

## ***CAPÍTULO 2***

# **SISTEMAS DE ILUMINACIÓN**

Un sistema de iluminación es un conjunto de elementos, que se diseña para proporcionar una visibilidad clara y los aspectos estéticos requeridos en un espacio y actividades definidas. Esto se realiza seleccionando las mejores luminarias y lámparas que proporcionan el nivel de iluminación adecuado para cada tarea y se minimicen efectos de brillo directo y reflejado buscando en todos los casos optimizar el uso de energía y reducir el costo operativo.

Un sistema de iluminación está integrado por los siguientes elementos:

- **Lámparas.** Son las encargadas de transformar la energía eléctrica en luminosa.
- **Luminarios.** Son los gabinetes que contienen a las lámparas y en algunos casos también el balastro, además sirven para controlar y dirigir el flujo luminoso de una o más lámparas.
- **Balastos.** Son dispositivos electromagnéticos, electrónicos o híbridos, los cuales limitan la corriente de las lámparas y cuando es necesario, la tensión y corriente de encendido.
- **Dispositivos de control.** Son dispositivos tales como apagadores, fotoceldas, controladores de tiempo, sensores de movimiento, etc. Para el control de los sistemas de iluminación.



## 2.1 TIPOS DE LÁMPARAS

Las lámparas son la parte fundamental de un sistema de iluminación, se clasifican en:

- Lámparas incandescentes.
- Lámparas de alta intensidad de descarga.
- Lámparas a base de LED.
- Lámparas de inducción.
- Lámparas fluorescentes.

Cada tipo de lámpara tiene características especiales y su aplicación dependerá de la evaluación de sus parámetros principales como pueden ser su costo, vida útil, CRI, flujo luminoso, depreciación del flujo luminoso, etc.

	Eficacia (Lúmenes/Watt)	Vida de la lámpara (horas)	Temperatura de color (Kelvin)	Índice de rendimiento de color	Tiempo de encendido (min)	Mantenimiento de flujo luminoso (%)	Capacidad para regular el flujo luminoso	Efectos de la temperatura	Costo inicial
Fluorescente compacta	60 - 75	10 000	2700 - 4100	82	0	83 - 87	Con balastro dimeable	A bajas temperaturas aumenta el tiempo de encendido	Regular
Fluorescente lineal T8	80 - 95	20 000	2700 - 4100	75 - 85	0	83 - 87	Con balastro dimeable	A bajas temperaturas aumenta el tiempo de encendido	Bajo
Fluorescente lineal T5HO	80 - 95	20 000	2700 - 4100	75 - 85	0	90 - 95	Con balastro dimeable	Salida completa a 35°C, a menores temperaturas se incrementa el tiempo de encendido	Regular
Inducción	60 - 75	100 000	3000 - 4000	80+	0	80	En desarrollo	Las bajas temperaturas hacen que disminuya el flujo luminoso	Muy alto
Aditivos metálicos	80 - 90	10 000 - 20 000	3000 - 4200	65 - 90	5 a 10	80 - 85	Si, pero muy caro	Ninguno	Alto
Sodio alta presión	90 - 105	24 000	1900 - 2100	21 - 85	< 5	88 - 92	No	Ninguno	Alto
Sodio baja presión	100 - 160	16 000	1800	muy pobre	7 a 15	100	No	Ninguno	Regular
Vapor de mercurio	35 - 55	24 000	4000 - 5900	20 - 45	< 10	60 - 65	No	Ninguno	Regular
LED	Varia de acuerdo al color	100 000	Varia de acuerdo al color	Varia de acuerdo al color	0		Con Fuente variable	Las altas o bajas temperaturas ocasionan que aumente la depreciación de flujo luminoso y disminuya su tiempo de vida	Alto
Halógena	18 - 22	2000 - 4000	2800 - 3100	100	0	93 - 97	Con dimmer	Ninguno	Bajo
Incandescente	15 - 18	1000	2700 - 3000	100	0	83 - 87	Con dimmer	Ninguno	Bajo

**Tabla 2-1.** Comparativo de fuentes luminosas.

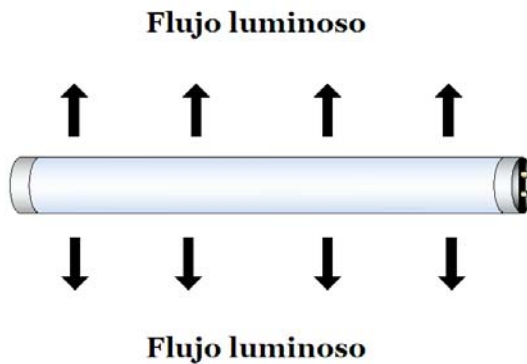


## 2.1.1 TÉRMINOS PARA LÁMPARAS

### 2.1.1.1 FLUJO LUMINOSO

Es la cantidad total de luz emitida por una fuente luminosa. El lumen es la unidad para la medida del flujo luminoso. Un término importante es el de lúmenes iniciales, el cual indica la cantidad de flujo luminoso antes de las primeras 100 horas de operación.

El flujo luminoso también puede estar referido a la salida del luminario, en cuyo caso es menor debido a que el luminario absorbe una porción de la luz producida por las lámparas.



**Figura 2-2.** Flujo luminoso.

### 2.1.1.2 NIVEL DE ILUMINACIÓN

La iluminancia o nivel de iluminación es la intensidad de luz en el plano de trabajo y se expresa como la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie y su área:

$$E = \frac{\phi}{A} [Lux]$$

Donde E es el nivel de iluminación en luxes,  $\phi$  es el flujo luminoso en lúmenes y A es el área de la superficie en metros cuadrados.

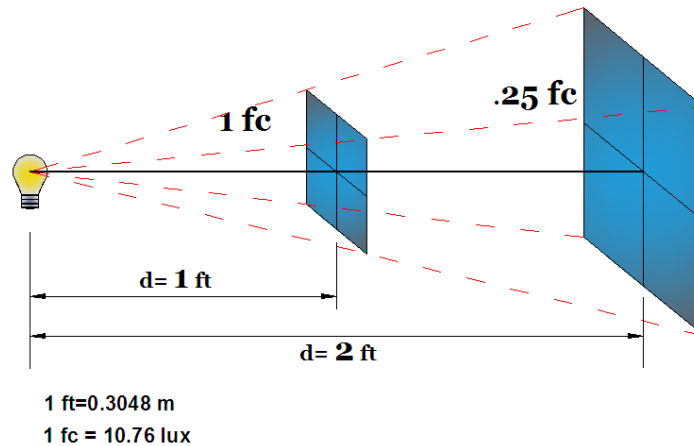
De acuerdo con el SI de unidades el lux se define como la iluminancia de una superficie que recibe un flujo luminoso de 1 lumen, uniformemente repartido sobre 1 m<sup>2</sup> de superficie. En otras palabras esto quiere decir que si un lumen incide sobre un metro cuadrado de superficie, el nivel de iluminación sobre ese metro cuadrado será de 1 lux.

Es importante hacer notar que la iluminancia producida por una fuente luminosa disminuye inversamente con el cuadrado de la distancia desde el plano a iluminar hasta la fuente, como se aprecia en la siguiente expresión:

$$E = \frac{I}{D^2} [Lux]$$



Donde  $I$  es la intensidad luminosa. La intensidad luminosa es una medida espacial para el flujo luminoso y es análoga a la presión en un sistema hidráulico, su unidad es la candela y describe la cantidad de luz en una unidad de ángulo sólido (estereorradián).



**Figura 2-3.** Mientras la luz se aleja de la fuente, el ángulo sólido cubre un área mas grande, pero tanto el ángulo sólido como la cantidad de luz contenida en el permanecen constantes, lo que va disminuyendo es el nivel de iluminación.

### 2.1.1.3 TEMPERATURA DE COLOR

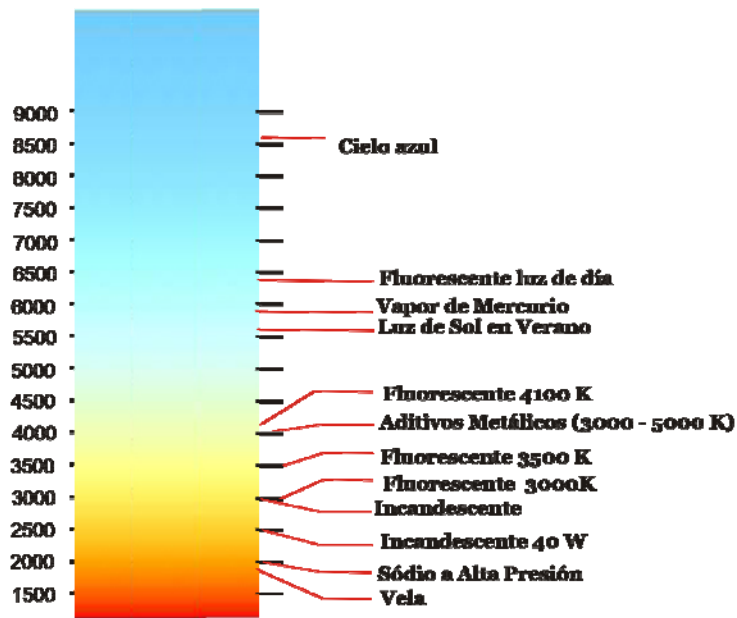
La temperatura de color de una lámpara es la medida de que tan fría o calida es la luz emitida por esta, lo cual tiene un efecto en el aspecto del espacio a iluminar.

Un cuerpo negro emite una radiación con una cierta longitud de onda, la cual dependerá de su temperatura. Para hallar la temperatura de color de una fuente luminosa, se compara con la del cuerpo negro que presenta el mismo color que la fuente analizada. Dicho de otra forma, la tonalidad que es emitida por la lámpara es comparada con la tonalidad que adquiere el cuerpo negro patrón al variar su temperatura; cuando el cuerpo negro alcanza una tonalidad lo más parecido a la lámpara de prueba, se mide su temperatura y esta es la que se le asigna a la lámpara de prueba.

Existe una graduación de los colores en función de su temperatura de color:

- **Colores fríos.** Colores verde, azul y violeta. Sus temperaturas de color están por encima de  $5000^\circ \text{K}$ .
- **Colores intermedios.** Colores como el amarillo y algunas tonalidades del verde. Temperaturas de color entre  $3300^\circ \text{K}$  y  $5000^\circ \text{K}$ .
- **Colores calidos.** Colores como rojo y naranja. La temperatura de color es inferior a los  $3300^\circ \text{K}$ .





**Figura 2-4.** Temperatura de color de algunas fuentes luminosas.

### 2.1.1.4 INDICE DE REPRODUCCIÓN DE COLOR

El índice de reproducción de color cuantifica la fidelidad con la que los colores son reproducidos. El CRI es definido en una escala entre 0 y 100, un alto CRI indica una alta reproducción de color. El CRI en el rango de 75 a 100 se considera como excelente, 65 a 75 es bueno, 55 a 65 regular y menor a 55 se considera como pobre.

Tipo de lámpara	Valor típico de CRI
Incandescente	100
Fluorescente T 12	62 - 85
Fluorescente T 10	82 - 90
Fluorescente T 8	75 - 90
T 5	82 - 90
Fluorescente compacta	82 - 86
Aditivos metálicos	65 - 83
Vapor de mercurio	15 - 50
Vapor de sódio baja presión	0
Vapor de sódio a alta presión	22 - 85

**Tabla 2-2.** Valores típicos de CRI para algunas Lámparas.



### 2.1.1.5 REFLECTANCIA

La reflectancia es la relación entre la luz reflejada y la luz que se recibe (luz incidente), y es un indicador del grado de brillantez de la superficie. Al aumentar la reflectancia se aumenta la eficiencia del sistema de iluminación. Los valores de reflectancia para superficies pintadas son:

COLOR	REFLECTANCIA (%)
BLANCO	70 - 80
AMARILLO CLARO	60 - 70
VERDE CLARO, ROJO CLARO, AZUL CLARO, GRIS CLARO	40 - 50
BEIGE, OCRE, NARANJA, GRIS MEDIO	25 - 35
GRIS OSCURO, ROJO OSCURO, AZUL OSCURO, VERDE OSCURO	10 - 20

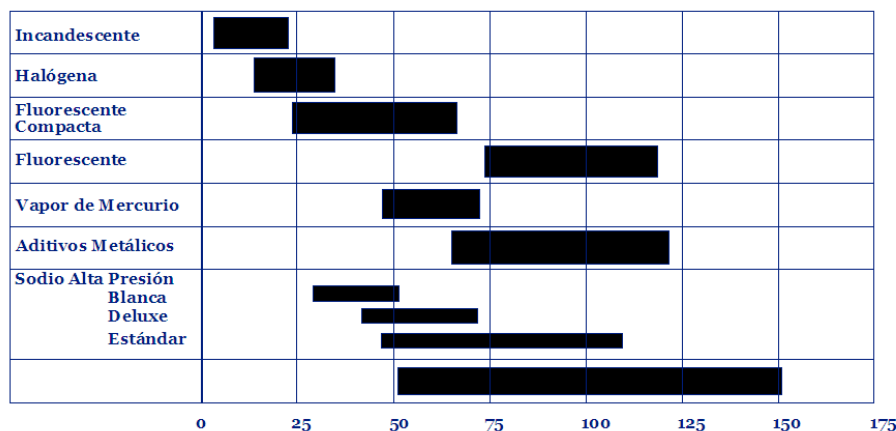
**Tabla 2-3.** Reflectancia de algunas superficies pintadas.

### 2.1.1.6 DEPRECIACIÓN DEL FLUJO LUMINOSO

Debido al envejecimiento de las lámparas, el flujo luminoso va disminuyendo gradualmente con el paso del tiempo, a este cambio se le denomina depreciación de lúmenes o de flujo luminoso y se expresa como un porcentaje del flujo luminoso inicial. Como la potencia de la lámpara es la misma durante toda su vida, la depreciación del flujo luminoso ocasiona la reducción de la eficacia de la lámpara.

### 2.1.1.7 EFICACIA

Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y su potencia. La eficacia permite evaluar que tan buena o mala es una determinada lámpara con respecto a la potencia que consume y el flujo que proporciona.



Los valores de eficacia incluyen pérdidas en balastos y depreciación del flujo luminoso de la lámpara en el 40% de su vida.

**Figura 2-5.** Eficacia para algunas fuentes luminosas.

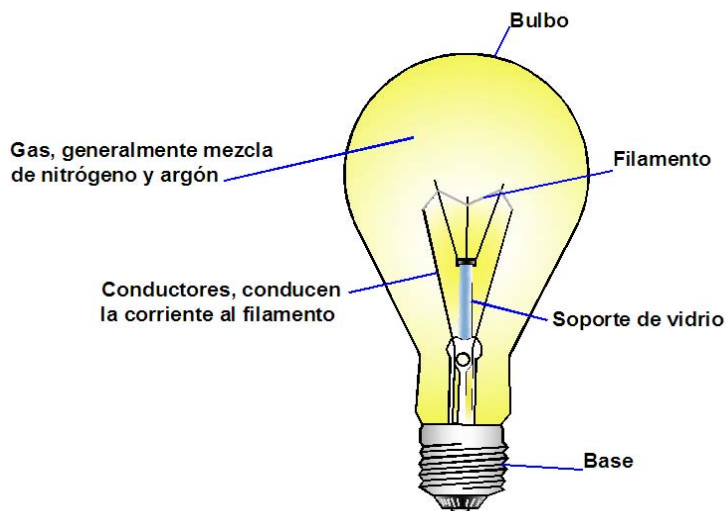


### 2.1.1.8 PARPADEO DE LAS LÁMPARAS (FLICKER)

El parpadeo de las lámparas generalmente esta asociado a sistemas de iluminación fluorescente que operan a 60 Hz (con balastos electromagnéticos). A esta frecuencia la lámpara se prende y se apaga 120 veces por segundo. Este parpadeo aumenta la fatiga visual y produce una sensación de movimiento menor al real en los cuerpos en rotación. Junto con el parpadeo generalmente se presenta ruido emitido por los balastos. Con el empleo de balastos electrónicos se pueden resolver los problemas de parpadeo y vibraciones del balastro ya que operan a una frecuencia alta. La frecuencia de estos balastos esta entre 25 y 40 kHz.

## 2.1.2 LÁMPARAS INCANDESCENTES

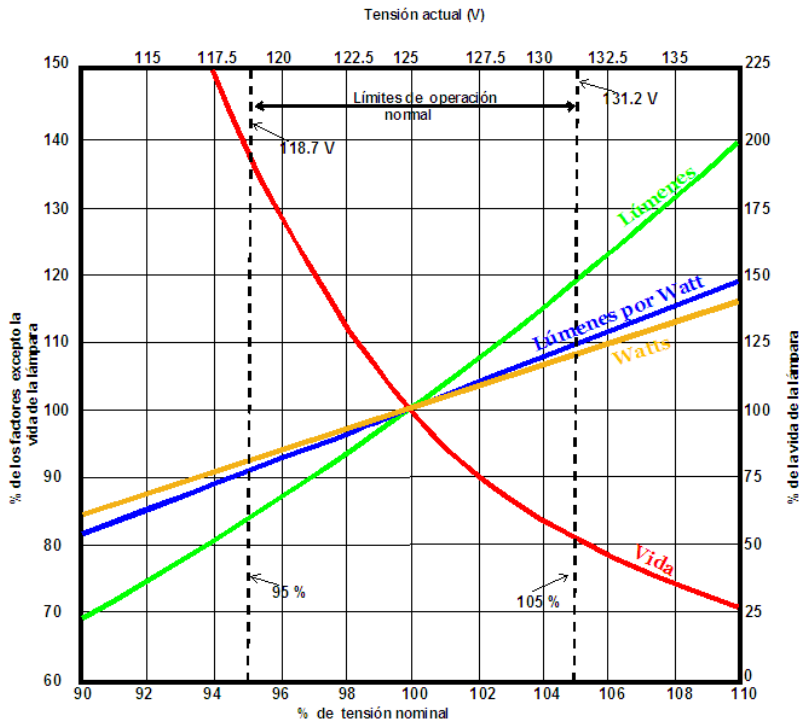
En esta fuente luminosa, la luz se produce por calentamiento de un alambre o filamento que alcanza la incandescencia debido a la circulación de corriente a través de él, este filamento esta construido generalmente de tungsteno ya que este elemento se funde a 3653 K. El filamento se encuentra en el interior de la lámpara, para evitar la oxidación del filamento, a potencias bajas se encuentra al vacío, mientras que a potencias mas elevadas la lámpara esta rellena de nitrógeno, o nitrógeno mas un gas noble (generalmente nitrógeno y argón). Las lámparas halógenas son una variante de las lámparas incandescentes; en estas lámparas el filamento esta contenido dentro de una capsula de cuarzo, la que contiene un gas halógeno.



**Figura 2-6.** Partes de una lámpara incandescente.

Estas lámparas tienen las ventajas de ser de encendido instantáneo, bajo costo, baja temperatura de color, alto CRI, pueden regularse sin problemas con un dimer, no requieren de balastos y pueden funcionar bajo cualquier situación de encendido. Sin embargo, tienen la desventaja de tener una corta vida, baja eficacia y alta sensibilidad a la variación de tensión, lo que afecta su eficacia, su tiempo de vida y su flujo luminoso.





**Figura 2-7.** Efectos del cambio de tensión para una lámpara incandescente estándar de 125 V.

Las lámparas incandescentes tienen tres componentes principales: base, filamento y bulbo. La base es la parte con la que se fija la lámpara y proporciona la conexión eléctrica con la red.

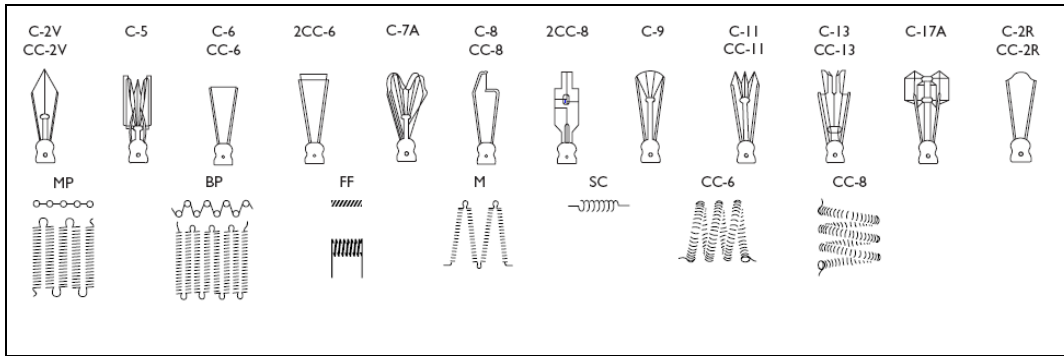


**Figura 2-8.** Algunos tipos de base para lámparas incandescentes (GE).

El filamento es la parte que se calienta con el paso de corriente eléctrica, mediante lo cual se produce la luz. La designación del filamento consta de una o varias letras que indica la forma en que está enrollado, y un número arbitrario algunas veces seguido de una letra para indicar el arreglo del filamento sobre los soportes.







**Figura 2-9.** Tipos de filamentos y su designación (Philips).

El bulbo es la cubierta de vidrio que da forma a la lámpara y en el está contenido el gas y el filamento de la lámpara. Las lámparas son producidas en diversas formas. La forma se designa mediante una o dos letras seguidas de un número. La parte numérica del código indica el máximo diámetro en octavos de pulgada, mientras que la letra indica la forma. Las principales formas que se pueden encontrar son: Tipo vela (B o F), globo (G), reflector (R), reflector parabólico (PAR), multireflector (MR) o tubular (T).



**Figura 2-10.** Tipos de bulbos para lámparas incandescentes (Philips).

### 2.1.3 LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA

El funcionamiento de las lámparas de alta intensidad de descarga es similar al de las lámparas fluorescentes ya que el arco eléctrico se genera entre dos electrodos, aunque en las lámparas de HID este arco es más pequeño y genera mucho más calor, luz y alta presión en su interior. La luz se produce por excitación de gases o vapores metálicos, para ello se produce una tensión entre los dos electrodos, lo que ocasiona un flujo de corriente a través del tubo de descarga llenado con vapores metálicos. Este tubo de descarga contiene ciertos elementos o



mezcla de elementos que se gasifican y generan una radiación visible cuando se genera el arco entre los electrodos de cada polo. Las bases y formas de lámpara más comunes se muestran en las siguientes figuras.



**Figura 2-11.** Algunos tipos de bases para lámparas de alta intensidad de descarga.



**Figura 2-12.** Tipos de bulbo más comúnmente utilizados en lámparas de alta intensidad de descarga.

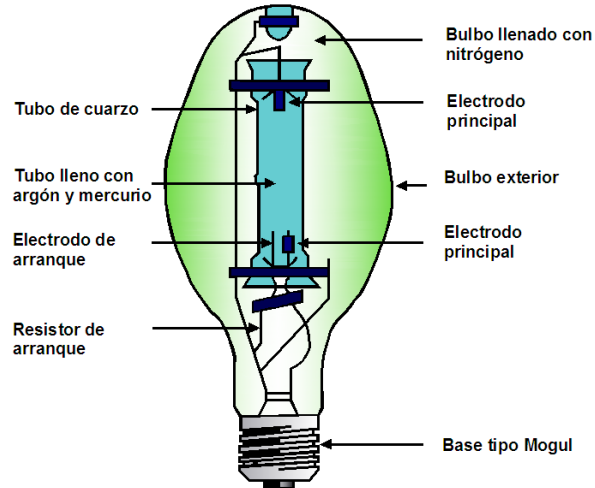
Las principales ventajas de las lámparas de alta intensidad de descarga son su alta eficacia, larga vida y buen control de luz. La principal desventaja es la necesidad de balastos y en algunos tipos el muy bajo CRI.

Las lámparas de alta intensidad de descarga son las siguientes:

➤ *Vapor de mercurio.*

La luz se produce debido al paso de corriente eléctrica ( el arco se forma a partir de electrodos de tungsteno en el tubo de arco) a través de gas a baja presión. El gas está formado por mercurio y argón y esta contenido en el tubo de arco. Este tubo de arco esta contenido dentro

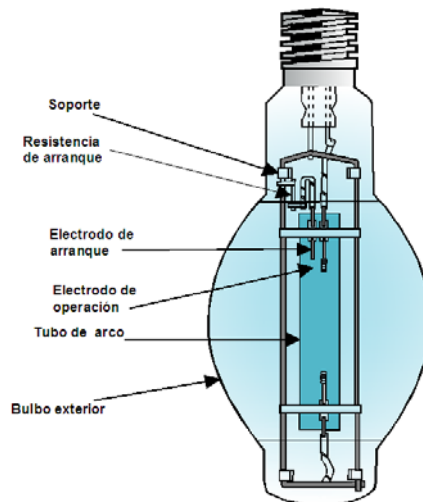
de un bulbo externo lleno de nitrógeno. Estas lámparas producen una luz violeta, verde azulada amarillenta o blanquecina. Tienen un CRI típico de 50. La vida es aproximadamente de 24 000 horas para la mayoría de lámparas de mayor potencia, tienen una eficacia baja (entre 30 y 60 lúmenes por watt), tiempo de arranque de 47 minutos para lograr la máxima salida y una alta depreciación de flujo luminoso.



**Figura 2-13.** Lámpara de vapor de mercurio.

➤ **Aditivos metálicos.**

Las lámparas de aditivos metálicos son similares en su constitución a las lámparas de vapor de mercurio, pero adicionalmente tienen otros elementos metálicos en el tubo de arco. Con la adición de estos elementos se tiene una mayor eficacia (entre 60 y 100 lúmenes por watt) y una mejora en el rendimiento de color al grado que esta lámpara es adecuada para áreas comerciales (CRI entre 65 y 80). Su tiempo de arranque es de 47 minutos, sin embargo si se apagan se tiene que esperar aproximadamente 12 minutos hasta que la lámpara se enfríe. Su temperatura de color esta entre los 3000 y 5000 K. La principal desventaja de estas lámparas es su corta vida (entre 7500 y 20 000 horas) comparadas con la de las otras lámparas de alta intensidad de descarga.



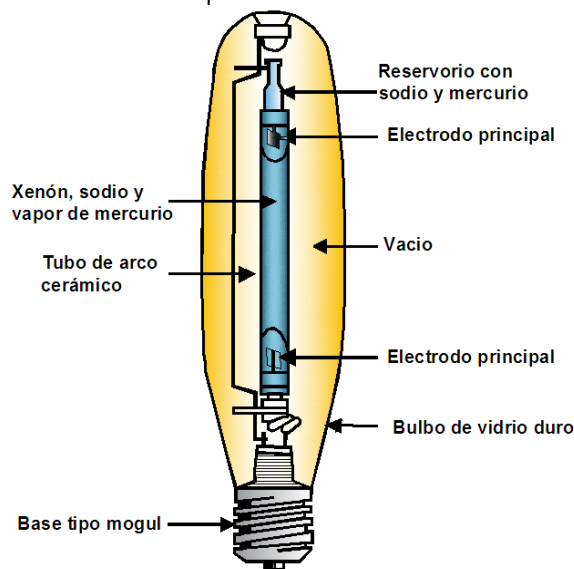
**Figura 2-14.** Lámpara de aditivos metálicos.



➤ *Vapor de sodio a alta presión.*

A diferencia de las otras lámparas de alta intensidad de descarga, esta lámpara no contiene electrodos para su arranque, el balastro contienen un arrancador electrónico que proporciona el alto voltaje necesario para su arranque. El tubo de arco esta hecho de un material cerámico que puede soportar hasta 2372° F, esta lleno de xenón para ayudad a iniciar el arco, así como de una mezcla de mercurio y sodio, siendo el sodio el elemento principal. Su temperatura de color es aproximadamente de 2100 K, siendo el color amarillo – dorado la principal característica de una lámpara de sodio a alta presión estándar.

Este tipo de lámpara es usada en vías públicas y zonas industriales. Tienen una eficacia arriba de 115 lúmenes por watt y un CRI de 22 por lo que las lámparas estándar son utilizadas en lugares donde la interpretación del color no sea crítica.



**Figura 2-15.** Lámpara de sodio a alta presión.

Existe otra lámpara de vapor de sodio pero a baja presión, que no es propiamente clasificada como de alta intensidad de descarga. Son las lámparas más eficientes, pero son las de peor reproducción de color ya que tienen un CRI de cero, por lo que bajo su luz solo se observan los objetos de color negro, blanco o algún tono de gris. El color característico de esta lámpara es anaranjado y su uso esta limitado a zonas exteriores o donde la calidad de reproducción de color no sea importante.

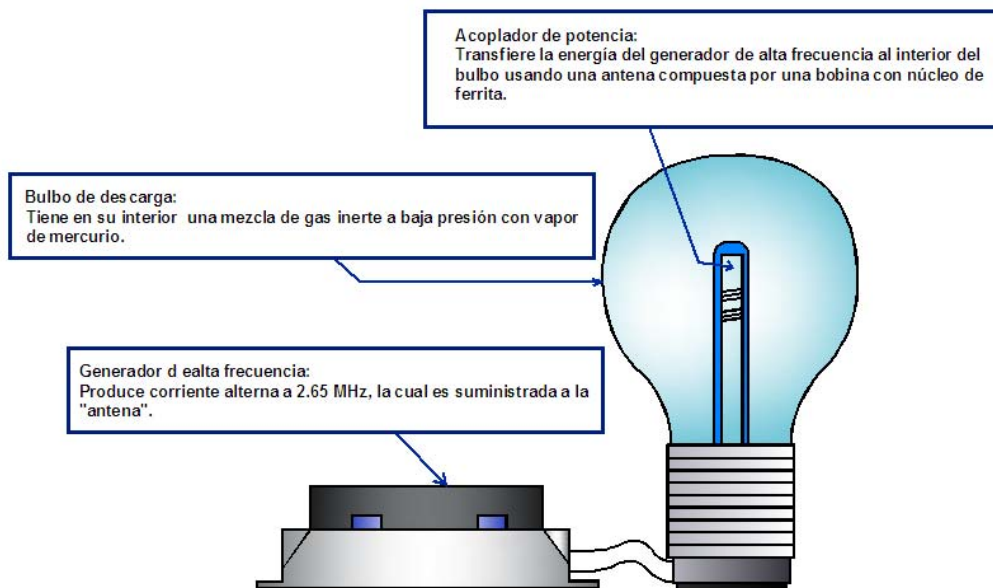
## 2.1.4 LÁMPARAS DE INDUCCIÓN

Las lámparas de inducción son en esencia lámparas fluorescentes, pero sin electrodos. Tienen una alta eficacia, son de encendido y apagado instantáneo, buen rendimiento de color y largo tiempo de vida (entre 70 000 y 100 000 horas).



A pesar de su costo inicial, estas lámparas ofrecen ventajas tales como ahorro de energía y ahorro en gastos por mantenimiento, su utilización es principalmente en lugares donde se emplean las lámparas de aditivos metálicos o de vapor de sodio a alta presión. Su encendido instantáneo y su tiempo de vida hacen que sean confiables y fáciles de controlar por sensores de movimiento. En este tipo de lámparas la luz es generada por medio de inducción (transmisión de energía por medio de un campo magnético), combinada con una descarga en un gas.

La fuente de energía es una bobina de inducción (equivalente a la bobina del primario en un transformador), la cual es energizada por un generador electrónico de alta frecuencia. La bobina del secundario está representada por gas a baja presión mezclado con vapor metálico en el interior del bulbo de la lámpara. La corriente inducida causa la aceleración de las partículas del vapor metálico, el choque de estas partículas da como resultado la ionización y excitación de los átomos del vapor metálico y el incremento del nivel energético de sus electrones libres. Posteriormente los electrones excitados regresan a un estado estable nuevamente, al hacer esto se emite radiación ultravioleta la cual choca con las capas fluorescentes dentro del bulbo de la lámpara ocasionando con esto que la luz sea emitida.



**Figura 2-16.** Sistema de iluminación por inducción QL de Philips.

## 2.1.5 LÁMPARAS LED

Un LED es un diodo emisor de luz, se puede decir que es una pequeña lámpara de estado sólido. Los LED funcionan con corriente directa por lo que es necesario disponer de una fuente especial para su funcionamiento. Los LED producen un haz estrecho y direccional lo que los hace ideales para iluminación de emergencia, decorativa y señales de tránsito. Sin embargo con el aumento de la eficacia y el desarrollo de luminarios han hecho que la aplicación de los LEDs sea posible en otras áreas ya que hoy en día existen diversos tipos de lámparas hechas a base de LEDs, esto es, se hacen arreglos de LEDs y se disponen dentro de un bulbo para tener un equivalente a las lámparas existentes y con temperaturas de color mayores a los 3000 K.



Algunos de estos arreglos son los tipo par, globo, tubular, existiendo también disposiciones para alumbrado exterior.



**Figura 2-17.** Algunos tipos de lámparas hechas a base de LEDs.

Las principales ventajas de los LED son: bajo consumo energético, poco calor generado, fáciles de programar y controlar, rápida respuesta; encendido y apagado instantáneo, baja depreciación luminosa y operando en condiciones normales tiene una larga duración (entre 50 000 y 100 000 horas de vida).

Las principales desventajas son problemas con altas temperaturas, necesidad de fuentes de alimentación estabilizadas y precio elevado.

## 2.1.6 LÁMPARAS FLUORESCENTES

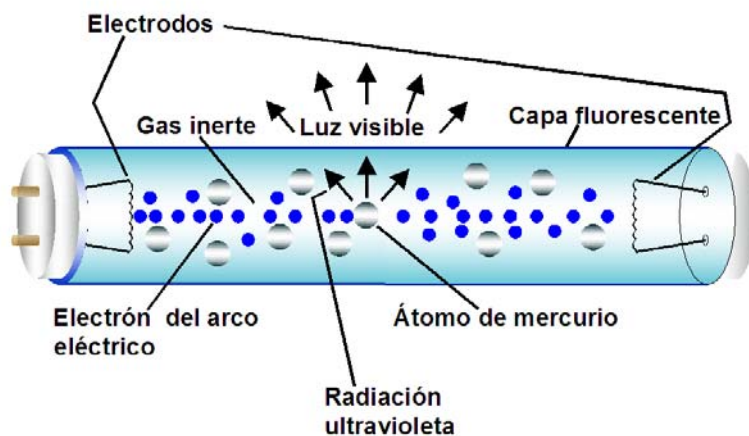
Las lámparas fluorescentes producen la luz gracias a un arco eléctrico que se forma entre los electrodos y pasa a través de un tubo lleno de gas a baja presión, el cual contiene vapor de mercurio y un gas inerte.

Los electrodos son de un alambre delgado de tungsteno generalmente y es parecido al filamento de las lámparas incandescentes, aunque su función es diferente; son diseñados de acuerdo al tipo de arranque de la lámpara. Estos electrodos se localizan en los extremos del tubo y funcionan como terminales del arco eléctrico. Durante la operación, los electrodos son calentados ya sea por el flujo de corriente o por aplicación de tensión a través de ellos; el calor ayuda a liberar los electrones.



El gas inerte se utiliza para facilitar el inicio del arco eléctrico dentro de la lámpara. En las lámparas estándar se utiliza argón, neón o en algunas ocasiones xenón. Las lámparas ahorradoras utilizan también kriptón. Estos gases se ionizan fácilmente cuando es aplicada tensión a través de la lámpara y proporcionan un camino para el arco eléctrico, algunos electrones de este arco chocan con los electrones de los átomos de mercurio. Cuando esto ocurre, los electrones de los átomos de mercurio son golpeados y debido a la energía que adquieren como resultado de la colisión suben a otro nivel de mayor energía. Estos electrones regresan a la normalidad casi al instante, al ocurrir esto emiten la energía absorbida durante la colisión, la longitud de onda de esta energía emitida depende del número de niveles de energía que suba el electrón, así como el número de pasos que emplea en regresar a su estado original; sin embargo la emisión primaria siempre es ultravioleta con una longitud de onda de 253,7 nm.

Las emisiones ultravioleta no son visibles, pero pueden estimular el polvo fluorescente con el cual está cubierta la superficie de la lámpara, la cual se encarga de transformar la radiación ultravioleta en luz visible.



**Figura 2-18.** Funcionamiento de una lámpara fluorescente.

En las lámparas hay diversos tipos de bases, cada una con un propósito especial. La utilización de una determinada base depende del tamaño de la lámpara y su forma.

Las lámparas fluorescentes son fabricadas en forma tubular, estos tubos son fabricados de vidrio, contienen las partes en funcionamiento de las lámparas y proporcionan un ambiente adecuado dentro de la lámpara. Los tubos generalmente tienen un diámetro que varía entre 6 mm (T2) a 54 mm (T17) y la longitud del tubo está entre 100 y 2440 mm (4 – 96 pulgadas). Los tubos pueden ser rectos, en forma de U o circulares; para el caso de las fluorescentes compactas los tubos o “piernas” son unidos de tal forma que se produce un arco eléctrico continuo.



**Figura 2-19.** Bases para lámparas fluorescentes (Philips).





**Figura 2-20.** Tipos de bulbos para lámparas fluorescentes y fluorescentes compactas.

Las eficacias de las lámparas fluorescentes son del orden de los 50 a los 100 lumen/W dependiendo del tipo de lámpara.

Para la designación de las lámparas fluorescentes se utiliza por lo general la siguiente nomenclatura, aunque puede variar dependiendo del fabricante:

### F P DI / ES / RE 735

La **F** es usada para lámparas fluorescentes y puede ir seguida de otra letra que indicará la forma, como puede ser FU para una lámpara en forma de U.

La **P** indica la potencia de la lámpara si la lámpara es de precalentamiento o encendido rápido, pero si es slimline u HO la **P** indicara la longitud.

**DI** indica el diámetro del tubo en octavos de pulgada, así T 12 indicará 12 octavos de pulgada.

**ES** indica ahorradora de energía, puede ser también HO (alta salida). Esta designación generalmente es opcional.





RE C735 indica el CRI y la temperatura de color, en el ejemplo CRI es 70 y la temperatura de color 3500 K.

Las lámparas fluorescentes, pueden ser de varios tipos, como pueden ser:

- **Lámparas con precalentamiento.** Este tipo de lámparas utilizan, además del balastro un arrancador. Cuando se cierra el circuito de la lámpara, los electrodos se calientan con ayuda del arrancador, posteriormente se energizan entre 2 y 5 segundos después con un alto voltaje. La mayoría de las lámparas de precalentamiento son T12 y operan a 430 mA, utilizan bases de dos pines, son de potencia de hasta 90 W y longitudes de entre 6 y 90 pulgadas.
- **Lámparas de encendido rápido.** Son muy parecidas a las lámparas de precalentamiento pero con la diferencia de que no requieren arrancador, y por lo tanto el arco eléctrico se forma de manera instantánea al energizar la lámpara. La corriente consumida por estas lámparas es de 430 mA para lámparas estándar, 800 mA para las de alta salida(HO) y 1500 mA para las de muy alta salida(VHO). Se les llama de alta salida o muy alta salida a las lámparas que emiten un flujo luminoso mayor que las lámparas estándar de las mismas dimensiones. Todas estas lámparas usan bases de doble contacto.
- **Lámparas de encendido instantáneo (Smiline).** Estas lámparas usan un alto voltaje para producir el arco sin la necesidad de precalentamiento de los electrodos. Usan bases de un solo pin, operan generalmente a 200 y 430 mA y en longitudes de 24, 36, 42, 48, 60, 64, 72, 84 y 96 pulgadas. Estas lámparas y sus balastros son más caros que los de encendido rápido y ligeramente menos eficientes; aunque son fabricados en tamaños y para corrientes que no se manejan con las lámparas de encendido rápido.
- **Lámparas ahorradoras.** Estas lámparas fueron desarrolladas para sustituir las lámparas fluorescentes normales, pero operando con entre 10 y 20% menos de su consumo a cambio de entre 5 y 10 % en la reducción de su flujo luminoso. Bajo condiciones estándar de operación tienen una vida útil de 20 000 horas en comparación con las 12000 de las lámparas de encendido rápido normales.
- **Lámparas de Trifósforo o de recubrimiento mejorado.** Estas lámparas son de alta eficiencia, con excelente rendimiento de color. Se llaman de trifósforos debido a que tiene una capa adicional de fosfatos con lo cual se produce la luz primaria a partir de 3 longitudes de onda; 450 nm (azul), 540 nm (verde) y 610 nm (rojo). Estas lámparas, cuando son del tipo T8, operan a 265 mA, potencia nominal de 17, 25, 32, 40 y 59 W para longitudes de 2, 3, 4,5 y 8 pies, respectivamente.
- **Lámparas en forma de U.** Son básicamente lámparas fluorescentes estándar, pero en forma de U y con una separación de 3 5/8 o 6 pulgadas entre piernas, operan con balastros estándar y el flujo luminoso es ligeramente menor que en una lámpara lineal equivalente.
- **Lámparas T5.** Son las lámparas de diámetro más pequeño que utilizan la tecnología de trifósforos, usan bases miniatura de dos pines, producen mas brillantez que las lámparas T8 (por lo que se debe tener cuidado con su aplicación) y tienen un mejor control óptico. También hay lámparas T5 del tipo HO en donde el flujo luminoso es el



doble de una estándar T5. Las potencia principales en que están disponibles son 14, 21,28 y 35 W y en longitudes de 549, 841, 1149 y 1449 mm respectivamente. Los balastos utilizados por estas lámparas deben ser especiales para este tipo de lámparas.

- **Lámparas Fluorescentes Compactas.** Son lámparas pequeñas que tienen el mismo principio de operación de las fluorescentes normales, pueden encontrarse con balastro independiente o integrado. Tienen buena eficacia, aunque menor que las fluorescentes normales, pero son la mejor opción para sustituir las lámparas incandescentes. Tienen un alto índice de rendimiento de color por lo que son adecuadas para aplicaciones domésticas y comerciales, su vida útil es aproximadamente de 10 000 horas. También existen las lámparas fluorescentes compactas ahorradoras, las más comunes son de dos y 4 tubos, las SL y las circulares. La vida útil es de entre 7500 y hasta 20 000 horas.

## **2.2 BALASTROS PARA LÁMPARAS FLUORESCENTES**

Las funciones de un balastro en los sistemas con lámparas fluorescentes son:

- Proporcionar un voltaje controlado para calentar los filamentos de la lámpara en las lámparas de precalentamiento y de encendido rápido.
- Proporcionar el voltaje suficiente para el inicio del arco eléctrico en el interior de la lámpara.
- Limitar la corriente en la lámpara una vez que esta se ha encendido, ya que las lámparas fluorescentes poseen una impedancia que se opone al paso de corriente, pero va disminuyendo a medida que esta aumenta, por este motivo no se pueden utilizar sin balastro.
- Durante la operación de la lámpara, el balastro se encarga, además de la regulación de voltaje, de la corrección del factor de potencia. En balastos electrónicos además se pueden tener componentes para reducir la distorsión armónica y la interferencia electromagnética.

Los balastos pueden ser electromagnéticos o electrónicos y generalmente se clasifican de acuerdo a su tipo de encendido.

### **2.2.1 BALASTROS ELECTROMAGNÉTICOS**

Los balastos electromagnéticos están constituidos por un transformador con bobinas de hilo de cobre y núcleo de acero, la frecuencia de salida de estos balastos es la misma que la de entrada, 60 Hz para México.



El transformador junto con un capacitor entre la línea y el neutro, son la parte esencial de estos balastos, proporcionan la tensión necesaria para el encendido de la lámpara y la regulación de corriente que circula a través de su reactancia.

Debido a los componentes electromagnéticos, se pueden ocasionar vibraciones que producen ruido audible. Los tipos de balastos electromagnéticos son:

- **Balastos electromagnéticos estándar.** Es esencialmente un transformador con núcleo de acero, son ineficientes y su uso está prohibido en algunos países.
- **Balastos electromagnéticos de alta eficiencia.** Estos balastos usan cobre de alta calidad y acero mejorado en el núcleo. Como consecuencia de esto usan un 10 % menos energía que la utilizada por un balastro estándar, sin tener consecuencias en el flujo luminoso de la lámpara. De cualquier forma, estos balastos de "alta eficiencia" son los más ineficientes de los balastos para lámparas fluorescentes.
- **Balastos híbridos.** Son balastos electromagnéticos de alta eficiencia pero cuentan con un circuito electrónico para eliminar la corriente de los filamentos de la lámpara después que esta se enciende. Gracias a la desconexión de los filamentos se consigue un ahorro energético del 8 % para lámparas T12 y del 13% con lámparas T8.

## 2.2.2 BALASTROS ELECTRÓNICOS

En casi todos los sistemas fluorescentes se pueden emplear los balastos electrónicos en lugar de los electromagnéticos. Los balastos electrónicos mejoran la eficiencia del sistema convirtiendo la frecuencia de entrada de 60 Hz en una frecuencia más alta, por lo general entre 20 y 50 kHz. Las lámparas cuando operan a estas frecuencias, producen el mismo flujo luminoso que un balastro electromagnético pero con un consumo entre 12 y 25 % menos de energía. El ahorro de energía se puede incrementar hasta el 40% si se combina un balastro electrónico con un a lámpara fluorescente de trifósforo (recubrimiento mejorado). Las principales ventajas de los balastos electrónicos son:

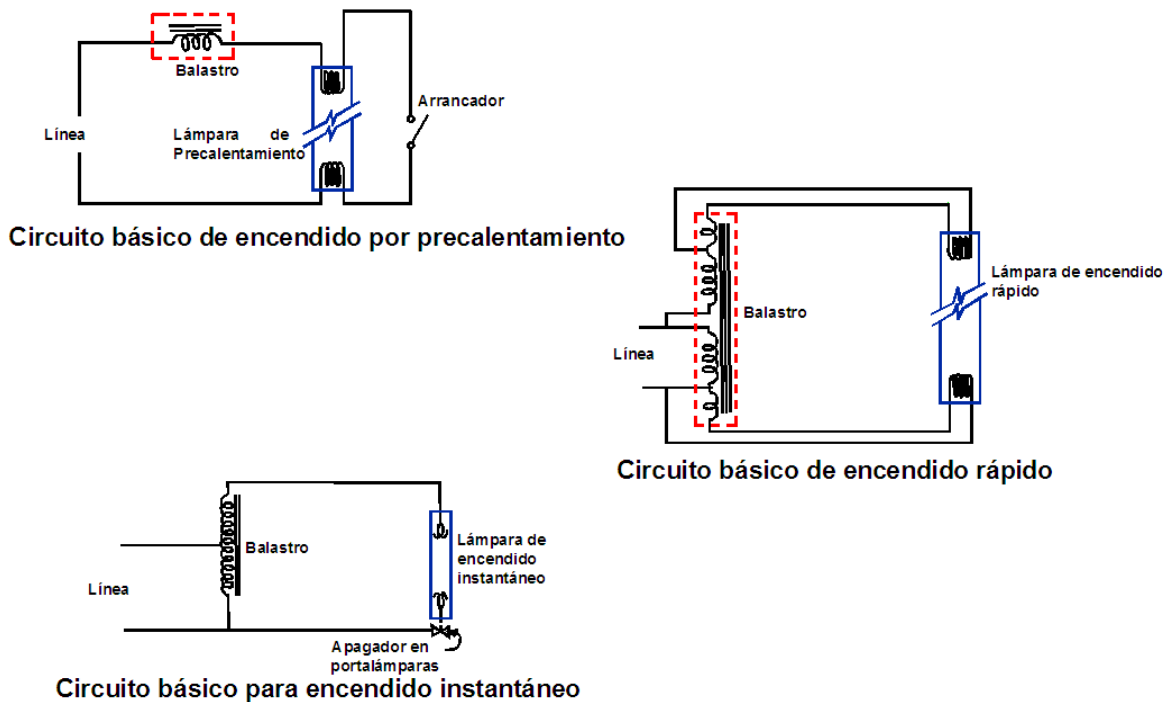
- **Incremento del flujo luminoso.** Debido a su funcionamiento en alta frecuencia, se incrementa el flujo luminoso llegando hasta el 110% con respecto a un balastro operado a 60 Hz, el valor de 110% se presenta entre 40 y 50 kHz permaneciendo constante después de esta frecuencia. Gracias a esta característica, los balastos de alta frecuencia reducen la corriente necesaria.
- **Eliminación del parpadeo.** Los cruces por cero de la señal de corriente son en un tiempo tan corto que no puede ser percibido por el ojo humano. También eliminan el parpadeo que se producía al encender una lámpara con el equipo convencional.
- **Alto factor de potencia.** Mayor a 0.9.
- **Temperatura de operación.** La temperatura de operación del balastro electrónico es menor a uno electromagnético.



- **Bajo ruido audible.** El ruido producido por estos balastos es menor a los 30 decibeles, por lo que su operación es muy silenciosa.
- **Mayor vida.** La vida de un balastro electrónico es de 3 a 5 veces mayor que uno electromagnético.
- **Menor peso.** Estos balastos son de menor peso y tamaño que los electromagnéticos debido a que no utilizan transformadores.
- **Regulación de flujo luminoso.** Tienen la posibilidad de regular el flujo luminoso, con lo que se obtiene una reducción del consumo obteniéndose un nivel de iluminación acorde a las necesidades reales de cada instalación y en cada momento.

### 2.2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS BALASTROS

Una manera en que se clasifican los balastos es de acuerdo a su encendido, de tal forma que se tienen los balastos de encendido normal (precalentamiento), de encendido rápido y de encendido instantáneo. En general, las lámparas que se identifican como de encendido con precalentamiento, encendido rápido o encendido instantáneo deben usar el tipo de balastro correspondiente.



**Figura 2-21.** Circuitos básicos para precalentamiento, encendido rápido y encendido instantáneo.

### **2.2.3.1 BALASTROS DE ARRANQUE CON PRECALENTAMIENTO**

Al encender el balastro se activa un arrancador, el cual es el encargado de proporcionar una tensión en los filamentos de la lámpara de tal modo que circule una corriente superior a la corriente de operación normal para precalentar los filamentos. Después de entre 3 y 4 segundos el arrancador queda abierto y se genera un pico de tensión que inicia el arco eléctrico entre los electrodos que ya están calientes y listos para iniciar la operación de la lámpara. A partir de ese momento y hasta el apagado de la lámpara, el balastro proporciona la corriente necesaria para el funcionamiento de la lámpara.

### **2.2.3.2 BALASTROS DE ARRANQUE RÁPIDO**

Con estos balastros se tiene un encendido suave de las lámparas, con balastros electromagnéticos los filamentos son calentados constantemente por el balastro, con lo que se facilita el encendido de la lámpara aproximadamente en 2 segundos.

Con balastros electrónicos el encendido controla electrónicamente el sistema de calentamiento previo de los filamentos de la lámpara, el balastro genera una pequeña tensión en cada filamento y en seguida una tensión de circuito abierto entre los extremos de la lámpara. El tiempo que transcurre entre el energizado del balastro y el encendido de la lámpara toma entre 1 y 2.5 segundos.

Los balastros para lámparas de encendido rápido están diseñados para operar entre 10 y 40°C, cuando se requiere operarlos a otras temperaturas es necesario utilizar balastros especiales.

Los balastros de encendido rápido no tienen el mismo ahorro de energía que puede tener uno de encendido instantáneo, pero no disminuyen la vida de la lámpara al encenderla y apagarla, por lo que se pueden utilizar sin problema con controles automáticos de iluminación.

### **2.2.3.3 BALASTROS DE ARRANQUE INSTANTANEO**

Los balastros de encendido instantáneo están diseñados para operar lámparas SLIMLINE; Estas lámparas no requieren calentamiento previo por lo que no se utiliza arrancador, pero se requiere una mayor tensión en el encendido. Un balastro de encendido instantáneo enciende las lámparas en secuencia una después de la otra y cada parte del balastro realiza una función específica. Una vez encendidas las lámparas una parte del balastro deja de operar, razón por la que se deben sustituir las lámparas en cuando se fundan ya que de no hacerlo, el balastro se dañara además las demás lámparas bajaran su brillantez.

Los balastros de arranque instantáneo tienen la ventaja de requerir baja potencia de entrada, sin embargo si las lámparas son encendidas y apagadas frecuentemente, el balastro de arranque instantáneo ocasiona la disminución de la vida de la lámpara. El ahorro de energía es el principal beneficio en aplicaciones donde las lámparas permanecerán encendidas por largos periodos de tiempo.

Estos balastros no deben ser utilizados en lugares donde existan controles automáticos de iluminación como detectores de presencia o control por fotosensores.



### 2.2.3.4 BALASTROS DE ARRANQUE PROGRAMADO

Estos balastros retrasan el calentamiento de los filamentos de la lámpara cuando esta es encendida. Este balastro incrementa la vida de la lámpara. La potencia de entrada es ligeramente menor que con balastros de arranque rápido, aunque mayor que con balastros de arranque instantáneo. Algunos fabricantes han descontinuado los balastros de encendido rápido y los han reemplazado con los de arranque programado. Se recomienda el empleo de estos balastros en áreas controladas por detectores de presencia.

## 2.2.4 TERMINOS UTILIZADOS PARA BALASTROS

### 2.2.4.1 FACTOR DE BALASTRO

La salida de luz de un sistema lámpara – balastro, es el producto de los lúmenes de la lámpara y el factor del balastro. Representa el porcentaje de lúmenes nominales de las lámparas que se puede esperar cuando se opera con un balastro específico comercialmente disponible. Por ejemplo, un balastro que tenga un factor de balastro de 0.93 dará como resultado una emisión de la lámpara del 93% de su flujo luminoso nominal.

Tipo de balastro	Rango de factor de balastro	
Balastros Magnéticos	0.93 - 0.95	Con lamparas ahorradoras T 12
	0.86 - 0.90	
Balastros Híbridos	0.81 - 0.95	
Balastros Electrónicos	0.67 - 0.63	
	0.85 - 0.95	Salida completa
	1.05 - 1.30	Salida extendida

**Tabla 2-3.** Rangos típicos de factor de balastro para algunos balastros para lámparas fluorescentes.

### 2.2.4.2 FACTOR DE EFICIENCIA DE BALASTRO (BEF)

Es el factor utilizado para evaluar varios sistemas de iluminación con base en la salida de luz y en la potencia de entrada. El factor de eficiencia del balastro se obtiene dividiendo el factor de balastro entre la potencia de entrada.

$$BEF = \frac{FB}{W}$$

### 2.2.4.3 EFICACIA

La eficacia se refiere a que tan eficientemente la lámpara (o el sistema lámpara-balastro) convierte la potencia de entrada en luz, es medida en lúmenes por watt.



Una buena selección del conjunto lámpara balastro da como resultado una mayor eficacia. Por ejemplo un balastro electrónico con 4 lámparas T 8 de 32 W es uno de los sistemas fluorescentes con mayor eficacia, proporciona arriba de 100 lm/W. Con la siguiente ecuación se calcula la eficacia del sistema:

$$Li = \frac{(\#Lpb)(Lpl)(Fb)}{Lbw}$$

Donde:

Li: Lúmenes iniciales por Watt.

#Lpb: Número de lámparas por balastro.

Lpl: Lúmenes por lámpara

Fb: Factor de balastro

Lbw: Watts del conjunto lámparas balastro.

El término eficacia también puede estar referido a la eficacia del plano de trabajo, en cuyo caso indica la cantidad de lúmenes que inciden sobre el plano de trabajo por cada watt de potencia aplicada. La eficacia del plano de trabajo se obtiene dividiendo el nivel de iluminación en el área (Luxes) entre la densidad de potencia del sistema de iluminación ( $W/m^2$ ).

#### **2.2.4.4 DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA**

Es la relación entre la potencia consumida y el área de la superficie del lugar. Calculando la densidad de potencia eléctrica se obtiene un indicador de la eficiencia del sistema de iluminación, cuando se compara con otros espacios con similar geometría y niveles de iluminación requeridos.

#### **2.2.4.5 ÍNDICE DE UTILIZACIÓN DE ENERGÍA**

Esta medida indica la cantidad de energía utilizada por metro cuadrado de espacio iluminado, a diferencia de la densidad de potencia, este índice incluye al tiempo. Por lo tanto, los lugares que operan las 24 horas, tiene un alto índice de utilización de la energía. En cambio, si se utilizan controles automáticos para prender o apagar la iluminación, el índice de utilización de la energía se reduce notablemente.

#### **2.2.4.6 DISTORSIÓN ARMÓNICA**

La distorsión armónica es causada por varios dispositivos electrónicos utilizados en oficinas o en la industria, como por ejemplo: fax, computadoras, impresoras, fotocopiadoras y variadores de velocidad. Estos dispositivos distorsionan la señal senoidal corriente y voltaje en los circuitos eléctricos, corrientes transitorias son producidas, algunas de las cuales contribuyen al incremento de la corriente que circula por el neutro en un sistema trifásico de 4 conductores. La distorsión armónica también produce calentamiento excesivo en equipos electrónicos, disparos en falso de dispositivos de protección y caída de tensión.

La distorsión armónica total (THD) se mide en miliamperes y en ocasiones es expresada como un porcentaje de la corriente no distorsionada utilizada por el sistema de iluminación. Debido a que las corrientes armónicas no son útiles para el sistema de iluminación, estas pueden contribuir a la reducción del factor de potencia.



Tipo de Balastro	Rango de THD
Electromagnético	25 - 30 %
Electrónico de Fluorescentes Compactas	18 - 80 %
Electrónico Estándar	< 20%
Electrónico de Baja THD	< 10%

**Tabla 2-5.** Rangos de distorsión armónica total para algunos balastos.

Los balastos producen generalmente menos de 20% de THD, aunque hay ciertos balastos electrónicos que pueden producir menos del 10 % de THD.

### 2.2.4.7 CORRIENTE DE INRUSH

La corriente de inrush o corriente de impulso, para un sistema de iluminación, es el flujo de corriente que se presenta en el momento que es activado el sistema. Los balastos electrónicos que son diseñados para producir una THD menor que el 10 % pueden ocasionar una excesiva corriente de inrush. Esta corriente, si es de valor elevado puede dañar interruptores, detectores de presencia y relevadores. En algunos casos también puede provocar que se disparen interruptores.

## 2.3 LUMINARIOS

Un luminario es un dispositivo para controlar y distribuir la luz, así como para proteger algunos elementos del sistema de iluminación. Esta compuesto de los siguientes elementos: una o más lámparas, componentes ópticos diseñados para la distribución de luz, bases para soportar y conectar las lámparas, y componentes mecánicos necesarios para sujetar el luminario.

### 2.3.1 COMPONENTES ÓPTICOS DE LOS LUMINARIOS

La mayoría de las lámparas emiten luz virtualmente en todas direcciones y para una eficiente aplicación se requieren componentes para concentrar y distribuir la luz. Los principales componentes para el control de luz son los siguientes:

- **Reflector.** Dispositivo usualmente cubierto de metal o plástico, el cual tiene alta reflectancia y esta formado para reflejar la luz emitida por la lámpara. El terminado de la superficie del reflector del luminario usualmente se clasifica como especular, semiespecular, extendido o difuso.

Los materiales para reflectores especulares con mayor reflectividad son: aluminio anodizado (reflectividad del 85 al 90%), aluminio especular anodizado realizado con una cubierta múltiple de cubierta delgada dieléctrica (reflectividad de 88 a 94%) y plata especular depositada al vacío aplicada en el frente o en la superficie posterior de una película clara y adherida a un sustrato de metal (reflectividad total de 91 a 95%).

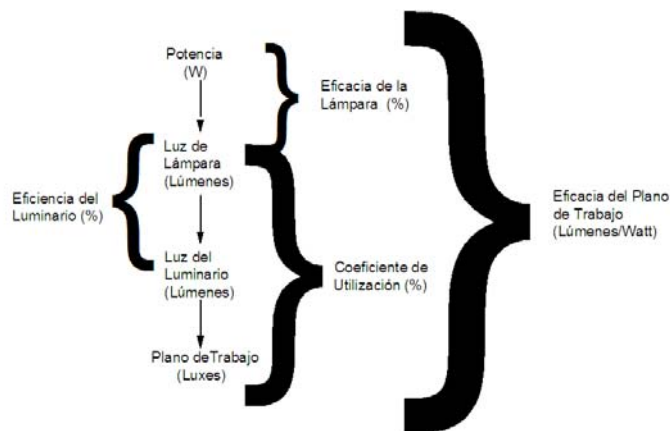




- **Refractores.** Los refractores son elementos para el control de la luz, los cuales se encargan de cambiar la dirección de la luz aprovechando el fenómeno de la refracción, el cambio de dirección ocurre cuando la luz pasa por dos materiales de diferente índice de refracción, como puede ser aire y vidrio o aire y plástico.
- **Difusores.** Estos elementos se encargan de dispersar en varias direcciones la luz incidente. La dispersión puede llevarse a cabo en el material, como por ejemplo en acrílico o en la superficie si el material es vidrio grabado. Los difusores se utilizan también para reducir la luminancia. Los difusores más comunes son lentes prismáticos claros, los cuales usan el principio de la refracción para producir la distribución de luz deseada hacia abajo y los difusores translúcidos, los cuales difunden la luz en todas direcciones hacia abajo, en lugar de dirigirlas a zonas particulares. Los difusores translúcidos son obsoletos para espacios comerciales modernos debido que la luz es absorbida por el material translucido teniendo como consecuencia que la eficiencia del luminario este por debajo del 40%.
- **Deflectores y rejillas.** Los deflectores son elementos simples, usualmente en forma de V. Las rejillas (Louvers) son un grupo de deflectores verticales que bloquean la vista de la lámpara y a su vez dirigen la luz fuera de la lámpara. Estas rejillas pueden ser parabólicas o rectas y de gran cantidad de tamaños, formas, materiales y terminados. En áreas donde se requiere baja brillantez, tal como en salas de cómputo, se usan rejillas con celda hexagonal o cuadrada. Una desventaja de las rejillas es que la eficiencia total del luminario es menor al 50%.

### 2.3.2 EFICIENCIA DE UN LUMINARIO

La eficiencia de un luminario se define como el porcentaje de la luz producida por el luminario del total producido por la lámpara. Por ejemplo si se tienen dos luminarios distintos, para el mismo tipo de lámpara y mismos balastos, el luminario de mayor eficiencia será el que emita la mayor cantidad de luz.



**Figura 2-22.** Eficiencia del luminario y las etapas de conversión de potencia eléctrica en luz.



### 2.3.3 COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN

Se define como la relación entre el flujo luminoso que incide en el plano de trabajo y el flujo luminoso total emitido por la fuente. El coeficiente de utilización toma en cuenta la eficiencia del luminario, la forma en que se distribuye la luz, la geometría del lugar, altura de montaje del luminario, plano de trabajo y reflectancia. El valor del coeficiente de utilización (CU) es publicado en los reportes fotométricos de los luminarios.

Tabla de Factor de utilización												
Factor de Área	80		70				50		30		0	Techo Pared Piso
	30 30	50 10	50 30	50 20	50 10	50 10	30 10	10 10	30 10	10 10	0 0 0	
0.60	0.37	0.35	0.36	0.35	0.35	0.30	0.30	0.27	0.29	0.27	0.25	
0.80	0.45	0.42	0.44	0.43	0.41	0.37	0.37	0.33	0.36	0.33	0.32	
1.00	0.51	0.47	0.50	0.48	0.47	0.42	0.42	0.39	0.41	0.39	0.37	
1.25	0.57	0.52	0.56	0.54	0.52	0.47	0.47	0.44	0.46	0.44	0.42	
1.50	0.61	0.55	0.60	0.57	0.55	0.51	0.51	0.48	0.50	0.48	0.46	
2.00	0.67	0.60	0.66	0.62	0.60	0.56	0.56	0.54	0.55	0.53	0.52	
2.50	0.71	0.63	0.69	0.66	0.62	0.59	0.59	0.57	0.58	0.56	0.55	
3.00	0.74	0.65	0.72	0.68	0.64	0.61	0.61	0.59	0.60	0.59	0.57	
4.00	0.77	0.67	0.75	0.70	0.66	0.63	0.63	0.62	0.62	0.61	0.59	
5.00	0.79	0.68	0.77	0.72	0.67	0.65	0.65	0.63	0.64	0.63	0.61	

**Tabla 2-6.** Factor de utilización para luminario TBS 912/232CIREL de Philips.

