentes de alta frecuencia se ha seguido el criterio de mantener el flujo luminoso en valores similares a los de las lámparas trifósforo y reducir su potencia, de este modo se consiguen valores de eficacia luminosa de hasta 104 lm/W.

Las características más destacadas de estas lámparas, que mantienen las mismas dimensiones (longitudes y diámetro) de los tubos trifósforo, son las siguientes:

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
16	1450	91	78
32	3200	100	89
50	5200	104	94

### 3.3.1.4 Ventajas

Las más destacables son:

- -Su excelente adaptabilidad al alumbrado de interiores, con la única limitación de la altura de instalación (en la práctica, el máximo es de 5-6 metros).
- -Su elevada eficacia luminosa, que permite satisfacer altos niveles de iluminación con prestaciones energéticas muy favorables y reducida potencia instalada por unidad de superficie.
- -La reducida aportación calorífica y posibilidad de utilización de luminarias integradas en sistemas de climatización.
- -El buen, e incluso, excelente rendimiento de color en algunos tipos.
- -La larga duración de lámparas y equipos auxiliares.
- -El encendido y reencendido rápido.
- -La amplia gama de lámparas y luminarias, incluye todo tipo de apariencia de color.

### 3.3.1.5 Limitaciones

Destacan las siguientes:

- -La escasa posibilidad de empleo en sistemas de proyección, por las dimensiones de los tubos.
- -Su factor de potencia bajo, que se corrige mediante condensadores de compensación, usualmente incorporados en las luminarias.
- -Son poco adaptables al alumbrado de interiores, por la influencia que ejerce la temperatura en su funcionamiento.
- -Producen efecto estroboscopia, salvo en las de alta frecuencia (aunque puede eliminarse mediante montajes de conexión especiales).

### 3.3.1.6 Nuevos desarrollos

Las lámparas fluorescentes han sido las fuentes de luz más investigadas desde la crisis de la energía, y en las que se han obtenido mayor número de nuevos desarrollos prácticos.

En este camino, desde mediados de la década de los 70 hasta nuestros días los tubos fluorescentes han cambiado de tamaño (diámetro), composición de los gases de llenado, composición de las sustancias fluorescentes y, en último lugar, de frecuencia de funcionamiento.

Las lámparas de alta frecuencia, ya comercializadas y en constante desarrollo, presentan las siguientes innovaciones frente a los restantes tubos fluorescentes:

- -Mejora sustancial de la eficacia luminosa, traducida en reducción de potencia.
- -Factor de potencia próximo a la unidad (0.96), por lo que no necesitan condensador de compensación.

- -Fácil regulación del flujo luminoso, continuo de 25 a 100 %. En la práctica las nuevas instalaciones en las que se prevé o necesita regulación del flujo luminoso, se proyectan con balastos y lámparas de alta frecuencia.
- -Funcionamiento óptimo y estable en una banda amplia de temperatura ambiente.
- -Eliminación del efecto estroboscópico.
- -Encendido casi instantáneo (0.5 s).
- -Balasto electrónico de reducidas pérdidas, que incluso deja de consumir energía en el momento en que la lámpara cesa de funcionar correctamente (no lo que se traduce en un mejor aprovechamiento energético).
- -Mejor depreciación del flujo luminoso.
- -Supresión del ruido producido por los balastos convencionales.

Hoy en día, no se plantea la sustitución de los tubos fluorescentes por otras fuentes de luz, sino que se trata de adoptar todos los nuevos desarrollos conseguidos en las instalaciones existentes mediante el reemplazamiento de unos tubos por otros. En esa línea, los fabricantes han mantenido siempre el mismo tipo de casquillo y la longitud de los tubos para facilitar su intercambiabilidad.

En la práctica, los tubos fluorescentes carecen de competencia cuando se trata de conseguir un alto nivel de iluminación y no existe un condicionante especial de altura de implantación.

Las tendencias de los fabricantes van en la línea de introducir, cada vez más, equipos electrónicos de estabilización, no sólo en el caso de la alta frecuencia, sino en la adaptación a instalaciones convencionales y sistemas de regulación del flujo luminoso, en función de las condiciones de ocupación de luz natural en los locales.

### 3.3.2 Fluorescentes compactas

Son lámparas fluorescentes de tubo estrecho (10-15 mm), curvado en doble U, o multi-tubo conectado por un puente de unión, para conseguir unas dimensiones reducidas.

Basan su funcionamiento en la utilización de sustancias fluorescentes de banda estrecha (trifósforo) que se adaptan convenientemente a las condiciones de funcionamiento (estabilidad del recubrimiento fluorescente ante la densidad superficial de potencia, 0.1 W/cm cuadrado, del tubo) impuestas por las dimensiones de la lámpara.

Existen diversas modalidades:

- -Lámparas compactas (con balasto y cebador incorporado), que están concebidas para la sustitución directa de las lámparas incandescentes, en las luminarias existentes. Versión con balastro electrónico.
- -Lámparas miniaturizadas (sin balastro y con cebador incorporado) que precisan luminarias especialmente concebidas para ellas.
- -Lámparas miniaturizadas electrónicas con balastro y cebador incorporado.

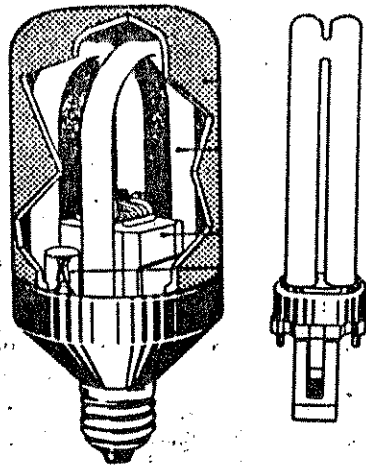


Fig. 3.11 Lámparas compactas.

### 3.3.2.1 Componentes

Se citan únicamente aquellos que ofrecen alguna diferencia con los descritos para tubos fluorescentes.

#### 1. Ampolla

Se trata de una ampolla exterior que envuelve al tubo de descarga y que solamente existe en las lámparas compactas, ante la posibilidad de empleo de la lámpara vista como sucede en buena parte de las instalaciones de lámparas de incandescencia.

Esta construida de plástico y puede presentar forma cilíndrica (prismática clara y opalizada) o globo (opalizada).

#### 2. Casquillos

Dependiendo del tipo de lámpara, existen las siguientes variantes:

- -Edison (E), para las compactas.
- -Espigas (G), para las miniaturizadas con y sin cebador incorporado.

### 3.3.2.2 Características de funcionamiento

#### 1. Encendido

En todos los casos son de encendido por cebador (electrodos precalentados).

#### 2. Estabilización de la descarga

Mediante balastro inductivo (reactancia), colocado en serie con el tubo de descarga, como el convencional de los tubos fluorescentes; va incorporado en las compactas y separado en las miniaturizadas, mediante balastro electrónico incorporado en las miniaturizadas electrónicas.

### 3. Temperatura de color

Normalmente 2700 K (apariencia cálida, similar a la de las lámparas incandescentes), aunque existen versiones de 3000 y 4000 K.

### 4. Rendimiento de color: 85

### 5. Duración

La vida media usual es de 5000-6000 horas. En algunos modelos de lámparas miniaturizadas (los que no incorporan cebador ni balastro) se alcanzan duraciones relativamente próximas a las de los tubos fluorescentes. Las lámparas electrónicas tienen una vida media de 8000 horas.

## 3.3.2.3 Características técnicas y energéticas

### 1. Lámparas compactas (ampolla cilíndrica).

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Incandescente sustituida (W)
9	450	50	40
13	650	50	60
18	900	50	75
25	1200	48	100

Es un ahorro de energía del 70 %, respecto a la incandescente sustituida.

### 2. Lámparas miniaturizadas electrónicas.

Como en el inciso 1 permiten sustituir (tienen el mismo casquillo) directamente a las incandescentes.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Incandescente sustituida (W)
7	400	57	40
11	600	55	60
15	900	60	75
20	1200	60	100

### 3. Lámparas miniaturizadas (cebador incorporado).

De los modelos indicados, los cuatro primeros corresponden a la ejecución de dos tubos unidos y las restantes a las de cuatro tubos.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
5	250	50	30
7	400	57	36
9	600	67	46
11	900	82	63
10	600	60	42
13	900	69	52
18	1200	67	53
26	1800	69	54

Se tiene un ahorro de energía del 80 %, respecto a la incandescente sustituida.

#### 4. Lámparas miniaturizadas (sin balasto, ni cebador incorporado).

Constituyen el primer intento de competencia con los tubos fluorescentes de longitudes estándar, al disponer de potencias similares y poder utilizar luminarias más compactas. Sus características de color se asemejan a las de los tubos trifósforo, aunque su eficacia luminosa es más reducida. Pueden ser utilizadas con balastos de alta frecuencia, además de los inductivos convencionales.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
18	1200	67	47
24	1800	75	55
36	2900	81	68

Se están desarrollando este tipo de lámparas de forma acelerada, así es reciente la operación de un nuevo modelo de 50W que proporciona 4000 lúmenes, y mantiene las dimensiones de la lámpara de 36 W.

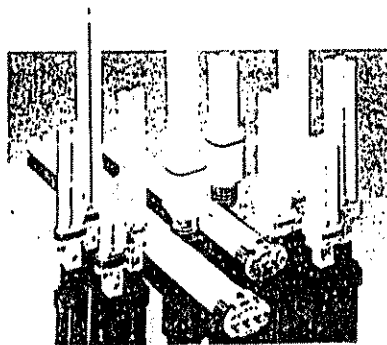


Fig. 3.12 Lámparas compactas.

### **3.3.2.4 Ventajas**

En comparación con las lámparas incandescentes, para cuya sustitución han sido concebidas, las lámparas compactas y miniaturizadas presentan las siguientes ventajas:

- -Un consumo de energía del 25 % (compactas) o 20 % (miniaturizadas).
- -Una duración de 5 a 8 veces superior.
- -La posibilidad de utilización como alumbrado general, fundamentalmente en el ámbito comercial, con aceptables radios de potencia instalada por unidad de superficie.
- -El costo total (inversión + explotación) más reducido, en utilizaciones de conexión prolongada, típicas del sector terciario, donde la rentabilidad se alcanza alrededor de las 3000 horas.
- -La apariencia de color equivalente (2700 K).

### **3.3.2.5 Limitaciones**

También frente a la incandescencia:

- -Un precio elevado, que hace dudosa la rentabilidad en aplicaciones con pocas horas de utilización y que requieren gran número de encendidos, tal como el alumbrado doméstico.
- -Un peso sensiblemente superior de las lámparas compactas y mayores dimensiones, este inconveniente se está solventando con la utilización de balastos electrónicos.
- -Un rendimiento de color más reducido (85), aunque suficiente para la mayor parte de aplicaciones.
- -No son utilizados con graduadores o reguladores de flujo, o con temporizadores.

### **3.3.2.6 Nuevos desarrollos y perspectivas de futuro**

Aparte de las mejoras de eficacia que pueden experimentar estas lámparas, como consecuencia de los desarrollos previsibles de los tubos fluorescentes, se tiende a la introducción de balastos y cebadores electrónicos en toda la gama, con objeto de reducir el peso, fundamentalmente de las lámparas compactas, así también la mejora del factor de potencia arriba de 0.9 y la baja distorsión de armónicos.

### **3.3.3 Lámparas de vapor de mercurio de alta presión**

En esta familia se agrupan tres tipos básicos de lámparas: vapor de mercurio (propriadamente dicha), luz mezcla y halogenuros metálicos.

### 3.3.3.1 Lámparas de vapor de mercurio

#### 1. Descripción.

La descarga de vapor de mercurio de alta presión (2-4 bar) presenta las siguientes características, comunes de las descargas en alta presión:

- -Concentración del arco en el eje del tubo, con un gradiente de temperatura elevado (del orden de 5000 K) entre este eje y la pared del tubo.
- -Espectro en el que las rayas de resonancia dejan paso a bandas más anchas producidas por transiciones de niveles energéticos más elevados y a una pequeña porción continua, que aumenta a medida que la presión es más elevada.

Las principales líneas espectrales del mercurio a alta presión se localizan en el ultravioleta (313 y 365 nm), violeta, azul, verde y amarillo.

Esencialmente existen dos tipos característicos de lámparas de vapor de mercurio:

- -De ampolla clara, cuyo espectro corresponde a la propia emisión del tubo de descarga, carente de rayas rojas (por lo que el IRC es bajo, del orden de 25).
- -De color corregido, que incorpora sustancias fluorescentes en la pared interna de la ampolla, capaces de aprovechar la radiación ultravioleta emitida por el tubo de descarga, para su conversión en radiación visible (fundamentalmente roja).

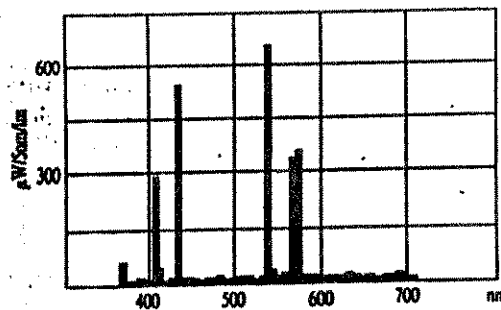


Fig. 3.13 Espectro luminoso para lámpara de ampolla clara y de color corregido.

#### 2. Componentes.

- -Tubo de descarga: de cuarzo para soportar la alta temperatura registrada en el mismo (750 °C) durante funcionamiento. Su forma es cilíndrica, con los extremos semiesféricos y contiene dos



electrodos principales (uno en cada lado ), un electrodo auxiliar y el gas de llenado junto con la dosificación exacta de mercurio, para que todo él se vaporice cuando la lámpara alcance sus características de régimen.

- -Electrodos principales: similares a los de las lámparas fluorescentes, con una base de tungsteno en espiral, recubierta por sustancias emisoras de electrones (óxidos o carbonatos de estroncio, bario, torio y otros aditivos alcalino-térreos).
- -Electrodo auxiliar: es un simple hilo de tungsteno o molibdeno, colocado muy próximo a un electrodo principal, pero conectado al polo opuesto, a través de una resistencia de 10-30 ohmios.
- -Gas de llenado: normalmente argón, y en ocasiones, argón con neón, para lámparas destinadas al funcionamiento en bajas temperaturas.
- -Ampolla exterior: de vidrio endurecido, diseñado para soportar temperaturas del orden de 350 °C. Entre el tubo de descarga y esta ampolla existe un gas de relleno (mezcla de argón y nitrógeno) para proteger a los componentes metálicos interiores del riesgo de oxidación, y mantener las condiciones de temperatura del tubo de descarga. Las formas características de estas ampollas son:
  - -Ovoide (la más común).
  - -Globo.
  - -Parabólica reflectora.
- -Sustancias fluorescentes: sólo existen en las lámparas de color corregido. Actualmente se emplea el vanadato de itrio, activado con europio, por su mejor resistencia a la alta temperatura que los antiguos compuestos de magnesio, y porque ofrece una eficacia luminosa más elevada.
- -Casquillos: en general, rosca Edison (E).

### 3. Características de funcionamiento.

- -Encendido: estas lámparas arrancan a la tensión de red, con la ayuda del electrodo auxiliar. En el encendido, la tensión de suministro se aplica entre los dos electrodos principales, pero la distancia entre ellos es demasiado grande para iniciar la descarga. Simultáneamente, esa misma tensión aparece entre el electrodo auxiliar y el principal adyacente, de modo que se produce una descarga entre ellos, limitada por la resistencia del electrodo auxiliar. Esta pequeña descarga ioniza el mercurio y provoca el establecimiento de la descarga entre los electrodos principales. La descarga inicial, se verifica prácticamente en condiciones de baja presión, con emisión intensa de radiación ultravioleta; la descarga

evoluciona, se incrementa la temperatura, el mercurio se evapora progresivamente y aumenta su presión, confinando la descarga a una región estrecha en el eje del tubo y la emisión pasa a ser la propia del mercurio.

El tiempo total de encendido es del orden de 4-5 minutos, durante el cual las características de la lámpara varían según la figura 3.14. Cabe destacar que durante la puesta a régimen, la intensidad de arranque puede suponer, dependiendo del tipo de lámpara, de 1.5 a 1.9 veces la corriente nominal, lo que obliga a sobredimensionar el de alimentación.

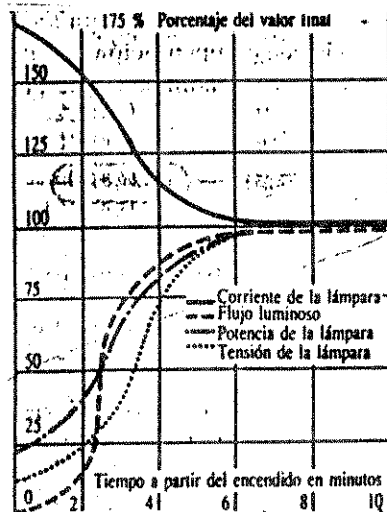


Fig. 3.14 Características de encendido.

- -Reencendido: la alta presión hace imposible el reencendido inmediato. Así, es preciso un período de 3-6 minutos para reducir la presión a los valores requeridos, antes de reiniciar el funcionamiento.
- -Estabilización de la descarga: mediante balastro inductivo, que absorbe el exceso de la tensión de red sobre la tensión de arco de la lámpara. La utilización de este tipo de balastro provoca un factor de potencia bajo que se corrige mediante condensador de compensación, habitualmente incorporado en el equipo auxiliar de las luminarias denominado de alto factor.

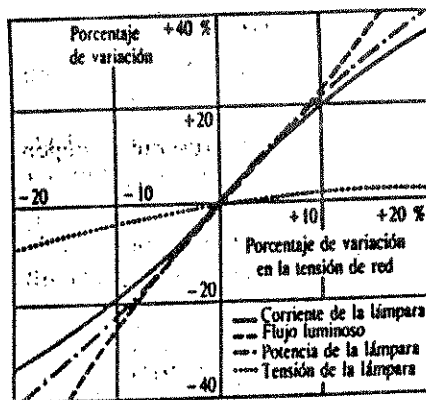


Fig. 3.15 Efecto de las variaciones de tensión y circuito de conexión.

- -Temperatura de color: 3500 - 4500 K (intermedia).
- -Rendimiento de color: normalmente 40 - 45, aunque existen lámparas con reproducción cromática mejorada que alcanzan el valor de IRC 60.
- -Duración: su vida media, como en las lámparas fluorescentes, depende de la pérdida de materia emisora de los electrodos, y se establece en cifras del orden de 24000 horas. Su vida útil, viene determinada por la reducción de flujo luminoso, fijada para una instalación. Para un factor de mantenimiento de flujo del 80 % del inicial y períodos de conexión de 3 horas por encendido, la vida útil es de unas 8000 horas.

#### 4. Características técnicas y energéticas.

Lámparas de vapor de mercurio color corregido (IRC 40 - 45).

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
50	2000	40	32
80	3800	48	40
125	6300	50	45
250	13500	54	51
400	23000	58	54
700	42000	60	57
1000	60000	60	57
2000	125000	63	60

Lámparas de vapor de mercurio color corregido (IRC 60).

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
50	2000	40	32
80	4000	50	43
125	6500	52	46
250	14000	56	52
400	24000	60	57

#### 5. Ventajas y limitaciones.

Estas lámparas, han sido las primeras lámparas de descarga de alta intensidad

utilizadas de forma masiva, en toda serie de aplicaciones en las que importa fundamentalmente la cantidad de luz.

En términos de eficacia luminosa las comparaciones debieran hacerse con las lámparas de incandescencia, dado que en la actualidad han sido claramente superadas por las restantes lámparas de descarga de alta intensidad.

Presentan las siguientes ventajas:

- -Equipo auxiliar muy sencillo (balastro y condensador de compensación) y costes de inversión moderados.
- -Alternativa, casi única, en aquellas aplicaciones en que la altura de implantación obliga a utilizar lámparas de alta intensidad y además se desea crear un ambiente frío.
- -Reproducción fiable de los colores verdes, lo que las hace adecuadas para alumbrado exterior en parques y jardines.

En cuanto a las limitaciones, ya se ha indicado su menor eficacia luminosa que el resto de las lámparas de descarga de alta intensidad.

Para este tipo de lámparas no existen nuevos desarrollos a excepción de la mejora del rendimiento de color y en cuanto a la situación futura de este tipo de lámpara, no se prevé su desaparición, ni siquiera a largo plazo, dado el elevado número de instalaciones existentes equipadas con estas lámparas.

### 3.3.3.2 Lámparas de luz mixta

#### 1. Descripción.

Pueden definirse como lámparas de vapor de mercurio de color corregido, con balastro incorporado. El balastro, en lugar de ser una inductancia es una resistencia (filamento de tungsteno) situada alrededor del tubo de descarga y tiene por función:

- -Asegurar la estabilización de la descarga.
- -Mejorar el rendimiento de color de la lámpara, mediante el espectro continuo emitido por el filamento.
- -Mejorar el factor de potencia de la lámpara, que se aproxima a la unidad.

#### 2. Componentes.

Son los mismos que los de la lámpara de color corregido de ampolla ovoide, con la adición de un filamento de tungsteno, similar a los descritos para las lámparas de incandescencia y adaptado a las condiciones de funcionamiento del tubo de descarga.

#### 3. Características de funcionamiento.

- -Encendido: en la conexión, el filamento emite un flujo luminoso superior a su valor de régimen, dado que soporta la mayor parte de la tensión de

red. A medida que evoluciona la descarga y aumenta la tensión en el tubo, disminuye el filamento hasta llegar a las condiciones de régimen. El tiempo total de encendido es del orden de 2 minutos.

- -Influencia de la variación de tensión: es la principal limitación de este tipo de lámparas, dado que el filamento, además de absorber los eventuales incrementos de la tensión de alimentación, tiene también que hacer frente a la disminución de la tensión de arco del tubo de descarga. Este factor condiciona, por tanto, la duración del filamento.
- -Temperatura de color: 3600 K.
- -Rendimiento de color: 60.
- -Duración: al incorporar un filamento incandescente, únicamente se ofrece el dato de vida media, que se establece alrededor de las 6000 horas.

#### 4. Características técnicas y energéticas.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)
160	3000	19
250	5700	23
500	14000	28

#### 5. Ventajas y limitaciones.

La comparación de prestaciones de este tipo de lámparas debe hacerse siempre frente a las lámparas incandescentes. Sus ventajas más importantes son:

- -Eficacia luminosa más elevada (entre 30 - 70 %, dependiendo de la potencia).
- -Mayor duración (seis veces más para las incandescentes estándar).
- -Sustitución directa sin otra inversión que el coste de las lámparas (puede conectarse directamente a la red).

Entre las limitaciones destacan:

- -Su baja eficacia luminosa hace que no se utilicen en nuevas instalaciones.
- -Influencia acusada de las variaciones de tensión en la vida de la lámpara por lo que no es aconsejable su instalación en lugares donde se produzcan frecuentes fluctuaciones de tensión.

- -Encendido no instantáneo, al menos en las condiciones de régimen.
- -Bajo rendimiento de color, normalmente poco apreciable en el tipo de aplicaciones usuales de estas lámparas.

En cuanto a las perspectivas de futuros, es un producto en claro retroceso, con una tendencia a desaparecer a medio plazo.

### 3.3.3.3 Lámparas de halogenuros metálicos

#### 1. Descripción.

Son lámparas derivadas de las de vapor de mercurio alta presión, en las que el tubo de descarga contiene diversos aditivos metálicos, generalmente en forma de yoduros, de modo que las líneas de emisión de estos metales cubran las zonas apropiadas del espectro visible, con el objeto de potenciar la eficacia luminosa, el rendimiento de color o ambas características simultáneas. Los elementos utilizados son tales como disprosio, galio, indio, litio, escandio, sodio, talio, torio y otros, combinados con un halógeno (yodo), dado que la mayoría de estos metales en estado libre atacan el cuarzo del tubo de descarga. Así, el halogenuro experimenta un ciclo similar al descrito para las lámparas halógenas, de este modo que en la descarga se produce la vaporización del halogenuro; el vapor penetra en la región del arco, cuya temperatura (6000 K) es suficiente para separar el metal del yodo. Los átomos metálicos excitados dan lugar a sus rayas de emisión características y se difunden por el tubo de descarga, en cuya pared se recombinan con los átomos libres de yodo reiniciando el proceso.

Las lámparas de halogenuros metálicos no generan prácticamente radiación ultravioleta, por lo cual sus ampollas exteriores no están recubiertas de sustancias fluorescentes; en algunos casos se añade, en su lugar, una capa difusora con objeto de reducir la luminancia de la lámpara. Como excepción, las lámparas de ampolla exterior de cuarzo (clara), emiten una parte de ultravioleta, lo que obliga a adoptar precauciones de montaje (proyectores cerrados, con filtro UV).

Se pueden distinguir dos tipos básicos de lámparas de halogenuros:

- -Con ampolla exterior de vidrio, en diversas formas.
- -Con ampolla exterior de cuarzo, de dimensiones reducidas y adaptadas a pequeños sistemas de proyección.

#### 2. Componentes.

- -Tubo de descarga: de cuarzo, muy similar al de las lámparas de vapor de mercurio, con la diferencia característica de que no existe el electrodo auxiliar de encendido.
- -Electrodos: también de tungsteno, pero con algunas diferencias en cuanto a la sustancia emisora de electrones, dependiendo de la tendencia adoptada por el fabricante.

- -Gas de llenado: argón en la mayoría de los casos, o bien una mezcla argón-neón, para reducir la tensión de encendido.
- -Ampolla exterior: de vidrio, con características similares a la de las lámparas de vapor de mercurio. El objeto de esta ampolla externa y de su gas de relleno (argón y nitrógeno), es crear una distribución de temperaturas favorable en el tubo de descarga que impida la separación los componentes halogenados por acción de la gravedad, de tal modo que la lámpara pueda funcionar con un grado suficiente de libertad de la posición de instalación. La ampolla puede ser tubular (clara) u ovoide (opacizada).

Existen también lámparas de halogenuros con ampolla exterior cilíndrica de cuarzo, cuya posición de funcionamiento debe ser sensiblemente horizontal, con tolerancias variables según marcas, de 20 a 60°.

## 2. Características de funcionamiento.

- -Encendido: el inicio de la descarga en este tipo de lámparas, debido a la presencia de los halogenuros, requiere la utilización de tensiones de encendido muy elevadas (1.5 - 5 kV) que son suministradas generalmente por un arrancador.

Este arrancador está formado por un circuito electrónico, cuya parte fundamental es un tiristor que suministra un impulso o pico de tensión muy elevado, una vez por cada ciclo. Una vez producida la descarga, el arrancador queda desactivado, dejando de emitir impulsos de tensión.

Existen también lámparas destinadas a la sustitución de las de vapor de mercurio, que no exigen arrancador externo, sino que provocan el encendido mediante un interruptor bimetalico incorporado en la propia lámpara. El período transitorio, hasta alcanzar las condiciones de régimen puede alcanzar desde 3 - 5 minutos, hasta los 10 minutos en algunos tipos de lámparas.

- -Reencendido: en general, el reencendido requiere un tiempo de espera de varios minutos, hasta que la lámpara retorna a las condiciones de presión adecuadas. No obstante, algunos tipos de lámparas permiten el reencendido inmediato en caliente, mediante arrancadores especiales que producen picos de tensión de 35 a 60 kV.
- -Estabilización de la descarga: mediante balastro inductivo, de manera similar a las lámparas de vapor de mercurio. Análogamente, para compensar el bajo factor de potencia de estos balastos el equipo auxiliar incluye un condensador. En razón de su alta temperatura de funcionamiento, las lámparas de halogenuros concentran el arco de manera notable en el eje del tubo de descarga, de modo que es un arco menos estable que el vapor de

mercurio. Por este motivo, las variaciones de tensión de red causan perturbaciones en el funcionamiento de estas lámparas, lo que obliga a seleccionar el balastro de acuerdo con el tipo de lámpara a instalar.

- -Temperatura de color y rendimiento de color: son parámetros establecidos en función de la tendencia de fabricación adoptada, lo que puede observarse también en los distintos espectros de emisión que presentan. Igualmente, este hecho supone grandes variaciones de eficacia luminosa.

Los aditivos que forman estas cuatro familias de lámparas de halogenuros metálicos, son los siguientes:

- -El sodio, talio e indio, con emisiones concentradas en el azul, verde y amarillo. Temperatura de color 4400 K, IRC 65, eficacia 90 lm/W.
- -El sodio y escandio, con un espectro muy completo en color. Temperatura de color 3000 - 4800 K, IRC 80 - 85, eficacia 80 lm/W.
- -El disprosio y talio, con un espectro extremadamente rico gracias las rayas de emisión del disprosio. Temperatura de color 5800 - 6000 K, IRC 85, eficacia 75 lm/W.
- -El talio y aditivos de tierras raras, que producen un espectro sumamente denso.

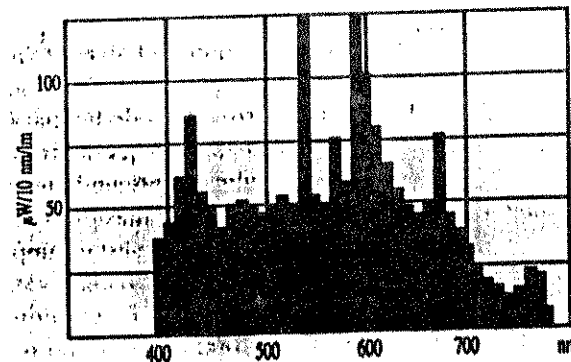


Fig. 3.16 Espectro luminoso.



### 3. Duración.

Dependen de la potencia de las lámparas. En general, las de pequeña potencia tienen una vida media cercana a las 10000 horas. Las de gran potencia pueden oscilar entre 2000 - 6000 horas.

La vida media depende de la tendencia de fabricación, aunque en la mayoría de los casos las depreciaciones de flujo luminoso son bastante más acusadas que en las de vapor de mercurio.

### 4. Características técnicas y energéticas.

- -Lámparas de halogenuros (ampolla exterior de vidrio).

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
250	19000	76	69
400	31500	79	75
1000	81000	81	77
2000	187000	93	89

- -Lámparas de halogenuros (ampolla exterior de cuarzo).

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
70	5000	71	56
150	11250	75	66
250	20000	80	73

### 5. Ventajas

Destacan las siguientes:

- -Una alta eficacia luminosa y, en general, buen rendimiento de color, lo que las hace apropiadas para alcanzar óptimos niveles de iluminación, en aplicaciones de interior y exterior, que generalmente se relacionan con el deporte, espectáculos, etc; donde el color es también un factor decisivo.
- -Un espectro luminoso que se adapta a la perfección de la TV en color, por que su utilización es preferente cuando existen retransmisiones de este tipo.
- -Una buena adaptabilidad a sistemas de proyección, que constituyen la parte fundamental de las utilidades de estas lámparas. La disponibilidad de distintas apariencias de color (intermedias y frías), que permite su adaptación a distintos ambientes cromáticos.

## 6. Limitaciones.

Las más destacadas son:

- -Una descarga inestable, que se traduce en distintas apariencias de color a lo largo de la vida de la lámpara y en reducciones sensibles de su flujo luminoso; este fenómeno se agudiza con las variaciones de tensión de la alimentación.
- -Su precio elevado, que la convierte en la fuente de luz más cara a efectos de coste de instalación y limita su empleo a aquellas aplicaciones en que la reproducción cromática es prioritaria.

### 3.3.4 Lámparas de vapor de sodio.

#### 3.3.4.1 Lámparas de vapor de sodio de baja presión.

##### 1. Descripción.

La descarga en vapor de sodio de baja presión es muy similar a la de mercurio de baja presión, con la diferencia de que la temperatura en el tubo de descarga es más elevada (260 °C) para asegurar la vaporización del sodio.

Su característica fundamental es que alrededor del 90 % de la radiación emitida se verifica en la banda de 589 - 589.6 nm, correspondiendo el resto, casi en su totalidad, al infrarrojo corto (IR-A). Este pico de radiación monocromática amarilla está muy próximo al máximo de la curva de sensibilidad espectral del ojo, lo que convierte a esta lámpara en la más eficaz de las fuentes de luz existentes.

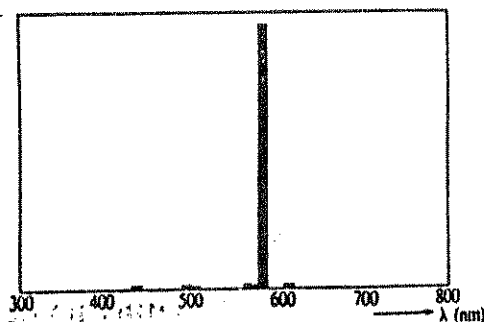


Fig. 3.17 Espectro luminoso del sodio de baja presión.

##### 2. Componentes.

- -Tubo de descarga: de vidrio duro, recubierto en su cara interior por una capa de vidrio tratado con boratos resistentes al sodio (que es agresivo con el vidrio normal). Su sección es circular, salvo en algunos modelos con tubo de descarga rectilíneo, cuya sección es en forma de cruz o creciente, para reducir la anchura del arco. Presenta una forma doblada en U, con una serie de salientes perimetrales, cuya menor temperatura que el resto del tubo los

convierte en receptores del sodio condensado. Estos pequeños depósitos de sodio tienen por objeto impedir la migración del sodio hacia lugares indeseados del tubo de descarga.

El tubo contiene los electrodos, el sodio y el gas de llenado.

- -Electrodos: de hilo grueso de tungsteno en doble espiral, recubierto por sustancias emisivas (óxidos de metales alcalino - térreos). La construcción de los electrodos está pensada para aumentar su duración a pesar del elevado valor de la corriente del arco.
- -Gas de llenado: habitualmente neón, en ocasiones con un ligero contenido en argón (1 %) para reducir la tensión de encendido.
- -Ampolla exterior: de vidrio, en forma cilíndrica, recubierto internamente por una capa de óxido de indio, que transmite la radiación amarilla del sodio y refleja del orden del 80 % de la radiación infrarroja hacia el tubo de descarga. La misión de esta ampolla es mantener la temperatura óptima del tubo de descarga (260 °C), para lo cual, además de la reflexión del infrarrojo, se hace el vacío y se añaden compuestos absorbentes que mantienen el vacío a lo largo de la vida de la lámpara, al absorber los gases que se producen cuando la lámpara está en servicio.
- -Casquillos: normalmente bayoneta (B).

### 3. Características de funcionamiento.

- -Encendido: los electrodos no son precalentados (arranque en frío), por lo que la tensión de encendido es bastante elevada (400 - 600 V), lo que requiere la ayuda de un balastro autotransformador o un arrancador electrónico.

El balastro autotransformador proporciona el impulso de tensión, suficiente para el inicio de la descarga, pero tiene el inconveniente de ser muy voluminoso y proporcionar unas pérdidas no despreciables.

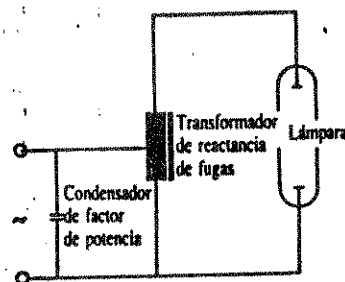


Fig. 3.18 Circuito de conexión con balastro autotransformador.

El arancador electrónico se basa en un tiristor que desencadena un impulso de alta tensión por la acción de un pequeño condensador en serie con una inductancia (balastro de tipo híbrido). La utilización del arrancador electrónico permite un balastro de dimensiones y peso mucho más reducidos, además de mejorar la eficacia global del circuito (10 %).

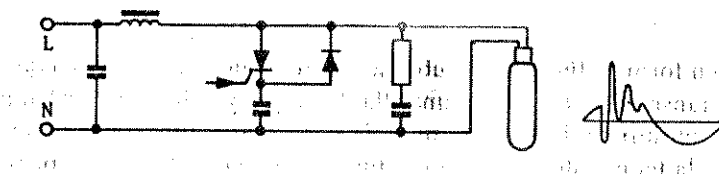


Fig. 3.19 Circuito de conexión con balastro híbrido.

El inicio de la descarga, con el sodio en estado sólido a temperatura ambiente, se verifica únicamente en la atmósfera de neón, lo que proporciona el color rojo característico del encendido de estas lámparas; a medida que le sodio vaporiza, el color evoluciona hacia el amarillo. Una característica de este tipo de lámparas, con relación a las restantes de descarga, es que no existe sobreintensidad de encendido, al utilizar una tensión de arranque elevada y verificarse la descarga en el gas inerte, con intensidad débil hasta alcanzar las condiciones de régimen en un tiempo bastante largo, del orden de 15 minutos.

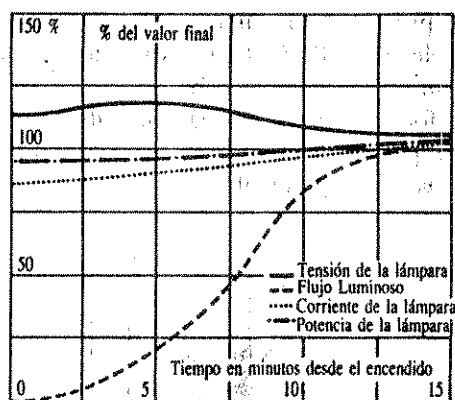


Fig. 3.20 Características de encendido.

- -Reencendido: exige un corto período de enfriamiento, aproximadamente 3 minutos, aunque existen dispositivos de reencendido instantáneo (con arrancadores electrónicos).

- -Estabilización de la descarga: los dos procedimientos se han descrito al hablar del encendido, éstos son:
  1. Balastro autotransformador, con inductancia variable en función de la intensidad. Produce un bajo factor de potencia que debe corregirse mediante un condensador de compensación.
  2. Balastro híbrido, compuesto por inductancias y condensadores (asociado al arrancador electrónico), que produce una onda de corriente de forma casi rectangular de valor máximo más reducido, pero crecimiento más rápido que la producida por el balastro autotransformador.
  
- -Variaciones de tensión: el incremento de la tensión de alimentación produce una disminución de la tensión de arco, lo que mantiene la potencia absorbida y el flujo luminoso en valores relativamente estables. La tensión de la lámpara crece a lo largo de su vida (por carencia del sodio disponible), siendo la intensidad proporcionada por el balastro prácticamente constante, lo que hace aumentar la potencia absorbida más rápidamente que el flujo luminoso, con reducción de la eficacia luminosa. Este efecto está corregido en las lámparas de arrancador electrónico, mediante la disminución de la intensidad a medida que crece la tensión del arco, lo que proporciona un aumento muy débil de la potencia absorbida una menor reducción de la eficacia luminosa de la lámpara a lo largo de su vida.
  
- -Temperatura de color y rendimiento de color: son características que no se ofrecen en este tipo de lámparas, en razón de la radiación monocromática amarilla que emiten. Se pueden calificar como apariencia de color cálida y sin prestaciones de reproducción cromática.
  
- -Duración: su vida media está limitada por la desactivación de los electrodos o las pérdidas de sodio, por migración hacia puntos fríos indeseados del tubo de descarga. Se establece alrededor de las 15000 horas. Su vida útil es del orden de 6000 - 8000 horas, para regímenes de conexión de 3 horas por encendido.  
El mantenimiento del flujo luminoso es muy bueno, por el efecto de crecimiento del flujo a medida que crece la tensión de arco de la lámpara a lo largo de su vida; no obstante, la eficacia disminuye como efecto de la mayor elevación de la potencia absorbida.

#### 4. Características técnicas y energéticas.

- -Lámparas de vapor de sodio de baja presión (balastro autotransformador).

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
35	4800	137	84

55	8000	145	105
90	13500	150	109
135	22500	167	131
180	32000	178	145

- -Lámparas de vapor de sodio de baja presión (balastro híbrido).

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
18	1800	100	72
25	3500	140	103
35	5700	163	124
65	10700	165	134
90	17500	194	164
131	26000	199	169

#### 5. Ventajas.

- -Eficacia luminosa: es la más elevada de todas las fuentes de luz, lo que las convierte en lámparas con mejor aprovechamiento energético.
- -Precio moderado: iguala los costes de inversión en aquellas aplicaciones que no tengan especiales requerimientos de color (autopistas, puertos, aeropuertos, incluso alumbrado público) y donde la potencia instalada adquiere valores muy importantes.

#### 6. Limitaciones.

- -Nula reproducción cromática que causa el rechazo de esta fuente de luz en numerosas aplicaciones, ya que no precisan unas prestaciones de color determinadas.

### 3.3.4.2 Lámparas de vapor de sodio de alta presión

#### 1. Descripción.

Presenta las siguientes características:

- -Contracción intensa del arco, en el eje del tubo de descarga, con un alto gradiente de temperatura entre el arco (4000 K) y la pared del tubo (1500 K).
- -Espectro de emisión de bandas amplias, muy destacadas las típicas del sodio 589 y 589.6 nm, junto con otras suplementarias (498, 568 - 569, 615 - 616 nm, e infrarrojo) producto de las transiciones de niveles energéticos más elevados y una muy pequeña parte continua. No existe prácticamente emisión ultravioleta.

## 2. Componentes.

- -Tubo de descarga: de óxido de aluminio translúcido (factor de transmisión de la radiación visible del orden del 90 %), con un pequeño aditivo (0.2 %) de óxido de magnesio, que tiene como misión impedir el aumento de tamaño de los cristales de aluminio, que perjudicaría la transmisión.

Presenta una forma cilíndrica, de reducido tamaño, cerrada en sus extremos por discos de aluminio o niobio.

Contiene los electrodos, el sodio, el gas de llenado, e incluye una pequeña porción de mercurio.

- -Electrodos: constituidos por una varilla de tungsteno (o aleación de tungsteno y titanio), sobre la que se arrojan hilos de tungsteno espiralado, recubiertos de sustancias emisivas de electrones (los habituales óxidos de bario, calcio y otros metales alcalinoterreos).
- -Gas de llenado: xenón, junto con el vapor de mercurio y el del propio sodio. El xenón facilita el arranque, incluso a baja temperatura y, por su baja conductividad térmica, reduce las pérdidas de calor del tubo de descarga: el vapor de mercurio ejerce un efecto amortiguador sobre la movilidad de los electrones, protegiendo los electrodos. Esta mezcla de gases permite reducir la longitud del arco (y las dimensiones del tubo) manteniendo la tensión de arco, con un aumento de su temperatura, emisión y eficacia luminosa.
- -Ampolla exterior: generalmente de vidrio, con dos ejecuciones típicas:
  - -Tubular, ampolla clara.
  - -Ovoide, recubierta interiormente por una capa difusora.

Entre esta ampolla exterior y el tubo de descarga se hace el vacío, para incrementar el aislamiento térmico del tubo y proteger sus elementos de sustentación contra la oxidación.

- -Casquillos: en la mayoría de los casos, rosca Edison (E), aunque existen también lámparas tubulares de conexión bilateral (casquillos tipo F). Las de muy alto IRC suelen presentar casquillos de espigas (PG).

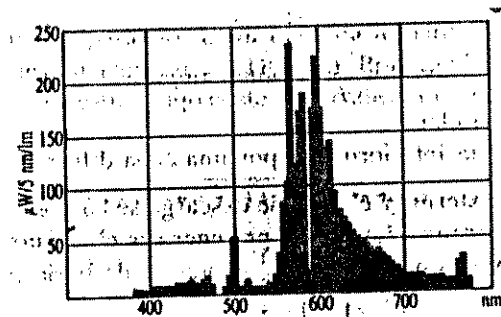
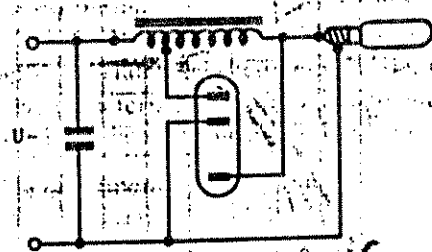


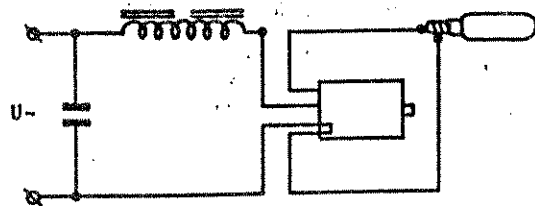
Fig. 3.21 Espectro luminoso de sodio de alta presión.

## 2. Características de encendido.

- -Encendido: el método usual se basa en la utilización de un arrancador electrónico, capaz de proporcionar impulsos de tensión de 2-5 kV, según la potencia de la lámpara, necesarios para asegurar la descarga. Se utiliza generalmente un tiristor que descarga la energía almacenada en un condensador sobre el balastro, o bien directamente sobre la lámpara. Se fabrican tres tipos de arrancadores, en paralelo, semiparalelo y serie, según la forma de conexión con los restantes equipos del sistema.



Arrancador semiparalelo.



Arrancador serie.

Fig.3.22 Diagrama de tipos de arrancadores.

- -Reencendido: exige un tiempo de espera muy breve, alrededor de un minuto, para lograr reducir las condiciones de presión, que permitan reiniciar la descarga. La posibilidad de reencendido inmediato en caliente se consigue mediante arrancadores especiales, con picos de tensión de 30 a 60 kV.



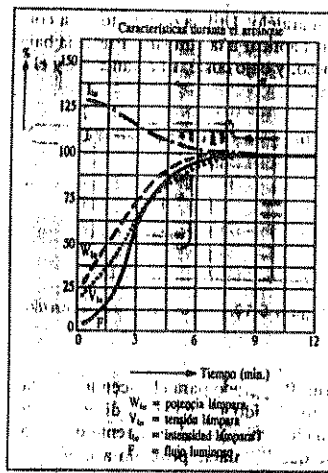


Fig.3.23 Características de encendido.

- -Estabilización de la descarga: presentan una característica tensión-corriente negativa, lo que precisan un elemento limitador de intensidad en serie con la lámpara. En general, se utiliza un balastro de tipo inductivo, que presenta algunas diferencias según la tecnología de origen:
  - -Balastro de tipo reactor, en Europa.
  - -Balastro reguladores, en Estados Unidos.

Estas diferencias tienen en cuenta el comportamiento de la lámpara de sodio alta presión a lo largo de su vida. En esencia, el sodio y el mercurio forman un amalgama que, normalmente, se introduce en exceso en el tubo de descarga. Durante el funcionamiento, una parte se vaporiza y el resto permanece en estado líquido, constituyendo el punto frío del tubo, normalmente detrás de uno o ambos electrodos (depósito de amalgama). La presión de vapor depende de la temperatura del punto frío, y tiene una influencia decisiva en las características de funcionamiento de la lámpara, entre ellas la tensión de arco, que crece a lo largo de la vida de la lámpara, debido a:

- -Un incremento de la temperatura del punto frío (y el consecuente de la presión de vapor) como consecuencia del depósito de sustancia emisiva alrededor de los electrodos.
- -La vaporización adicional de sodio, que modifica paulatinamente la composición de la amalgama.
- -Temperatura de color: 2000-2200 K (cálida).
- -Rendimiento de color: probablemente es éste el parámetro que más ha evolucionado durante los últimos años, adquiriendo valores cada vez más altos del IRC:
  - -25, lámparas convencionales.
  - -65 y 80, nuevos desarrollos.

- -Duración: su vida media está limitada fundamentalmente por la elevación de la tensión de arco de la lámpara (factor al que contribuyen la desaparición de sustancia emisiva de los electrodos, la pérdida de sodio por reacción con los componentes del tubo de descarga y el incremento de temperatura de la amalgama por depósitos de sustancia emisiva procedente de los electrodos), y eventualmente por deterioro del propio tubo. Se establece en unas 20000-24000 horas. Su vida útil esta condicionada por la disminución de flujo luminoso, debido, por una parte, a la acumulación de impurezas en el tubo de descarga, que son particularmente importantes a medida que sus dimensiones son más reducidas (lámparas de pequeña potencia) y, por otra parte, al depósito de restos de aluminio, procedentes del tubo de descarga, sobre la ampolla exterior.

Los valores habituales de vida útil (al 80% del flujo luminoso inicial) son del orden de 8000-12000 horas, dependiendo del modelo de lámpara y de su utilización.

### 3. Características técnicas y energéticas.

- -Lámparas de sodio alta presión con IRC 25.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
35	2100	60	42
50	3400	68	51
70	6000	86	68
100	10000	100	86
150	16000	107	96
250	27000	108	97
400	48000	120	109
1000	130000	130	124

- -Lámparas de vapor de sodio con autoencendido.

Estas lámparas están diseñadas para sustituir a las de vapor de mercurio alta presión, sin necesidad de modificar el balasto existente. Por lo tanto su ampolla exterior es ovoide, esto para poderlas utilizar en los mismos sistemas ópticos que las de vapor de mercurio, a las que reemplazan. De las lámparas indicadas a continuación, las dos primeras corresponden al encendido mediante cebador interno, y las restantes al sistema de anillo de arranque.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
50	3300	66	51
70	5800	83	68

110	8000	73	64
210	18000	86	78
350	34500	99	92

Las sustituciones recomendadas para este tipo de lámparas son las siguientes:

Sodio AP autoencendido (W)	Mercurio AP sustituida (W)	Incremento flujo luminoso (%)	Ahorro energía (%)
38	50	80	13
44	70	125	8
12	110	125	27
16	210	250	33
13	350	400	50

#### 4. Ventajas

- -Alta eficacia luminosa (sólo superada por el sodio baja presión) que la convierte en la fuente de luz más eficaz para un gran número de aplicaciones.
- -Adecuado rendimiento de color de las lámparas convencionales en muchas aplicaciones comunes, mejorado apreciablemente en los nuevos desarrollos.
- -Elevadas vidas media y útil, con un adecuado nivel de mantenimiento del flujo luminoso.
- -Equipos auxiliares de calidad contrastada y alto índice de fiabilidad y duración.
- -Pueden operar en cualquier posición de funcionamiento sin presentar problemas.
- -Precio moderado, que aun siendo claramente superior al de las lámparas de mercurio, se rentabiliza en razón de sus altas prestaciones energéticas.

#### 5. Limitaciones.

- -No consigue, por el momento los valores de reproducción cromática ofrecidos por las lámparas de halogenuros metálicos, lo que restringe su aplicación en los casos en que este factor resulta prioritario.

- -Apariencia de color cálida, que tiene un rechazo psicológico cuando se trata de ofrecer muy altos niveles de iluminación, sobre todo en aplicaciones de alumbrado interior.

## 6. Perspectiva de futuro.

Este tipo de lámparas ha sido, y está siendo, muy potenciado por los fabricantes lo que, unido a sus destacadas prestaciones energéticas, ha dado como resultado una introducción masiva en casi la totalidad de los campos de aplicación de las lámparas de descarga de alta intensidad, sustituyendo claramente al mercurio alta presión y al sodio baja presión, en la mayoría de los casos, con plena satisfacción de los usuarios.

## 4. Luminarias y Elementos auxiliares (Balastos)

### 4.1. Luminarias

#### Introducción.

Las luminarias son aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas y que contienen todos los accesorios necesarios para fijar y proteger las lámparas y conectarlas al circuito de alimentación.

A partir de esta definición general se pone de manifiesto que las luminarias deben poseer una serie de características que determinan su aptitud a la función que deben realizar. Estas características son de tres tipos:

- -Ópticas o fotométricas.
- -Mecánicas.
- -Eléctricas.

#### 4.1.1 Clasificación.

De acuerdo con las características citadas anteriormente, se pueden establecer distintas clasificaciones.

##### 4.1.1.1 Clasificación según características ópticas.

- -Distribución del flujo luminoso.

En función del porcentaje de flujo luminoso saliente de la luminaria y emitido por debajo del plano horizontal que pasa por el eje de la fuente de luz se establece la siguiente clasificación:

Tipo de luminaria	% Flujo saliente inferior
Directa	90 - 100
Semi directa	60 - 90
General-difusa	40 - 60
Directa-indirecta	40 - 60
Semi-indirecta	10 - 40
Indirecta	0 - 10











	Tipo D 0-10%	Tipo SD 10-40%	Tipo G 40-60%	Tipo SI 60-90%	Tipo I 90-100%
Arriba Hacia ↑					
↓ Hacia abajo					
	90-100%	60-90%	40-60%	10-40%	0-10%
	Directa	Semidirecta	Difusión general	Semindirecta	Indirecta

Fig. 4.1 Clasificación de los sistemas de alumbrado.

- Geometría de la distribución del flujo luminoso.

La emisión de luz en todo el espacio alrededor de la luminaria forma lo que se conoce como sólido fotométrico. El sistema óptico de una luminaria persigue adaptar este sólido fotométrico a la aplicación de que se trate para potenciar la emisión de luz en unas direcciones convenientes. En general, el sólido fotométrico suele presentar una serie de simetrías que, en la información técnica de los fabricantes, se traducen en las conocidas curvas fotométricas o representaciones de la intensidad luminosa del conjunto luminaria-fuente de luz, según unos planos de simetría determinados.

De acuerdo con la geometría de la distribución del flujo luminoso, las luminarias se pueden clasificar en:

- Luminarias con eje de simetría o eje de revolución.

Una sola curva fotométrica es suficiente para definir totalmente la emisión de luz de la luminaria (cualquier plano que contenga a ese eje nos dará la misma curva fotométrica, que además será simétrica con respecto al eje).

A este tipo pertenecen, entre otras, las luminarias globo, los reflectores parabólicos o las lámparas con reflector incorporado.

- Luminarias con dos planos de simetría.

Precisan dos curvas fotométricas para definir con suficiente exactitud la distribución luminosa. Estas curvas corresponden a los planos transversal (C0) y longitudinal (C90) de la luminaria. A este tipo pertenecen las luminarias rectangulares, típicas de las lámparas fluorescentes o los proyectores rectangulares.

- Luminarias con un plano de simetría.

Sólo existe simetría con respecto a un plano. Un caso típico son las luminarias de alumbrado público, en las que el plano de simetría es el longitudinal. Así, sólo existe una curva fotométrica, con simetría respecto al eje de la luminaria, que es la correspondiente al plano transversal, siendo las restantes curvas correspondientes a otros plano cualquiera asimétricas. La definición de la emisión luminosa, en este tipo de luminarias se realiza en base a los valores de la intensidad, no en planos determinados, sino en puntos concretos del sólido fotométrico que se relacionan por medio de los ángulos de longitud y latitud.

- Ángulo de apertura del haz.

El ángulo de apertura del haz se define como el ángulo (medio desde la vertical de la luminaria) bajo el que se emite el 50 % del flujo saliente de la luminaria. Esta clasificación, que únicamente se utiliza

para las luminarias de distribución directa y eje de simetría, es el siguiente:

Tipo de luminaria	Ángulo de apertura (°)
Intensiva	0 - 30
Semi-intensiva	30 - 40
Dispersora	40 - 50
Semi-extensiva	50 - 60
Extensiva	60 - 70
Hiper-extensiva	70 - 90

#### 4.1.1.2 Clasificación según características mecánicas.

En función del grado de protección que ejercen sobre la lámpara contra la penetración de cuerpos extraños (sólidos y líquidos), y el grado de protección del material contra daños mecánicos.

Las normas internacionales, indica los grados de protección mediante las letras IP seguidas de tres cifras características:

- La primera cifra: indica el grado de protección de las persona sobre los contactos con las partes bajo tensión o para las piezas en movimiento y también el grado de protección contra la penetración de cuerpos sólidos polvo.

0.- Ninguna protección.

1.- Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 50 mm (esfera de día 50).

2.- Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12 mm.

3.- Protegido contra cuerpos hilo de acero de diámetro 2.5 mm.

4.- Protegido contra hilo de acero de diámetro 1mm.

5.- Protegido contra el polvo.

6.- Protección total contra el polvo.

- La segunda cifra: indica el grado de protección contra la penetración de líquidos.

0.- Ninguna protección.

1.- Protegido contra caída vertical de gotas de agua.

2.- Protegido contra caída de gotas de agua con una inclinación de 15 °.

3.- Protegido contra la lluvia.

4.- Protegido contra las proyecciones de agua.

5.- Protegido contra los chorros de agua.

6.- Protegido contra los embates de mar.

7.- Protegido contra los efectos de inmersión.

8.- Protegido contra la inmersión prolongada.

- La tercera cifra: indica el grado de protección contra los daños mecánicos.

0.- Ninguna protección.

1.- Resistencia al choque de 0.15 kg caídos desde 0.15 m. (0.225 J de energía).

3.- Resistencia al choque de 0.25 kg. a 0.2 m. (0.5 J de energía de choque).

5.- Resistencia al choque de 0.5 kg. a 0.4 m (2 J de energía de choque).

7.- Resistencia al choque de 1.5 kg. a 0.4 m (6 J de energía de choque).

9.- Resistencia al choque de 5 kg. a 0.4 m (20 J de energía de choque).

#### 4.1.1.3 Clasificación según características eléctricas.

Las luminarias deben ser capaces de asegurar la protección de las personas contra los contactos eléctricos. Según el grado de aislamiento eléctrico con que han sido fabricadas, las luminarias pueden ser:

1. Clase 0: provistas únicamente de aislamiento funcional, sin dispositivo de puesta a tierra.
2. Clase I: provistas de aislamiento funcional y dotadas de borne de puesta a tierra.
3. Clase II: provistas de doble aislamiento y, lógicamente, sin borne de puesta a tierra. Se utilizan como alternativa a las de clase I, cuando la conexión de tierra no tiene suficientes garantías.
4. Clase III: luminarias alimentada a muy baja tensión de seguridad, es decir, con tensiones inferiores a 50 V.

#### 4.1.2 Características de luminarias.

Dentro de las características generales que sirven como fundamento para establecer las distintas clasificaciones, las luminarias deben tener en cuenta aspectos puntuales, que en definitiva van a condicionar su nivel de calidad. Algunas de estas características son las siguientes:

1. Rendimiento de la luminaria (r).

Se define como la relación entre el flujo luminoso saliente de la luminaria ( $F_s$ ), y el flujo de la lámpara ( $F_l$ ). Normalmente se expresa en tanto por ciento.

$$r = \frac{F_s}{F_l}$$



Algunos fabricantes ofrecen dos valores de rendimiento, inferior y superior, que corresponden a los obtenidos considerando los flujos emitidos por la luminaria por debajo y por encima, respectivamente, del plano horizontal que pasa por el eje de la fuente de luz.

Otros valores usuales en catálogos de luminarias de alumbrado interior, y que no dependen únicamente de la propia luminaria sino, además, de la geometría del local y de la reflectancia de las superficies que lo delimitan, son:

- Utilancia (u): relación entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo ( $F_t$ ) que se desea iluminar, y el flujo luminoso saliente de la luminaria.

$$u = \frac{F_t}{F_s}$$

- Coeficiente de utilización ( $C_u$ ): relación entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo y el flujo luminoso de la lámpara.

$$C_u = \frac{F_t}{F_l}$$

Evidentemente, el coeficiente de utilización es el producto de la utilancia por el rendimiento de la luminaria.

$$C_u = \frac{F_s * F_t}{F_l * F_s} = \frac{F_t}{F_l}$$

$$C_u = u * r$$

## 2. Mantenimiento.

Previamente a la realización de una instalación deben considerarse los factores ambientales en los cuales va a trabajar la luminaria, para seleccionar los materiales apropiados (estabilidad, duración, etc.) a las condiciones del entorno.

Aun en los casos en que el estudio hay sido riguroso en este aspecto, debe tenerse en cuenta que la luminaria va a requerir un mantenimiento para minimizar la depreciación del flujo luminoso durante el tiempo de operación. Además de la calidad del producto en cuanto a su bajo factor de depreciación (si ha sido correctamente seleccionado), otros aspectos tales como la facilidad de acceso a las lámparas, sistemas óptico o equipos auxiliares revisten importancia en orden a disminuir los costes de mantenimiento.

### **4.1.3 Tipos de luminarias.**

#### **4.1.3.1 Luminarias para lámparas incandescentes.**

Son luminarias diseñadas en su mayoría para alumbrado interior, fundamentalmente en los sectores doméstico y comercial. En las de alumbrado doméstico, las consideraciones de tipo estético privan sobre las puramente luminotécnicas, en tanto que en el alumbrado comercial se tiende a un compromiso entre ambos factores, prevaleciendo uno u otro según la aplicación concreta de que se trate.

Por el carácter de baja eficacia luminosa de las lámparas incandescentes (incluso en su variante halógena), las luminarias utilizadas en las aplicaciones generales de interior, tratan de dirigir el flujo luminoso hacia direcciones determinadas, mediante sistemas de proyección, superficiales o empotrados y, a menudo, orientables.

Un aspecto importante de este tipo de luminarias es el control del deslumbramiento.

#### **4.1.3.2 Luminarias para lámparas fluorescentes.**

Son las más utilizadas en aplicaciones comerciales de alumbrado interior (oficinas, tiendas, almacenes, etc.), e incluso en el sector industrial cuando la altura de montaje es inferior a 5 - 6 metros.

La gama de luminarias fluorescentes es la más extensa, desde la forma más simple, una regleta que soporta una lámpara desnuda, hasta las luminarias más elaboradas que incorporan sistemas de reflexión, direccionamiento y apantallamiento de la luz emitida por la lámpara.

Los tipos de montaje más comunes son superficial y empotrado. En cuanto al número de lámparas que pueden admitir, pueden encontrarse, generalmente, potencias básicas (18, 36 y 58 W).

Los sistemas de direccionamiento y control del flujo luminoso, se basan en la utilización de diferentes superficies ópticas:

- **Reflectores.**

Superficies de tipo especular que reflejan la luz emitida por la lámpara, aumentando su intensidad luminosa, en determinadas direcciones. En general, van acompañadas de sistemas de apantallamiento.

Los materiales utilizados en las luminarias de tubos fluorescentes son:

- **Acero esmaltado:** de buena reflectancia (70 %) y precio reducido; presenta los inconvenientes de su capacidad de adherencia de polvo, baja resistencia al ultravioleta y peso elevado.
- **Aluminio anodizado:** de alta reflectancia (75-85 %), escasa adherencia al polvo, estable al ultravioleta, gran ligereza y precio elevado.

- **Refractores.**

Estos son también llamados difusores prismáticos, refractan la luz procedente de las lámparas y reflectores, en direcciones privilegiadas de forma que establecen un control de las intensidades luminosas y, parcialmente, del deslumbramiento. En las luminarias de tubos fluorescentes se emplean, mayoritariamente, los materiales plásticos, entre ellos:

- Metacrilato: inalterable a la radiación ultravioleta y buena resistencia mecánica; alta adherencia al polvo y precio moderado.
- Policarbonato: ofrece la ventaja de su alta resistencia mecánica, pero su precio es sensiblemente más alto que el anterior.

- Difusores.

Elementos que recogen la luz de las lámparas y la reflejada, y la difunden prácticamente en todas las direcciones, estos contribuyen a disminuir la luminancia de la luminaria. Ahora bien, el apantallamiento de las luminarias se asegura de un modo mucho más eficaz que con los refractores y difusores, mediante la utilización de los siguientes sistemas:

- Rejillas cuadradas: está formado por una retícula cuadrada, como elemento de cierre de la luminaria, asegura el apantallamiento en las dos direcciones (longitudinal y transversal). Existen diversas dimensiones de retícula, siendo comunes las de 15X15 mm y 30X30 mm; lógicamente a medida que disminuye la dimensión de la retícula, el rendimiento de la luminaria se hace más pequeño. Los materiales utilizados suelen ser plástico (poliestireno) y acero esmaltado.

Los rendimientos aproximados de los diferentes tipos de luminarias para lámparas fluorescentes se indican en la tabla siguiente:

Tipo de luminaria	Rendimiento Total (%)	Rendimiento Inferior (%)
-Regleta sencilla.....	95	60
-Regleta con reflector.....	80	80
-Regleta con reflector y rejilla de retícula.....	65	65
-Regleta con rejilla y componente indirecto.....	80	45
-Regleta con cubeta de plástico opal.....	70	45
-Luminaria con reflector y cubeta prismática.....	65	65
-Luminaria con reflector y lamas con puente en V..	65	65
-Luminaria con reflector y rejilla de retícula fina....	55	55
-Luminaria con reflector de espejo y lamas.....	70	70
-Luminaria de bajo brillo con reflectores parabólicos y rejilla de lamas....	60	60

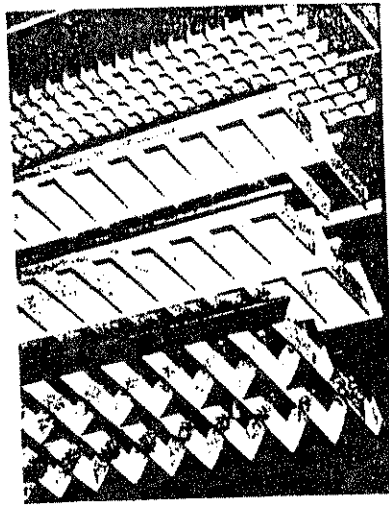


Fig. 4.2 Rejillas de luminarias para fluorescentes.

#### 4.1.3.3 Luminarias para lámparas de descarga en alta presión.

Pueden dividirse en tres grupos:

- Luminarias para grandes alturas (intensivas): son adecuadas para alturas superiores a los 6 metros. Dado que las dimensiones verticales de la luminaria no son críticas, se construye en dos piezas, una de ellas corresponde al sistema óptico (reflector, alojamiento de lámpara y, eventualmente cierre) y la otra, situada por encima de la primera, dedicada al alojamiento del equipo auxiliar; esta disposición trata de facilitar el mantenimiento y desmontaje de la luminaria. Pueden diseñarse para operarm en ambientes hasta 45 - 50 °C.
- Luminarias para alturas pequeñas (extensivas): este tipo de aparatos son adecuados para alturas inferiores a 6 metros, y tienen distribuciones mucho más extensivas que las anteriores. Es normal poder espaciar estas unidades con una distancia de dos veces la altura de montaje. Se diseñan para que sean lo más planas posibles, con la lámpara en posición horizontal y los equipos auxiliares situados lateralmente, en general separados del sistema óptico y con acceso independiente.
- Luminarias direccionales (proyectores): destinados a la iluminación exterior de grandes espacios, o desde largas distancias y, en alumbrado interior, cuando no es factible realizar una distribución uniforme de luminarias suspendidas por razones de seguridad o de obstrucciones en los haces de luz y se adopta una solución perimetral, disponiendo los proyectores en las paredes laterales. En ocasiones, también se utilizan proyectores para suplementar el alumbrado de áreas destacables (alumbrado de acentuación), para compensar obstrucciones de luz o para incrementar la iluminancia

vertical de determinadas superficies. Los proyectores pueden ser de tipo parabólico, con distribución luminosa asimétrica, o rectangulares, con dos planos de simetría (longitudinal y transversal) o asimétricos. Suelen ser equipos intensivos, cuyas curvas fotométricas se presentan en coordenadas rectangulares, puesto que su haz de proyección corresponde a un ángulo muy limitado y, en general, los valores concretos de intensidad luminosa se ofrecen en forma de tablas de doble entrada, a partir de los ángulos  $B$  y  $W$ , siendo  $B= 0^\circ$  el plano longitudinal y  $W= 0^\circ$  el transversal.

#### 4.2 Elementos auxiliares (balastos).

Toda lámpara de descarga necesita una impedancia en serie que limite la corriente eléctrica que la atraviesa. Si no se utilizara tal dispositivo no habría nada que evitara el aumento gradual de corriente hasta un valor que destruyera la lámpara. Tal impedancia, llamada normalmente balastro, forma parte del elemento auxiliar necesario para el funcionamiento de la lámpara.

Aparte de estabilizar adecuadamente la corriente de la lámpara, el balastro debe:

1. Tener un alto factor de potencia para garantizar el uso económico de la energía suministrada.
2. Generar el mínimo posible de armónicos.
3. Presentar alta impedancia a las audiofrecuencias.
4. Suprimir apropiadamente las interferencias de radio provocadas por la lámpara.
5. En muchos casos proporcionar a la lámpara las condiciones necesarias para el encendido.

Debido a la distorsión en la forma de onda que producen las lámparas de descarga no se puede corregir el factor de potencia al valor unitario mediante un condensador colocado en paralelo. Se puede lograr, sin embargo, un factor de potencia que se aproxime a la unidad combinando el circuito de 0.5 en retraso con otro circuito de 0.5 en adelanto. El factor de potencia de 0.5 adelanto se consigue conectando un condensador adecuado en serie con la reactancia inductiva.

Los balastos para lámparas fluorescentes se agrupan en balastos de CA y balastos de CC, según la corriente que alimenta la lámpara. Los balastos de CA se subdividen en dos tipos: los que se usan con lámparas con cebador y los aconsejables para lámparas sin cebador.

Los balastos a transistores se usan cuando sólo se dispone de tensión en CC y se desea, a pesar de ello, explotar las ventajas del alumbrado fluorescente. A menudo es el caso de los vehículos y ferrocarriles de transporte público. Asimismo, son ampliamente usados en conexión con el alumbrado de emergencia.

#### 4.2.1 Principios de funcionamiento del balastro.

##### Consideraciones eléctricas:

1. Pre calentamiento de electrodos: provee una cantidad controlada de energía eléctrica para pre-calentar los electrodos de la lámpara.
2. Voltaje de arranque: suministra una tensión y corriente controladas para iniciar el arco entre los electrodos de la lámpara y, en el ciclo de operación.
3. Limitación de corriente: controla y limita la energía eléctrica en los valores adecuados para que la lámpara funcione con máxima eficacia.

- Definición de balastro.

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

- Efecto de la tensión de línea.

Si la tensión de línea es mayor o menor que aquella para la que el balastro ha sido diseñado, esta condición puede afectar la vida de la lámpara, la vida del balastro y la cantidad de luz producida. Generalmente, los balastros no se ven afectados cuando la tensión en la instalación es menor que la mínima recomendada para su operación óptima. Sin embargo, se tendrá una vida más corta en las lámparas y menor producción de luz. Además el encendido de las lámparas se dificultará.

Tensiones de alimentación superiores a las de diseño del balastro disminuirán su vida útil, aunque se aumente la cantidad de luz producida. Generalmente también se reducirá la vida de la lámpara. En las lámparas en que se pre-calientan los electrodos antes de producirse un arranque instantáneo que perjudicará a los cátodos. Otro efecto que se produce al tenerse una tensión de alimentación superior a la nominal es una elevación de la temperatura de operación del balastro, lo cual disminuye su vida.

En general los balastros para lámparas fluorescentes deben operarse dentro de un rango de mas-menos 7% de la tensión nominal.

- Factor de potencia.

Un balastro trabaja con cargas inductivas, por lo que la intensidad retrasa respecto de la tensión aplicada. La potencia activa  $P$  entregada a la carga es una medida del trabajo útil por unidad de tiempo que puede realizar la carga. Esta potencia se transmite, normalmente, a través de la línea de tensión.

Como un balastro trabaja, en general, a tensión constante, la potencia aparente en VA da idea de la intensidad máxima permitida. Teóricamente, si se conectase una carga inductiva o capacitiva pura, el balastro podría estar trabajando a plena carga, mientras que la potencia activa (media) suministrada sería cero.

En el triángulo de potencias, la hipotenusa  $S$  es una medida de la carga, del sistema de distribución, y el cateto  $P$  es una medida de la potencia útil suministrada.

Evidentemente, interesa que  $S$  se aproxime lo más posible a  $P$ , es decir, que el ángulo  $O$  se muy pequeño. Como el factor de potencia es  $f.p = \cos O$ , valdría aproximadamente la unidad. En el caso normal de una carga inductiva es posible corregir el factor de potencia mediante condensadores en paralelo con la carga. Se puede ver que la tensión en la carga es la misma, con lo que la potencia útil  $P$  tampoco varía. Al aumentar el factor de potencia la intensidad y la potencia aparente disminuyen y, por tanto, se consigue una utilización más eficiente de la potencia en el sistema.

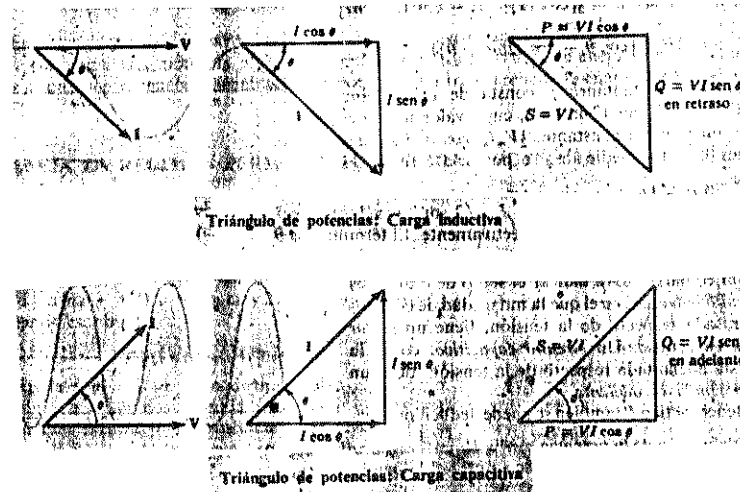


Fig. 4.3 Triángulo de potencias.

Los balastos de alto factor de potencia muestran las siguientes ventajas principales:

1. Evitan posibles recargos en las cuentas por concepto de energía eléctrica.
2. Los costos de alambrado son menores ya que los balastos de bajo factor de potencia requieren alrededor del doble de corriente de línea que los balastos de alto factor de potencia y, por lo tanto, exigen conductores de mayor calibre para conducir la energía eléctrica.
3. Al utilizar balastos de alto factor de potencia, se pueden instalar más luminarias por circuito y se simplifica el equipo de protección.

#### 4.2.2 Función del balastro

El balastro es parte esencial de cualquier instalación de alumbrado por medio de lámparas de descarga, ya que sin él las lámparas no pueden operar.

Las lámparas de descarga son fabricadas en gran variedad de formas, tamaños y colores de acuerdo a su tipo requieren diversas tensiones y corrientes de encendido, dependiendo de la longitud, el diámetro, los gases con que son llenadas y su construcción. Por lo tanto se requieren dispositivos que suministren una cantidad controlada de energía eléctrica que satisfaga las necesidades de arranque y, posteriormente, las de operación normal.

Durante el ciclo de arranque, el balastro:

1. Provee una cantidad controlada de energía eléctrica para pre-calentar los electrodos de la lámpara.
2. Suministra una tensión y corriente controlada para iniciar el arco entre los electrodos de la lámpara y, en el ciclo de operación.
3. Controla y limita la energía eléctrica en los valores adecuados para que la lámpara funcione con máxima eficacia.

#### 4.2.3 Tipos de circuitos.

- Serie: este es el balastro más simple y económico en su costo inicial. Sencillamente es una inductancia en serie con la lámpara. El voltaje de encendido es directamente el voltaje de la línea de alimentación. Esto limita el uso de estos balastos a aquellas lámparas cuyo voltaje de encendido es más bajo o más alto que el voltaje de línea. Este balastro puede ser bajo o alto factor de potencia, según que se conecte o no capacitor en el paralelo con la línea.

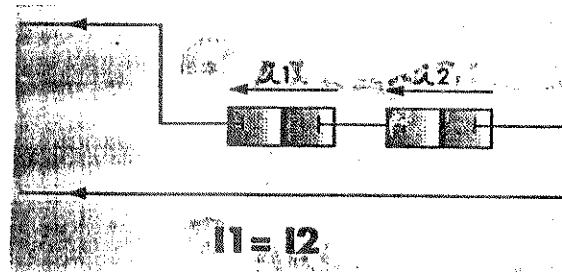


Fig. 4.4 Circuito serie.

- Auto regulado tipo autotransformador: este balastro se emplea una configuración especial en el circuito magnético y en el circuito eléctrico, incluye por concepto de diseño las características de alto factor de potencia. Este tipo de balastos es uno de los más populares, ya que por sus características de diseño y construcción son capaces de rendir una operación satisfactoria desde todos los puntos de vista. Sus características son las siguientes:

- Costo inicial medio.
- Peso y tamaño medio.
- Operación a cualquier voltaje nominal de línea.
- Distorsión de corriente de lámparas dentro de lo normal.
- Pérdidas eléctricas bajas.
- Tiene buena regulación.



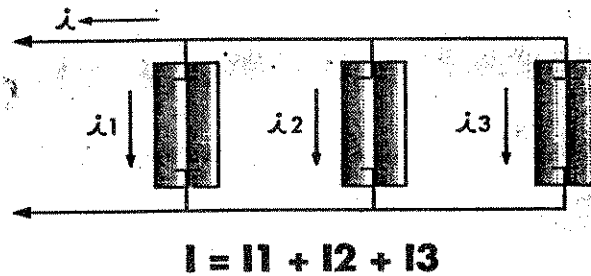


Fig. 4.5 Circuito tipo autotransformador.

#### 4.2.4 Tipos de arranque.

Las lámparas fluorescentes se dividen en tres familias principales:

- Arranque por pre-calentamiento: este tipo de lámpara fluorescente utiliza un circuito de arranque con dispositivo arrancador para precalentar a los electrodos. Este sistema requiere de un balastro y un dispositivo de arranque o interruptor manual. El capacitor a través de la línea tiene por objeto corregir el factor de potencia del conjunto balastro-lámpara y en este caso es opcional. En resumen este tipo de arranque:

1. Uso de arrancador para calentamiento de electrodos.
2. Generalmente usado en lámparas de baja potencia (<26 W) y en lámparas fluorescentes compactas.
3. Parpadeo de la lámpara.

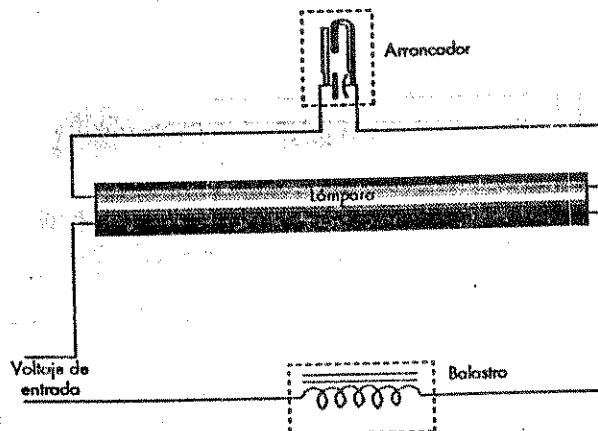


Fig. 4.6 Diagrama y curva de precalentamiento.

- Arranque instantáneo: la lámpara de arranque instantáneo se desarrolló para eliminar la necesidad del dispositivo de arranque y lograr un encendido más rápido. El circuito de encendido se eliminó utilizando un balastro que provee una elevada tensión de arranque y los electrodos emiten fríos al principio. Al no requerirse pre-calentamiento en este tipo de lámparas sólo

se necesita un contacto en cada extremo. A las lámparas de arranque instantáneo con un solo contacto en cada extremo se les conoce con el nombre genérico "Slimline", es decir, línea delgada. En resumen en este tipo de arranque:

1. No hay precalentamiento de electrodos.
2. Alto voltaje inicial de encendido.
3. Uso de autotransformador para elevar el voltaje de encendido.
4. Conexión en paralelo.

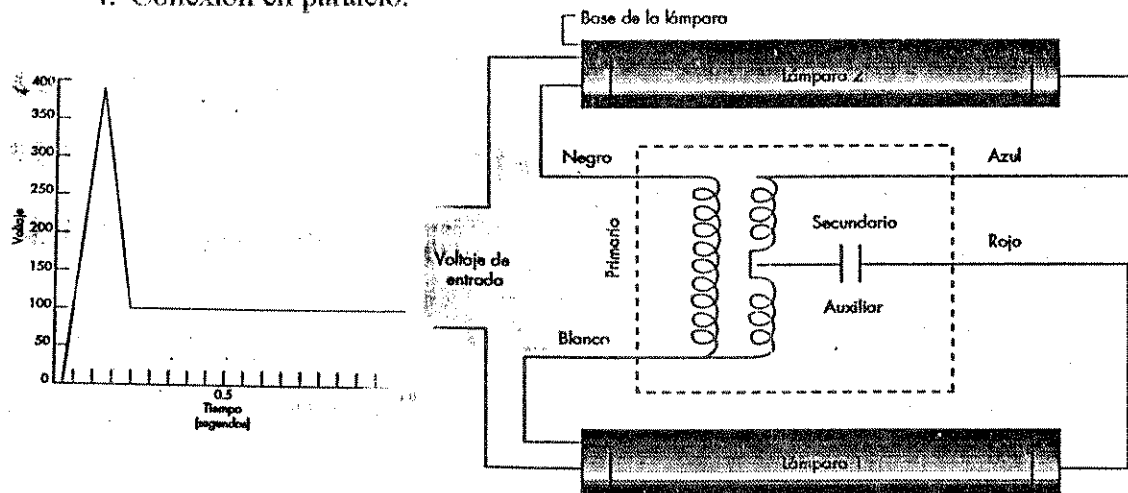


Fig. 4.7 Diagrama y curva de arranque instantáneo.

- Arranque rápido: está combina las mejores propiedades de las lámparas de arranque por precalentamiento y arranque instantáneo. El precalentamiento se obtiene a través de un devanado de calentamiento para cada electrodo, incluidos en el balastro. No se requiere arrancador y las lámparas encienden casi tan rápidamente como las de arranque instantáneo. Hoy en día este tipo de lámparas fluorescentes es más utilizado. Esta familia de lámparas se divide según su densidad de corriente, en los siguientes tipos principales:

1. Baja densidad: lámparas fluorescentes de arranque rápido que operan a 430 miliamperes (0.33 watts/cms).
2. Densidad media: lámparas fluorescentes de arranque rápido que operan generalmente a 800 miliamperes (0.5 watts/cms) y proveen alrededor de un 50 % más de luz que las equivalentes de baja densidad.
3. Alta densidad: lámparas fluorescentes de arranque rápido que operan generalmente a 1500 miliamperes (0.8 watts/cms) y proveen alrededor del doble de luz que las equivalentes de baja densidad.

En resumen en este tipo de arranque:

1. Calentamiento continuo de electrodos.
2. Consumo de 0.5 - 1.5 W en los electrodos de la lámpara.
3. Menor voltaje de encendido.
4. Máxima luminosidad del sistema después de un par de segundos de encendido.

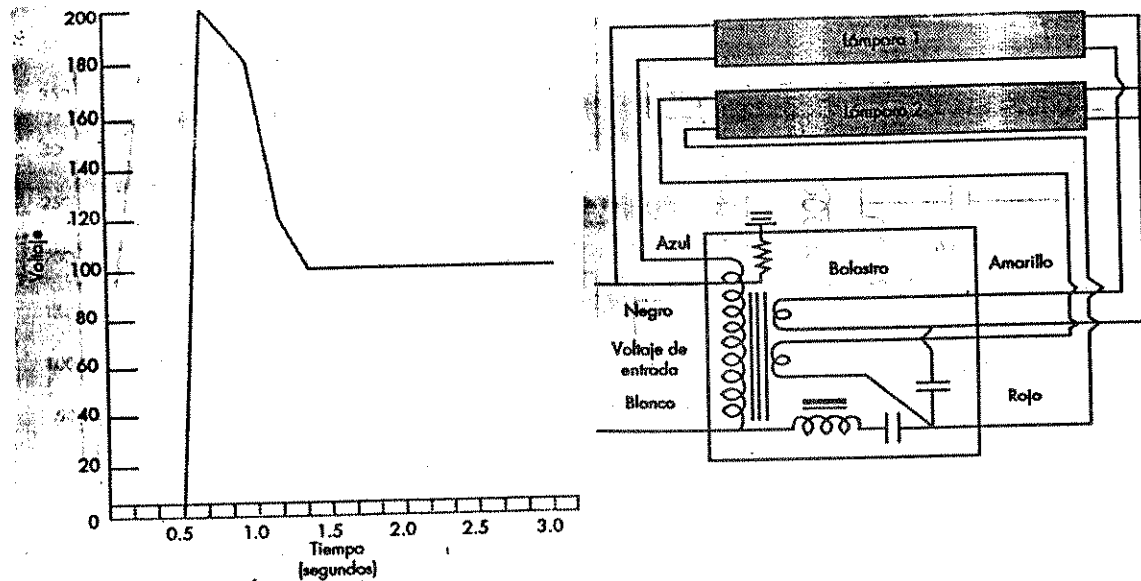


Fig. 4.8 Diagrama y curva de arranque rápido.

#### 4.2.5 Factores de operación.

- Factor de balastro (BF): medida expresada en decimal o en porcentaje que determina los lúmenes de salida producidos por un balastro comercial comparado a los lúmenes emitidos por un balastro de referencia.

$$BF = \frac{\text{Lúmenes totales lámpara(s) en balastro Com.}}{\text{Lúmenes totales lámpara(s) en balastro Ref.}}$$

Valores típicos:

Balastro	Lámpara	Lámpara
Electromagnético Standard	F40	0.95
Electromagnético Ahorro de energía	F40/EW	0.88
Electrónico	F40	0.88
	F40/EW	0.85

EW: tubo fluorescente ahorrador de energía.

Factor de eficiencia de balastro (BEF): medida que describe la eficiencia del balastro. Se define como el factor de balastro entre la potencia de entrada del sistema.

$$BEF = \frac{B.FX100}{\text{Potencia de entrada (W)}}$$

Valores mínimos de BEF requeridos:

	<u>Votaje de entrada</u>	
<u>Lámparas</u>	<u>120</u>	<u>277</u>
1XF40T12	1.805	1.805
1XF40T12	1.060	1.050
2XF96T12/HO	0.390	0.390
2XF96T12/SL	0.570	0.570

- Factor de potencia: describe que tan eficaz es un dispositivo eléctrico y/o electrónico de aprovechar la energía eléctrica que se le suministra. Se puede definir como la eficiencia de el uso de la corriente eléctrica.

$$F.P = \frac{\text{Potencia Real (W)}}{\text{Potencia Reactiva (VA)}}$$

Alto factor de potencia	90 % o más.
Factor de potencia corregido	80 % a 89 %.
Factor de potencia bajo	79 % o menos.

Un bajo factor de potencia genera una mayor demanda de corriente.

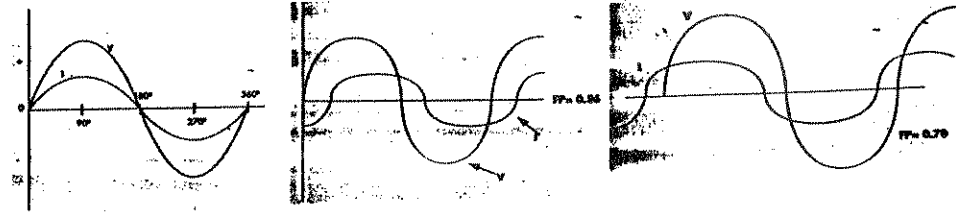


Fig. 4.9 Curvas de factor de potencia.

- Factor de cresta:

$$F_c = \frac{I_{\text{pico}}}{I_{\text{rms}}}$$

Nota: el valor rms es igual al eficaz.

Los factores de cresta elevados reducen la vida de las lámparas.  
Según ANSI los valores máximos de cresta son:

1. Balastro magnético: 1.7 Máx.
2. Balastro electrónico: 1.7 Máx.

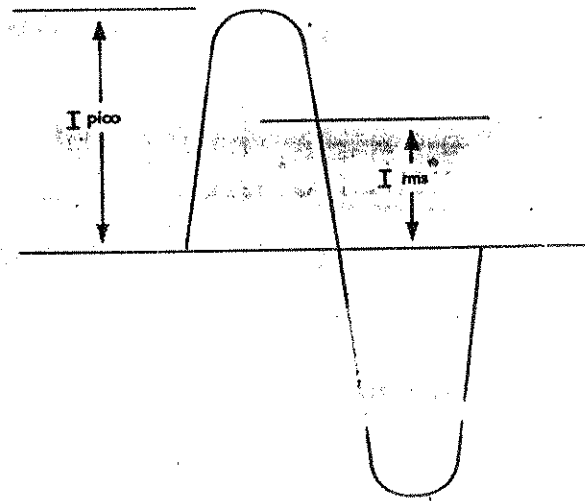
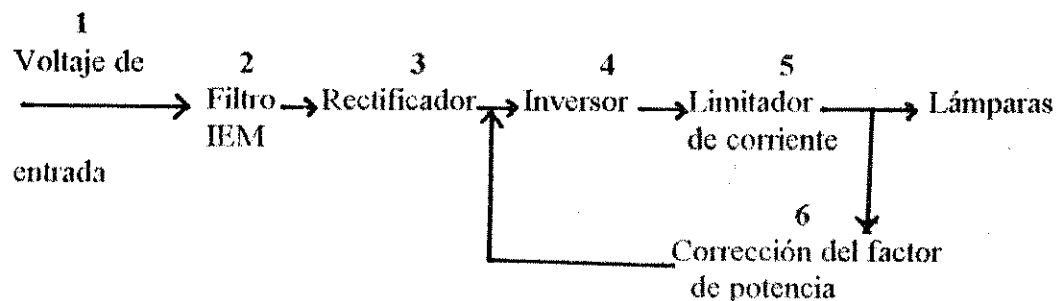


Fig. 4.10 Curva de factor de cresta.

### 4.3 Balastos electrónicos.

#### 4.3.1 Funcionamiento y características.



1. Voltaje de entrada: es del tipo sinusoidal, y es el proporcionado por la empresa eléctrica.
2. Filtro IEM: limita la interferencia electromagnética a la línea y protege a los componentes del balastro contra transitorios.
3. Rectificador: convierte la onda de voltaje alterna (AC) a una señal rectificada de voltaje (DC).
4. Inversor: convierte la señal rectificada de voltaje DC a alterna con una frecuencia de oscilación entre los 20 - 60 khz.
5. Limitador de corriente: fase del balastro que suministra la energía eléctrica requerida para encender a la lámpara y controlar la corriente que demanda.
6. Corrección del factor de potencia: circuito de retroalimentación que proporciona corrección del factor de potencia al balastro.

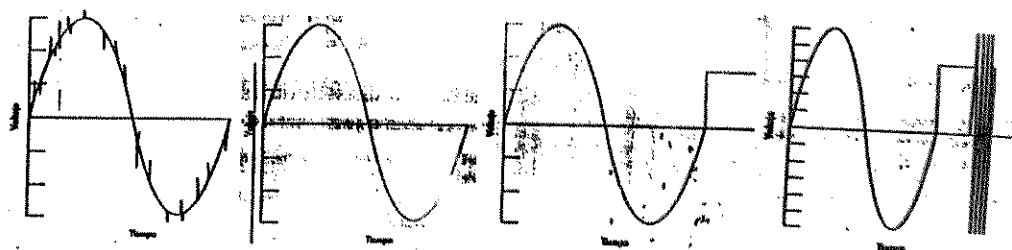


Fig. 4.11 Formas de onda del balastro electrónico.

### 4.3.2 Características.

- Frecuencia de operación.
  - Incremento aproximado del 10 % en la eficiencia de las lámparas.
  - Rango de frecuencia 20 - 60 Khz.
- Alta frecuencia versus eficiencia.

<u>60 Hz</u>		<u>Alta frecuencia</u>	
<u>Watts</u>	<u>Lúmenes</u>	<u>Watts</u>	
<u>Lúmenes</u>			
40W	3050	40W	3355 (+ 10%)
		36W	3050

- Efecto del BF sobre el funcionamiento de las lámparas en alta frecuencia.

<u>60 Hz</u>		<u>Alta frecuencia</u>	
<u>Watts</u>	<u>Lúmenes</u>	<u>Watts</u>	<u>Lúmenes</u>
40W	3050	40W	3355
		36W	3050 BF= 1.0
		33W	2684 BF=0.88

- Consumo de potencia.

#### Magnético estándar

$$2XF40T12 = 2X40 = 80W$$

$$\text{Pérdidas balastro} = 16 W$$

$$\text{Consumo total del sistema} = 96 W.$$

**Balastro electrónico**

$$2XF40T12 = 2X33 = 66 \text{ W}$$

$$\text{Pérdidas balastro} = 6 \text{ W}$$

$$\text{Consumo total del sistema} = 72 \text{ W}$$

**Balastro electrónico**

$$2XF32T8 = 2X27 = 54 \text{ W}$$

$$\text{Pérdidas balastro} = 6 \text{ W}$$

$$\text{Consumo total del sistema} = 60 \text{ W}$$

- Nivel de ruido.

Nivel promedio de sonido:

- Magnético convencional: 31 dB.
- Electromagnético ahorrador de energía: 32 dB.
- Electrónico: 25 dB.

- Temperatura de operación.

UL clase P máxima: 90 °C

Magnético standard: 80 °C

Electrónico: 50 °C

Temperatura ambiente: 25 °C

- Peso.

Balastro electromagnético: 1.68 Kg

Balastro electrónico: 0.68 Kg

Reducción de peso: 1.00 kg



- Efecto térmico.

Los balastos electrónicos generalmente alcanzan su máxima eficiencia a temperatura ambiente más elevada (mejor funcionamiento en luminarias cerradas).

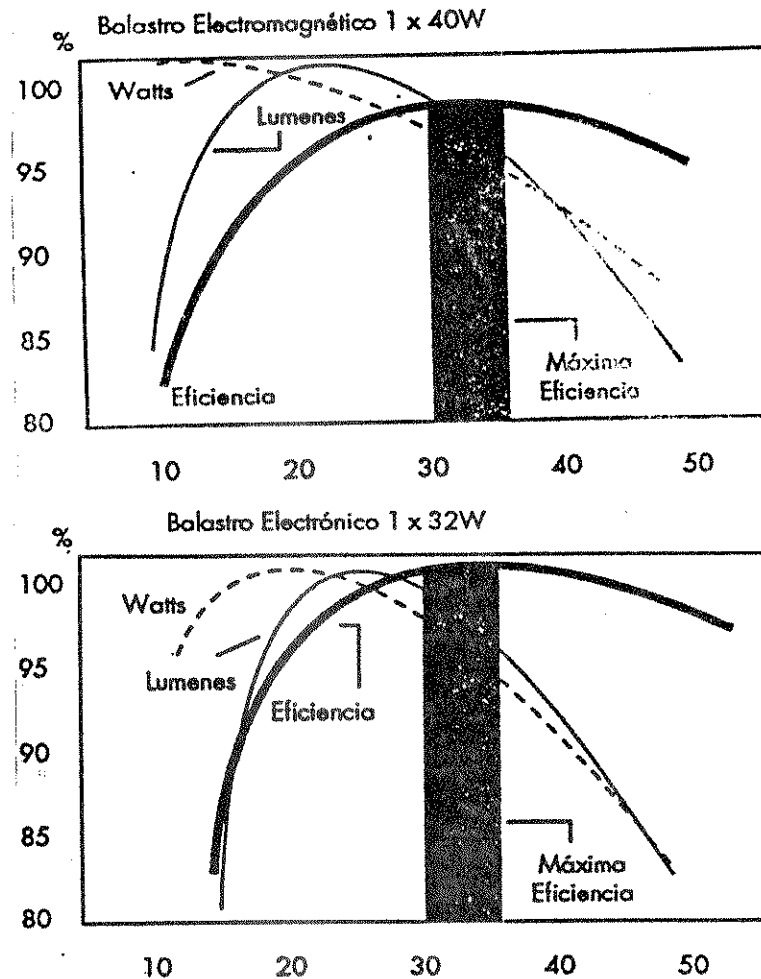


Fig. 4.12 Comparación gráfica de temperatura ambiente.

- Beneficios.

- % de ahorro de energía.
- Distorsión armónica menor al 10 %.
- Alto factor de potencia.
- Vida útil estimada: 20 años.

## **5. Ahorro de energía**

Los capítulos anteriores de este trabajo de tesis se han dedicado a la descripción de varios tipos de lámparas y sus características de operación y desempeño.

En este capítulo, se tomará todo este conocimiento para dirigirlo profesionalmente hacia el problema específico de ahorrar dinero, tiempo y energía.

Entender las características de ahorro de una lámpara y de un sistema de iluminación, es el primer paso a seguir en el ataque profesional a un problema en el cual se le haga mucho mayor énfasis a lo que es el ahorro de energía en un sistema de iluminación.

Es muy importante tener siempre en mente que las tarifas eléctricas se irán incrementando constantemente ya que la capacidad de generación de energía se ve más limitada conforme ocurre el muy acelerado aumento en la demanda del servicio.

### **5.1 Economía de las lámparas y de los sistemas de iluminación.**

Es natural primero pensar en el precio de las lámparas al referirse a economía en lámparas y en sistemas de iluminación. Para esto, es bueno considerar el costo de operación integral de un sistema de iluminación y apreciar así la parte que el costo de la lámpara juega en él.

A continuación se presenta un ejemplo de los costos de operación anuales de un sistema de iluminación que emplea una lámpara fluorescente F40T12DL (DL = luz de día), típica de un vasto número de sistemas de iluminación.

Estos costos se han dividido en tres áreas básicas como se muestra y que son:

- El costo de la lámpara: costo neto de la lámpara.
- El costo de mano de obra: costo de reemplazar lámparas, limpiar luminarias y reemplazar balastos.
- Costo de energía: el costo directo en kilowatt-horas consumidos durante un año de operación del sistema de iluminación (incluidos los watts del balastro).

### **5.2 Costo de la lámpara.**

Se pueden lograr ahorros por el hecho de reemplazar lámparas de uso normal por lámparas de servicio extendido.

Esto puede llegar a representar una reducción efectiva en 50 % del precio. Otros ahorros se irán dando al disminuirse la frecuencia en el reemplazo de lámparas y mano de obra.

Hoy en día existe un gran énfasis orientado hacia buscar métodos para ahorrar energía y el dinero asociado en el consumo de energía.

Existen razones obvias a nivel mundial que han provocado esta situación de mercado y el constante incremento en el costo de la energía harán que los aspectos relacionados con el ahorro de energía en iluminación sean cada vez más importantes.

Los fabricantes de lámparas han diseñado lámparas incandescentes, fluorescentes, y HID ahorrador de energía que han sido diseñadas para sustitución directa en sockets y ahorro de energía en dinero.

Hay muchas formas de ahorrar energía por el solo hecho de cambiar una lámpara por otra.

- Reemplazar lámparas de vida prolongada con lámparas de vida estándar de potencia inferior inmediato.
- Sustitución directa de lámparas fluorescentes estándar con lámparas ahorradoras de energía.
- Sustitución de lámparas halógenas y lámparas fluorescentes compactas según sea el caso que lo amerite.

Más adelante se considerarán otras opciones para ahorrar energía.

### 5.3 Reemplazo de sistemas.

Un sistema de iluminación puede lograr el mejor ahorro de energía porque ofrece los más altos ahorros según se desee y manteniendo lo más cercano posible el mismo nivel de iluminación que el sistema al que reemplaza. Puede ser diseñado para usar lámparas más eficiente que emitan la misma luz (o cercano) y requieren menor potencia. Aun cuando un nuevo sistema requiere nuevas luminarias, el ahorro logrado supera la inversión en costos de instalación en muy cortos períodos de tiempo. Esto es posible si se tiene en mente que la mayor inversión en una instalación de iluminación siempre será el costo de la energía.

Un nuevo sistema puede ser su mejor protección contra incrementos en los costos de la energía en el futuro.

### 5.4 Reemplazo de lámparas en grupo.

El reemplazo de lámparas en grupo permite reemplazar lámparas que se van volviendo ineficientes con el tiempo antes de que se les permita llegar hasta el punto en que fallen completamente. El reemplazo aleatorio de lámparas puede producir seguramente gastos innecesarios, consumir mucho tiempo de mantenimiento e incomodidades no necesarias. Reemplazando en grupo todas las lámparas de un sistema de iluminación, se vuelve posible el utilizar métodos de "producción en masa". El costo de las lámparas adicionales (aquellas que se reemplazaron aún cuando todavía les restaba vida útil) puede ser significativamente menor que el añadido por el costo de mano de obra producido por el reemplazo individual de todas y cada una de las lámparas en sistema. En adición a los ahorros logrados, el reemplazo en grupo asegura el mantener un nivel de iluminación más alto y menores interrupciones que el reemplazo aleatorio.

Las ventajas del reemplazo en grupo pueden ser comprendidas una vez entendido el desempeño de las lámparas fluorescentes. Qué tanto tiempo se supone que la lámpara debe operar y cuánta luz debe el sistema proporcionar, son dos aspectos críticos en el mantenimiento de la iluminación. Estos dependen del tipo específico de lámpara, ciclos de operación y condiciones ambientales. Estas características de la iluminación pueden ser inicialmente descritas en términos de la vida de la lámpara y el nivel de luz proporcionado por el sistema.

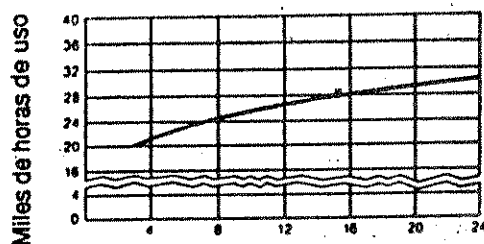
### 5.5 Vida de la lámpara.

La mortalidad de grandes grupos de lámparas puede predecirse, dependiendo del tipo de la lámpara y de los ciclos de encendido. La figura 5.1 muestra los efectos de los ciclos de encendido en una típica lámpara fluorescente F40 arranque rápido: mientras más largo sea el intervalo entre encendidos de la lámpara, mayor será el promedio de vida de la lámpara. La figura 5.1 también ilustra como la mortalidad de un grupo de lámparas fluorescentes se presenta en relación al promedio nominal de vida. Por definición el promedio nominal de vida (PNV) es el número de horas de operación para lámparas instaladas al mismo tiempo cuando el 50 % de las lámparas de un grupo pueden haber fallado. Cuando se ha reemplazado un grupo de lámparas con lámparas F40, operando 12 horas al día, la mitad de las lámparas pueden haber fallado en 26,400 horas. El primer cinco por ciento de las lámparas pudo haber fallado a las 18,500 horas (70 % del PNV) y otro cuarenta y cinco por ciento pudo haber fallado durante las siguientes 7,900 horas (70 al 100 % del PNV). De hecho, la tasa de falla entre 85 y 100 % del PNV puede ser veinte veces la tasa del primer 70 % del PNV.

Pero cuando se opera un sistema con reemplazo de lámparas aleatorio, durante el período correspondiente al 100 % del PNV, el número de lámparas que fallan puede esperarse que iguale al número de lámparas F40 utiliza el sistema de reemplazo aleatorio, el 100 % de las lámparas fallará durante 26,400 horas de operación. El gran número de fallas que ocurre al usar el reemplazo aleatorio, es debido a la edad de las lámparas al inicio de cada período. Todas las lámparas del sistema de reemplazo aleatorio tendrán diversas edades, mientras que en el reemplazo por grupo todas las lámparas inician el ciclo siendo completamente nuevas.

Aún siendo reemplazo por grupo o aleatorio, es importante el que cada lámpara que falle sea reemplazada inmediatamente para evitar que ocurran fallas al balastro.

Vida de la lámpara F40 Vs. Ciclo de Operación (Hrs/Comienzo)



Curva de durac. Lamp. Fluo.

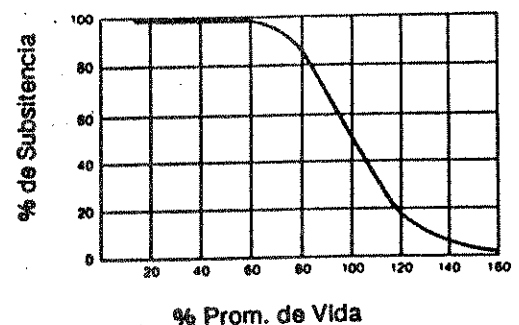


Fig. 5.1 Lámpara F40.

## 5.6 Nivel de luz.

La cantidad de luz suministrada por un sistema de iluminación puede anticiparse cuando el tipo de lámpara, la descripción de la luminaria y las condiciones de suciedad del ambiente son conocidas. Los niveles de luz después de un período de tiempo dependen de la depreciación de lúmenes en la lámpara (DLL) y de la depreciación por suciedad en la lámpara (DSL).

Cuando las horas de operación de la lámpara es convertida a tiempo estimado en meses, el producto calculado de DLL veces DSL será el factor de pérdida de luz (FPL). Este factor es un estimado del nivel de luz relativo comparado con el nivel suministrado por lámparas nuevas en luminarias limpias. Así, para una F40 encendida 12 horas por día por 36 meses (13,140 horas), operada en luminarias de categoría 2 bajo condiciones de limpieza, el FPL puede ser del 75 %. Esto puede ser cierto para un sistema de reemplazo en grupo si virtualmente ninguna lámpara ha fallado.

El nivel de luz de un sistema de reemplazo en grupo será máximo después de cada cambio, pero el mismo nivel sólo se podrá alcanzar en un sistema de reemplazo aleatorio cuando el sistema es nuevo. El nivel para el sistema de reemplazo aleatorio se estabilizará inevitablemente en una fracción del valor inicial, ya que las lámparas conforme se usan envejecen. El promedio de vida de una lámpara deberá igualar al promedio nominal de vida (PNV). Consecuentemente el promedio de emisión de la lámpara corresponderá a la depreciación de lúmenes de la lámpara para ese período.

## 5.7 Economía en iluminación.

Debido a que cuando una lámpara falla debe de ser reemplazada lo más pronto posible, el reemplazo individual de cada lámpara en un sistema de reemplazo aleatorio puede ser muy costoso. Los costos de mano de obra son substancialmente reducidos reemplazando todas las lámparas a la vez poco antes de que un gran número de fallas empiecen a ocurrir.

Si un sistema de reemplazo en grupo tiene un calendario de limpieza y cambio de las lámparas anual, los costos anuales del mantenimiento del sistema de iluminación pueden ser iguales a los de lámparas y mano de obra. Si el intervalo de reemplazo en grupo se extiende a cuatro años y ninguna lámpara falla, el costo anual puede ser del 25 % con respecto al primer ejemplo.

Pero conforme el tiempo pasa las lámparas empiezan a fallar, consecuentemente los costos de reemplazo individual empiezan a aparecer. Los altos costos de cada reemplazo pueden ser los mismos que en el reemplazo aleatorio.

Consecuentemente, hay un punto en el tiempo en que la frecuencia de los reemplazos individuales causa que los costos anuales alcancen un mínimo y después crezcan. El intervalo al que el costo mínimo ocurre ofrece la combinación más económica en costos de lámparas y mano de obra.

El costo de energía eléctrica para operar un sistema de iluminación es de al menos 80 % del gasto total. Una reducción sustancial de costo puede lograrse empleando lámparas ahorradoras de energía. Estos ahorros pueden combinarse con los logrados

por el reemplazo en grupo. Si el nivel de luz llegara a ser muy bajo en el intervalo más económico de reemplazo en grupo, un período más corto puede ser seleccionado a un costo anual ligeramente mayor.

Otra forma de reducir los costos de energía puede ser simplemente el operar menos lámparas. Sin embargo, la distribución de luz se puede afectar y puede resultar necesario hacer reemplazos en grupo más frecuentes. Cuando un pequeño número de lámparas es usado por un período extendido de tiempo las pérdidas de luz en la luminaria y la lámpara se vuelven más aparentes.

Las prácticas de mantenimiento primariamente dependen de:

- Si el sistema es de reemplazo aleatorio o de reemplazo en grupo.
- El ciclo de operación del sistema y las condiciones ambientales.
- El uso de lámparas estándar o ahorradoras de energía.
- La cantidad de lámparas operadas en el sistema.

Iluminación adecuada al más bajo costo puede ser lograda seleccionando la opción de mantenimiento que utilice una particular combinación de estos factores. La combinación más eficiente puede estar influenciada por la lámpara, mano de obra y costos de energía, así como la aplicación del sistema de iluminación. Es muy importante recordar que lámparas más eficientes no implican menor calidad de luz y en ocasiones sí proporcionan hasta mejor luz que las fuentes instaladas en el presente.

En resumen, el beneficio del reemplazo de lámparas en grupo en relación a los reemplazos aislados son:

- Ahorros en manos de obra (típicamente tres minutos por lámpara en reemplazo por grupo comparado con treinta minutos en reemplazo aislado. También, si el reemplazo en grupo se lleva a cabo cada cuatro años, por ejemplo, la limpieza del cuarto año se puede combinar con el reemplazo de lámparas ahorrando en costos de mano de obra para limpieza).
- Menos interferencia con la productividad de otros. Normalmente el reemplazo en grupo se lleva a cabo fuera de horas normales de trabajo.
- Menor inventario.
- Descuento en el precio de las lámparas, mayores cantidades compradas al mismo tiempo.
- Se mantiene un nivel óptimo de iluminación.
- Eliminación de algunas luminarias, con un programa de reemplazo en grupo apropiado, el promedio de emisión de luz se incrementa, algunas

veces permitiendo que el 10 % de las luminarias instalados sean desconectadas.

Antes de lanzarse a hacer un programa de reemplazo en grupo, debe hacerse un estudio del costo del reemplazo en grupo para verificar la viabilidad para el sistema en cuestión.

### **5.8 Conversión de instalaciones existentes para ahorrar energía.**

La conversión se debe hacer con el propósito de ahorrar energía sin mayores costos de inversión y sin desmejorar la instalación existente, sobre todo, se debe cuidar que esta conversión no se haga a costas o en detrimento del nivel lumínico.

La conversión de una instalación implica que se conserve buena parte de la infraestructura existente y que se reemplace ciertos elementos con los cuales se pueda obtener una mayor eficiencia en el sistema, resultando en un consumo más bajo de energía.

Desde luego, no toda instalación se presta para una conversión. Un requisito especial es que la instalación existente no sea obsoleta o que no tenga defectos de diseño.

Así que, cuando una instalación de alumbrado ha agotado su vida funcional y económica, se debería siempre contemplar la posibilidad de una conversión o de ser necesario, un reemplazo total de los equipos por otros más eficientes. El ahorro de energía y menores costos de operación pagan por sí mismo el costo de esta conversión o reemplazo.

Como definición del término "Conversión para ahorrar energía", se puede mencionar lo siguiente:

La conversión de un sistema de iluminación consumidor de energía a otro más eficaz y de menor consumo, con el cambio de ciertos elementos, (como lámparas, balastos, equipo eléctrico, sistemas ópticos, etc.), sin necesidad de cambiar el sistema total.

Las circunstancias harán decidir que tipo de conversión es recomendable para cada necesidad particular.

#### **5.8.1 Cambio individual de lámparas.**

Este cambio consiste en reemplazar cada una de las unidades tan pronto como se ha quemado. Esto puede ser (y de hecho lo es) una tarea tediosa que consume una buena parte del tiempo productivo. Si se toman en cuenta los costos de la producción intensiva, aunados a los altos costos de mano de obra, este procedimiento resulta ser una operación sumamente cara. En muchas áreas se aplica un programa de cambio individual modificado en donde la apariencia no es un factor desfavorable: El personal de mantenimiento efectúa una inspección periódica del sistema del alumbrado (por ejemplo, cada semana), reponiendo las bombillas quemadas. Si bien éste es un procedimiento más eficiente que la reposición individual inmediata, este método modificado es menos económico, sin embargo, que el de cambio

colectivo; además, presenta un problema estético por el mal aspecto que dan las bombillas o tubos fluorescentes viejos, ennegrecidos, junto a los nuevos.

### 5.8.2 Cambio colectivo de lámparas.

El tiempo en el que se efectúa un cambio colectivo de bombillas o tubos fluorescentes en un sistema de alumbrado, tiene que guardar una estrecha relación con la vida operativa de dichas unidades de iluminación. El intervalo del cambio colectivo de bombillas puede sufrir ligeras variaciones para hacerlo coincidir con programaciones convenientes en momentos en los que se produzcan menos interrupciones del trabajo productivo por el procedimiento del cambio.

Una forma práctica para determinar la ocasión oportuna del cambio colectivo de las bombillas es la de guiarse por el número de unidades quemadas. Esto puede tomarse como base, ya que la falla de cierto número de unidades es un indicio claro de que el grupo en cuestión ha alcanzado prácticamente el promedio de su vida operativa. Se presentan curvas representativas de la durabilidad de bombillas incandescentes y tubos de alumbrado fluorescentes.

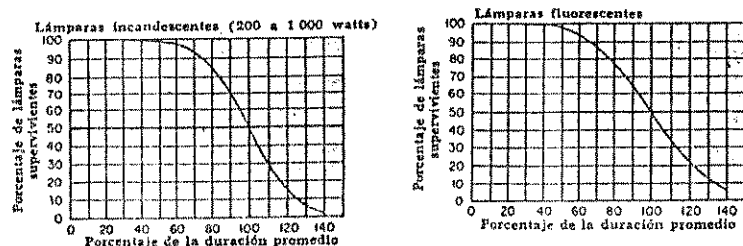


Fig. 5.2 Curvas representativas de la duración de bombillas incandescentes y tubos fluorescentes.

Estas curvas que pueden servir también como orientación para determinar la necesidad de ejecutar el cambio. En la curva de duración de los tubos fluorescentes se observa que cuando el conjunto ha llegado al 70 % de su vida operativa nominal, el 12 % de las unidades se ha quemado ya que al llegar al 80 % de su duración nominal el promedio de tubos quemados llega ya al 21 %. Después del 80 % el número de unidades que queda fuera de servicio va aumentando en forma acelerada. Para las bombillas incandescentes, el análisis demuestra condiciones análogas.

El intervalo ideal para el cambio de las bombillas de iluminación para determinado grupo es el punto que arroja el menor costo anual por luxes. En algunos casos este punto se encuentra en el 50 % del promedio de vida de las unidades. Los intervalos relativamente largos (hasta 80 % de la duración nominal) tienden a proporcionar los costos más bajos en la mano de obra del cambio, mientras que con los periodos más cortos se reducen al mínimo las interrupciones en trabajos productivos y se mejora la



aparición de las instalaciones, manteniendo asimismo un nivel más alto del alumbrado. En la práctica el intervalo seleccionado es por lo regular un valor equilibrado entre el costo mínimo por lux y los costos más bajos de los trabajos de mantenimiento.

Las curvas de duración pueden usarse para determinar los periodos de cambio, para cualquiera de dos sistemas de reposición de bombillas de filamento o tubos fluorescentes. El sistema más simple es apropiado principalmente para áreas extensas dotadas de alumbrado fluorescente en donde cada sitio de trabajo recibe luz de varias fuentes de iluminación. La quemadura individual de algunos elementos queda desatendida hasta que el número de lámparas fuera de servicio indica que el momento del reemplazo colectivo ha llegado. La ventaja más importante de este método es que el único costo de mano de obra aplicable es el originado por la sustitución de la totalidad de los tubos fluorescentes de la sección afectada, no haciéndose reposiciones en el periodo intermedio entre los cambios generales.

Esta práctica de no hacer reposiciones individuales intermedias circunscribe los intervalos de cambio general a no más del 70 % de la vida operativa nominal aproximadamente, debido a la considerable reducción de la intensidad luminosa motivada por las unidades que quedan fuera de servicio en el sistema. Este método tampoco es adecuado para las instalaciones de lámpara de filamento incandescente ni de vapor de mercurio, ya que en estas instalaciones la falla de una unidad causa una reducción muy marcada de la iluminación en el área de trabajo.

El segundo de los sistemas de renovación colectiva de bombilla es el más recomendable, ya que en él se utilizan las curvas de duración para determinar la periodicidad de la renovación de las bombillas o tubos fluorescentes. En este sistema se mantienen encendidas todas las lámparas, haciendo cambios en el intervalo de las renovaciones colectivas, proporcionando a los operarios mayor luminosidad. En este método, al efectuarse una renovación, las bombillas o tubos han alcanzado ya el 80 % del promedio de su duración nominal estimativa, separando un número determinado de las unidades mejor conservadas, por ejemplo un 20 %, que se emplean para hacer cambios parciales mientras vence el próximo periodo de intercambio general. Estas lámparas que se seleccionan tienen que ser las mejores, desde el punto de vista de su apariencia y de la brillantez que son capaces de desarrollar, debiendo tener, en el caso de los tubos fluorescentes, ambos extremos completamente limpios. Las unidades que se van quemando en el intermedio son reemplazadas tomando piezas de las que se separaron y cuando esta reserva se ha agotado es señal de que ha llegado el momento del reemplazo colectivo repitiéndose el ciclo.

### 5.8.3 Costo de la renovación de lámparas.

El costo de la reposición de bombillas o tubos fluorescentes se compone del costo del foco o tubo y del costo de la mano de obra que exige la maniobra del cambio. Si se puede reducir la suma de estos costos, es natural que descienda también el costo de operación anual del sistema del alumbrado con el mayor aprovechamiento resultante, o sea más luxes por unidad monetaria erogada. El reemplazo económico de los elementos luminosos significa también mayor eficiencia general del sistema de alumbrado.

Con el método de intercambio individual, el costo total de la renovación de las bombillas o tubos equivale al costo de la unidad de sustitución mas el costo de la mano de obra necesaria para la ejecución del cambio. En el método de intercambio colectivo, para poder establecer comparaciones con el método anterior, se tienen que tomar en cuenta los costos del foco o tubo más el costo de la mano de obra del intercambio general más el costo de cualquier repuesto intermedio que se ejecute, todo dividido entre el intervalo de la renovación para colocar a los dos sistemas sobre una base igual de tiempo. Esto se puede expresar en fórmulas de la manera siguiente.

Para cambio individual:  $C = L + S$

Para cambio colectivo, empleando bombillas o tubos seleccionados para los cambios intermedios:

$$C = \frac{L + G + (BXS)}{I}$$

Para el intercambio colectivo, sin cambios intermedios:

$$C = \frac{L + G}{I}$$

en dónde:

C = costo total de la renovación de las bombillas o tubos, por unidad.

L = precio neto de la unidad.

S = costo de la mano de obra de la reposición por unidad.

G = costo de la mano de obra de reposición colectivamente ejecutada por unidad.

B = porcentaje de unidades quemadas al finalizar el periodo de la renovación colectiva. (véase la Fig. 5.2 ).

I = intervalo de renovación colectiva en términos de promedio de la vida operativa de las unidades en cuestión.

## 6. Aplicación y técnicas de diseño para utilizar ahorradores de energía.

### 6.1 Sistema de iluminación actual.

Para la elaboración de este trabajo de tesis se realizó un estudio de iluminación en una fábrica dedicada a la confección de uniformes, que se encuentra localizada en la zona 5 de esta capital, para la elaboración de sus productos cuenta con las siguientes áreas:

- Oficina de gerencia de planta: 176 metros cuadrados.
- Oficina de gerencia de planta baja: 176 metros cuadrados.
- Área de producción: 1159 metros cuadrados.

Sobre las áreas antes descritas la fábrica cuenta con los siguientes departamentos y secciones. A continuación se detalla cada uno de ellos:

#### 1. Oficina de gerencia de planta (parte alta).

Se realiza, exclusivamente, trabajo administrativo de escritorio sin mayor esfuerzo. Esto se refiere a la parte de oficina de esta área de trabajo.

Dentro de esta área se encuentran las siguientes dependencias:

- 1.1 Gerencia General.
- 1.2 Compras.
- 1.3 Secretaria y/o recepción.
- 1.4 Sala de espera.
- 1.5 Contabilidad.
- 1.6 Finanzas.
- 1.7 Pasillo.
- 1.8 Baño caballero.
- 1.9 Baño damas.

#### 2. Oficina de gerencia de planta (parte baja):

Es una área en la cual se realiza actividades sociales, eventos, reuniones y la parte de aseo para los operarios.

Dentro de esta área se encuentran las siguientes dependencias:

- 2.1 Auditorio.
- 2.2 Clínica.
- 2.3 Baño y duchas.

### 3. Área de producción y/o fabrica.

Aquí se transforma la materia prima en producto terminado. La producción es en serie, no lleva excesivo agotamiento físico; existe un control de calidad en todas las prendas que se confeccionan, las cuales se colocan en bultos de diez para su respectivo almacenaje en la bodega de producto terminado.

Dentro de esta área se encuentran las siguientes dependencias:

3.1 Oficina de gerente de planta.

3.2 Taller de mecánica y marcado.

3.3 Tejido de punto: se tiene que tomar nota que por el momento no se realiza trabajo de producción en esta área, ya que esta parte está en proyecto.

3.4 Área de producción y fabricación.

3.5 Sección de corte y tendido.

### 4. Planos de las instalaciones de la fábrica.

**Resumen de tipos de luminarias, lámparas y color de lámpara en área de Gerencia General planta alta.**

Descripción del equipo instalado actualmente	Tipo de iluminación	Tipo de luminaria	Tipo de lámpara	Valios de cada lámpara + balastro	Vida prom. de cada lamp. HRS.	Tipo de balastro	Vida prom. de cada lumin. años	Número de lámpara por luminaria	Color de luz	Tipo de difusor	No de luminar.
<b>Area jefatura</b>	Floures- cente	2'x4' .4x40w empot. en cielo falso	Rápido encend.	48	20000	Magne- tico. 2x40W	10	4	Luz de dia	Prismat.	2
<b>Secretaria</b>	Floures- cente	2'x4' .4x40w empot. en cielo falso	Rápido encend.	48	20000	Magne- tico. 2x40W	10	4	Luz de dia	Prismat.	2
<b>Sala de espera</b>	Floures- cente	2'x4' .4x40w empot. en cielo falso	Rápido encend.	48	20000	Magne- tico. 2x40W	10	4	Luz de dia	Prismat.	2
<b>Compras</b>	Floures- cente	2'x4' .4x40w empot. en cielo falso	Rápido encend.	48	20000	Magne- tico. 2x40W	10	4	Luz de dia	Prismat.	2
<b>Contabilidad</b>	Floures- cente	2'x4' .4x40w empot. en cielo falso	Rápido encend.	48	20000	Magne- tico. 2x40W	10	4	Luz de dia	Prismat.	4
<b>Finanzas</b>	Floures- cente	2'x4' .4x40w empot. en cielo falso	Rápido encend.	48	20000	Magne- tico. 2x40W	10	4	Luz de dia	Prismat.	2
<b>Baño para hombres</b>	Floures- cente	2'x4' .4x40w empot. en cielo falso	Rápido encend.	48	20000	Magne- tico. 2x40W	10	4	Luz de dia	Prismat.	1
<b>Baño para mujeres</b>	Floures- cente	2'x4' .4x40w empot. en cielo falso	Rápido encend.	48	20000	Magne- tico. 2x40W	10	4	Luz de dia	Prismat.	1
<b>Pasillo</b>	Floures- cente	2'x4' .4x40w empot. en cielo falso	Rápido encend.	48	20000	Magne- tico. 2x40W	10	4	Luz de dia	Prismat.	1

Resumen de tipos de luminarias, lámparas y color de lámpara en área de Gerencia General, planta baja.

Descripción del equipo instalado actualmente	Tipo de iluminación	Tipo de luminaria	Tipo de lámpara	Vacos de cada lámpara + balastro	Vida prom. de cada lámp. HRS.	Tipo de balastro	Vida prom. de cada lumin. ANOS	Número de lámpara por luminaria	Color de luz	Tipo de difusor	No de luminaria.
Baño y duchas caballeros	Flourescente	Industrial	Rápido encend.	48	20000	Magnético. 2x40W	10	4	Luz de día	-	10
Baño y duchas damas	Flourescente	Industrial	Rápido encend.	48	20000	Magnético. 2x40W	10	4	Luz de día	-	10
Pasillo baños	Incandesc.	Plafonero	Instantáneo	100	1000	-	10	2	Natural	-	6
Pasillo gradas	Incandesc.	Plafonero	Instantáneo	100	1000	-	10	2	Natural	-	3
Auditorio	Incandesc.	Plafonero	Instantáneo	100	1000	-	10	1	Natural	-	4
Lactario	Flourescente	Listón	Rápido encend.	48	20000	Magnético. 2x40W	10	2	Luz de día	-	2
Auditorio	Incandesc.	Plafonero	Instantáneo	100	1000	-	10	1	Natural	-	2

## Resumen de tipos de luminarias, lámparas y color de lámparas en área de producción de planta.

Descripción del equipo instalado actualmente	Tipo de iluminación	Tipo de luminaria	Tipo de lámpara	Valios de cada lámpara + balastro	Vida prom. de cada lámpa HRS.	Tipo de balastro	Vida prom. de cada lumin. años	Numero de lampara por luminaria	Color de luz	Tipo de difusor	No de luminar.
Área de camisas, gorras y pantalón	Flourescente	Industrial	Encendido rápido	48	20000	Magnético. 2x40W	10	4	Luz de día	-	80
Taller de mecanica y marcado	Flourescente	Industrial	Encendido rápido	48	20000	Magnético. 2x40W	10	4	Luz de día	-	6
Selección de corte y tendido	Flourescente	Industrial	Encendido rápido	48	20000	Magnético. 2x40W	10	4	Luz de día	-	8
Tejido de punto	Incandesc.	Plafonero	Encendido rápido	100	1000	-	10	1	Luz de día	-	4
Oficina de gerencia de planta	Flourescente	Listón	Encendido rápido	48	20000	Magnético. 2x40W	10	2	Luz de día	-	5
Baño de ejecutivo	Incandesc.	Plafonero	Encendido rápido	100	1000	-	10	1	Luz de día	-	2
											81

## 5. Datos fotométricos.

En cada una de las áreas tanto de gerencia general planta alta, gerencia general planta baja y área de producción se tomaron datos por medio de un fotómetro analógico y la toma de los mismos se realizó en tres días seguidos. En el primer día se tomaron datos a las 7:00 AM ya que es la hora en que inician operaciones en la planta y el mismo terminó a las 9:00 AM. El segundo día, la toma de datos se realizó a las 11:00 PM y terminó a las 14:00 PM, y la otra toma de datos se realizó al tercer día y se empezó a las 15:00 PM y se termino a las 17:00 PM, que es la hora que termina la fabrica de laborar.

A continuación se resume cada uno de los datos fotométricos según el área:

### 5.1 Datos fotométricos de Gerencia General, planta alta, con sus planos.



## DATOS FOTOMETRICOS DE GERENCIA GENERAL, PLANTA ALTA

ESTOS DATOS ESTÁN MEDIDOS EN LUX

Jefatura	Hora 7:00 a.m. 16/11/1994	Hora 12:00 p.m. 16/11/1994	Hora 16:00 p.m. 17/11/1994	Promedio
Punto 1	400	410	390	400
Punto 2	250	260	261	257
Punto 3	370	300	371	374
Punto 4	350	351	349	350

Compras				Promedio
Punto 1	350	270	275	298
Punto 2	450	360	362	391
Punto 3	300	170	250	240
Punto 4	370	290	300	320

Contabilidad				Promedio
Punto 1	360	280	350	330
Punto 2	240	360	345	315
Punto 3	250	260	350	287
Punto 4	490	370	320	390

Finanzas				Promedio
Punto 1	220	310	300	277
Punto 2	450	300	300	350
Punto 3	300	230	300	277
Punto 4	450	450	350	417

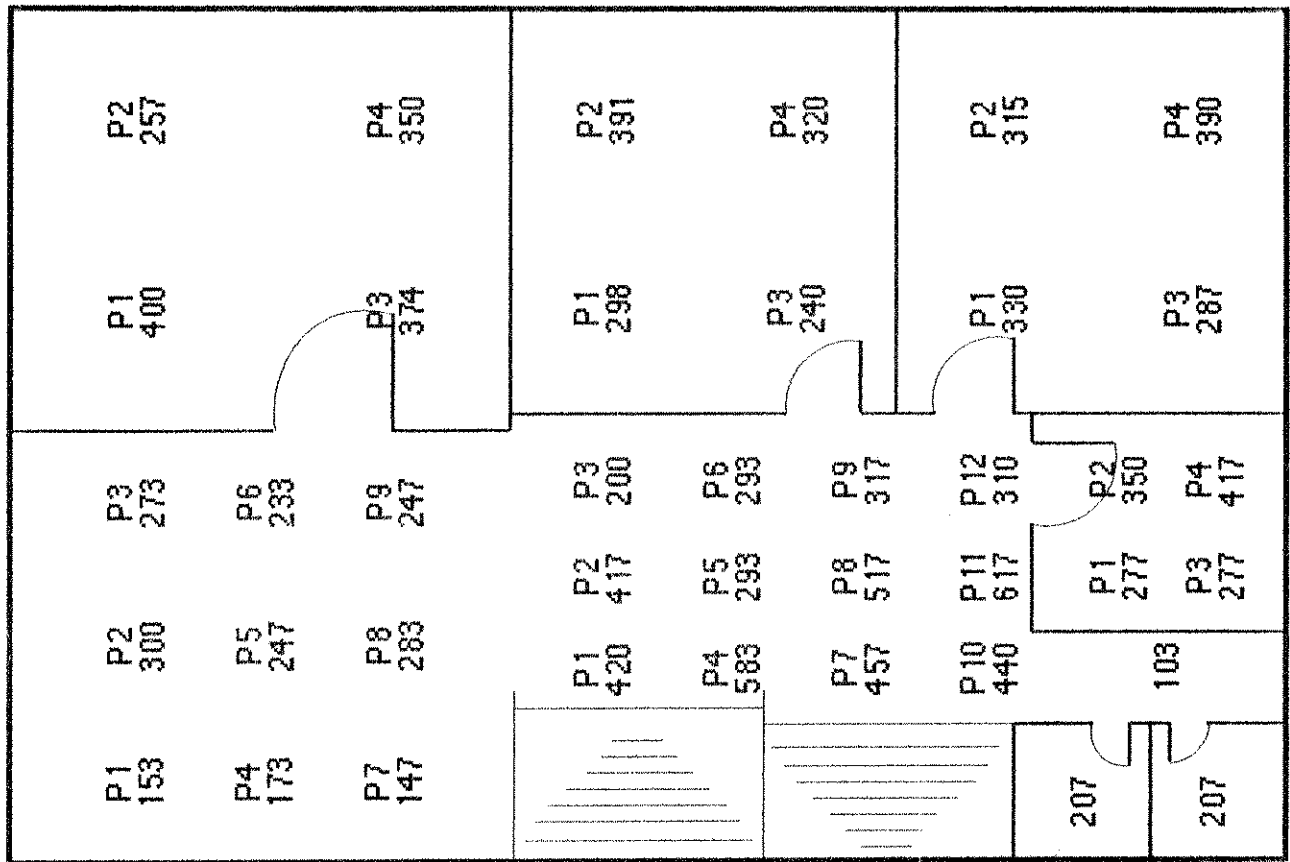
Sala de espera				Promedio
P 1	400	460	400	420
P 2	400	450	400	417
P 3	210	190	200	200
P 4	450	480	550	493
P 5	600	600	300	500
P 6	250	330	300	293
P 7	450	470	450	457
P 8	630	470	450	517
P 9	280	320	350	317
P 10	400	470	450	440
P 11	600	650	600	617

Secretaría y/o recepción				Promedio
P 1	100	200	100	153
P 2	290	300	310	300
P 3	270	280	270	273
P 4	90	250	180	173
P 5	200	280	260	247
P 6	160	290	250	233
P 7	150	140	150	147
P 8	330	230	290	283
P 9	270	210	260	247

Pasillo				Promedio
P 1	100	120	90	103

Baño para mujeres y caballeros				Promedio
P 1	200	220	201	207

## Área de Gerencia General, Planta alta



5.2 Datos fotométricos de gerencia general planta baja con sus planos.

<b>DATOS FOTOMÉTRICOS DE GERENCIA GENERAL, PLANTA BAJA</b>				
ESTOS DATOS ESTÁN MEDIDOS EN LUX				
	Hora 7:00 a.m. 15/11/1994	Hora 12:00 p.m. 16/11/1994	Hora 16:00 p.m. 17/11/1994	
<b>Baños y duchas para caballeros</b>				<b>Promedio</b>
P 1	190	195	140	175
P 2	170	200	165	178
P 3	160	175	160	165
P 4	180	200	165	182
P 5	195	190	180	188
P 6	200	250	230	227
P 7	140	190	185	172
P 8	170	195	130	165
P 9	110	200	150	153
P 10	160	210	120	163
P 11	180	190	180	183
P 12	110	150	100	120
<b>Baños y duchas para mujeres</b>				<b>Promedio</b>
P 1	200	205	190	198
P 2	180	185	160	175
P 3	160	190	130	160
P 4	205	200	175	193
P 5	200	190	150	180
P 6	110	140	130	127
P 7	205	210	170	195
P 8	190	200	185	192
P 9	105	130	90	108
P 10	195	200	180	192
P 11	200	190	185	192
P 12	110	140	100	117
<b>Auditoría</b>				<b>Promedio</b>
P 1	400	400	400	400
P 2	620	610	620	617
P 3	670	660	665	665
P 4	600	600	600	600
<b>Lactario</b>				<b>Promedio</b>
P 1	110	100	105	105
P 2	100	110	100	103
P 3	200	200	195	198
P 4	200	200	190	197
P 5	110	120	110	113
P 6	120	110	110	113
<b>Clinica</b>				<b>Promedio</b>
P 1	90	88	90	89
P 2	80	80	82	81
P 3	80	79	80	80
P 4	70	75	77	74
P 5	70	75	75	73
P 6	60	61	65	62

### DATOS FOTOMÉTRICOS DE GERENCIA GENERAL, PLANTA BAJA

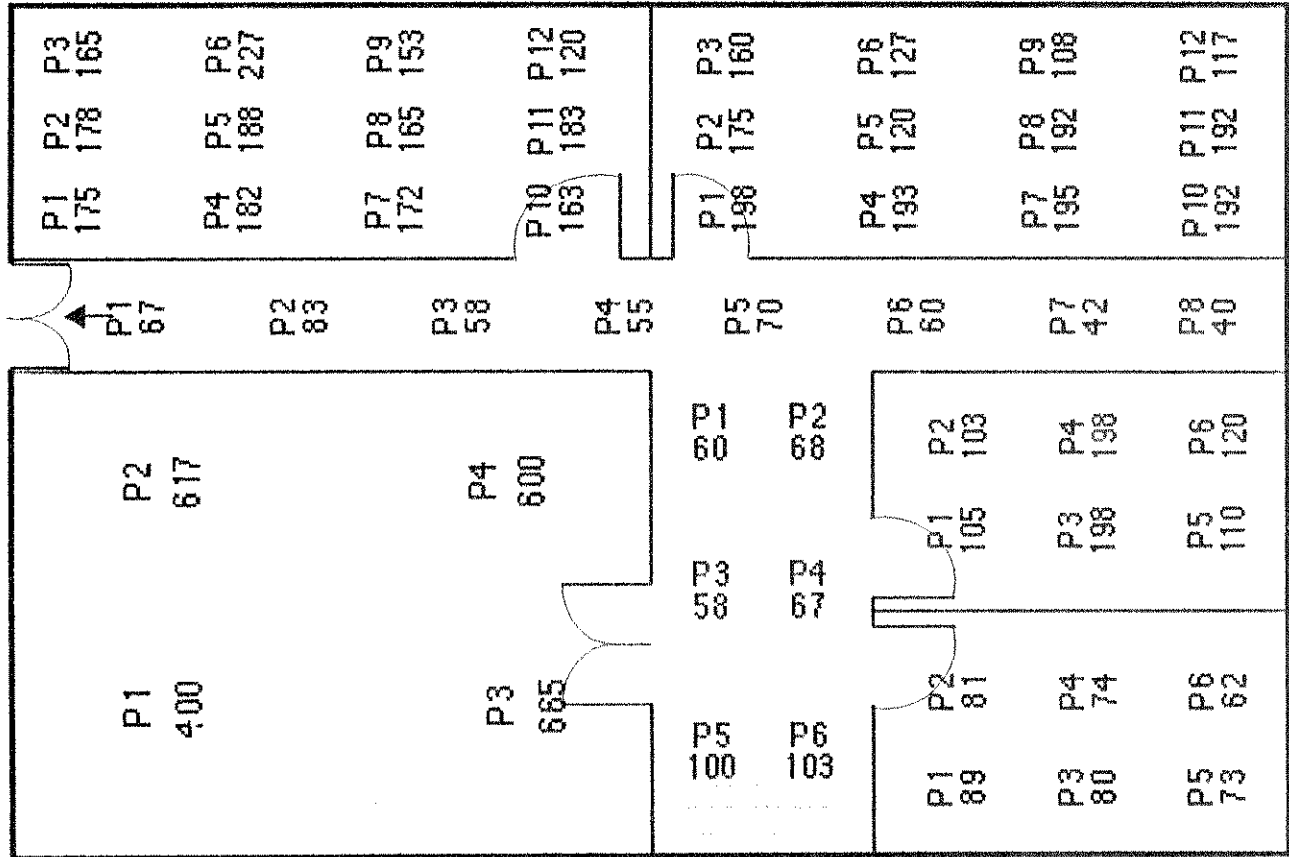
ESTOS DATOS ESTÁN MEDIDOS EN LUX

	Hora 7:00 a.m. 16/11/1994	Hora 12:00 p.m. 16/11/1994	Hora 16:00 p.m. 17/11/1994	
--	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--

Pasillos baños				Promedio
P 1	70	70	60	67
P 2	90	80	80	83
P 3	60	60	55	58
P 4	60	55	50	55
P 5	80	60	70	70
P 6	60	60	60	60
P 7	50	40	35	42
P 8	50	40	30	40

Pasillos gradas				Promedio
P 1	60	60	60	60
P 2	70	70	65	68
P 3	60	60	55	58
P 4	80	60	60	67
P 5	90	100	110	100

## Área de Gerencia General, Planta baja



### 5.3 Datos fotométricos de producción con sus planos.

<b>DATOS FOTOMÉTRICOS DE PRODUCCIÓN</b>				
ESTOS DATOS ESTÁN MEDIDOS EN LUX				
	Hora 7:00 a.m. 15/11/1994	Hora 12:00 p.m. 16/11/1994	Hora 16:00 p.m. 17/11/1994	
<b>Oficina Gerente de Planta</b>				<b>Promedio</b>
P 1	140	100	150	130
P 2	100	90	210	133
P 3	140	170	260	190
P 4	160	270	60	163
P 5	280	100	90	157
P 6	140	210	80	143
P 7	150	90	150	130
P 8	160	80	230	157
P 9	170	220	310	233
P 10	180	250	260	230
P 11	320	280	230	277
P 12	260	240	210	237
P 13	100	70	90	87
P 14	130	60	100	97
P 15	110	100	150	120
P 16	100	120	140	120
P 17	150	140	140	143
P 18	150	110	120	127
<b>Taller mecánica y marcado</b>				<b>Promedio</b>
P 1	260	130	x	195
P 2	90	120	x	105
P 3	70	110	x	90
P 4	280	90	x	180
P 5	90	300	x	145
P 6	40	120	x	80
P 7	280	60	x	170
P 8	100	180	x	140
P 9	40	100	x	70
P 10	280	70	x	165
P 11	100	190	x	145
* P 12	40	110	x	75
<b>Sección de corte</b>				<b>Promedio</b>
P 1	130	170	x	150
P 2	110	160	x	135
P 3	40	90	x	65
P 4	220	200	x	210
P 5	170	180	x	175
P 6	80	100	x	90
P 7	210	180	x	195
P 8	180	170	x	175
P 9	90	110	x	100
P 10	260	170	x	215
P 11	210	180	x	195
P 12	90	120	x	105
P 13	220	170	x	195

\* En ésta área no se incluye datos fotométricos de las 16:00 Hrs. debido a que en ésta área no se trabaja en horario vespertino.

## DATOS FOTOMÉTRICOS DE PRODUCCIÓN

ESTOS DATOS ESTÁN MEDIDOS EN LUX

	Hora 7:00 a.m. 15/11/1994	Hora 12:00 p.m. 16/11/1994	Hora 16:00 p.m. 17/11/1994	
P 14	170	170	x	170
P 15	90	120	x	105
P 16	200	180	x	190
P 17	180	170	x	175
P 18	90	110	x	100
P 19	220	190	x	205
P 20	180	190	x	185
P 21	90	110	x	100

En ésta Área no se incluye datos fotométricos de las 16:00 Hrs. debido a que no se trabaja en horario vespertino

Área de Producción				Promedio
P 1	110	140	160	137
P 2	200	230	200	210
P 3	200	210	230	213
P 4	190	210	210	203
P 5	190	190	170	183
P 6	130	150	180	153
P 7	180	220	210	203
P 8	140	220	190	183
P 9	230	240	200	223
P 10	270	230	240	247
P 11	120	100	170	130
P 12	150	200	260	203
P 13	150	210	180	180
P 14	210	250	160	207
P 15	230	250	210	230
P 16	130	160	280	190
P 17	200	220	280	233
P 18	190	220	220	210
P 19	230	260	270	253
P 20	270	280	290	280
P 21	110	150	190	150
P 22	190	170	180	180
P 23	180	200	200	193
P 24	220	230	240	230
P 25	220	220	260	233
P 26	140	160	130	143
P 27	190	230	200	203
P 28	190	250	220	220
P 29	240	280	250	257
P 30	250	300	260	270
P 31	270	180	200	200
P 32	270	190	210	223
P 33	200	180	210	197
P 34	250	210	240	233
P 35	300	260	210	257
P 36	430	300	210	313
P 37	210	180	240	210
P 38	170	230	220	207
P 39	170	270	200	213

## DATOS FOTOMÉTRICOS DE PRODUCCIÓN

ESTOS DATOS ESTÁN MEDIDOS EN LUX

	Hora 7:00 a.m. 15/11/1994	Hora 12:00 p.m. 16/11/1994	Hora 16:00 p.m. 17/11/1994	
P 40	150	280	250	227
P 41	140	220	470	277
P 42	120	240	260	207
P 43	80	210	210	167
P 44	90	240	230	187
P 45	110	250	230	197
P 46	120	220	670	337
P 47	170	190	180	180
P 48	150	130	150	143
P 49	150	120	130	133
P 50	180	120	100	133
P 51	100	140	190	143
P 52	180	260	120	187
P 53	200	220	80	167
P 54	160	230	70	153
P 55	180	220	60	153
P 56	90	120	150	120
P 57	170	190	210	190
P 58	210	220	190	207
P 59	240	220	200	220
P 60	230	260	180	223
P 61	110	100	140	117
P 62	180	170	200	183
P 63	220	200	180	200
P 64	190	220	190	200
P 65	260	240	160	220
P 66	140	100	90	110
P 67	180	200	170	183
P 68	200	230	190	207
P 69	200	220	180	200
P 70	230	240	160	210
P 71	120	150	100	123
P 72	190	160	170	173
P 73	200	220	200	207
P 74	200	180	200	193
P 75	210	210	190	203
P 76	90	120	100	103
P 77	170	180	170	173
P 78	170	210	170	183
P 79	180	200	180	190
P 80	200	210	190	200
P 81	190	150	120	153
P 82	110	170	120	133
P 83	200	180	160	180
P 84	220	170	160	183
P 85	260	190	150	200





## 6.2 Reemplazo de lámparas y balastos ahorradores de energía utilizando el mismo sistema de luminarias.

Para elaborar este cuadro únicamente se tomaron en cuenta el cambio de lámparas y balastos sin que se cambie la luminaria.

SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN									
Ambiente	No. de tubos / luminarias	No. de Bombillas / luminaria	Consumo bombillas (W)	Consumo Balas. + Lámp. (W)	Rend. lumínico tubo	Cantidad de luminaria	Tiempo de operación anual	Total de consumo KW-HR	Costo Consumo
Gerencia General, planta alta	4			48	2600 lm.	17	2910	9466.24	0. 4,369.19
Gerencia General, planta baja	4	11	75		2600 lm.	14	2910	2400.75	0. 1,104.35
Producción de planta	4			48	2600 lm.	81	2910	45256.32	0. 20,817.91

Costo anual de operación = potencia de entrada del sistema X No. de luminarias X tiempo de operación X costo de Kw.Hr.  
 La potencia de entrada del sistema se tiene que dividir entre 1000 para que de Kw.

Para obtener el valor total del consumo de KW.Hr. se tomó el consumo total por luminaria y se multiplicó por el total de horas trabajadas en el año.

Para obtener el valor total del costo del consumo, este se obtuvo de la multiplicación del consumo de Kw.Hr. por el valor de éste en el mercado, según datos proporcionados por la empresa eléctrica. El valor del Kw.Hr. es de 0.046 para la industria.

Ahora bien, se va hacer la comparación utilizando los mismos cuerpos de luminarias, esto en el caso de luminarias fluorescentes y los mismos plafones en el caso de las lámparas incandescentes. Se va a utilizar el mismo número de tubos, solo que los ahorradores de energía, balastro electrónicos en vez de balastos magnéticos y para los bombillos incandescentes se van a sustituir por lámparas compactas ahorradoras de energía de 18 W, que su salida de lumen es equivalente a una bombilla de 75W.

**SISTEMA DE ILUMINACIÓN UTILIZANDO AHORADORES DE ENERGÍA.**

Ambiente	No. de tubos / luminaria	No. de Bombillas / luminaria	Consumo bombillas (W)	Consumo Balas. + Lámp. (W)	Rend. lumínico tubo	Cantidad de luminaria	Tiempo de operación anual	Total de consumo KW-HR	Costo Consumo
<b>Gerencia General planta alta</b>	4	0		36	2684 lm	17	2910	7123.68	Q. 3,276.89
<b>Gerencia General planta baja</b>	4	11	18	36	2684 lm	14	2910	6442.74	Q. 2,963.66
<b>Producción de planta</b>	4	0	0	36	2684 lm	81	2910	33942.24	Q. 15,613.43

La comparación se efectuó únicamente con balastro electrónico y con tubos fluorescentes ahorradores de energía de alta frecuencia. En este caso se realizó un reemplazo, ya que se utilizaron las mismas luminarias y se realizó el cambio de los componentes, como se mencionó anteriormente. En el caso de las bombillas únicamente se realizó el cambio de bombilla por bombilla ahorradora de energía tipo fluorescente con balastro electrónico.

**RESUMEN DE AHORRO DE DINERO UTILIZANDO UN SISTEMA DE REEMPLAZO.**

Ambiente	Sistema Actual	Rend. lumínico actual	Sistema propuesto de reemplazo	Rend. lumínico propuesto	% aumento lumínico	Ahorro en dinero	% Ahorro
Gerencia General planta alta	Q. 4,369.19	2600 lm	Q. 3,276.89	2684 lm	3.00%	Q. 1,092.30	25.000%
Gerencia General planta baja	Q. 4,702.50	2600 lm	Q. 1,429.62	2684 lm	3.00%	Q. 1,738.84	36.977%
Producción de planta	Q. 20,817.91	2600 lm	Q. 15,260.00	2684 lm	3.00%	Q. 5,204.48	25.000%
						Promedio	28.992%

### **6.3 Cálculo de iluminación utilizando un nuevo sistema de ahorradores de energía.**

A continuación se efectuará el cálculo de iluminación para la fábrica de uniformes que se tiene en estudio. Ahora bien, el cálculo de iluminación que se va efectuar es para interiores; el caso de exteriores queda ajeno a este trabajo de tesis. El cálculo de iluminación de interiores se tiene que efectuar por áreas o ambientes de trabajo, entonces para elaborar esto se va tomar como prototipo el Área de Producción y de la misma forma se elaboraran los demás ambientes, solo que estos se presentarán en forma resumida en una tabla.

#### **6.3.1 Proceso de elaboración de un proyecto de iluminación.**

##### **1.-Analizar las necesidades de iluminación.**

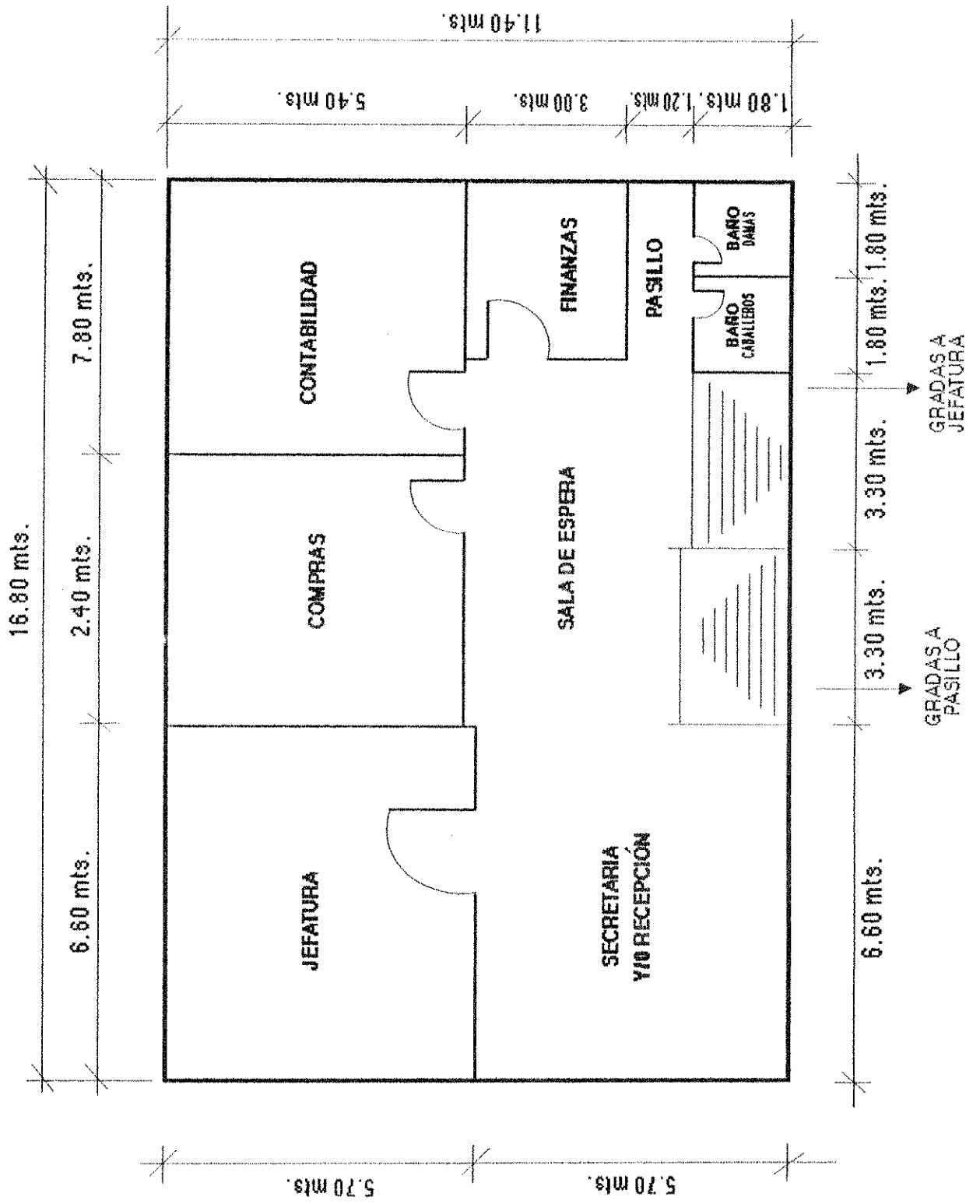
El área que se va analizar es la producción, que es la parte de la fábrica en la cual los operarios se dedican a la costura de las prendas; el proceso utilizado en la fábrica es el llamado en línea. Por ejemplo, para elaborar un pantalón se necesitan treinta y seis operaciones; para elaborar una camisa se necesitan treinta operaciones y para la elaboración de la gorra se necesitan ocho operaciones. Ahora bien, según la tabla 6.1 de niveles mínimos de alumbrado para talleres de sala de costura en la industria el nivel mínimo es de 700 lux y actualmente, según datos fotométricos tomados en distintas horas, se tienen actualmente 195 lux promedio en toda el área de producción. Por lo tanto se tiene que establecer un nivel de iluminación que cumpla con lo mínimo que se requiere para este tipo de industria.

Se tiene que considerar que la fábrica se encuentra en una bodega de duralita y el color de esta es gris, el color de las paredes es gris y el del piso es gris. Las medidas del área están dadas según los planos.

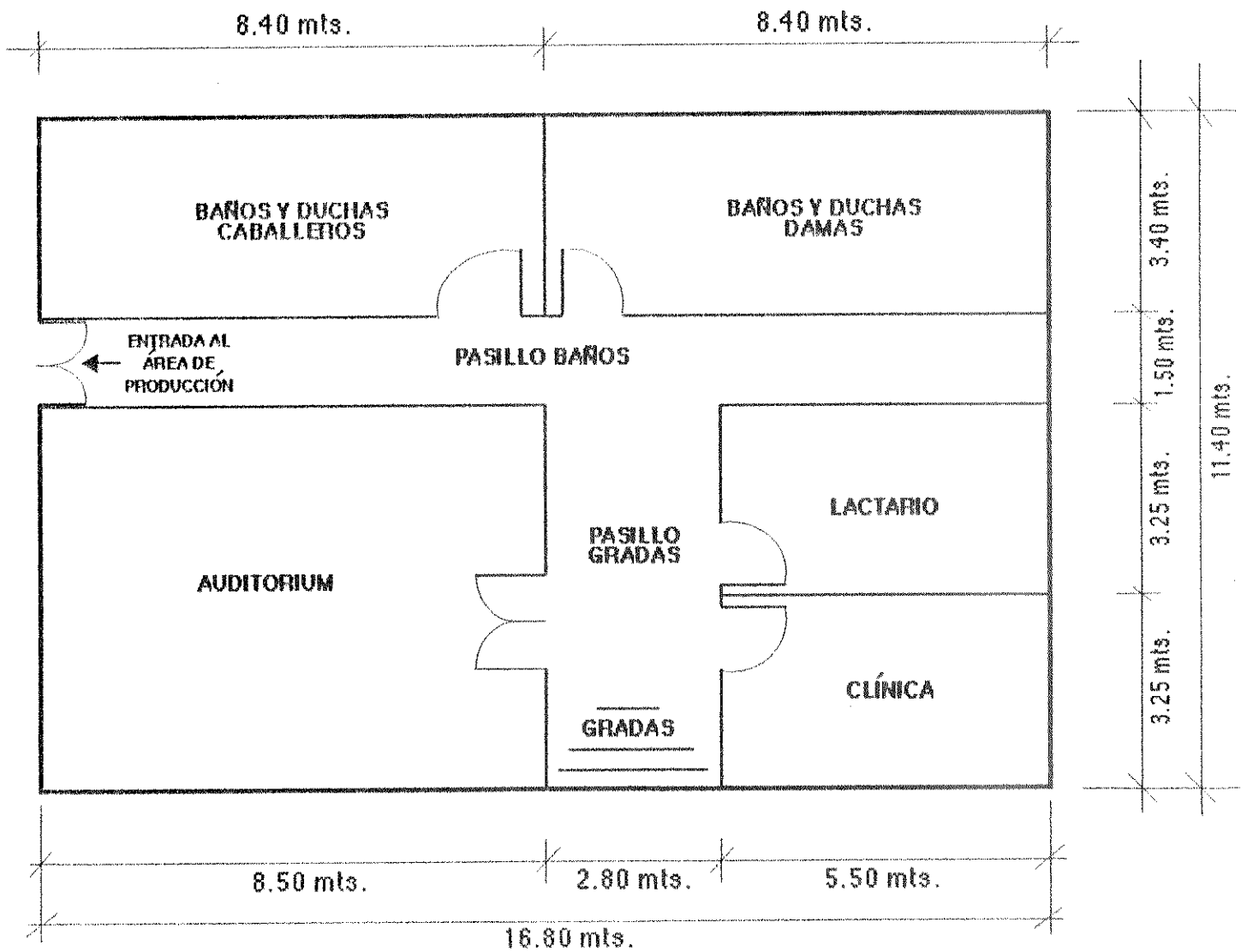
Área en estudio.

- Nombre: Área de producción.
- Largo: 46.8 mt.
- Ancho: 12.20 mt.
- Altura mínima de techo: 4.18 mt.
- Altura máxima de techo: 8.33 mt.

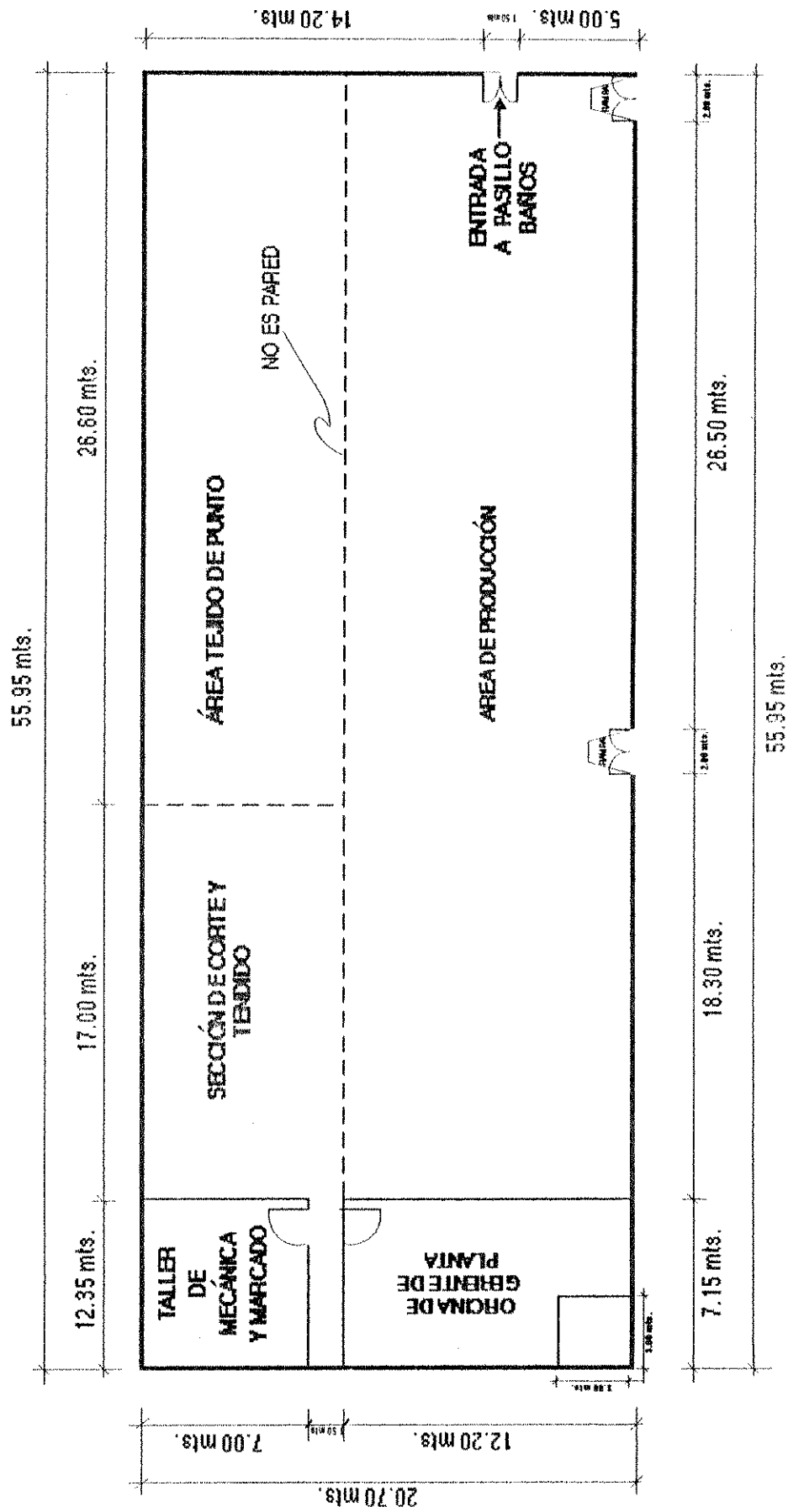
# Área de Gerencia General, Planta alta



# Área de Gerencia General, Planta baja

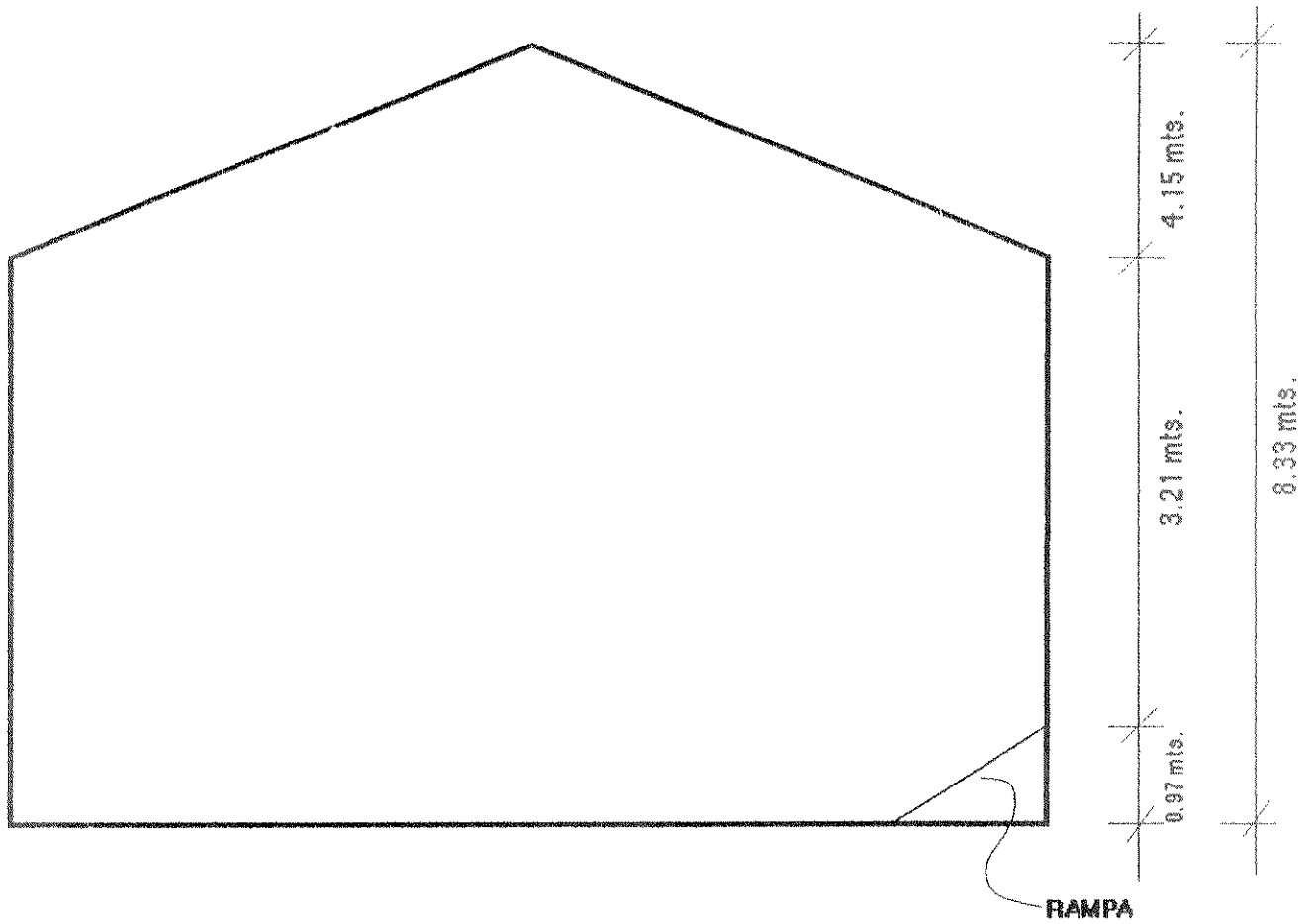


# Área de Producción

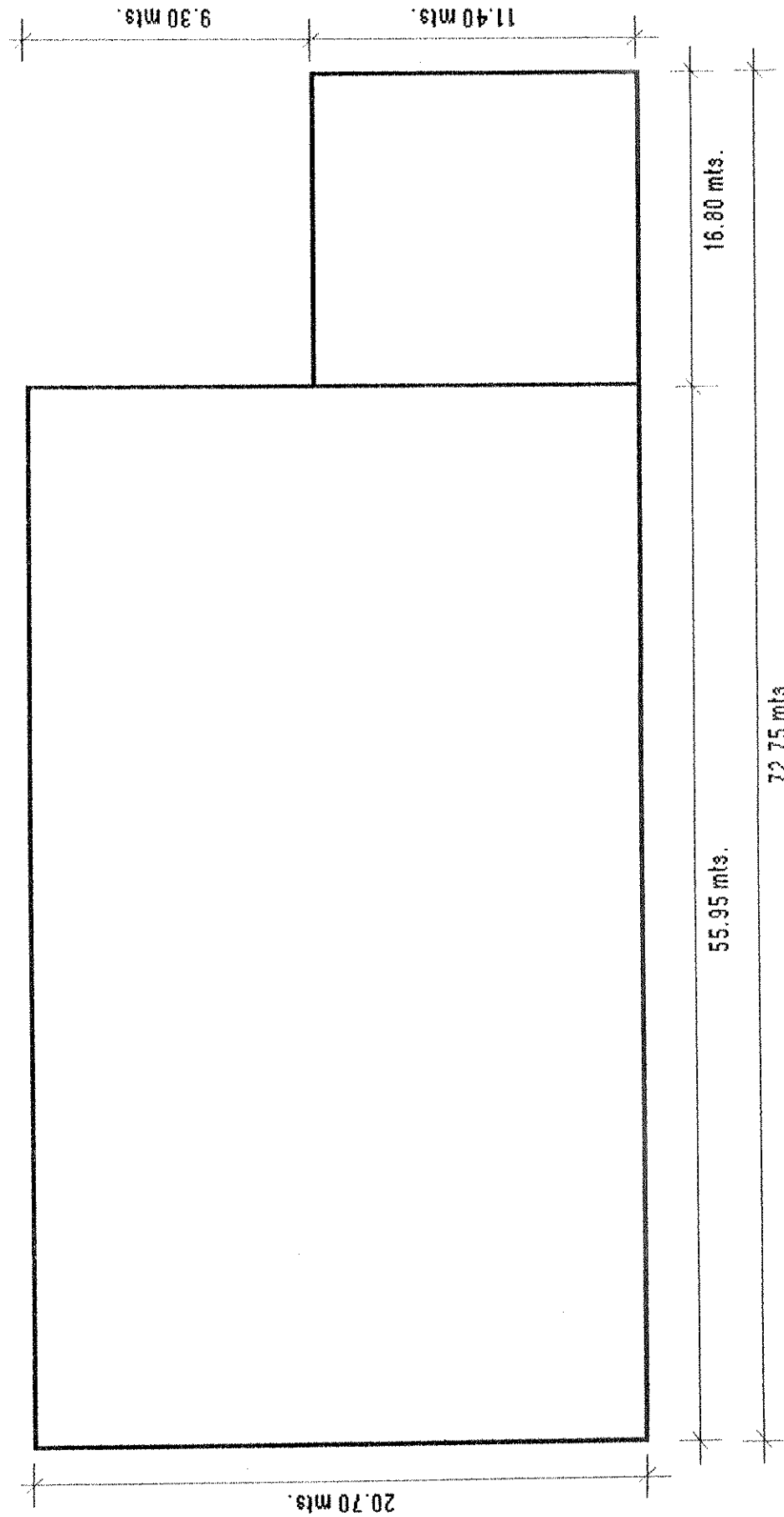




# Parte frontal del área de producción



# Área de construcción de fábrica

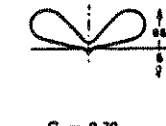
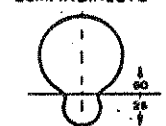
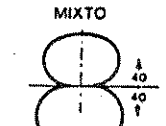

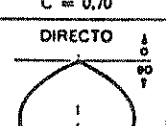
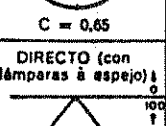


## 2. Establecer el nivel de iluminación.

Como se mencionó en el inciso 1 para este tipo de industria lo mínimo que se requiere es 700 lux en el plano de trabajo.

Para obtener el valor anterior se consultó la siguiente tabla de niveles de mínimos de alumbrado.

NIVELES MINIMALES DE ALUMBRADO A REALIZAR EN EL PLANO DE TRABAJO (VALORES CONFORMES CON LAS NORMAS N.B.N. 255 Y 353)	
Locales cerrados o vías públicas a iluminar	Alumbrado Lux
<b>Industria</b>	
Montaje y trabajo de:	
Piezas muy pequeñas (alumbrado general + alumbrado localizado)	1000
Piezas pequeñas	500
Piezas medianas	300
Piezas grandes	200
Inspección de: (según las dimensiones de los detalles a comprobar)	
Piezas minúsculas (Alumbrado general + alumbrado localizado)	3000
Piezas muy finas (Alumbrado general + alumbrado localizado)	1500
Piezas finas (Alumbrado general + alumbrado localizado)	1000
Piezas bastante finas	500
Piezas medianas	300
Recepción de las mercancías	300
Embalaje	200
Almacenaje de materias primas	100
Almacenes de piezas separadas y productos terminados	200
<b>Oficinas</b>	
Lectura y escritura intermitentes	300
Lectura y escritura continuas	500
Contabilidad, dactilografía	500
Mecanografía	700
Salas de dibujo	500
<b>Laboratorios</b>	
Alumbrado general	300
En el plano de los tableros de dibujo	500
Archivos	100
Excusados, halls, escaleras, vestuarios	100
Escuelas	
Salas de clase y de las profesoras	300
Sala de dibujo	500
Sala de gimnástica	200
Auditorio	300
Sala de conferencia	150
Laboratorios (véase Oficinas)	
Talleres (véase Industria)	
Sala de costura	700
Cocinas	300
Refectorios	150
Sala de juegos	300
Enfermería	300
Sala de espera	200
Excusados, halls, escaleras, vestuarios (véase Oficinas)	
Biblioteca, sala de lectura	300
Estudios	200
<b>Almacenes</b>	
Almacenes propiamente dichos	300
Escaparates: según las calles y los productos expuestos	500 - 2000
Excusados y locales adjuntos	100
<b>Hoteles y edificios públicos</b>	
Halls	80
Salas de lectura	200
Restaurantes	150
Cocinas	150
Pasillos y excusados	50
Habitaciones	75
<b>Casas particulares</b>	
Salones (preferentemente alumbrado indirecto)	100
Comedores	120
Despachos	200
Cocinas	150
Vestibulos, trasteros	50
<b>Vías públicas</b>	
Carreteras interurbanas y arterias periféricas o centrales atravesadas en las aglomeraciones	A 15    B 30
Vías urbanas de gran tráfico	8    15
Vías urbanas de tráfico mediano	4    8
Vías urbanas de poco tráfico	2    5
A. Vías claras — B. Vías oscuras.	

VALOR DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN EN LOS VARIOS SISTEMAS DE ALUMBRADO								
Sistema de alumbrado	Cielo 70%		50%					
	Curva polar	Repartición de los flujos	Paredes: 50%			30%		
			10%	50%	30%	10%		
Coeficiente de depreciación C	Indice del local K	Coeficiente de utilización U						
INDIRECTO 	0,6	0,24	0,19	0,14	0,17	0,14	0,11	
	0,8	0,30	0,25	0,20	0,22	0,18	0,15	
	1,0	0,35	0,30	0,25	0,28	0,22	0,18	
	1,25	0,40	0,34	0,29	0,30	0,26	0,22	
	1,5	0,43	0,38	0,33	0,32	0,28	0,24	
	2,0	0,48	0,43	0,39	0,36	0,32	0,29	
	2,5	0,52	0,47	0,43	0,38	0,35	0,32	
	3,0	0,54	0,50	0,46	0,40	0,37	0,34	
	4,0	0,57	0,54	0,50	0,43	0,40	0,37	
	5,0	0,59	0,56	0,53	0,44	0,42	0,39	
C = 0,70								
SEMI-INDIRECTO 	0,6	0,22	0,17	0,13	0,17	0,14	0,11	
	0,8	0,27	0,23	0,19	0,22	0,18	0,15	
	1,0	0,32	0,27	0,23	0,26	0,22	0,19	
	1,25	0,36	0,32	0,28	0,29	0,26	0,22	
	1,5	0,40	0,35	0,31	0,32	0,28	0,25	
	2,0	0,44	0,40	0,36	0,36	0,32	0,29	
	2,5	0,48	0,44	0,40	0,38	0,35	0,32	
	3,0	0,50	0,46	0,42	0,40	0,37	0,34	
	4,0	0,53	0,49	0,46	0,43	0,40	0,37	
	5,0	0,55	0,52	0,49	0,45	0,42	0,39	
C = 0,65								
MIXTO 	0,6	0,25	0,21	0,17	0,23	0,19	0,16	
	0,8	0,31	0,26	0,22	0,28	0,24	0,21	
	1,0	0,36	0,32	0,28	0,33	0,29	0,26	
	1,25	0,41	0,36	0,33	0,37	0,33	0,30	
	1,5	0,45	0,40	0,36	0,40	0,36	0,33	
	2,0	0,50	0,46	0,42	0,44	0,41	0,38	
	2,5	0,53	0,49	0,46	0,47	0,44	0,41	
	3,0	0,55	0,52	0,49	0,49	0,46	0,44	
	4,0	0,58	0,56	0,53	0,52	0,49	0,47	
	5,0	0,61	0,58	0,55	0,54	0,51	0,49	
C = 0,70								
SEMI-DIRECTO 	0,6	0,33	0,28	0,24	0,31	0,26	0,24	
	0,8	0,40	0,35	0,31	0,38	0,33	0,30	
	1,0	0,47	0,41	0,37	0,44	0,39	0,36	
	1,25	0,52	0,47	0,43	0,49	0,45	0,41	
	1,5	0,56	0,51	0,47	0,53	0,49	0,45	
	2,0	0,62	0,57	0,54	0,58	0,54	0,51	
	2,5	0,65	0,61	0,58	0,60	0,57	0,54	
	3,0	0,68	0,64	0,61	0,63	0,60	0,57	
	4,0	0,70	0,67	0,65	0,66	0,63	0,61	
	5,0	0,72	0,70	0,68	0,68	0,65	0,63	
C = 0,70								
DIRECTO 	0,6	0,34	0,28	0,23	0,33	0,27	0,24	
	0,8	0,42	0,36	0,31	0,41	0,35	0,31	
	1,0	0,48	0,42	0,38	0,47	0,42	0,37	
	1,25	0,55	0,48	0,44	0,53	0,48	0,44	
	1,5	0,59	0,53	0,49	0,57	0,52	0,48	
	2,0	0,64	0,60	0,55	0,63	0,59	0,55	
	2,5	0,68	0,64	0,60	0,66	0,63	0,59	
	3,0	0,71	0,67	0,63	0,69	0,66	0,63	
	4,0	0,75	0,71	0,69	0,73	0,70	0,68	
	5,0	0,77	0,74	0,72	0,75	0,73	0,71	
C = 0,65								
DIRECTO (con lámparas a espejo) 	0,6	0,53	0,46	0,42	0,52	0,46	0,42	
	0,8	0,63	0,57	0,52	0,62	0,56	0,52	
	1,0	0,71	0,65	0,60	0,70	0,64	0,60	
	1,25	0,78	0,72	0,68	0,78	0,71	0,68	
	1,5	0,82	0,77	0,73	0,81	0,76	0,72	
	2,0	0,88	0,84	0,80	0,87	0,85	0,80	
	2,5	0,92	0,89	0,84	0,90	0,88	0,84	
	3,0	0,94	0,91	0,88	0,92	0,90	0,87	
	4,0	0,97	0,94	0,92	0,95	0,93	0,91	
	5,0	1,00	0,97	0,95	0,98	0,96	0,94	
C = 0,70								

### 3. Decidir la fuente de iluminación.

La fuente de iluminación que se va utilizar es un tubo fluorescente con las siguientes características:

- Potencia: 32 W.
- Diámetro del tubo: 26 mm.
- Largo: 1.22 mt.
- Intensidad luminosa: 3000 lúmenes.
- Vida útil: 20000 hrs.
- Temperatura de color: 4100 K.

### 4. Seleccionar la luminaria.

Para este caso se seleccionará la siguiente luminaria:

- Tipo: Industrial con pantalla reflectora tipo espejo.
- Alumbrado: Directo.
- Tipo de depreciación: mediano.

### 5. Seleccionar la altura de montaje.

Tomando en cuenta el plano de la parte frontal de producción, la altura máxima a la cual estarán instaladas las luminarias es de 4.20 mt y la altura del plano de trabajo es de 0.80 mt, entonces:

$$H_m = H_{max} - H_{min}.$$

sustituyendo:

$$H_m = 4.20 - 0.80 = 3.40 \text{ mt.}$$

donde  $H_m$  es la altura de montaje.

### 6. Determinar la relación del local.

$$K = \frac{L \times A}{H_m \times (L + A)}$$

donde:  $K$  = relación del local.

$H_m$  = altura de montaje.

$L$  = largo del ambiente a iluminar.

$A$  = ancho del ambiente a iluminar.

sustituyendo valores, se tiene que:

$$K = \frac{46.80 \times 12.20}{3.40 \times (46.80 + 12.20)} = 2.85.$$

7. Determinar el coeficiente de utilización.

Para determinar el coeficiente de utilización hay que consultar la tabla de valores de coeficiente de utilización y se localiza la parte de sistema de alumbrado tipo directo (con lámparas a espejo) y como el valor del índice del local dado en el inciso 6 no aparece en esta tabla se tiene que interpolar.

Cálculo de coeficiente de utilización:

Según los colores del ambiente, techo, paredes y piso son de color gris y según la tabla de colores el porcentaje de reflexión es el siguiente:

Techo o cielo = 50 %.

Paredes = 30 %.

Piso o suelo = 10%.

Interpolando:

2.0	2.86	2.0	0.86
2.85	X		2.85
3	0.90	<u>3</u>	
<u>0.90</u>		-1	-0.85
			-0.04

-1 ----- -0.04

-0.85 ----- X

$$X = \frac{-0.85 \times -0.04}{-1} = -0.034.$$

$$0.86 - (-0.034) = 0.894.$$

$$0.90 + (-0.034) = 0.866.$$

$$C.U = \frac{0.894 + 0.866}{2} = 0.88$$

8. Determinar el factor de mantenimiento.

8.1 Factores no recuperables:

8.1.1 Temperatura ambiente.

Como se trata de lámparas fluorescentes se tiene que utilizar la siguiente gráfica.

CAMBIO EN EL RENDIMIENTO LUMINICO CON LA TEMPERATURA AMBIENTE DE LAS LAMPARAS FLUORESCENTES DESNUDAS EN EL AIRE CALMADO.

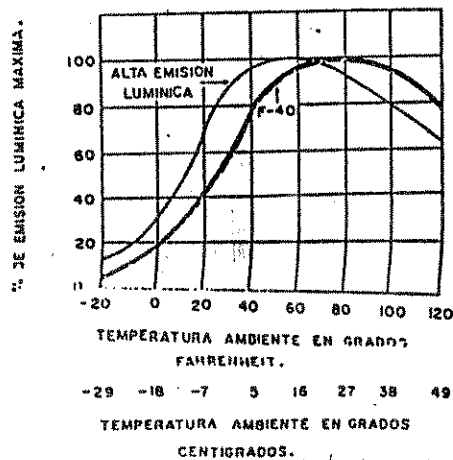


Fig 6.1 Gráfica temperatura lámparas fluorescentes.

Se determinó que en esta fábrica de costura la temperatura ambiente promedio es de 25 °C y según la gráfica el factor de porcentaje de emisión luminica máxima es de 88 % o 0.88. Se utilizo la curva de alta emisión luminica.

8.1.2 Tensión de alimentación.

Se pudo detectar que existen problemas de regulación ya que existe un mas, menos 5 % de variación de tensión. Para determinar este parámetro se utiliza la gráfica de cambio del rendimiento luminoso debido a cambios de tensión. Si se tiene la ubicación en la recta A que es la de lámparas fluorescentes el valor de porcentaje de lúmenes emitidos es de 98 % o 0.98.

8.1.3 Factor de balastro

El tipo de balastro que se utilizará para este tipo de proyecto es el electrónico y como se menciona en el capítulo 5 el factor de balastro de este balastro es de 0.88.

### 8.1.4 Depreciación en las superficies de la luminaria.

Este factor es muy difícil de definir, ya que se refiere a los daños ocasionados por el uso en las superficies de la luminaria y otros componentes tales como pintura, refractor, reflector por lo que se dio un valor unitario.

### 8.2 Factores recuperables.

#### 8.2.1 Depreciación por suciedad acumulada en las superficies del cuarto.

Para utilizar este factor es necesario utilizar la gráfica de factores de depreciación por suciedad acumulada en las superficies del cuarto.

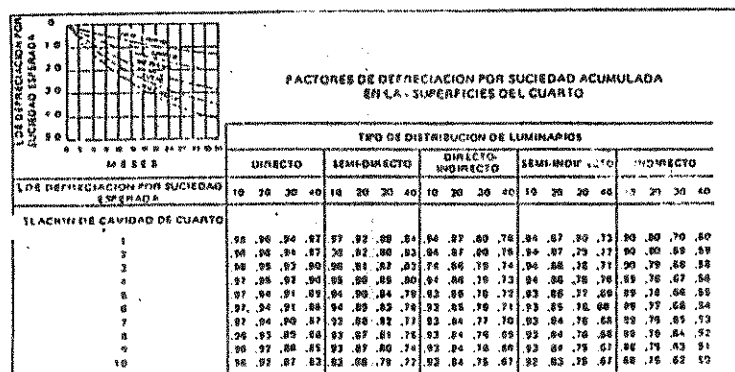


Fig 6.2 Gráfica factores de depreciación por suciedad acumulada.

Para calcular este factor se utilizará la gráfica del ángulo superior izquierdo para encontrar el % de depreciación por suciedad esperada tomando como base un año (12 meses).

Según las investigaciones realizadas el local se tomar como sucio según la gráfica se toma un % de depreciación del 19 % o 0.19.

Ahora bien, como en la gráfica que se muestra abajo se tiene que dan el valor de la relación de cavidad de cuarto y el análisis que se realizo en el inciso 6 dio como resultado un valor índice del local. Para obtener el valor de cavidad de cuarto se hace lo siguiente:

$$\text{Se tiene que } K = \frac{5}{\text{cavidad de relación de cuarto (R.C.R)}}$$

$$\text{despejando se tiene que } R.C.R = \frac{5}{K}$$

ingresando valores  $R.C.R = 5/2.88 = 1.74$

utilizando la gráfica:

% de depreciación por suciedad = 19

$R.C.R = 1.74$

En este caso no se hace interpolación ya que el factor tanto para un R.C.R 1 y 2 el valor es de 0.96, por lo tanto se puede considerar como valido este factor.

#### 8.2.2 Lámparas quemadas.

El valor de lámparas quemadas se recomienda que no sea menor a un 95 % o 0.95.

#### 8.2.3 Depreciación de los lúmenes de la lámpara (L. L.D).

Este factor se obtiene de la información técnica del fabricante de lámparas o del I.E.S. Normalmente lo dan a un 70 % de la vida de la lámpara. Para este caso en particular el valor obtenido es de 93 % o 0.93.

#### 8.2.4 Factor de depreciación por suciedad acumulada en la luminaria (L.D.D).

Este valor es proporcionado por el fabricante de luminarias (para que se considere verídico deberá ser una fabrica de reconocido prestigio capaz de respaldar dicha información) o un valor aproximado tomado del I.E.S. Para este caso el valor obtenido es del 90 % o 0.90.

Por lo tanto el valor es:

Factor de mantenimiento = (Factores no recuperables) X (Factores recuperables).

$$F.M = (0.88*0.98*0.88*1)X(0.96*0.95*0.93*0.90).$$

$$F.M = 0.76 X 0.76 = 0.58.$$

#### 8.2.5 Número de luminarias.

A continuación conocidos todos los valores, se sustituye en la ecuación del método de lumen:

$$No = \frac{E X L X A}{NL X \Theta X CU X MF}$$



donde:

E = iluminancia requerida = 700 lux.  
L = longitud del ambiente = 46.80 mts.  
A = ancho del ambiente = 12.20 mts.  
NL = número de lámparas en cada luminaria = 4.  
O = flujo de la lámpara = 3000 lm.  
MF = factor de mantenimiento = 0.58.  
CU = coeficiente de utilización = 0.88.

sustituyendo valores:

$$\text{No} = \frac{700 \cdot 46.80 \cdot 12.20}{4 \cdot 3000 \cdot 0.88 \cdot 0.58} = 65.25 \text{ se aproxima a 65 luminarias.}$$

otro método de hacerlo es el siguiente:

$$\Theta = \frac{\text{EXLXA}}{\text{CUXFM}} = \frac{700 \cdot 46.80 \cdot 12.20}{0.88 \cdot 0.58} = 783056.43 \text{ lm.}$$

Considerando que se van a utilizar tubos de alta eficiencia, de potencia de 32 W y una eficiencia de 3000 lm, entonces:

$$\text{No de tubos} = \frac{783056.43}{3000} = 261.01 \text{ se aproxima a 261 tubos.}$$

o como se utilizaran luminarias de 4 tubos, entonces:

$$\text{No de luminarias} = \frac{261}{4} = 65.25 \text{ se aproxima a 65 luminarias.}$$

#### 8.2.6 Esparcimiento máximo (S).

Se tiene que:

$$S(\text{largo}) = 1.5 \cdot h_m = 1.5 \cdot 3.40 = 5.10 \text{ mts.}$$

$$S(\text{ancho}) = (2/3) \cdot 3.40 = 2.27 \text{ mts.}$$

$$\text{No luminarias a lo largo} = \frac{46.80}{5.10} = 9.18 \text{ se aproxima a 9.}$$

$$\text{No luminarias a lo ancho} = \frac{12.20}{3.40} = 3.58 \text{ se aproxima a } 4.$$

Ahora bien, si se multiplica el número de luminarias a lo largo por el de a lo ancho se tiene que da un valor de 36, este valor no sirve ya que se necesita por lo menos 65 luminarias para cumplir con lo mínimo, entonces a partir de aquí se empieza a buscar un múltiplo de 65 y para que de este valor tienen que haber a lo largo 13 luminarias y a lo ancho 5, esto multiplicado da 65.

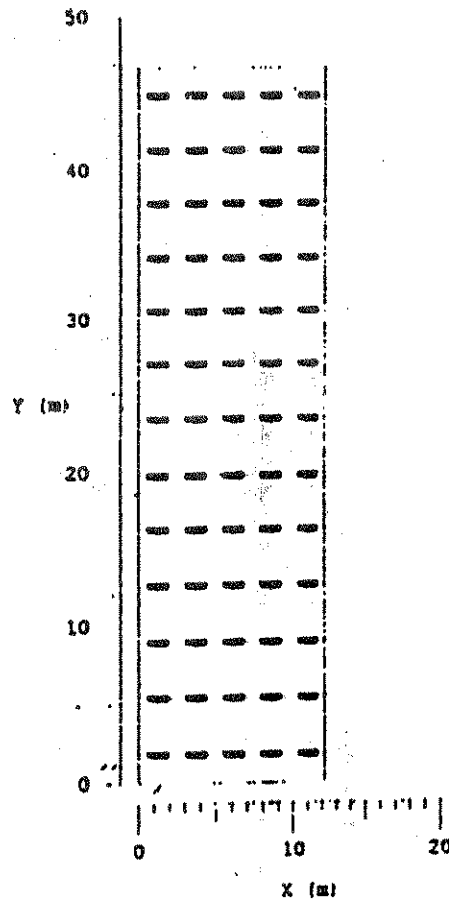
Entonces se tiene que:

$$\text{a lo largo} = \frac{46.80}{13} = 3.60 \text{ mt.}$$

Espacimiento efectivo:

$$\text{a lo ancho} = \frac{12.20}{5} = 2.44 \text{ mt.}$$

### 8.2.7 Distribución de luminarias.



### 6.3.2 Tabla de resumen de luminarias utilizando procedimiento de inciso anterior.

A continuación se dará un resumen del número de luminarias que sí se utilizarán con balastro electrónico y tubos de alta eficiencia; y en los ambientes en donde existan luminarias incandescentes se pueden utilizar lámparas compactas ahorradoras de energía.

SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN									
Ambiente	No. de tubos / luminaria	No. de Bombillas / luminaria	Consumo bombillas (W)	Consumo Balas. + Lámp. (W)	Rend. lumínico tubo	Cantidad de luminaria	Tiempo de operación anual	Total de consumo KW-HR	Costo Consumo
Gerencia General, planta alta	4			48	2600 lm.	17	2910	9498.24	Q. 4,369.19
Gerencia General, planta baja	4	11	75		2600 lm.	14	2910	2400.75	Q. 1,104.35
Producción de planta	4			48	2600 ml	81	2910	45256.32	Q. 20,817.91

Costo anual de operación = potencia de entrada del sistema X No. de luminarias X tiempo de operación X costo de Kw.Hr.  
 La potencia de entrada del sistema se tiene que dividir entre 1000 para que de Kw.

Para obtener el valor total del consumo de Kw.Hr. se tomo el consumo total por luminaria y se multiplicó por el total de horas trabajadas en el año.

Para obtener el valor total del costo del consumo, este se obtuvo de la multiplicación del consumo de Kw.Hr. por el valor de este en el mercado, según datos proporcionados por la empresa eléctrica. El valor del Kw.Hr. es de Q.0.46 para la industria.

Ahora bien, se va hacer la comparación utilizando los mismos cuerpos de luminarias, esto en el caso de luminarias fluorescentes y los mismos plafones en el caso de las lámparas incandescentes. Se va a utilizar el mismo número de tubos, solo que los ahorradores de energía, balastro electrónicos en vez de balastos magnéticos y para los bombillos incandescentes se van a sustituir por lámparas compactas ahorradoras de energía de 18 W, que su salida de lumanes es equivalente a una bombilla de 75W.

**PROYECTO DE ILUMINACIÓN CAMBIANDO TODO EL SISTEMA  
POR EQUIPOS NUEVOS CON AHORRADORES DE ENERGÍA**

Ambiente	No. de tubos / luminaria	Consumo Balas. + Lámp. (W)	Rend. lumínico tubo	Num de Lumin.	Tiempo de operación anual (Hrs.)	Total de Consumo KW.Hr.	Costo del Consumo	Tipo de Lumin.
<b>Gerencia General, Planta Alta</b>								
Jefatura	4	30	3000 lm	3	2910	1047.6	Q. 481.90	1
Sec y recepción	4	30	3000 lm	3	2910	1047.6	Q. 481.90	1
Sala de espera	4	30	3000 lm	3	2910	1047.6	Q. 481.90	1
Compras	3	29	3000 lm	3	2910	759.51	Q. 349.37	2
Contabilidad	3	29	3000 lm	3	2910	759.51	Q. 349.37	2
Finanzas	4	30	3000 lm	1	2910	349.2	Q. 160.63	1
Pasillo	1	18	1000 lm	2	2910	104.76	Q. 48.19	3
Baño de hombres	1	18	1000 lm	1	2910	52.38	Q. 24.09	3
Baño de mujeres	1	18	3000 lm	1	2910	52.38	Q. 24.09	3
<b>subtotal</b>							Q. 2,401.44	
<b>Gerencia General, Planta Baja</b>								
Ducha caballero	2	30	3000 lm	2	2910	349.2	Q. 160.63	4
Ducha damas	2	30	3000 lm	2	2910	349.2	Q. 160.63	4
Auditorium	3	29	3000 lm	6	2910	1519.02	Q. 698.75	2
Lactario y clinic	2	30	3000 lm	3	2910	523.8	Q. 240.95	2
Pasillo baño y gradas	1	18	1100 lm	7	2910	366.66	Q. 168.66	3
<b>subtotal</b>							Q. 1,429.62	
<b>Gerencia General</b>								
Sección de corte y tendido	4	30	3000 lm	14	2910	4938.8	Q. 2,248.85	1
Taller de mecánica y marcado	4	30	3000 lm	8	2910	2793.6	Q. 1,285.06	1
Oficina de G.G. de Planta	4	30	3000 lm	8	2910	2793.6	Q. 1,285.06	1
Producción	4	30	3000 lm	65	2910	22698	Q. 10,441.08	1
<b>subtotal</b>							Q. 15,260.05	
<b>Totales</b>							Q. 19,091.11	

Analizando, del total de Kw.Hr. se puede obtener que el consumo en potencia es igual a 14,262 W y esto es anual si se considera si el sistema trabaja a plena carga las 2910 horas al año.

- Nota: 1 luminaria tipo empotrable en cielo de 4 tubos.  
 2 luminaria tipo empotrable en cielo de 3 tubos.  
 3 bombilla compacta ahorradora de energía.  
 4 luminaria tipo industrial de 2 y 4 tubos.

### RESUMEN DE AHORRO DE DINERO UTILIZANDO UN SISTEMA NUEVO

Ambiente	Sistema Actual	Rend. lumínico actual	Sistema nuevo de Proyecto	Rend. lumínico propuesto	% aumento lumínico	Ahorro en Dinero	% Ahorro
<b>Gerencia General, Planta Alta</b>	Q. 4,369.19	2600 lm	Q. 2,401.45	3000 lm	13.30%	Q. 1,967.74	45.037%
<b>Gerencia General, Planta Baja</b>	Q. 4,702.50	2600 lm	Q. 1,429.82	3000 lm	13.30%	Q. 3,272.88	69.599%
<b>Producción de planta</b>	Q. 20,817.91	2600 lm	Q. 15,260.00	3000 lm	13.30%	Q. 5,557.91	26.698%
						<b>Promedio</b>	<b>47.111%</b>

## Conclusiones

1. El desarrollo de los nuevos productos supone un importante esfuerzo de investigación, ya que, a raíz del encarecimiento de la energía, esta investigación se ha dirigido hacia una búsqueda constante de la mejora de la eficacia energética. Por ejemplo, la simple observación de los tipos de fuentes de luz que se pueden utilizar en la actualidad revela una diferencia notable, en términos de eficacia luminosa, con los empleados hace quince años en esas mismas aplicaciones.
2. Las lámparas incandescentes, aun cuando son las de menor eficacia energética, van a seguir teniendo una utilización importante en el sector doméstico, no es previsible la sustitución, a medio plazo, por otros tipos. Su evolución tiende hacia nuevas formas y acabados de carácter comercial más que técnico.
3. Los tubos fluorescentes han llegado a unos resultados de eficiencia luminosa y rendimiento de color tan notables que no tienen prácticamente competencia en gran número de aplicaciones. Ya existe la utilización de los balastos electrónicos de alta frecuencia con tubos fluorescentes ahorradores de energía.
4. Las lámparas fluorescentes compactas y miniaturizadas han supuesto una alternativa altamente eficaz y rentable de sustitución de las lámparas incandescentes en el sector comercial (encendido permanente y de alta duración), su generalización al sector doméstico dependerá fundamentalmente del incremento del precio y el de la energía eléctrica.
5. Las lámparas de descarga en vapor de mercurio a alta presión están en fase de declive, aunque por su bajo precio siguen siendo de preferencia, salvo las de tipo de halogenuros metálicos, que por su alta eficacia combinada con un alto rendimiento de color, así como su disponibilidad en altas potencias las hacen insustituibles en determinadas aplicaciones y ser una solución muy aconsejable en un gran número de casos.
6. Las lámparas de vapor de sodio a alta presión son uno de los tipos de lámparas en los que más se está trabajando en su perfeccionamiento. Su elevada eficacia luminosa hace que sea la de utilización más generalizada entre las de descarga de alta intensidad. Los nuevos desarrollos van dirigidos en dos sentidos:
7. Mejora en el rendimiento de color. Introducción de lámparas de baja potencia con un IRC muy mejorado.
8. En cuanto al proyecto de la fábrica se puede concluir que haciendo una sustitución únicamente de lámparas y balastos por lámparas fluorescentes ahorradoras de energía con su respectivo balastro electrónico, esto sin cambiar luminarias, sino que, solamente limpiando y repintando los ya existentes, se puede llegar a obtener un 28.99 % anual en ahorro de energía.
9. En cuanto al proyecto de la fábrica, pero cambiando totalmente todo el sistema de iluminación, utilizando lámparas fluorescentes ahorradoras de energía, balastos

electrónicos y luminarias nuevas, con un nuevo diseño totalmente mejorado, se llega a obtener hasta un 47.11 % anual en ahorro de energía.

## Recomendaciones

Dada la gran diversidad de aplicaciones o sectores en los que se aplica el alumbrado artificial se exponen a continuación una serie de recomendaciones de actuación, diferenciando algunos criterios que pueden servir de base para la selección de los equipos más adecuados a las distintas aplicaciones.

### Diseño

Se aconseja evitar prácticas generalizadas por la costumbre, basadas en estimaciones o experiencias similares que normalmente conducen a la realización de instalaciones poco aptas a las funciones visuales requeridas y, a corto plazo, obsoletas, realizando, por el contrario, un cálculo razonado de la instalación, que tenga en cuenta el tipo de local, la actividad a desarrollar, el tipo de lámparas y luminarias y cualquier otro factor que tenga influencia sobre los anteriores.

Se debe seleccionar, de manera rigurosa, el nivel de iluminación adecuado al tipo de actividad (a través de recomendaciones que se dan en el apéndice) y prever la posibilidad de establecimiento de distintos niveles.

Se debe considerar la importancia del deslumbramiento ( aspecto que desgraciadamente se tiene en cuenta en muy pocos diseños) en la mayoría de las aplicaciones de iluminación, exigiendo como mínimo:

- La limitación del deslumbramiento directo, en todos los casos en que exista una permanencia continua de personas bajo el sistema de iluminación.
- Una adecuada atenuación o eliminación total del deslumbramiento reflejado, cuando exista una continuidad de la función visual en áreas reducidas.

### Lámparas

Se debe considerar primero entre todas las posibles fuentes de luz aplicables en un caso concreto, las de mayor eficacia luminosa, con el objetivo primario de obtener una instalación energéticamente eficiente y que proporcione mayor uniformidad (salvo que se pretenda lo contrario es decir un sistema no uniforme).

El rendimiento de color como criterio de selección de fuentes de luz se debe utilizar únicamente cuando resulta verdaderamente necesario obtener una reproducción cromática fiable.

Se debe considerar el régimen de funcionamiento de la instalación, como dato de selección del tipo de lámpara; las de descarga no son recomendable cuando existen numerosas operaciones de conexión y desconexión a lo largo del día, mientras que en los casos de funcionamiento prolongado son claramente ventajosas, frente a las fuentes de luz por incandescencia.

Se debe respetar la posición de funcionamiento de la lámpara, indicada por el fabricante, por la influencia decisiva que tiene en su duración. Si la posición no se puede respetarse, es siempre preferible acudir a otra fuente de luz.



Se debe prever las condiciones de funcionamiento de la lámpara (variaciones de tensión, temperatura ambiente, etc) para asegurar una elección acertada.

### **Luminarias**

Las luminarias se seleccionarán de modo que su distribución fotométrica sea adecuada al tipo de aplicación, con el objetivo de lograr el nivel de iluminación requerido y una adecuada uniformidad con el menor número posible de puntos de luz.

Se debe elegir luminarias de alto rendimiento, con sistemas ópticos reflectores que mantengan sus características de estabilidad a lo largo del tiempo.

Se debe establecer un control de deslumbramiento apropiado al tipo de aplicación, evitando la visión directa de la fuente de luz, mediante sistemas de apantallamiento (rejillas), difusores y refractores.

Se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales del lugar de instalación de las luminarias, para seleccionar éstas de acuerdo con unas características mecánicas que las hagan aptas para un funcionamiento duradero (penetración de sólidos, líquidos y resistencia al choque).

En el caso de luminarias para lámparas de descarga, se seleccionará aquellas que estén provistas de condensadores para la corrección del factor de potencia, usualmente denominadas luminarias de alto factor.

Se tiene que tomar en cuenta en el tipo de luminaria, la existencia de labores de mantenimiento, que deben ser simplificadas al máximo, evitando complicaciones de montaje y utilización de distintas herramientas y facilitando el acceso a las lámparas, sistema óptico y equipos auxiliares.

Se debe seleccionar preferentemente luminarias de clase I (con contacto de puesta a tierra) o clase II (doble aislamiento), para garantizar una adecuada seguridad eléctrica.

### **Ahorro de energía**

Se debe hacer conciencia sobre la importancia de hoy en día en el ahorro de energía, que se puede lograr en los sistemas de iluminación y esto se puede ampliar mucho más en el curso de instalaciones eléctricas, para que los alumnos tengan un mejor y mas avanzado concepto sobre las nuevas técnicas y criterios de iluminación que existen para ahorrar energía.

## BIBLIOGRAFIA

ADVANCE transformer Co. Ballast Selection Guide. Estados Unidos: s.e, 1995.

Camarena M, Pedro. Mantenimiento Electrico Industrial. Tercera edición. Mexico, D.F: Luca, 1977.

Edminister, Joseph A. Circuitos Electricos. Segunda edición. Mexico, D.F: McGraw-Hill, 1983.

Fernandez Salazar, Luis C. De Landa Amezua, Jaime. Tecnicas y Aplicaciones de la Iluminación. Segunda edición. España: McGraw-Hill, 1993.

Katsava Vakis D. Constantino. Beneficios de un buen alumbrado sinonimo de economía. Costa Rica: s.e, 1986.

Holophane. Diseño Profesional de un proyecto de alumbrado. Primera edición. Guatemala: 1993.

Morrow, Editor. Manual de Mantenimiento Industrial. Tercera edición. Mexico, D.F: Trillas, 1984.

Philips Iluminación. Manual de alumbrado Philips. Tercera edición. Madrid, España: Paraninfo, 1983.

Philips Lighting. Lamp Specification and Application Guide. Primera edición. Somerset, NJ: 1995.