



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS:
SU TECNOLOGÍA Y APLICACIÓN
EN LOS PROGRAMAS DE AHORRO
DE ENERGÍA EN MÉXICO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTAN:

LETICIA C. MUÑOZ GONZÁLEZ
OSCAR CRUCES RODRÍGUEZ

DIRECTOR DE TESIS:
ING. ALEX G. RAMÍREZ RIVERO



MÉXICO, D.F.

2004

I. LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

Las lámparas fluorescentes compactas (LFC's) o lámparas ahorradoras de energía, son el resultado de años de investigación sobre tecnologías enfocadas al ahorro de energía eléctrica.

Actualmente en el mercado existe una gran variedad de ellas; LFC's que van de 3 a 85W de potencia, con características físicas, formas, tamaños, pesos y colores que varían mucho unas a otras dependiendo de las tecnologías que utilicen o considerando el uso que se les vaya a dar.

Para alcanzar el amplio mercado, -aún en desarrollo,- con el que las LFC's cuentan en la actualidad, han tenido que pasar tres décadas en las que no ha sido fácil ir ganando terreno al gigantesco mercado que por más de 100 años han representado los sistemas incandescentes de iluminación tradicional. La evolución que han tenido y los beneficios ambientales que representan en la actualidad son los temas que se tratan en este capítulo.

1.1 EVOLUCIÓN DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

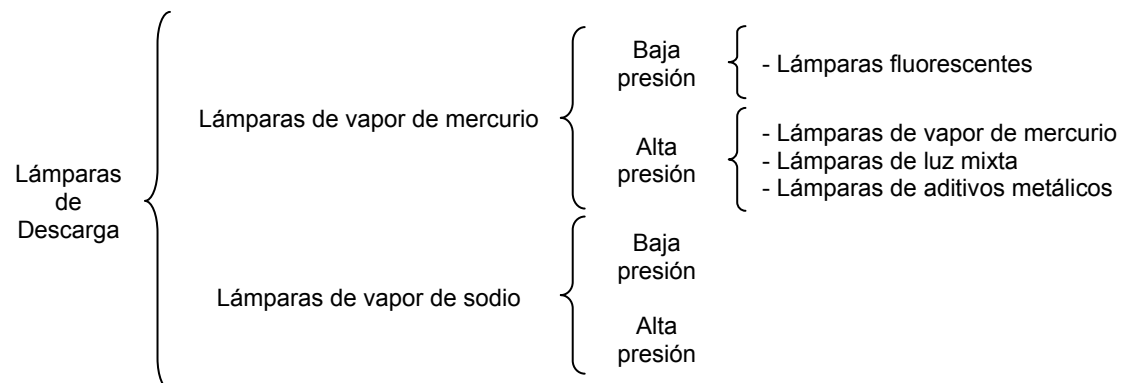
La evolución que han tenido las LFC's está marcada desde los antecedentes que dieron origen a la iluminación fluorescente hasta los avances que se han dado en las tecnologías de punta empleadas hoy en día.

La historia de estas lámparas aún no se ha terminado de escribir. En la actualidad se trabaja por desarrollar y/o mejorar la actual tecnología de punta que emplean, buscando hacerlas tan comunes y accesibles para los usuarios, como los bulbos incandescentes.

1.1.1 ANTECEDENTES

En esencia las LFC's son lámparas de descarga en gas. Sus antecedentes datan desde las primeras descargas eléctricas en gases rarificados hasta el surgimiento de la primera LFC como tal.

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que éste se encuentre (alta o baja presión).⁽¹⁾ Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.



Las primeras observaciones de descargas eléctricas en gases rarificados se remontan al siglo XVII. A principios de 1676, poco después de descubrir Torricelli su barómetro de mercurio, los científicos anunciaron repetidamente el descubrimiento de fenómenos generadores de luz en vacío sobre el mercurio.⁽²⁾

El principio básico de la transformación de radiación ultravioleta en radiación visible fue descubierto en 1852 por Sir George Stokes.⁽³⁾

La investigación sistemática de los fenómenos se cree haber comenzado en 1856, cuando el físico alemán Julius Plücker en colaboración con el soplador de vidrio Heinrich Geissler, experimentó con descargas eléctricas en tubos de vidrio evacuados y descubrió que a cierta presión, las descargas emitían luz violeta brillante. Para conseguir la alta tensión necesaria para crear el efecto, empleó la bobina de inducción descubierta poco antes por Rühmkorff. Posteriormente, investigadores como Hittorff, Crookes y Goldstein descubrieron que los fenómenos luminosos cambiaban al reducir más la presión de los tubos o al añadir más gases o vapores al aire rarificado.⁽²⁾

En el año de 1860 J.T. Way realizó los primeros experimentos con descargas de vapor de mercurio de baja presión, aunque éstos nunca trascendieron del laboratorio. En 1891, Peter Cooper-Hewitt realizó las primeras lámparas prácticas empleando tubos de un metro de longitud provistos de un electrodo de hierro o de grafito en un extremo, haciendo el otro electrodo con un charco de mercurio, encendiéndose la lámpara al iniciar el tubo para que el mercurio hiciera el contacto de arranque. Para limitar la corriente de la lámpara y debido a las características de la tensión negativa, se ponía una resistencia en serie llamada estabilizador.⁽³⁾

Los principales inconvenientes de la lámpara Cooper-Hewitt eran el desfavorable color de la luz (azul verdoso) y su deficiente rendimiento de color. Sin embargo, se hizo popular en medicina ya que la gran proporción de radiación ultravioleta que emitía se consideraba beneficiosa para el tratamiento de enfermedades cutáneas, figura 1.1.



Figura 1.1 Tubo Cooper-Hewitt en forma de "U", 1919.

Dimensiones: 67 x 19 cm⁽⁴⁾.

Fuente: Peter Cooper Hewitt⁽⁵⁾

En esa época, la llegada de las lámparas incandescentes de filamento de tungsteno rellenas de gas puso en retirada a la lámpara de Cooper-Hewitt, aunque volvería en la década de los treinta con grandes mejoras convertida ya, en lámpara fluorescente tubular gracias a inventores de varias partes del mundo que se dedicaron a la producción de lámparas de descarga de mercurio a baja presión, todo ello a raíz de un importante descubrimiento de los años veintes, cuando de manera casi simultánea y en diferentes partes del mundo se observó que una mezcla de vapor de mercurio a baja presión y un gas inerte a alta presión convirtieron una entrada de energía eléctrica en un una sola línea espectral a 253.7nm⁽²⁾ con una eficiencia aproximada del 60%.

En el año 1926 un grupo de científicos alemanes formado por Friedrich Meyer, Hans Spanner y Edmund Germer,⁽³⁾ describen el modo en que los electrodos se precalientan para facilitar el encendido a baja tensión y el revestimiento de la pared del tubo con material fluorescente para convertir la fuerte radiación ultravioleta (UV) de la descarga del mercurio en luz visible, sirviendo la capa para aumentar el rendimiento luminoso y mejorar las características de la luz.

La evolución de una emisión eficiente, electrodos de mayor vida y materiales fluorescentes apropiados (fósforos), pavimentaron el camino para la producción de la primera lámpara fluorescente en la década de los treinta.

En el año de 1935 la General Electric (GE) presentó su lámpara fluorescente en la conferencia anual de la IES (Illuminating Engineering Society) en Cincinnati, la lámpara de 2 pies (61cm) de longitud tenía una eficacia de 60lm/W⁽²⁾, aunque en sí, no tuvo mucho éxito.

Para el año de 1938 las primeras lámparas fluorescentes comerciales fueron introducidas al mercado. En 1939 fueron mostradas públicamente en la Feria Mundial de Nueva York y en la Exposición Golden Gate en San Francisco, comenzando a incrementar su fama y aplicación en Europa y Estados Unidos (EU).⁽²⁾

Las primeras lámparas fluorescentes fueron de 15, 20 y 30W con 18, 25 y 36 pulgadas de longitud respectivamente.⁽²⁾ Poco después la lámpara T12 (38mm de diámetro) con potencia de 40W y 4pies (1.22m) de longitud hizo su aparición en el mercado, tomando la delantera al emplearse en oficinas, escuelas, la industria y el comercio a inicios de la década de los años cuarenta⁽²⁾.

El estallido de la Segunda Guerra Mundial significó la interrupción de la producción de lámparas fluorescentes en Europa, que no volvería a retomarse hasta después de 1945⁽³⁾ cuando se pensó en comercializarlas para sustituir a las incandescentes.

Los primeros polvos fluorescentes fueron de tungstato de calcio y silicato de zinc, que daban a la lámpara un rendimiento de 30lm/W⁽³⁾, pero su calidad de color no era muy buena. En 1942 A.H. McKeag descubrió en Gran Bretaña que los halofosfatos de calcio y estroncio activados, poseían excelentes propiedades fluorescentes, introduciéndose en 1946 para duplicar el rendimiento luminoso.⁽³⁾

En 1945 comienza a desarrollarse la lámpara fluorescente con tubo en forma circular, conocida hoy bajo el nombre de circline, ofreciendo la mayor cantidad de luz dentro del menor espacio en las lámparas fluorescentes conocidas hasta ese momento.

En 1973, Philips presentó la hoy común lámpara fluorescente de tres bandas, que emite la luz en solo tres zonas espectrales estrechas, rojo, verde y azul descubierta por M. Koedam, J.J Opstelten y William A.Thornton donde se hacía uso de las técnicas de la televisión a color. El resultado fue un aumento del rendimiento del 50%, sin pérdidas en la calidad de color y el diámetro del tubo que manejaban era T8 (26mm)⁽⁶⁾.

En la estela de la crisis de la energía de los años setenta, se dio lugar a varios diseños nuevos que permanecieron en el laboratorio o gozaron solamente de un éxito modesto en el mercado, ya que, contrariamente al bulbo tradicional incandescente, las lámparas fluorescentes requerían largos tubos rectos de vidrio y por esta razón permanecieron por

muchos años fuera de ciertas aplicaciones que sólo las populares lámparas incandescentes tenían. A finales de esa misma década comenzaron a comercializarse las lámparas circulares dentro del sector residencial en las cocinas de los hogares y en aplicaciones como lámparas de mesa (figura 1.2).



Figura 1.2 Aplicación Residencial de una lámpara Circline en la década de los 70's
Fuente: Residential Lighting ⁽⁷⁾

Durante esta transición de diseño, también se dieron descubrimientos por parte de los científicos cambiando la mezcla de fósforos y la combinación de los gases; el color podía también modificarse y así dejó de ser la luz blanca fría la única que producían las lámparas fluorescentes. Las compañías Philips y Osram fueron las que comenzaron a introducir un nuevo concepto a la iluminación fluorescente, de modo que los ingenieros de ambas compañías trabajaron juntos experimentando con algo nuevo: diferentes fósforos y exóticos gases que permitieron el diseño de tubos de vidrio más pequeños; en ese momento, la idea de reemplazar las lámparas incandescentes tomaba ya mayor seriedad.

Hablando de miniaturizar el tamaño, Philips Europa comenzó a diseñar en su laboratorio las primeras lámparas que consistían de dos pequeños tubos con un puente en la parte superior de los mismos y una base de la lámpara en la parte inferior que requería un encendido especial para generar la ignición del tubo fluorescente. Por su parte, la compañía alemana Osram decidió en ese momento no introducir este tipo de lámparas en su mercado hasta no estar convencidos de su futura aceptación.

En 1976, Edward E. Hammer, un pionero en la energía eficiente fluorescente, desarrolló para la GE la primera lámpara fluorescente compacta.⁽⁸⁾ Su prototipo se basaba en un tubo doblado en forma de espiral y aunque su idea fue brillante, en ese momento la GE decidió no comercializarla debido a los altos costos que implicaba en esa época el uso de la maquinaria necesaria para obtener la frágil forma de espiral (figura 1.3). No obstante, casi veinte años después, en 1995 este diseño se comercializó como se explicará más adelante en este capítulo.



Figura 1.3 LFC en forma de espiral, 1976⁽⁸⁾
Fuente: Lighting a Revolution⁽⁹⁾

Finalmente **las primeras LFC's comerciales** se dieron a conocer en el año de 1980, cuando Philips lanzó al mercado su línea "SL" con potencias de 9 a 25W cuya temperatura de color era de 5000K, empleaban balastro electromagnético y dentro del bulbo de vidrio externo había un solo tubo fluorescente distribuido a lo largo y ancho del espacio delimitado por su base (figuras 1.4 y 1.5). A pesar de su alto costo inicial, esta LFC ofrecía la recuperación de dicho costo mediante el bajo consumo de energía, que era de casi la cuarta parte que la de un bulbo convencional, y la larga vida que ofrecía.



Figura 1.4 Lámpara "SL-18", versión europea de 16.5cm de longitud⁽⁵⁾
Fuente: Philips Lighting Co.⁽¹⁰⁾

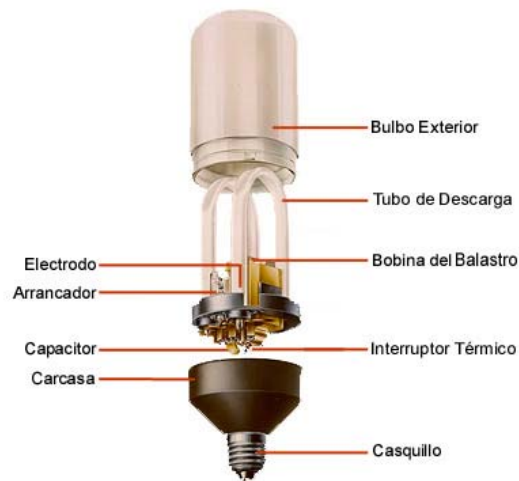


Figura 1.5 Construcción de la lámpara "SL"
Fuente: Philips Lighting Co.⁽¹¹⁾

Meses después del lanzamiento de las lámparas SL de Philips, Westinghouse empezó a comercializar su lámpara "Econ-Nova" (figura 1.6) en E.U. cuyo diseño era muy parecido al de Philips excepto por la longitud de la lámpara que era de 20cm⁽⁵⁾.



Figura 1.6 Lámpara "Econ-Nova", 1981
Fuente: Philips Lighting Co.⁽⁷⁾

1.1.2 AVANCES EN LA TECNOLOGÍA

Después de su lanzamiento comercial en 1980, las LFC's no han dejado de evolucionar hasta hoy en día. El mercado que han logrado conquistar es muy diferente al que tenían hace 24 años.

En 1981, Philips US continuó innovando al colocar en el mercado su línea de lámparas PL.⁽¹⁰⁾ La lámpara PL-L era una lámpara que no traía un balastro integrado a ella, su diseño de tubos gemelos sencillos unidos por un puente en la parte superior era un diseño original de la empresa (figura 1.7). En 1982, lanzó en Europa la lámpara modular PL-C con cuatro tubos unidos entre sí por puentes en la parte superior los mismos (figura 1.8).⁽¹⁰⁾



Figura 1.7 Modelo PL-L de Philips, 1981
Fuente: Philips Lighting Co.⁽¹⁰⁾



Figura 1.8 Modelo PL-C de Philips, 1981
Fuente: Philips Lighting Co.⁽¹⁰⁾

Gradualmente la aceptación por parte de la industria comenzó a ganar terreno tanto en Europa como en los Estados Unidos. En 1983 Osram introduce sus diseños de LFC's en el mercado estadounidense y pocos años después Sylvania Lighting y General Electric (GE) se sumaron a la producción de las LFC's en dicho país.

El diseño original para las lámparas de tubo gemelo sencillo de 7 y 9W, equivalentes a lámparas incandescentes de 40 y 60W respectivamente, pronto se expandió con una versión para 5 y 13W equivalentes a 25 y 75W incandescente,⁽¹²⁾ dando con este cambio una notable expansión en el mercado de las remodelaciones (retrofits) y otorgando una mejor eficiencia (figura 1.9).



Figura 1.9 Modelo PL-L de Philips
Fuente: Philips Lighting Co

Fue también durante la década de los años ochenta cuando el tema de "Ahorro de Energía" comenzó a ser considerado como algo importante no solo en los Estados Unidos, si no en el resto del mundo. En la figura 1.10 se muestran diversas LFC's de las marcas más representativas de la época; de izquierda a derecha son: Philips, Panasonic, Philips, Sylvania y Osram.

En 1986, Philips Europa comercializa su lámpara modular PL-T (figura 1.11). Su diseño de tubo triple consiste en tres tubos en forma de U colocados paralelamente, por lo que llamaron a este diseño "curva y puente" (bend and bridge) debido a que combinaba la tecnología de doblamiento o curvado (bending technology) de tubo de la lámpara SL con la tecnología de forma de puente de la lámpara PL (bridge-forming technology).⁽¹⁰⁾

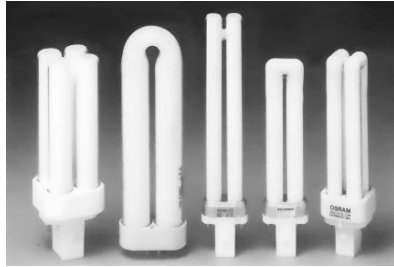


Figura 1.10 LFC's, década de los 80's.
Fuente: Robertson Transformer Co.⁽¹³⁾



Figura 1.11 Modelo PL-T de Philips, 1986
Fuente: Philips Lighting Co.⁽¹⁰⁾

Años más tarde, la compañía europea NARVA continúa con la producción para Europa de la línea de diseños de LFC's de tubo gemelo sencillo y lámparas "quad". NARVA era una empresa que había surgido de la división que OSRAM vivió cuando Alemania modificó sus fronteras políticas después de la segunda guerra mundial; la parte de OSRAM que quedó asentada en el lado Este se renombró como NARVA, por lo que, para producir esa línea de lámparas, debía pedir licencia a OSRAM.⁽¹²⁾

La década de los noventa es importante para las LFC's por los avances en la electrónica de estado sólido, haciendo posible la aparición de los balastos electrónicos que comenzaron a compartir el mercado con los balastos electromagnéticos que habían sido empleados hasta ese momento en las LFC's, trayendo como ventaja la reducción del tamaño y el peso, un menor consumo de energía eléctrica en el sistema lámpara-balastro y mayor eficiencia de operación al trabajar en altas frecuencias (20-60kHz) en vez de trabajar a frecuencia de línea (60Hz) como los balastos electromagnéticos.

Philips, en 1992 pone en el mercado europeo modelos de LFC's integradas con balastro electrónico como la PLE-C y PLE-T⁽¹⁰⁾ (figuras 1.12 y 1.13).



Figura 1.12 Modelo PLE-C de Philips
Fuente: Philips Lighting Co.⁽¹⁰⁾



Figura 1.13 Modelo PLE-T de Philips
Fuente: Philips Lighting Co.⁽¹⁰⁾

Las potencias de la PLE-T en las que estaba disponible eran 15, 20 y 23W con dimensiones de 158 a 124mm, 190 a 143mm y 211 a 158mm respectivamente, así como lámparas quad "PLE-C" de 7 y 11W.⁽¹⁵⁾ En América, la LFC de Philips "PLC-E" de 9W fue capaz de producir un flujo luminoso de 400lm.⁽¹⁴⁾

Por su parte, Osram anuncia el lanzamiento de dos nuevas lámparas con balastro electrónico y base tipo rosca como parte de su línea "Dulux EL". La primera de ellas es una lámpara de tubo gemelo (twin tube) con una potencia nominal de 5W y 250lm de flujo luminoso y la segunda es una lámpara de 7W de cuatro tubos conocida como "quad" (quad tube) con flujo luminoso de 400lm.⁽¹⁴⁾ Es interesante destacar que las dimensiones de las lámparas son: para la de 5W, la base que alberga al balastro mide tan sólo 30mm y la longitud de la lámpara es de 121mm y para la de 7W la base mide 42mm y la lámpara

130mm de longitud.⁽¹⁴⁾ En cuanto a la base que manejan es la E14 y no la E27, lo que las hizo apropiadas para otros usos como en lámparas de pared o pequeñas lámparas de mesa.⁽¹⁴⁾

En 1992, la tecnología para LFC's también se destaca en cuanto a calidad de la energía, siendo un pequeño fabricante norteamericano quien desarrolla una LFC modular de 13W (14.8W incluyendo al balastro) cuyo factor de potencia es de 0.996 con un 7.5% de distorsión armónica total (THD). El prototipo de Mitor Industries Inc. presento una eficacia de 61lm/W pudiendo emplearse para lámparas de tubo gemelo o quads.⁽¹⁴⁾

Las lámparas de tubo triple (triple tube) comenzaron a tener más importancia en el mercado, sus tres tubos doblados en forma de U, estaban enfocados para reemplazar los focos incandescentes de 60W, variando de 2 a 5cm más en su altura en comparación con el bulbo incandescente.⁽¹⁶⁾

Philips fue el primer fabricante de lámparas de tubo triple en Estados Unidos. Lanzando en mayo de 1993 su línea "Earth Light SLS" (figura 1.14). Las primeras potencias manejadas fueron: 15, 20 y 23W con longitudes que iban de 20 a 23cm. Y al igual que Osram-Sylvania, que se unieron en 1993 para formar una sola empresa⁽¹⁷⁾, Philips también buscaba atacar el sector residencial (figura 1.15).⁽¹⁶⁾



Figura 1.14 Lámpara Philips 15W SLS
Fuente: Fotografía LFC Philips



Figura 1.15 Línea Earth Light SL de Philips
Fuente: Philips Co.¹¹

OSRAM introduce su lámpara de tubo triple "Delta" en Europa, y posteriormente la da a conocer en América en 1993 con el nombre de "DULUX T/E". La potencia disponible para el mercado es de 23W, lo que equivale a 90W de un sistema tradicional incandescente, cuenta con balastro electrónico y proporciona 1550lm, con una longitud de 17.5cm.⁽¹⁸⁾ El mercado al que está dirigido es el residencial y comercial (figura 16).



Figura 1.16 LFC DULUX T/E 23W
Fuente: Osram

La GE no se queda atrás y comienza a producir su lámpara de tubo triple bajo el nombre de "Triple Biax"; era una lámpara de forma hexagonal similar a la Delta que difería en el balastro electrónico que empleaba. La primera versión que introdujo fue la de 20W, dirigida tanto al sector residencial como al comercial. Todas las lámparas "Triple Biax" de

GE son lámparas que tienen un factor de potencia mayor al 90% y una distorsión armónica total igual o menor al 20%.⁽¹⁹⁾

En 1995, Philips da a conocer la tecnología ALTO en Estados Unidos.⁽²⁰⁾ Las LFC's con esta tecnología tienen menor cantidad de mercurio, de 1.4 a 2.7mg, dependiendo del modelo en comparación con las LFC's ordinarias que tienen de 4 a 5mg (figura 17).



Figura 1.17 Lámpara PL-C de Philips Earth Light 13W
Conocida como "quad" con tecnología ALTO
Fuente: Fotografía LFC marca Philips

NARVA del Este comienza a considerar la producción de lámparas en forma de espiral ideadas por Edward E. Hammer en 1976. El Dr. Walter Holtzer de NARVA retoma el estilo que pronto es conocido como "the twist", "the spiral" o "the coil"; nombres que hacen alusión a la forma en la que el tubo se encuentra doblado por lo que en la actualidad también se le llama "helicoidal" o "espiral".⁽¹²⁾ El diseño se había dado a conocer en la Europa Oriental a finales de los años ochenta (figura 1.18).



Figura 1.18 LFC helicoidal producida por NARVA
Fuente: The History of lighting⁽¹²⁾

La lámpara helicoidal demostró ser superior a las primeras lámparas fluorescentes compactas al brindar mejor distribución de luz y mayor flujo luminoso. Por la forma de los tubos de vidrio según el diseño de la lámpara, debían ser formados o doblados completamente a mano y como la mano de obra en la Europa Oriental era muy barata, los tubos fueron elaborados en Checoslovaquia, librando el obstáculo que años atrás le impidió a la GE comercializar esta forma de tubos para LFC's.⁽¹²⁾

En 1995, GE aprovecha las características de diseño de la lámpara en forma de espiral para facilitar la optimización de la eficiencia óptica en reflectores con LFC's y meses después lanza al mercado su LFC integral con balastro electrónico de 20W con flujo luminoso de 1200lm (60lm/W).⁽²¹⁾

A mitad de la década de los 90's, la tecnología de doblamiento (bending technology) es vendida a los chinos a modo de remunerar los costos de fabricación de los tubos; este astuto movimiento trajo consigo la disminución de los costos de producción para iluminación y rápidamente el mercado se llenó también de componentes electrónicos

producidos de igual manera en Asia.⁽¹²⁾ Aunque no tardó mucho en cambiarse a un nuevo estilo de lámparas de tipo como conocidas como “mini coil” o “mini twist” en las que la variante es el tamaño que cada vez es menor (figura 1.19).



Figura 1.19 LFC de 15W en forma de espiral
Fuente: Fotografía LFC marca Sanelec

Las combinaciones de lámpara-reflector, son ahora tan pequeñas como los reflectores de las lámparas que pretenden reemplazar. El diseño “coil” de las nuevas lámparas twist hace posible la sustitución de casi cualquier aplicación donde comúnmente se emplean las lámparas incandescentes. La desventaja de las LFC’s maquiladas en países como China, es que no se cuenta con un estándar de calidad que garantice un buen rendimiento de la lámpara; además, los materiales que emplean suelen ser de baja calidad, de modo que, los fósforos utilizados en el tubo y los elementos electrónicos de sus balastos son, al menos, un par de factores que influyen negativamente en la calidad del producto final.

De ahí la importancia de referirse a marcas conocidas que mediante investigaciones elaboradas por años, respaldan la calidad de sus productos mediante la inversión de recursos monetarios en dichas investigaciones que los lleva a mejorar los materiales que emplean y pueden dar un enfoque social de los productos que desarrollan, por lo que empresas como Philips han sido las encargadas de innovar con tecnologías como la del uso de amalgamas (aleación o composición de ciertos materiales) dentro de las lámparas fluorescentes para mantener una salida de flujo luminoso constante dentro de un amplio rango de condiciones de temperatura.

El grupo de Investigaciones de Sistemas de Iluminación del Laboratorio Lawrence Berkeley (LBL) demostró que una LFC utilizada con la base abajo, por ejemplo al emplearla en una lámpara de mesa, perdía más del 20% de su valor de lúmenes de salida, considerando esta unidad medida de una lámpara utilizada con su base en posición superior.⁽¹⁶⁾ La amalgama permite a la lámpara operar lo más cercano al valor de su óptima luz de salida al colocar la lámpara con la base abajo. Esto también ayuda a mantener estable la luz de salida a bajas temperaturas cuando las lámparas son empleadas en exteriores.

Una solución adicional al problema de la posición de la LFC que también estudió el LBL es el método que consiste en emplear un puente de metal térmico para disipar el calor generado desde la base de la lámpara. Esta tecnología (thermal bridge technology) es más barata que el uso de amalgamas pero las amalgamas pueden también ser útiles en casos especiales donde la decoración no puede sacrificarse como en lugares cerrados o luces de seguridad que no requieren mucha estética.⁽¹⁶⁾

En 1995 GE introduce un nuevo diseño de LFC cuyo tubo se caracterizó por la peculiar forma en la que se encontraba doblado semejando dos letras “D” opuestas una a la otra (figura 1.20). El diseño se dio a conocer bajo el nombre de “2D” y gracias a su forma, la lámpara propaga su luz de manera más uniforme.⁽²²⁾



Figura 1.20 Lámpara 2D marca General Electric
Fuente: General Electric⁽²²⁾

Este diseño había sido desarrollado en 1982 por la compañía británica Thorn Lighting pero posteriormente la tecnología fue comprada por GE y llevada a los EU. Actualmente, los derechos de la comercialización de este diseño los tiene la GE, aunque no han faltado los fabricantes que han imitado su diseño.

Esta lámpara nace de la necesidad de reemplazar las lámparas incandescentes de los luminarios de emergencia, donde actualmente es el único tipo de luminario aprobado para la señalización de vías de evacuación en sistemas de iluminación de emergencia en Estados Unidos (EU).

Desde 1995 la lámpara 2D estuvo disponible ya en cinco diferentes versiones: 10, 16, 21, 28 y 38W. La de 10W mide 9cm² y proporciona 650lm, ideal para sustituir focos incandescentes de 40W. La de 38W mide 20cm² y proporciona 2850lm, lo que equivale en iluminación incandescente a tener un foco de 150W. La temperatura de color que manejan es de 2700K o 3500K y un IRC de 82 en cualquier caso,^(23,26) por lo que la luz que producen es similar a la del típico bulbo incandescente. Pueden encontrarse tanto en sistemas integrales como modulares. Dos años más tarde GE introduce la versión de lámpara 2D de 55W con un flujo luminoso inicial de 3900lm y 3400lm después de 2000hr de uso⁽²⁴⁾ y en 1998 la 2D de 67W.⁽²⁵⁾

En 1995, Philips Europa introduce un nuevo tamaño de diámetro en el diseño de sus lámparas, conocido en Europa como TL5 y en América como T5, las lámparas que utilizan estos tubos tienen 16mm de diámetro.⁽²⁷⁾ Tiempo después de la aparición de los tubos TL5, aparece en Europa el modelo MASTER 'TL'5 circular, dirigido a aplicaciones como corredores, áreas de recepción, lobbies y salas de conferencia (figura 1.21).



Figura 1.21 MASTER 'TL'5 circular de Philips Europa
Fuente: Philips Lighting Co.⁽²⁷⁾

En el año de 1997, Osram y Philips lanzan su línea de lámparas circulares con tubos T5 en potencias de 24, 39 y 54W proporcionando 1900lm (79lm/W), 3300lm (85lm/W) y 4500lm (83lm/W) con un diámetro externo de 22.5, 26 y 30cm respectivamente.⁽²³⁾

Otro tipo de LFC's que emplean tubos T5 son las LFC's de alta luminosidad Dulux L y F de Osram, PL-L de Philips o LBX Biax de GE. Este tipo de lámparas son ideales para reemplazar a las fluorescentes tubulares debido a los altos niveles de iluminación que alcanzan (1250 a 4800lm según el modelo) en espacios muy reducidos (20 a 50cm según el modelo). Las potencias disponibles para la Dulux F son 18, 24 y 36W y para Dulux L 18, 24,36,40 y 55W.



Figura 1.22 LFC's Dulux F y Dulux-L
Fuente: Osram

Por su parte, GE introduce a mitad de la década de los noventa su LFC "Heliac" en EU. La forma helicoidal del diseño buscaba emplear con mayor eficiencia los reflectores para LFC's y también optimizar su eficiencia óptica, por lo que en 1996 la pone en el mercado en tres potencias: 20, 32 y 42W, proporcionando 1200lm (60lm/W), 2400lm (75lm/W) y 3200lm (76lm/W) respectivamente.⁽²³⁾

Una diferencia óptica importante que existe entre las LFC's y los bulbos incandescentes es que la luz que emite una LFC es uniforme a lo largo de la superficie entera del tubo. En cambio, los bulbos incandescentes se consideran fuentes puntuales, significando que la luz emana de un área pequeña. Por lo tanto, los accesorios para las lámparas incandescentes se diseñan para enfocar la luz de una fuente puntual y no de la amplia superficie de radiación de una LFC.⁽¹²⁾

En base a esta consideración, los accesorios diseñados para LFC's tratan de imitar la forma o el diseño de los bulbos incandescentes tradicionales, trayendo en su interior una LFC que no deja de cumplir con el objetivo de ahorrar energía con la idea de competir al par con los bulbos tradicionales (figuras 1.23A y 1.23B).



Figura 1.23A LFC con bulbo externo tipo A19 de 15W
Fuente: Fotografía LFC marca GE



Figura 1.23B Corte de una lámpara con bulbo externo tipo A19. En el interior se aprecia la LFC helicoidal que emplea
Fuente: Nanolux⁽²⁸⁾

Por otra parte, el mercado de la iluminación fluorescente incluye el uso de reflectores que en su interior también albergan LFC 's, lo que permite el ahorro en sectores comerciales o residenciales (figuras 1.24 y 1.25).



Figura 1.24 LFC con reflector integrado
Fuente: Fotografía LFC marca GE



Figura 1.25 Corte de una lámpara con reflector integrado.
En el interior se aprecia la LFC de 4 piernas que emplea
Fuente: Fotografía LFC marca GE

En 1996 se hacen grandes avances en la tecnología de dimmeo, siendo el fabricante japonés Matsushita quien presenta bajo la marca de Panasonic, una LFC dimmeable con base tipo rosca en Hannover durante la Muestra Mundial de Iluminación (World Light Show). El prototipo modular de 24 W puede dimmearse por debajo del 40% de su flujo luminoso nominal, no obstante presentaba flicker en sus niveles bajos de dimmeo por lo que su comercialización masiva no se dio.⁽²⁹⁾

En 1997, Philips introduce en Estados Unidos LFC's dimmeables que hasta entonces solo habían sido desarrolladas en laboratorio y buscando entrar al sector industrial residencial y comercial, teniendo en la mira establecimientos como bares, restaurantes y hoteles principalmente. La LFC Earth Light de 23W con base tipo rosca proporciona 1500lm siendo más o menos equivalente en su flujo a una lámpara de 90W incandescente con la opción de ser dimmeada por debajo del 10% de su flujo nominal, mide en total 16.7mm, tiene un IRC de 82, una temperatura de color de 2700K y una vida nominal de 10,000hr Cuenta con tecnología de amalgama que le ayuda a controlar la presión del vapor de mercurio dentro de la lámpara, tecnología que hace que la LFC tome mayor tiempo en alcanzar completamente su flujo luminoso pero que a su vez proporciona mayor estabilidad en éste sobre un amplio rango de temperaturas.⁽³⁰⁾ Puede ser utilizada con dimmers de pared, fotoceldas e incluso con cualquier tipo de control que diga "sólo para su uso en lámparas incandescentes".

En 1998 Osram presenta su LFC electrónica dimmeable, cuyo flujo luminoso puede ser reducido hasta un 50% de su valor nominal, bajo el nombre comercial de "Dulux El Vario". La LFC puede ser instalada en un circuito normal con un switch estándar y si la lámpara es encendida tres segundos después de haber sido apagada encenderá a media potencia brindando la mitad de su flujo luminoso. Esta lámpara no es dimmeable pero cubre algunas necesidades que ofrece el dimmeo. Su rango de vida es de 12000hr y se lanzó al mercado, en ese año, en dos diferentes potencias: 20 y 23W proporcionando 1200 y 1500lm respectivamente.⁽³¹⁾

En el año 2000 aparece la LFC de 57W de Osram (figura 1.26) con un flujo luminoso de 4300lm, siendo compacta ante sus predecesoras "Dulux D" con una longitud total de 181mm (197mm incluyendo base). Utiliza tecnología de amalgama por lo que su posición de encendido es universal además de permitirle mantener del 90 al 100% de su flujo luminoso en temperaturas ambientes que van de 5 a 60°C. Para su uso requieren de un balastro de alta frecuencia y pueden ser dimmeables.^(32,33)



Figura 1.26 Lámpara Dulux T/E IN 57W marca Osram
Fuente: Osram

Por otra parte, el desarrollo de nuevos diseños de las lámparas “maxi-coil” en forma de espiral (figura 1.27), con potencias de 50W a 80W pretenden atacar un mercado que sólo las lámparas HID de bajo voltaje, aditivos metálicos, sodio de alta presión y lámparas de vapor de mercurio tienen al ser empleadas en alturas no muy grandes. Las lámparas fluorescentes “maxi-coil” tendrán la ventaja de proporcionar un encendido instantáneo que las lámparas de HID no ofrecen. Y también se re-encenderán en el caso de tener una falla eléctrica. Las dimensiones de estas LFC’s son mucho mayores a las mini-coil por la potencia que manejan (figura 1.28).⁽¹²⁾



Figura 1.27 LFC de 65W en forma Helicoidal
Fuente: Fotografía LFC marca Magg



Figura 1.28 Comparación de tamaño en LFC’s maxi y mini coil
Fuente: Fotografía LFC’s marcas Magg y Sanelec

A partir del 2002 la tendencia en LFC’s con reflectores integrados no sólo ha sido para uso en interiores como se había estado usando en años anteriores (figura 1.29), por el contrario se han diseñado carcassas con materiales más resistentes que permiten su empleo en exteriores (figura 1.30).



Figura 1.29 LFC’s modulares con reflector para uso en interiores típicas de los 90’s
Fuente: Lumatech⁽³⁴⁾



Figura 1.30 Lámparas PAR 38, 30 y 20. En su interior emplean LFC’s de forma helicoidal
Fuente: Fotografía LFC’s marca Tecno Lite

Actualmente, los tubos y difusores de algunas LFC’s están diseñados para lograr el efecto de que dan las lámparas incandescentes a las que reemplazan, encontrando LFC’s dentro

de bulbos en forma de vela (figura 1.31), tipo bala (figura 1.32) o tipo globo (figura 1.33) además de reproducir la misma temperatura de color que las incandescentes tradicionales.



Figura 1.31 LFC's en forma de vela.
Izq. 7W y der. 11W
Fuente: Fotografía Reggy Light y Sanelec



Figura 1.32 LFC con bulbo exterior
tipo bala, 15W
Fuente: Fotografía LFC marca GE



Figura 1.33 LFC tipo globo
Fuente: Osram Dulux

Como se ha visto a lo largo de la evolución de las LFC's, la tendencia es a miniaturizar su tamaño siempre y cuando no deje de proporcionar un buen flujo luminoso. Por lo que, las opciones que en la actualidad se tienen para elegir una LFC a la medida de la aplicación que se requiera son muy amplias, encontrando así LFC's que brindan luz de colores, luz blanca, luz cálida, luz fría y luz negra. Un ejemplo de ello es la LFC marca Winko de 3W (figura 1.34), proporciona luz azul (figura 1.35) y su tamaño es comparable a la de un encendedor de bolsillo (figura 1.36).



Figura 1.34 LFC de 3W marca Winko



Figura 1.35 LFC encendida



Figura 1.36 Comparación del
tamaño de la LFC con un
encendedor de bolsillo.

Fuente: Fotografía LFC marca Winko

Fuente: Fotografía LFC marca Winko

Fuente: Fotografía LFC marca Winko

Sus aplicaciones actuales son diversas, en las siguientes imágenes se observan diferentes tipos y usos de LFC's, por ejemplo en la figura 1.37 se ve una LFC con tubo en forma helicoidal color verde con balastro electrónico y a su lado una LFC dentro de un bulbo tipo A19 que se emplea como lámpara contra insectos marca Sanelec. La figura 1.38 presenta una lámpara de emergencia marca Tecno Lite que emplea una LFC de 7W. La figura 1.39 muestra algunos productos de la línea Philips que de algún modo simbolizan parte de la amplia gama de diseños, encontrando LFC's en forma de espiral, con tres tubos paralelos doblados, con difusor tipo globo ó tipo A19, entre otras.



Figura 1.37
Fuente:
Fotografía, diversas LFC's



Figura 1.38
Fuente: Tecno
Lite



Figura 1.39 Diversidad representativa de LFC's marca Philips
Fuente:
Philips (35)

La figura 1.40A expone LFC's de tamaño reducido también de la marca Philips y la figura 1.40B una comparación de tamaños entre LFC's de origen chino, la LFC de la izquierda es de 85W y la de la derecha de 3W.



Figura 1.40A Línea mini essential de Philips 2003.
Potencias de 5, 8 y 11W
Fuente: Philips



Figura 1.40B Comparación de tamaños entre LFC's
Fuente: Fotografía LFC's de origen chino.

Las LFC's disponibles en el mercado actual pueden ser autobalastadas o no, con la alternativa de ser dimmeables según el modelo de éstas, encontrarse en diferentes temperaturas de color a elegir, fabricadas con tubos de diámetro T4 (1.2cm) o T2 (7mm), además de presentar de cuatro a cinco veces mayor eficiencia que las lámparas incandescentes con una mejor potencia de iluminación, 10 veces o más tiempo de duración que una lámpara convencional y consumir alrededor del 80% menos de energía eléctrica para la misma cantidad de luz, tener la flexibilidad en aplicaciones especiales (luz de emergencia, lámparas contra insectos) gracias a las tecnologías que se han desarrollado hasta hoy en día que además de estar enfocadas al ahorro de energía, ayudan a traer beneficios ambientales al planeta.

1.2 BENEFICIOS AMBIENTALES AL EMPLEAR LFC'S

La idea de reemplazar o sustituir focos tradicionales por LFC's no es un capricho o incluso una moda. Se ha hablado ya de la historia y evolución que han tenido; lo que ha dejado ver una idea clara: el ahorro de energía que se busca mediante su empleo. Y más allá de dicho ahorro, es importante hablar de las tecnologías enfocadas al cuidado del medio ambiente que las LFC's emplean.

A raíz de la Revolución Industrial los gases contaminantes en la atmósfera han ido en aumento; el crecimiento de la población y el uso irresponsable de la tecnología, han propiciado la enorme demanda en la utilización de combustibles fósiles y el cambio climático en el planeta.

Dado que los conceptos: desarrollo, conservación y mejoramiento del medio ambiente no son, o deben ser, conceptos opuestos peleados entre sí; la ingeniería, en su interacción con la sociedad, tiene la tarea de buscar un desarrollo sustentable que ayude a entender que no podemos hablar de la naturaleza como una reserva inagotable y autorregulable.⁽³⁶⁾

No es el progreso de la ciencia y la tecnología, sino el uso irresponsable de las mismas, lo que puede causar daños irreversibles al medio ambiente.⁽³⁶⁾ Por ello, es indispensable crear no solo una conciencia de ahorro de energía en México, sino también una conciencia de protección y mejoramiento al medio ambiente mediante el uso de tecnologías que ayuden a ese fin.

En México, la planeación del crecimiento del sector eléctrico no va a darse de la noche a la mañana; por lo que, mientras se hace la planeación adecuada para poder abastecer de energía eléctrica a todo el país durante las siguientes décadas, se debe pensar en el uso de medidas que permitan ahorrar la energía que podría faltarnos algún día si no pensamos hoy en su cuidado.

Considerando éstos antecedentes, la idea de reemplazar focos tradicionales por LFC's tiene entonces un significado de mayor importancia si se trata de colocar un grano de arena en pro a un desarrollo sustentable en México. Importancia que se extiende a nivel mundial, por medio del diálogo basado en la preocupación de los problemas de la energía, el crecimiento y la distribución de la población humana y la relación entre el desarrollo económico, el social y los ecosistemas como se verá a continuación.

1.2.1 CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

De no ser por la atmósfera, que modera los efectos de la radiación proveniente del Sol, las temperaturas sobre la superficie terrestre variarían notablemente entre el día y la noche adquiriendo una temperatura media de 18°C bajo cero. Sin embargo, la atmósfera hace que esa temperatura media sea de 15°C.⁽³⁷⁾

El clima es controlado por balances, a largo plazo, de la energía de la Tierra y de su atmósfera. La radiación entrante del Sol es transmitida a través del espacio y por la atmósfera. Cuando alcanza la superficie de la Tierra es captada por el suelo y sus distintos tipos de cobertura (bosques, pastizales, superficie de mares y océanos, etc.), calentándola.⁽³⁷⁾

El vapor de agua y el dióxido de carbono, así como las nubes y las partículas, atrapan parte del calor de la atmósfera terrestre. A esto se le conoce como efecto invernadero (figura 1.41). Si no hubiera efecto invernadero natural, la temperatura promedio de la superficie sería de unos 34°C más fría que la actual.⁽³⁷⁾

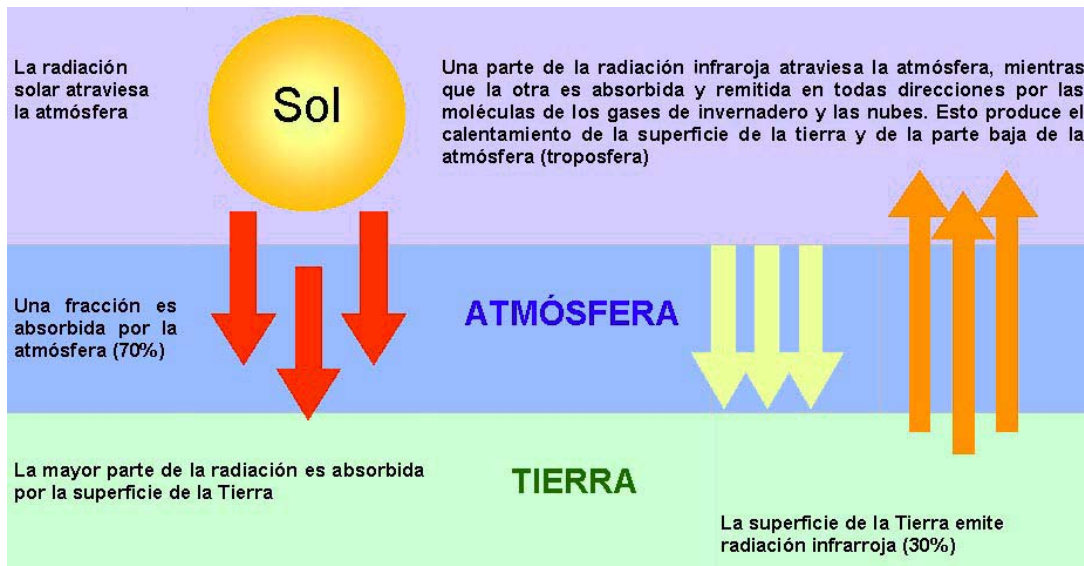


Figura 1.41 Efecto Invernadero

Fuente: Semarnat, Instituto Nacional de Ecología, Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global, México 2002.

Las actividades humanas generan cambios en el clima al incrementar la cantidad de los gases de efecto invernadero (tabla 1.1).

GASES DE EFECTO INVERNADERO	
NOMBRE DEL GAS	CARACTERÍSTICAS
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Es producido al quemar carbón, petróleo, gas natural y leña. El uso de combustibles fósiles actualmente es responsable por el 80 al 85% del dióxido de carbono que se emite a la atmósfera.
Metano (CH ₄)	Es el segundo gas de efecto invernadero más importante resultante de las actividades humanas. Es producido por los cultivos de arroz, el ganado y los residuos en descomposición de los rellenos sanitarios. Las actividades humanas han incrementado las concentraciones de metano en la atmósfera en un 145% por sobre el nivel que naturalmente debería tener la atmósfera.
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Es producido por varias prácticas agrícolas e industriales. Las actividades humanas han incrementado las concentraciones de óxido nitroso en la atmósfera un 15% por sobre el nivel que naturalmente debería tener la atmósfera.
Clorofluorocarbonados (CFCs)	Han sido usados en refrigeración, aire acondicionado y como solventes. Sin embargo, la producción de estos gases está siendo eliminada bajo acuerdos internacionales, ya que los CFCs adelgazan la capa de ozono estratosférico.
Vapor de Agua	Es el más abundante e importante de los gases de efecto invernadero producido naturalmente. Se encuentra en la atmósfera en sus tres estados: (a) gaseoso, como vapor de agua; (b) líquido, como gotitas en las nubes, niebla y lluvia; y (c) sólido, en forma de cristales de nieve y granizo. Además de su influencia directa como un gas de efecto invernadero, las nubes que se forman del vapor de agua en la atmósfera también afectan el balance de calor de la Tierra por la reflexión de la luz del sol (efecto de enfriamiento) y la retención de la radiación infrarroja (efecto de calentamiento).

Tabla 1.1 Gases de Efecto Invernadero
Fuente: Programa de Iluminación Eficiente (ELI)⁽³⁷⁾

El dióxido de carbono (CO₂), ha aumentado en un 30% en los últimos 200 años. Este aumento se debe, principalmente, a cambios en el uso de la tierra (como la deforestación), la quema de carbón, petróleo y gas natural. Si estas tendencias continúan, la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera se duplicarían durante el siglo XXI.⁽³⁷⁾

La generación y acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera debido a las actividades humanas han cambiado y cambiarán el clima al potenciar el efecto invernadero natural, llevando a un incremento en la temperatura promedio del planeta. Se calcula que la temperatura promedio global del aire en la superficie de la Tierra se ha incrementado entre 0.3 y 0.6°C⁽³⁷⁾ desde fines del siglo XIX, consecuencia que ha generado un incremento del nivel del mar de 10 a 25 cm y la retracción de los glaciares.⁽³⁷⁾

Las proyecciones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, publicadas a principio del 2001, indican que durante el siglo XXI la temperatura media de la superficie de la Tierra se incrementará entre 1.4 y 5.8° C,⁽³⁷⁾ y el nivel medio del mar aumentará entre 9 y 88 cm.⁽³⁷⁾

México se encuentra dentro los 20 países con los mayores niveles de emisión de GEI's (figura 1.42)⁽³⁸⁾ y es considerado un país altamente vulnerable ante el cambio climático global.

Emisiones Totales de GEI's 1998
(Millones de Toneladas)**

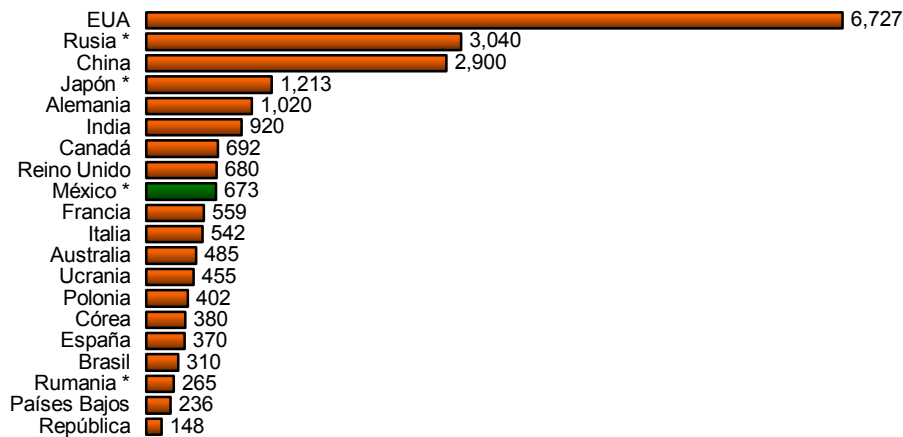


Figura 1.42 Emisiones Totales de GEI's 1998 (Millones de Toneladas)

Fuente: Framework Convention on Climate Change, Naciones Unidas, Septiembre 2000.

* Se refiere a 1996

** Emisiones agregadas de CO₂, CH₄ y N₂O. Excluyendo cambios en el uso de la tierra y forestación

Como resultado de una serie de estudios de vulnerabilidad realizados con modelos internacionales de proyección climática, se han conseguido establecer escenarios de cambio climático en México, consiguiendo así predecir, en cierto grado, el impacto en los ecosistemas y en los núcleos sociales del país.

Con base en las variaciones de temperatura y precipitaciones dadas por los Modelos de Circulación General (MCG)⁽³⁹⁾, en condiciones de una duplicación en las concentraciones de CO₂, los climas áridos y semiáridos de la región norte de México aumentarían su superficie, extendiéndose hacia el sur del país, mientras que los semifríos desaparecerían, pudiendo presentarse una mayor presión climática y, por tanto, un incremento en la demanda de agua y energía.

En la zona centro de México, donde se tienen mayores densidades demográficas e industriales del país (Estado de México y Distrito Federal), los climas templados húmedos y subhúmedos tenderían a desaparecer, aumentando los secos y los cálidos y apareciendo los áridos en pequeñas áreas.⁽³⁹⁾

Los ecosistemas forestales más afectados en la región central del país, serían los bosques templados del oriente de Michoacán, la parte norte del estado de Morelos y los bosques húmedos y templados de la sierra Zongolica, en Veracruz.

En la zona sur del país, los cambios principales se presentarían en Oaxaca y Chiapas, cuyos ecosistemas forestales podrían incluso desaparecer.⁽³⁹⁾

En las costas del Golfo de México y del Mar Caribe se presentan regiones susceptibles al ascenso del nivel del mar, específicamente en el delta de los ríos Grijalva-Usumacinta en Tabasco, en las costas del noreste de Campeche y en la región de Sian Ka'an, esta última considerada como reserva de la biosfera. Los posibles resultados de un posible aumento en el nivel del mar de 0 a 2 metros, revelan que la costa del Golfo de México se vería

afectada en el delta del Pánuco y particularmente en la zona deltaíca del río Bravo, dadas sus características geomorfológicas.⁽³⁹⁾

1.2.2 CUMBRES MUNDIALES CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

A partir de 1972 se han realizado diversas Conferencia sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas en diferentes partes del mundo como las realizadas en :

- Estocolmo, Suecia en 1972.⁽⁴⁰⁾
- Eco 92 ó La Declaración de Río en 1992.⁽⁴⁰⁾
- Kioto, Japón en 1997
- La Haya, Holanda en el 2000.⁽⁴¹⁾
- Bonn, Alemania en el 2001
- Marrakech, Marruecos 2001
- Río +10 en el 2002
- Milán, Italia en el 2003
- Argentina en el 2004

Todas con el fin de buscar un desarrollo sustentable que permita conjugar el avance y desarrollo tecnológico de la industria con el mantenimiento de la Tierra como un lugar adecuado para la vida humana⁽⁴⁰⁾

La Conferencia mundial de las Naciones Unidas sobre el Ambiente en Estocolmo, marcó en 1972 la apertura al debate acerca de sus parámetros al discutir el problema ambiental con una perspectiva global, abarcando no sólo los problemas de contaminación del medio ambiente, sino también la disponibilidad y utilización de los recursos naturales, los problemas de la energía, el crecimiento y la distribución de la población humana y la relación entre desarrollo económico, desarrollo social y los ecosistemas.⁽³⁶⁾ Además de promulgarse la Declaración Internacional sobre el Ambiente.⁽⁴⁰⁾

En Eco 92, se definen los derechos y responsabilidades de las naciones en la búsqueda del progreso y del bienestar de la humanidad. Cuatro puntos principales de esta reunión son:

- El derecho de los Estados para aprovechar sus recursos propios y no causar daños al ambiente de otros países.
- Ejercer el desarrollo sobre una base sustentable.
- La responsabilidad de los países desarrollados en la búsqueda internacional del desarrollo sustentable.
- La función vital de los pueblos indígenas en el desarrollo sustentable debido a sus conocimientos y prácticas tradicionales.

Después de ese año, el documento más importante como resultado de éstas Cumbres es el Protocolo de Kioto en 1997, donde se fijan cuotas para la reducción de las emisiones de gases causantes del efecto invernadero. Dos puntos importantes de esta reunión son:

- Obligación jurídica de frenar y reducir en un 5.2% las emanaciones de seis gases (CO₂, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbono, perfluorocarbono y sulfuro

hexafluoruro) sobre los niveles de 1990, en los primeros años del próximo siglo, entre el 2008 y el 2012.

- El protocolo establecía una reducción 7% para EEUU, para Japón un 6% y para la Unión Europea un 8%. (Las posturas iniciales habían sido del cero por ciento, cinco por ciento y quince por ciento respectivamente).

Las posturas opuestas en Kioto vinieron principalmente de la Unión Europea (UE) y de EU; la UE asegura que el plan costaría millones de euros anuales y EU defiende los intereses del sector petrolero por lo que no ratifica el protocolo de Kioto.⁽⁴²⁾

En 1998 los países industrializados aumentan sus emisiones hasta un 10%⁽⁴¹⁾. Entre ellos, EU sobrepasó los límites aumentándolas más de un 20%⁽⁴¹⁾. Para evitar los controles, muchos de estos países han trasladado sus fábricas a naciones en vías de desarrollo, donde las emisiones están creciendo a una media de un 6%⁽⁴¹⁾ anual.

Las Conferencias que siguieron a la de Kioto, buscaron llegar a un acuerdo con las naciones que aun no ratificaban dicho protocolo; siendo hasta el 2001 en la Conferencia de Maruecos, donde Rusia y Japón, dos socios fundamentales para que el protocolo pudiera ser ratificado por un número suficiente de países aceptan el protocolo. Si bien la entrada en vigor del Protocolo de Kioto, con la firma de Rusia, hubiera sido el gran triunfo político, se dieron otros pasos importantes en la lucha contra el recalentamiento global, se definieron las cuestiones metodológicas para las actividades de forestación y reforestación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y por otro lado tuvo apoyo la iniciativa de la Argentina que propuso que Buenos Aires sea la sede de la próxima conferencia de las partes en el 2004, aportando al esfuerzo de los países partes de la Convención que buscan alcanzar los objetivos de la misma.⁽⁴³⁾

En lo que respecta a México, siendo miembro activo de las Naciones Unidas y de la Conferencia de las Partes, adopta el texto del Protocolo de Kioto firmándolo el día 9 de junio de 1998 y ratificándolo el día 7 de septiembre del año 2000.⁽⁴⁵⁾ También, llevó a cabo la forma de la Convención el día 13 de junio de 1992⁽⁴⁴⁾, ratificando la misma el día 11 de marzo de 1993⁽⁴⁶⁾, para su entrada en vigor en la fecha 21 de marzo de 1994.

1.2.3 IMPACTO AMBIENTAL EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN MÉXICO

La generación de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad (CFE) se realiza por medio de las tecnologías disponibles en la actualidad (tabla 1.2). En marzo del 2004, la CFE reporta una capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica de 44,269.74MW⁽⁴⁷⁾, incluyendo productores externos como Iberdrola, Electricité de France, Unión Fenosa, Mitsubishi, Kyushu Electric Power, Intergen, Mitsu, Chubu Electric Power, Calpine, AES y Transalta.

Siendo la generación termoeléctrica la más representativa en México; una central termoeléctrica de tipo vapor es una instalación industrial en la que la energía química del combustible se transforma en energía calorífica (generación de emisiones contaminantes) para producir vapor, el vapor es conducido a la turbina donde su energía cinética se transforma en energía mecánica, misma que se transmite al generador para producir finalmente energía eléctrica (figura 1.43).

Planta generadora	Capacidad instalada en [MW]	%
Termoeléctrica	29,979.36	67.72%
Hidroeléctrica	9,363.82	21.15%
Carboeléctricas	2,600.00	5.87%
Nucleoeléctrica	1,364.88	3.08%
Geotermoeléctrica	959.50	2.17%
Eoloeléctrica	2.18	0.01%
Total	44,269.74	100%

Tabla 1.2 Generación de Electricidad en México

Fuente: CFE, 2004



Figura 1.43 Proceso de transformación de energía en una Termoeléctrica

Fuente: CFE, 2003

Al cierre de marzo del 2004, la capacidad efectiva instalada y la generación según el tipo de generación termoeléctrica, es la que se muestra en la tabla 1.3.

Tipo	Capacidad en MW	Generación GWh
Vapor	14,058.50	15,411
Dual	2,100.00	2,929
Carboeléctrica	2,600.00	4,704
Ciclo Combinado*	10,984.65	16,033
Geotermoeléctrica	959.50	1,661
Turbogas	2,693.78	645
Combustión interna	142.44	156
Nucleoeléctrica	1,364.88	2,782
Total	34,903.75	44,321

Tabla 1.3 Capacidad y Generación de las Plantas Termoeléctricas

* Incluye productores independientes de energía (central ciclos combinados Mérida III, Hermosillo, Saltillo, Tuxpan II, Río Bravo II, Bajío (El Sauz), Monterrey III, Altamira II, Tuxpan III y IV, Campeche, Mexicali y Chihuahua III, Naco Nogales, Altamira III y IV).

Fuente: CFE, 2004

Estas centrales emplean el poder calorífico de combustibles derivados del petróleo (combustóleo, diesel y gas natural) para calentar agua y producir vapor con

temperaturas de 520°C y presiones de 120 a 170kg/cm² para impulsar turbinas que giran a 3600rpm.⁽⁴⁷⁾

La contribución a la contaminación atmosférica por medio del Sistema Eléctrico Nacional Mexicano, es de 0.6539 tCO₂/MWhr⁽⁵³⁾ siendo este un coeficiente de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) recomendado para plantas termoeléctricas y para plantas en la prospectiva del Sistema Eléctrico.

Con lo anterior, se puede decir que la generación de contaminantes por parte de las centrales termoeléctricas hasta marzo de 2004 ha sido de:

$$tCO_2 = (0.6539 \frac{tCO_2}{MWhr}) * (44,321 \frac{GWhr}{Año}) * (1,000) = 28,981,502 \frac{tCO_2}{Año}$$

1.2.4 IMPACTO AMBIENTAL AL EMPLEAR LFC's

Al emplear LFC's se reduce la emisión de gases de efecto invernadero, ya que al consumir 75% menos energía que los focos incandescentes a los que sustituyen, se requiere menos energía eléctrica para producir el mismo flujo luminoso, con lo que se evita la combustión de sustancias contaminantes.

El uso de una LFC de 23W en lugar de una incandescente de 100W evita que se emitan al medio ambiente más de 1,000kg que provienen de la quema de combustible y más de 1,500kg de carbón.⁽³⁵⁾

En cuanto a ciertos elementos nocivos al medio ambiente que emplean las LFC's podemos encontrar el mercurio, que es un elemento tóxico empleado en diversos productos y procesos de manufacturación. Puede entrar en alimentos por medio de la contaminación de lagos, ríos y océanos, por lo que la gente está más expuesta al mercurio al ingerir pescado contaminado, lo que puede atacar al cerebro, al sistema nervioso, al hígado, los riñones y dañar al sistema inmunológico y al cardiovascular. Las LFC's contienen una pequeña cantidad de mercurio, siendo éste, un elemento esencial e irremplazable para la operación de las LFC's como se explicará en el capítulo II. Una LFC común contiene en promedio de 4 a 5mg,⁽⁴⁹⁾ cantidad que está por debajo de la que presentan otros productos tales como un termómetro casero (tabla 1.4). Es importante aclarar que el hecho de que una LFC contenga mercurio no es sinónimo de que exista una emisión de éste al ambiente mediante su uso.

CANTIDAD DE MERCURIO EN OTROS PRODUCTOS		
Producto	Cantidad de mercurio	Número equivalente de LFC's
Pila de reloj	25 mg	5
Amalgamas dentales	500 mg	100
Termómetro casero	500 mg – 2 g	100 – 400

Tabla 1.4 Cantidad de Mercurio en Otros Productos
Fuente: Oregon DEQ Mercury Fact Sheet⁽⁵⁰⁾

Indiscutiblemente, la empresa productora de LFC's que más se ha preocupado al incluir en sus estudios e investigaciones, no solo propuestas enfocadas al mejoramiento de las tecnologías existentes sino propuestas que ayuden a dañar lo menos posible el medio ambiente, es Philips Lighting, empresa que ha desarrollado dos tecnologías muy

importantes en pro del medio ambiente en cuanto a LFC's se refiere, que son: la tecnología de amalgama y la tecnología ALTO.

Ambas tecnologías procuran el uso de la menor cantidad de mercurio posible dentro de las LFC's, de manera que las LFC's con tecnología ALTO incorporan de 1.4 a 2.7mg⁽²⁰⁾ de mercurio dependiendo del modelo de LFC; por su parte, la tecnología de amalgama no solo implica un menor uso de mercurio al sustituir la gota de éste elemento por una aleación de varios metales en la LFC (figura 1.44) sino que, además de eso, permite usarla en cualquier posición de encendido y extiende el rango de temperaturas ambiente a las que una LFC puede funcionar adecuadamente sin disminuir su flujo luminoso al controlar mejor la presión de vapor en el interior del tubo.

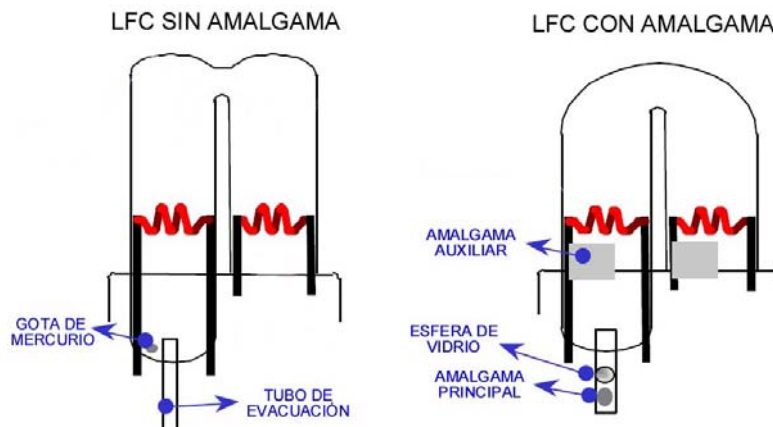


Figura 1.44 Tecnología de Amalgama
Fuente: GE Lighting⁽⁵¹⁾

La eliminación de residuos y/o el reciclaje de lámparas con mercurio es un problema que ha sido objeto de gran atención en muchas zonas del mundo durante los últimos años. El término que mejor describe el reciclaje de los materiales de las LFC's en la actualidad es "recuperación", ya que éstos materiales raramente se reprocesan y se utilizan en la fabricación de nuevas lámparas cuando no se tiene una infraestructura para ello.

Por lo general, las piezas metálicas se emplean como chatarra. El vidrio recuperado se utiliza para fabricar fibra de vidrio o bloques de vidrio.⁽⁵²⁾ Por ejemplo, Osram Alemania a principio de la década de los 80's desarrolló un proceso de reciclaje para lámparas fluorescentes, logrando a través de los años tasas del 90 al 93% de reciclaje en peso, dicho proceso permitió en la mitad de esa década el establecimiento de un gran sistema de recolección y reciclaje, logrando que en Alemania las compañías de disposición de residuos y varias fábricas de lámparas fundaran el Lamp Recycling Working Group y a partir de ahí, se recuperan materiales secundarios de la corriente de residuos y se les utilizara en la producción de nuevas lámparas.

Lamentablemente en México aun no existe un programa de reciclaje de LFC's como lo existe en países industrializados, donde la promoción de lámparas ahorradoras de energía involucra, además de incentivos económicos para el usuario, un plan de reciclaje al final de la vida útil. De hecho, no puede haber punto de comparación, puesto que un país como Alemania recicla el 60% de toda la basura que genera y México solamente el 3% ocupando el segundo lugar (después de China) en países con el peor manejo de basura a nivel mundial.

II. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Un sistema fluorescente compacto está constituido básicamente por: lámpara, balastro, luminario y tipo de control. No todos los sistemas están constituidos por el mismo número de elementos, por lo que se aprecian tres diferentes tipos: sistemas integrales, modulares y dedicados.

Los sistemas integrales son conjuntos autobalastados de una sola pieza con base tipo rosca (E26) que pueden o no, tener un difusor integrado a ellas. Los sistemas modulares se forman al menos de dos piezas, es decir, de un balastro y una lámpara desmontable a una base y pueden o no, incluir un difusor (también desmontable). Por último, los sistemas dedicados están constituidos al menos por una lámpara con su(s) respectiva(s) bases, un balastro y un luminario.

En cuanto al control de iluminación que sistemas como éstos tienen, se pueden encontrar sistemas típicos (interruptores), automáticos (sensores de presencia, fotosensores, etc.) o el uso de atenuadores para LFC's. En cuanto a la elección del tipo de control para un sistema, el criterio es el mismo que para elegir un luminario, pues en todo caso la aplicación para la que se destine será la que marque los parámetros de elección.

Este capítulo se ha dividido para su estudio en cuatro partes, donde se tocarán los temas más relevantes e importantes de los elementos que constituyen un sistema fluorescente compacto.

2.1 LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA

Una lámpara fluorescente compacta (LFC) es una lámpara de descarga eléctrica en vapor de mercurio a baja presión, en la cual la emisión principal son rayos ultravioletas (UV). Las radiaciones UV son absorbidas por el recubrimiento fluorescente, el cual convierte dichas radiaciones en luz visible. Además se caracteriza por presentar sus terminales eléctricas en un extremo de la lámpara y por incluir una o más zonas frías para controlar la presión del vapor de mercurio.

2.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La generación de luz de las LFC's ocurre en la misma forma que en las lámparas fluorescentes convencionales, conocidas también como tubulares o lineales.

Las lámparas fluorescentes son esencialmente lámparas de descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión y de un gas inerte. La descarga se produce en un recipiente tubular, en cuya pared interior se ha depositado una fina capa de sustancias minerales fluorescente albergando en cada uno de sus extremos un electrodo. El tubo está relleno de un gas noble, generalmente argón, a algunos milímetros de presión y de una pequeña cantidad de mercurio.⁽¹⁾

En la figura 2.1 se ilustra el fenómeno de producción de la luz en una lámpara fluorescente. Básicamente, al aplicar una tensión adecuada entre los electrodos o cátodos de la lámpara, se produce una descarga eléctrica entre ellos; los electrones procedentes

de los cátodos invaden el espacio interelectrónico chocando con los átomos de mercurio que existen en dicho espacio. A consecuencia de estos choques, una parte de los átomos se ioniza, aumentando así la corriente de descarga; la mayor parte de los átomos de mercurio ya están aquí excitados. ⁽¹⁾

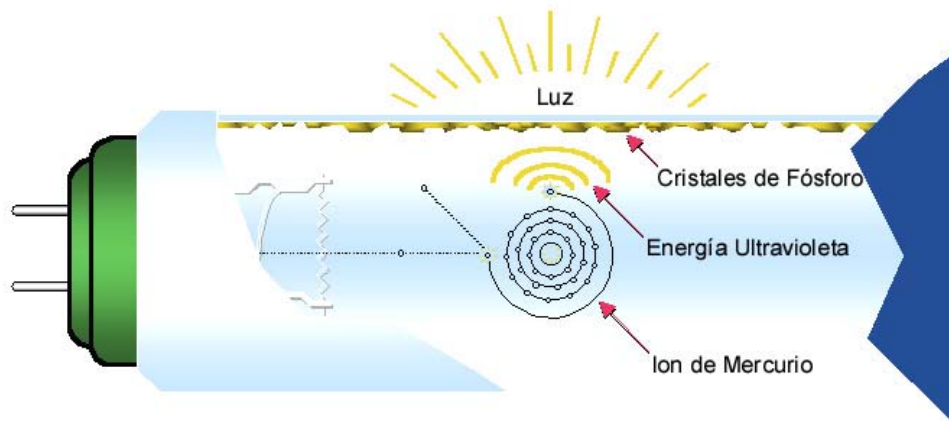


Figura 2.1 Producción de Luz en una Lámpara Fluorescente
Fuente: Philips Corp.

Debido a la baja presión que existe en el interior del tubo, la excitación de los átomos de mercurio emiten, casi exclusivamente, radiaciones UV, cuya longitud de onda es de 253.7nm. ⁽¹⁾ Estas radiaciones excitan, a su vez, materiales fluorescentes depositados en las paredes del tubo, emitiendo así radiaciones mayores en longitud de onda a las radiaciones UV incidentes, estando éstas dentro del rango de las radiaciones visibles que van de 380 a 780nm (figura 2.2).

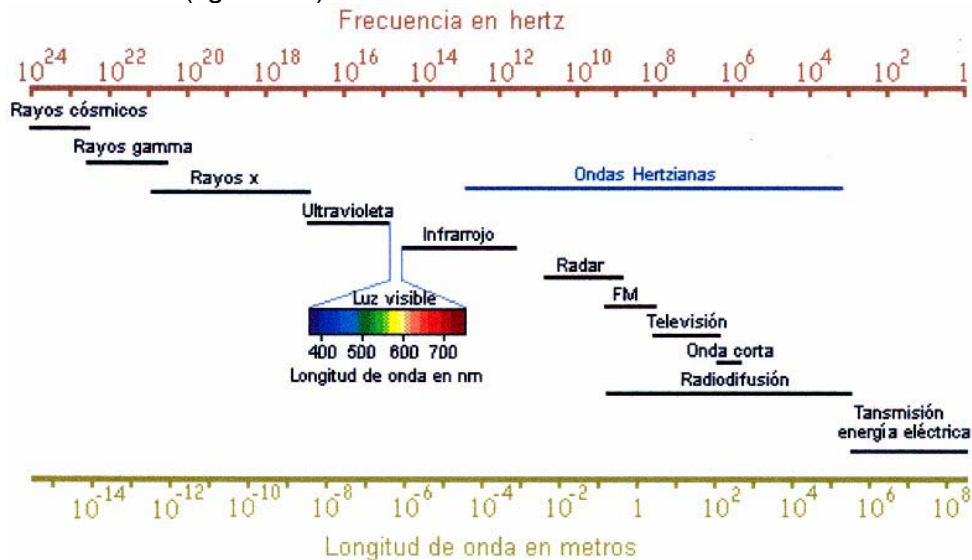


Figura 2.2 Espectro Electromagnético
Fuente: La Naturaleza de la Luz ⁽¹⁴⁾

Al contrario de la lámpara incandescente, una lámpara fluorescente no puede funcionar mediante conexión directa a la red, necesita un dispositivo que limite el flujo de la corriente eléctrica a través de ella. A este dispositivo se llama balastro, el cual proporciona el pico de tensión necesario para el encendido y las características necesarias para su correcto funcionamiento, de lo cual se hablará a fondo en el punto 2.2 de este capítulo.

2.1.2 FENÓMENO DE FLUORESCENCIA

Cuando se irradian algunos materiales sólidos con partículas en rápido movimiento o por radiación electromagnética, comienzan a emitir por sí mismas radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda muy específicas. A este fenómeno se conoce como fluorescencia.

La fluorescencia producida principalmente por radiación UV (resultado de una descarga eléctrica en vapor de mercurio) se emplea para generar luz en una lámpara fluorescente.

Los polvos fluorescentes se obtienen de formas muy variadas, generalmente consisten en compuestos químicos inorgánicos cristalinos de pureza extremadamente elevada a los que se añade una pequeña cantidad de otro compuesto denominado activador. Las longitudes de onda emitidas van de ultravioleta (fosfato cálcico activado con talio, 310nm) al infrarrojo (penta-aluminato de litio activado con hierro, 743nm).⁽²⁾

2.1.3 EFECTO TERMOIÓNICO

Thomas Alba Edison, inventor de la lámpara incandescente, en su laboratorio de investigación industrial descubrió lo que llamaría el “efecto termoiónico” o también conocido como “Efecto Edison”.

El descubrimiento se hizo al colocar una pequeña placa metálica conectada a una fuente de tensión eléctrica frente a un filamento incandescente, ocasionando un flujo o emisión termoiónica; al calentarse la placa, ésta produjo una gran cantidad de electrones que fueron atraídos por el filamento.^(4,5)

Dentro de la construcción de las lámparas fluorescentes convencionales y de las compactas, se presenta dicho efecto en los electrodos sucediendo lo siguiente:

El electrodo que va en cada uno de los extremos de las lámparas fluorescentes, consiste generalmente de un alambre con revestimiento de tungsteno de doble o triple arrollamiento espiral. Dicho revestimiento por ser un material emisor (bario, estroncio y óxido de calcio) emite electrones cuando se calienta a una temperatura de operación cercana a los 950°C.⁽¹⁾ A esta temperatura los electrones se desprenden libremente con sólo una pequeña pérdida de potencia en cada uno de los cátodos.

A este proceso se le llama “emisión termoiónica”, ya que el calor es más responsable que el voltaje en la emisión de electrones. A un electrodo de este tipo se le conoce como electrodo de cátodo caliente⁽¹⁾ y es el más empleado actualmente; este tipo de cátodos reducen el voltaje de encendido necesario para establecer el arco.

2.1.4 EFECTO HALL

Por medio del efecto Hall se determina el signo de los portadores de carga en un metal, ya que, la dirección de una corriente no determina, por sí, el signo de éstos en esa corriente, porque una corriente hacia la derecha puede ser producida por el movimiento ya sea de cargas positivas hacia la derecha, o de cargas negativas hacia la izquierda.

Teniendo una banda de metal o semiconductor con corriente, situado en un campo magnético perpendicular al vector densidad de corriente, surge un campo eléctrico transversal y una diferencia de potencial.

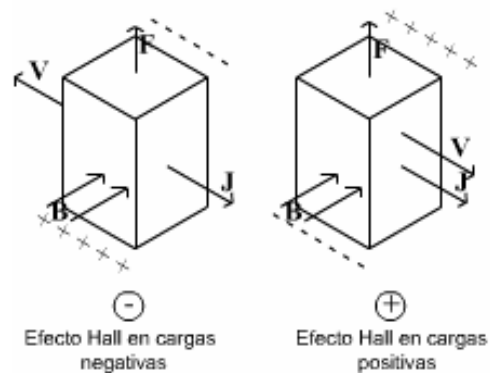


Figura 2.3 Efecto Hall
Fuente: Salón Hogar⁽⁶⁾

La causa del efecto Hall es la desviación que experimentan los electrones que se mueven en el campo magnético bajo la acción de la fuerza de Lorentz. En la figura 2.3 se muestran las direcciones del campo magnético B , de la densidad de corriente J , la fuerza de Lorentz F , la velocidad de las cargas V (según sean estas positivas o negativas), así como los signos de las cargas concentradas en las caras opuestas superior e inferior para cada tipo de carga (negativa y positiva).

En la figura 2.3 podemos observar que la imagen del lado izquierdo es válida para metales y semiconductores tipo n ; para semiconductores tipo p , los signos de las cargas que se concentran en las superficies son opuestos (figura 2.3 lado derecho). Las cargas siguen siendo desviadas por el campo magnético hasta que la acción de la fuerza en el campo eléctrico transversal equilibre la fuerza de Lorentz.⁽⁶⁾

2.1.5 LUMINISCENCIA

La luminiscencia es la emisión de radiación luminosa por átomos, moléculas o iones, excitados por choques de electrones, es decir, por procedimientos no térmicos donde no se produce o se produce en muy pequeño valor una elevación de temperatura.^(1,13)

La diferencia principal entre luz radiada por una fuente incandescente y otra luminiscente, consiste en que la primera presenta un espectro continuo en el que están presentes todas las longitudes de onda, mientras que la segunda muestra un espectro discontinuo de líneas o bandas.⁽⁷⁾

La luminiscencia se manifiesta en una gran variedad de fenómenos luminosos pero, entre todos ellos, la descarga en gases acompañada con frecuencia por la fluorescencia, es la más ampliamente utilizada para fines de alumbrado.

2.1.5.1 TIPOS DE DESCARGA DE GAS

Una descarga gaseosa se obtiene estableciendo una corriente eléctrica a través de un gas situado entre dos conductores sólidos denominados electrodos. Si la descarga se

produce en corriente continua (c.c.), el electrodo negativo se denomina cátodo y el positivo ánodo. Si se trata de una corriente alterna (c.a.), los electrodos actúan alternativamente como cátodo ó ánodo.⁽⁷⁾

Dentro del ambiente gaseoso, los verdaderos portadores de la corriente eléctrica que se establece entre los electrodos son las partículas cargadas eléctricamente: iones positivos y electrones libres negativos (figura 2.4).⁽⁷⁾

Las propiedades de una descarga gaseosa se ven afectas por numerosos factores, los más importantes son: el tipo y presión del gas (o mezcla de gases), el material del electrodo, la temperatura de trabajo de los electrodos, la forma y estructura de su superficie y la densidad de corriente (definida como el número de electrones que abandonan el cátodo por unidad de tiempo y superficie).⁽⁷⁾

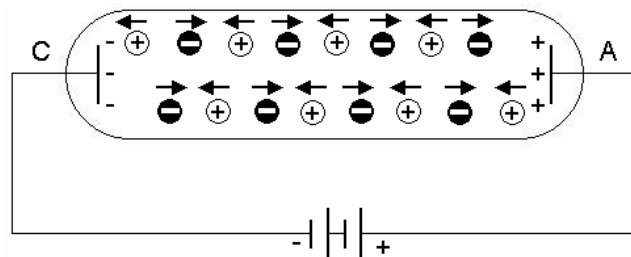


Figura 2.4 Representación Esquemática de una Descarga Gaseosa en C.C.
Fuente: Principios Sobre Generación de Luz, Philips⁽⁷⁾

Descargas luminiscentes

Si se aplica una moderada alta tensión en c.c. entre los electrodos de un tubo de descarga lleno con gas a baja presión (inferior a 5000 Pa⁽⁷⁾), fluirá una corriente eléctrica muy pequeña, sin ningún efecto visible. Cuando la tensión entre electrodos aumenta por encima de un cierto valor, comienza a producirse la ionización; como cada electrón libre originado de esta forma es capaz de ionizar algunos átomos más de gas, a lo largo de su recorrido hacia el ánodo, el ritmo de producción de partículas cargadas aumenta rápidamente (efecto avalancha). Además de los iones positivos que golpean el cátodo a gran velocidad, en su impacto liberan electrones de la superficie de éste y llegado un cierto momento, el número de partículas así producidas será suficiente para mantener la descarga sin ninguna ayuda exterior.

La etapa que se inicia a partir de este momento se llama descarga luminiscente, debido a la suave y transparente emisión luminosa producida por la descarga, de color característico según el o los elementos gaseosos presentes. Una observación detenida de la emisión de la descarga en c.c. permite localizar alternativamente zonas brillantes y oscuras tal como se muestra en la figura 2.5.⁽⁷⁾

Desde el punto de vista de la emisión de luz, las zonas más importantes a considerar son una región brillante cercana al cátodo, denominada emisión negativa y una larga zona de brillo uniforme que cubre la mayor parte de la cámara de descarga denominada columna positiva.

Con una alimentación en c.a. en baja frecuencia (menor a 1 kHz), las características de la descarga permanecen esencialmente iguales a las de alimentación en c.c. excepto

porque cátodo y ánodo cambian alternativamente de función, con una frecuencia dos veces mayor a la de la red.⁽⁷⁾

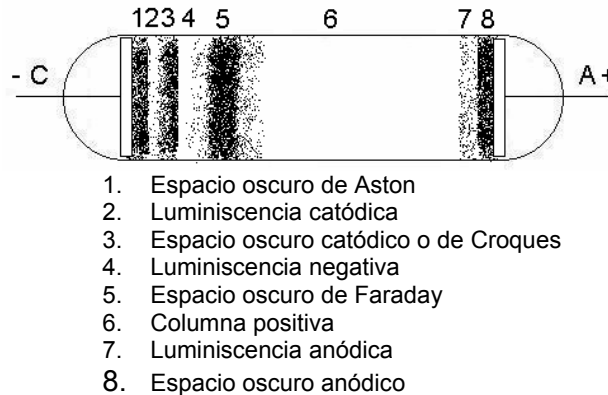


Figura 2.5 Zonas Brillantes y Oscuras de una Descarga Luminiscente en C.C.
 Fuente: Principios Sobre Generación de Luz, Philips⁽⁷⁾

Descargas por arco

La descarga luminiscente que se acaba de describir, solo es estable con pequeñas o moderadas densidades de corriente. A medida que se eleva la tensión y aumenta la corriente, sus características pueden cambiar hacia una descarga por arco, cuyo comportamiento es distinto.

Un mayor aumento en la tensión provocará que la naturaleza de la descarga cambie súbitamente. La caída catódica disminuye a menos de 20V⁽⁷⁾, haciéndose del mismo orden que la caída anódica, por lo que la corriente aumenta rápidamente. Se ha alcanzado el punto de transición luminiscencia-arco.

Para que se dé la transición luminiscencia-arco, es esencial que se produzca un cambio en el proceso de emisión de electrones por el cátodo. Durante el proceso de descarga luminiscente, la temperatura del cátodo permanece baja por lo que consecuentemente, la densidad de la corriente es pequeña; el aumento de la temperatura del cátodo origina un proceso de emisión electrónica distinto, estimulado por el calor, a partir de ciertos valores, entre 800°C y 2000°C⁽⁷⁾, según los óxidos que impregnan los electrodos, pasa rápidamente a ser el proceso de producción de electrones libres más importante, tan efectivo que la densidad de corriente aumenta bruscamente.

Lámparas de descarga por arco a baja presión

Tienen la ventaja, sobre las de descarga luminiscente, de presentar un mayor flujo luminoso (radiante) por unidad de longitud (gracias a su corriente de descarga más elevada) y una menor tensión de trabajo. Entre ellas las más populares son: la lámpara de mercurio de baja presión con recubrimiento fluorescente (más conocida como lámpara fluorescente tubular) y la lámpara de sodio de baja presión.⁽⁷⁾

En la descarga a baja presión, los electrones libres, en su camino hacia el ánodo, recorren considerables distancias antes de colisionar con los átomos del gas. Su velocidad media es muy elevada en comparación con la de los átomos neutros o la de los iones positivos en la columna positiva.⁽⁷⁾

Al aumentar la presión del gas, el número de colisiones entre los electrones y átomos también aumenta. La transferencia de energía entre electrones y átomos se hace más frecuente y también más eficaz, disipando así, mayor energía en la columna positiva. La velocidad media de los átomos de gas aumenta como resultado del incremento de las colisiones y la de los electrones disminuye.⁽⁷⁾

2.1.6 TIPOS DE SISTEMAS EN LAS LFC's

Las LFC's son sistemas de iluminación que constan de una lámpara (que incluye casi siempre un arrancador en la base), un portalámpara y un balastro. En muchos casos se incluye dentro del paquete a un adaptador que facilita la instalación. Actualmente hay tres sistemas diferentes:⁽⁸⁾

- Sistemas Integrales. Son conjuntos autobalastados de una sola pieza, constan de un adaptador, una lámpara y un balastro (figura 2.6 A),
- Sistemas Modulares. Son conjuntos autobalastados formados por dos piezas, una de ellas consta de un adaptador, un balastro y un portalámparas y la otra básicamente es una lámpara reemplazable (figura 2.6 B).
- Sistemas Dedicados. Se componen de un luminario, un balastro y una o dos portalámparas dependiendo del diseño del luminario (figura 2.6 C).



A) Sistema Integral



B) Sistema Modular



C) Sistema Dedicado

Figura 2.6 Sistemas de LFC's
Fuente: Fotografías de Diversas Marcas

2.1.7 CONSTRUCCIÓN DE UNA LFC

Las partes importantes que componen una LFC's (figura 2.7) son:^(3, 27)

- Tubo
- Recubrimiento fluorescente
- Electrodo
- Bases de la lámpara
- Gas de relleno
- Arrancador
- Capacitor supresor de RFI
- Balastro

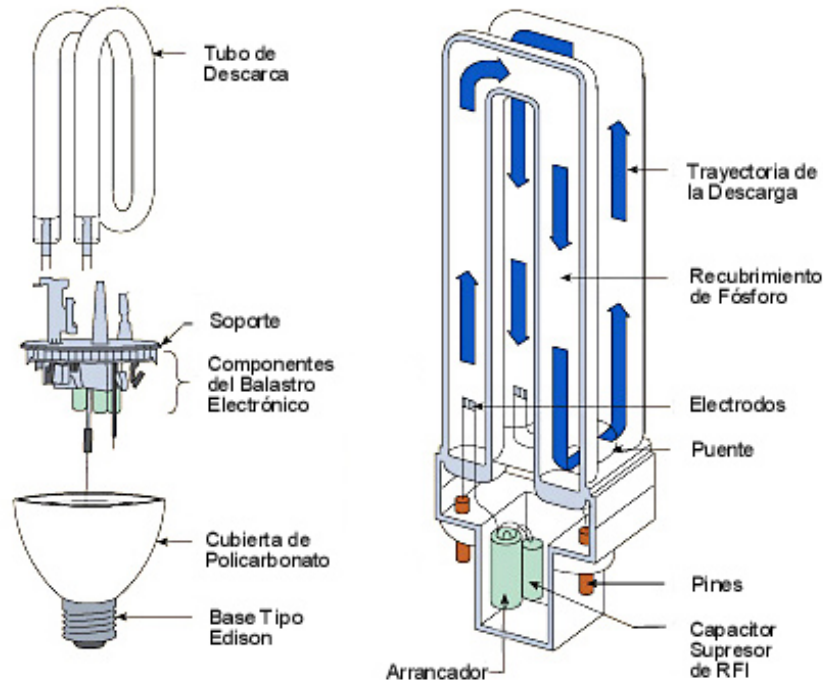


Figura 2.7 Construcción de una LFC
 Fuente: The IESNA Lighting Handbook; Reference and Application⁽⁹⁾

2.1.7.1 BULBO

El tubo de una LFC está hecho de vidrio a la cal impurificado con óxido de hierro para controlar la transmisión de las longitudes de ondas cortas.⁽³⁾ Se estira en un horno de vidrio de elevada capacidad en un proceso continuo para ser posteriormente cortado y doblado a la longitud deseada, dándole así, la forma adecuada según su diseño. La construcción de las LFC's requiere de tubos de longitud y diámetro menores que los utilizados en las lámparas fluorescentes convencionales (tubulares) de idéntico flujo luminoso. Esto da como resultado que la capa de polvos fluorescentes de las LFC's sea considerablemente mayor que en las tubulares convencionales.

El diámetro del tubo está determinado por la corriente de descarga y por la carga radiante permisible en la capa fluorescente, esta última, conocida también como carga de pared o espesor de la capa de polvos fluorescentes. La nomenclatura que se emplea para designar el diámetro es la letra T seguida por un número, donde la "T" es la inicial de la palabra "Tubular" y el número indica el diámetro expresado en octavos de pulgada. Actualmente los diámetros más empleados para LFC's son: T3 y T4.

2.1.7.2 RECUBRIMIENTO FLUORESCENTE

La longitud de onda o el color de la luz producida por una LFC depende de la composición química del fósforo utilizado en el revestimiento interno del tubo. Mediante la diversa combinación de distintos fósforos, es posible producir una amplia variedad de colores.

El factor más importante que determina las características de la luz de una LFC es el tipo y composición del polvo fluorescente empleado. Éste fija la temperatura de color, el índice de rendimiento de color y, en gran medida, la eficacia de la lámpara.

Algunos minerales presentan de forma espontánea el fenómeno de la fluorescencia, sin embargo, la mayoría de los compuestos químicos utilizados son fluorescentes sólo después de haber sido purificado en alto grado y de haberseles añadido una pequeña cantidad de otro compuesto (denominado activador). El activador es quien determina las características espectrales de la luz fluorescente. Algunos polvos fluorescentes, como el apatito tienen dos activadores.

Los más importantes para las lámparas fluorescentes se enumeran en la tabla 2.1.

CARACTERÍSTICAS DE LOS POLVOS FLUORESCENTES MÁS IMPORTANTES			
Compuesto	Activador	Longitud de onda pico (nm)	Denominación comercial
Aluminato de estroncio	Cerio	304	SAC
Disilicato de bario	Plomo	350	BSP
Silicato de magnesio bario estroncio	Plomo	365	SMS
Tetraborato de estroncio	Europio	368	SBE
Volframato de calcio	-	410	-
Pirofosfato de estroncio	Europio	418	SPE
Aluminato de magnesio y bario	Europio	447	BAM
Halofosfato de calcio	Estaño	474	Calcio azul
Aluminato de estroncio	Europio	488	SAE
Halofosfato de estroncio	Plomo	490	Estroncio azul
Halofosfato de estroncio	Estaño	502	Estroncio azul
Aluminato de bario y magnesio	Europio y Manganeseo	514	BAM verde
Silicato de zinc	Manganeseo	525	Willemite
Aluminato de magnesio terbio y cerio	-	541	CAT
Aluminato de ytrio	Cerio	557	YAG Ce
Halofosfato de calcio	Antimonio y Manganeseo	580	Apatito
Oxido de ytrio	Europio	610	-
Borato de fosfato vanadato de ytrio	Europio	615	-
Borato de magnesio, terbio, gadolinio y cerio	Manganeseo	623	CBTM
Ortofosfato de estroncio y magnesio	Estaño	625	SPS
Fluorogermanato de magnesio	Manganeseo	655	-
Pentaaluminio de litio	Hierro	743	-

Tabla 2.1 Características de los Polvos Fluorescentes
Fuente: Lámparas Fluorescentes, Philips⁽³⁾

Algunos polvos fluorescentes como el apatito y otros halofosfatos, presentan una banda de emisión que cubre casi en su totalidad el espectro visible y por lo tanto producen luz blanca cuando se utilizan solos.⁽³⁾ No obstante cuando se requiere un rendimiento de color muy bueno, se emplea una combinación de polvos fluorescentes con diferentes características de color.

El principal problema encontrado durante el desarrollo de la LFC fue conseguir un material fluorescente que fuera más resistente a la mayor densidad de radiación UV que los halofosfatos tradicionales. La solución se encontró en los fósforos de banda estrecha (trifósforos o tierras raras) que son más estables.⁽³⁾

Los fósforos de banda estrecha son comparativamente caros, por ello, a fin de emplear la menor cantidad posible de éstos, la pared del tubo se recubre previamente de una delgada capa de halofosfato. El recubrimiento de halofosfatos solo es el causante del 10%⁽³⁾ de la radiación visible.

La eficiencia de la lámpara depende también, en gran medida, de ciertas características físicas del recubrimiento del tubo, tales como el espesor de la capa y la finura del polvo. Idealmente, el polvo debería ser lo suficientemente grueso como para obtener la mayor eficiencia de conversión de radiación UV a radiación visible y al mismo tiempo, el espesor de la capa, ser lo más delgado posible a fin de evitar al máximo la absorción de radiación visible. No obstante, si se depositará una capa demasiado delgada o se emplearan polvos de estructura cristalina gruesa resultaría una capa muy transparente a la radiación UV procedente de la descarga. Por lo que el espesor a emplearse debe ser medio.⁽³⁾

En la práctica esto no es suficiente para filtrar toda la radiación UV producida durante la descarga, ya que una pequeña parte de ella se abrirá paso a través de la capa fluorescente. Sin embargo, cuando la cantidad filtrada de ésta sea inaceptable, se pueden suprimir las líneas azul y violeta del espectro aplicando una capa extra de material no fluorescente (casi siempre titanato de níquel).⁽³⁾

2.1.7.3 ELECTRODOS

Los electrodos de la lámpara están cubiertos de un material emisor adecuado y sirven para conducir la corriente eléctrica en el interior de la lámpara y para suministrar los electrones necesarios para mantener la descarga. Los detalles constructivos varían, pero un electrodo consta básicamente de un filamento de wolframio recubierto de una sustancia cristalina que libera fácilmente electrones cuando se calienta a una temperatura de unos 800°C.⁽³⁾ Se ha encontrado que el material emisor más adecuado para lámparas fluorescentes, está formado por una mezcla de óxidos de bario, estroncio y calcio.

La mayoría de los electrodos se precalientan por medio de una corriente eléctrica que pasa por ellos antes del encendido, razón por la que se fabrican con la misma forma que el filamento de wolframio de una lámpara incandescente. Son a menudo triplemente espiralados o bobinados con un hilo delgado, a fin de presentar la mayor cantidad posible de material emisor.

La tensión normal de precalentamiento es de 3V⁽³⁾ para la mayoría de los tipos de lámparas. Una vez que la lámpara se enciende, la corriente de precalentamiento se desconecta, ya que la elevada temperatura necesaria para la emisión de electrones se mantiene debido al bombardeo de los electrodos por parte de los iones rápidos que se generan durante la descarga. Ésta es la construcción más frecuente empleada en las LFC's de tipo modular.

Hay, sin embargo, LFC's que contienen electrodos de calentamiento continuo (lámparas de encendido rápido) y otras que poseen electrodos sin calentamiento continuo (lámparas

de encendido instantáneo). En ambos casos, los electrodos de las lámparas son de construcción más pesada a fin de disponer de mayor cantidad de material emisor. El electrodo va perdiendo material emisor a lo largo de su vida debido a la evaporación y dispersión del material producida durante el bombardeo iónico de la descarga. Ésta es la causa principal del eventual fallo de la lámpara.

2.1.7.4 PORTALÁMPARA

Las lámparas fluorescentes lineales de precalentamiento y de encendido rápido tienen bases de cuatro contactos eléctricos o cuatro pernos. Para las lámparas de encendido instantáneo, se requieren solamente de dos contactos eléctricos o dos pernos.⁽¹⁾

Los sistemas integrales de LFC's emplean bases tipo E26 o E27, los sistemas modulares o dedicados, utilizan bases tipo G (figura 2.8).

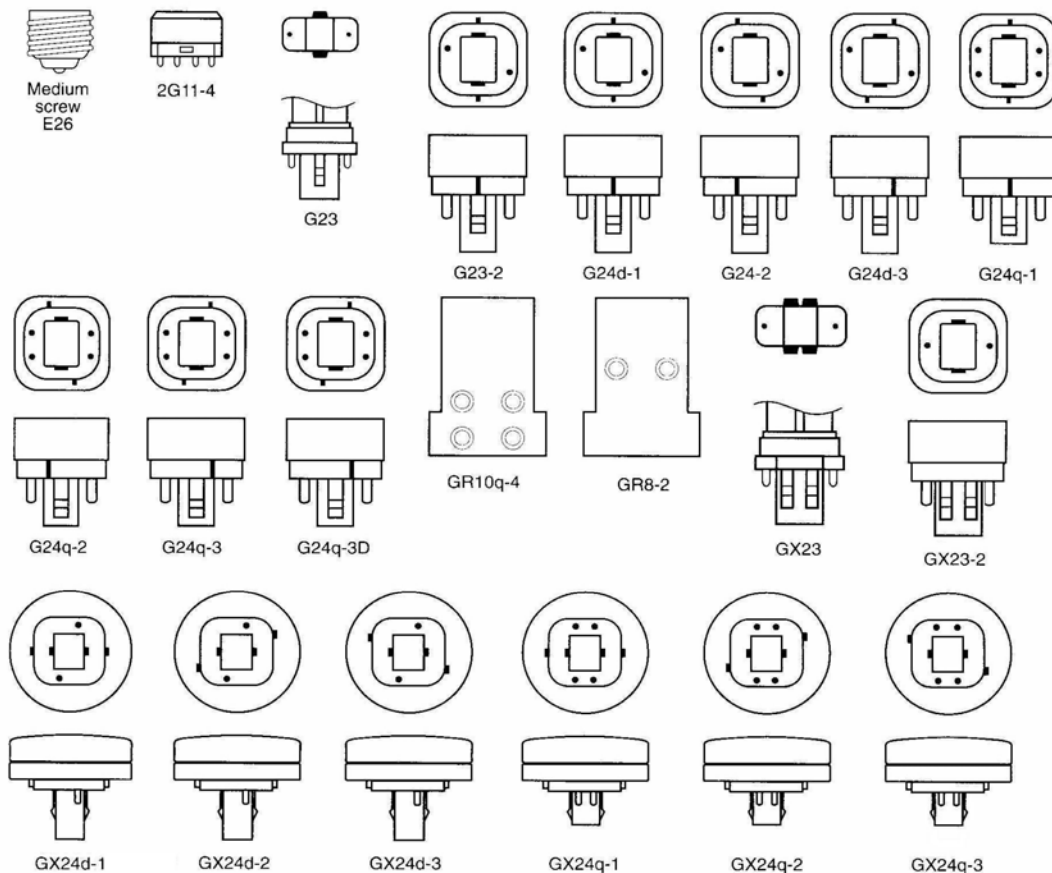


Figura 2.8 Bases Para LFC's
Fuente: The IESNA Lighting Handbook; Reference and Application⁽⁹⁾

La designación de letras y números se basa en lo establecido por la Comisión Electrotécnica Internacional (CIE), e indican la construcción del casquillo con el siguiente significado:⁽¹⁰⁾

- G: Significa dos o más pernos de (postes, alfileres, etc.); cuando el cuerpo del casquillo esta hecho de material conductor debe aislarse de los pernos que hacen contacto.
- X: Significa que la base de la lámpara es redonda.

El número que sigue a la(s) letra(s) indica el valor aproximado en milímetros de la dimensión principal del casquillo en la siguiente forma:⁽¹⁰⁾

- Para dos pernos la distancia entre centros de los mismos.
- Para más pernos, cuyos centros estén situados sobre una circunferencia, el diámetro de ésta.
- Si todos los centros de los pernos no se localizan en una circunferencia, la distancia entre los centros de los pernos que hacen contacto con el circuito principal o el diámetro de la circunferencia que contiene a los centros de los pernos que hacen contacto.

Las designaciones anteriores son generales y frecuentemente es necesario dar una indicación adicional para distinguir características tales como las siguientes:

Una letra minúscula indica el número de elementos de contacto, a saber:⁽¹⁰⁾

d	Para dos
q	Para cuatro

Un número, una letra o posiblemente una combinación de símbolos precedidos por un guión indica(n) el número de elementos y su colocación tales como pernos, zapatas, ranuras, etc.⁽¹⁰⁾

Las lámparas que contienen en su casquillo dos contactos o pernos, incorporan un pequeño arrancador de descarga luminosa, así como un condensador para evitar radio interferencias, el encendido de éste tipo de LFC's es de precalentado, mismo que se detallara más adelante. Las lámparas que contienen en su casquillo cuatro contactos o pernos, no incorporan ningún tipo de dispositivo siendo del tipo de encendido rápido; sólo las lámparas con cuatro pines se pueden dimmear.^(3, 9)

Con lo anterior, podemos observar que existe una gran diferencia entre los casquillos de las lámparas lineales con los de las LFC's, ya que el número de pines de uno a otro difiere para el tipo de encendido de la lámpara así como el uso del balastro, siendo ésta una de las grandes diferencias.

2.1.7.5 GASES DE RELLENO

El gas de relleno de una LFC consiste en una mezcla de vapor de mercurio saturado y un gas inerte amortiguador en una proporción de aproximadamente 1:3000 cuando la lámpara está funcionando.

Gas inerte

El gas inerte tiene tres funciones principales:⁽³⁾

1. Controla la movilidad de los electrones libres durante la descarga, sin él, éstos producirían ionización en vez de excitación de los átomos de vapor de mercurio.
2. Prolonga la vida de los electrodos al reducir el chisporroteo y la evaporación del material emisor.
3. Facilita el encendido al proporcionar una ruptura más fácil con tensiones de encendido menores, especialmente a bajas temperaturas.

El gas amortiguador más comúnmente empleado es el argón, que se mezcla hasta con 25% de neón para conseguir la velocidad de electrones libres más eficaz. Las lámparas fluorescentes de menor diámetro (T3), incorporan al gas de relleno kriptón que es más pesado, a fin de alcanzar la misma tensión en la lámpara (aunque con una tensión de encendido superior) para un diámetro de lámpara menor. ⁽³⁾

Para una longitud de tubo dada, la tensión de la lámpara aumenta con la disminución del diámetro del tubo y decrece a medida que aumenta el peso atómico del gas empleado.

Mercurio

En condiciones normales de trabajo, el mercurio está presente en el tubo de descarga en estado líquido y gaseoso. La presión del vapor de mercurio se ve fuertemente influenciada por la temperatura. El flujo luminoso máximo se alcanza para una temperatura del gas de 40°C en el punto más frío del tubo de descarga. La presión equivalente del vapor de mercurio es entonces de aproximadamente 1.07Pa, comparado con una presión del gas amortiguado de 100 a 400Pa. Bajo dichas condiciones se emite aproximadamente el 90% de la energía radiante en la banda UV de 254nm. ⁽³⁾

Mayores o menores temperaturas darán lugar a mayor o menor tensión de vapor de mercurio y a una desviación de las características de emisión; en ambos casos se produce una disminución de la salida del flujo luminoso.

Amalgama de mercurio

La temperatura del punto más frío en el tubo de descarga, que se da normalmente en los puentes de los tubos paralelos de la lámpara o en el centro de la pared interior de la lámpara como es el caso de las lámparas helicoidales, determina la presión de vapor del mercurio y en consecuencia la salida de luz de la LFC. Esta temperatura deberá ser idealmente de 40°C ⁽³⁾ en correspondencia con una temperatura ambiente de 25°C ⁽³⁾ en ausencia de corrientes de aire.

En luminarios totalmente cerrados (es decir, sin ventilación) se alcanza fácilmente una temperatura superior a los 25°C. A fin de eliminar la desventaja de una reducción drástica del flujo luminoso, la industria del alumbrado ha desarrollado unos tipos de LFC's que mantienen un flujo luminoso constante a temperaturas ambiente más elevadas. Esto se ha logrado añadiendo mercurio al gas de relleno en forma de amalgama en lugar de como metal puro. Una amalgama es un compuesto químico consistente en mercurio y uno o más metales distintos, encontrando que el amalgama bismuto-indio es la más adecuada para las LFC's. ⁽³⁾

La amalgama, tiene la función de mantener una presión óptima del mercurio en el interior del tubo según las distintas condiciones de funcionamiento, absorbe o libera mercurio según las necesidades de la lámpara. La LFC's con tecnología de amalgama, mantienen su flujo luminoso arriba del 90% en temperaturas de -15 a 65°C exceptuando el rango que va de 15 a 20°C donde el flujo luminoso decae a un 88%⁽²⁷⁾ tal como se muestra en la figura 2.9 gráfica a, por su parte, en la gráfica b, se ve el comportamiento que tiene una LFC sin esta tecnología y la forma en la que su flujo luminoso decae conforme aumenta la temperatura, por lo que no es recomendable su uso en luminarios cerrados.

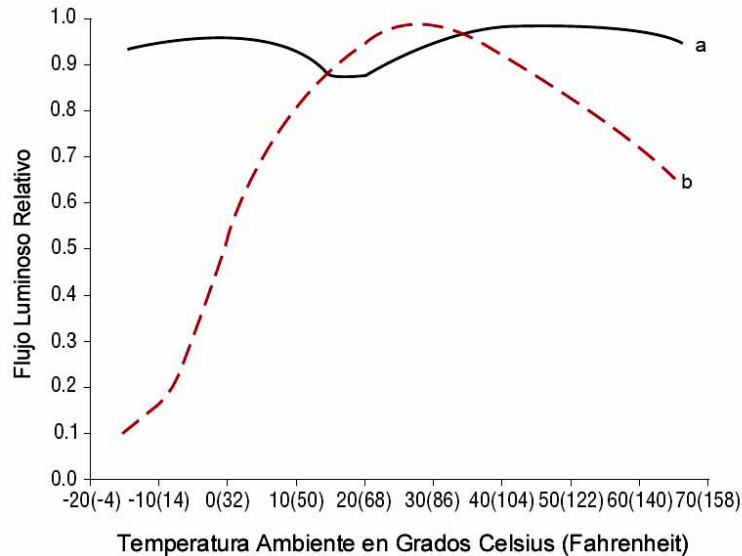


Figura 2.9 Flujo luminoso de una LFC con y sin tecnología de amalgama.
Fuente: Screwbase Compact Fluorescent Lamp Products ⁽²⁷⁾

2.1.7.6 ARRANCADOR

La función principal de los arrancadores es la de cerrar el circuito de arranque de una LFC con encendido del tipo de precalentado mientras el cátodo se calienta y posteriormente la de abrir el circuito para hacer arrancar la lámpara; si el arco no se forma, el arrancador continúa en su intento hasta hacerla arrancar. En las LFC modulares, el arrancador se localiza en el interior de la base de la lámpara.

2.1.7.7 CAPACITOR SUPRESOR DE RFI

La radiación electromagnética que puede causar un zumbido en los radioreceptores cercanos, es emitida por el arco de mercurio de las LFC's. Dicha interferencia queda circunscrita generalmente a la banda de radiotransmisión de AM común debido a las frecuencias generadas por el arco. La interferencia de radio se puede suprimir en grado sumo mediante el uso de capacitores en los circuitos de encendido precalentado, rápido e instantáneo.

2.1.8 EFICIENCIA DE LAS LFC's

El término eficiencia ha sido desde siempre parte de la ingeniería en todos sus campos, sin embargo, ahora que iniciamos el tercer milenio ha adquirido una mayor importancia. La disponibilidad de recursos naturales y energéticos, que es cada vez menor, la necesidad de un proceso de desarrollo sostenible para nuestra sociedad, así como la toma de conciencia que somos parte de un gran ecosistema, han hecho que en toda actividad que desarrollemos busquemos la eficiencia; pero ¿qué es eficiencia?

La respuesta es simple: conseguir mejores resultados con los mismos o menores recursos, lo cual se traducirá en menores costos de producción, más productos con menos desperdicios y menores consumos de energía. En este último caso, la industria, el

comercio y las comodidades de nuestra vida, consumen energía en diversas formas por lo que se deben buscar altos niveles de eficiencia energética en estas actividades. ⁽¹¹⁾

Para evaluar un nivel de eficiencia energética se deben establecer indicadores que podamos controlar y comparar, los cuáles dependen de la actividad que se desee evaluar; por ejemplo, cuando se compara una lámpara incandescente de 100W con una LFC de 23W, se puede afirmar que ambas producen la misma cantidad de luz, sin embargo la primera consume 5 veces más energía que la segunda. ⁽¹¹⁾

Las ventajas son obvias:

- Costos de producción menores: al consumir menos energía por unidad producida, los costos se reducen.
- Capacidad de generación y utilización del sistema eléctrico disponible para otros usos.
- Menor desperdicio de energía.
- Menores niveles de contaminación.

2.1.9 EFICACIA LUMINOSA

La eficacia luminosa se define como la razón entre el flujo luminoso de una fuente de luz y la potencia disipada en ella, se expresa en lúmenes por watt (lm/W). ⁽⁷⁾ La eficacia luminosa de una fuente de luz depende de dos factores: el porcentaje de potencia eléctrica realmente convertido en radiación visible y la distribución espectral de la radiación en relación con la curva de sensibilidad espectral del ojo (punto 2.1.12 de este capítulo).

Cálculos precisos han demostrado que un 1W de potencia radiante con una longitud de onda de 555 nm equivale a 683 lúmenes. De ahí que la cifra de 683 lm/W se designe como la máxima eficacia luminosa espectral. ⁽⁷⁾ En la práctica, las cifras que se manejan para las lámparas están muy alejadas de ésta. En la tabla 2.2 podemos observar las eficacias de los diferentes sistemas de iluminación:

Sistema de Iluminación	Potencia [W]	Eficacia[lm/W]
Incandescente	6 - 250	8 a 20
Halógeno	5 - 1,500	18 a 22
Fluorescente	6 - 215	40 a 93
Fluorescente Compacta	3 - 85	50 a 82
Halogenuros Metálicos	39 - 2,000	60 a 95
VSAP	35 - 1,000	66 a 130
VSBP	18 - 180	100 a 183

Tabla 2.2 Eficacia Luminosa de los Sistemas de Iluminación
Fuente: Construnario Notiweb ⁽¹²⁾

La diferencia existente entre la eficacia máxima y la real, significa que incluso la lámpara más eficaz, convierte la mayor parte de la potencia eléctrica disipada en otras formas de energía distintas de la luz. Estas otras formas son la radiación UV (no en todos los tipos de lámparas) y las térmicas. Las pérdidas térmicas suelen ser en forma de radiación infrarroja o en forma de calor por convección y conducción, ya que una lámpara en funcionamiento está siempre a mayor temperatura que su entorno.

La tabla 2.3 representa los balances energéticos para los tipos de lámparas más importantes, es decir, los porcentajes de energía consumida que transforman en energía dentro del intervalo de longitudes de onda visibles.

BALANCE ENERGÉTICO DE LAS DISTINTAS FUENTES LUMINOSAS				
Fuente Luminosa	Pérdidas Térmicas	Radiación Infrarroja	Radiación Ultravioleta	Radiación Visible
Incandescencia	95.0%	-	-	5.0%
Fluorescencia	42.0%	36.0%	-	22.0%
Halogenuros	50.0%	24.5%	1.5%	24.0%
Mercurio	64.5%	15.0%	4.0%	16.5%
Sodio alta presión	44.0%	25.0%	-	31.0%
Sodio baja presión	56.0%	3.5%	-	40.5%

Tabla 2.3 Balance Energético de los Sistemas de Iluminación
Fuente: Cuadernos de Eficiencia Energética en Iluminación⁽¹³⁾

Incluso dentro del intervalo visible, la eficacia luminosa varía de acuerdo con el factor de sensibilidad espectral del ojo humano para la radiación emitida.

La gran diferencia entre la máxima eficacia teóricamente posible, 683 lm/W, y la de los tipos de lámparas existentes, tanto en incandescentes como de descarga, es la causa de que se hayan dedicado grandes esfuerzos para incrementar la eficacia luminosa de los distintos tipos de LFC's y en desarrollar nuevas lámparas de mayor energía visible efectiva.

Para el caso de las lámparas de descarga, se ha conseguido aumentar la eficacia luminosa reduciendo las pérdidas térmicas y utilizando sustancias fluorescentes más eficientes.

En relación con esta última solución, deben mencionarse las denominadas lámparas de mercurio a baja presión (fluorescentes) de última generación que emplean los polvos fluorescentes llamados trifósforos. Para las lámparas tradicionales se recubrían con sustancias fluorescentes que producían un espectro casi continuo, en las de trifósforos se utilizan tres tipos de polvos fluorescentes cada uno de los cuales emite en una banda de longitudes de ondas distintas, rojo, verde y azul. De esta forma se eliminan los extremos lejano y cercano del espectro para los que la sensibilidad del ojo es muy baja, radiándose sin embargo una gran porción de luz en la región de máxima sensibilidad del ojo, con lo que se consigue una elevada eficacia luminosa.⁽¹³⁾

La eficacia luminosa de una lámpara fluorescente está influenciada por muchos factores: potencia de la lámpara, dimensiones de la misma, construcción del electrodo, tipo y presión del gas de relleno, propiedades físicas y químicas de la capa fluorescente, características de la tensión de suministro y temperatura ambiente.

Otro factor a considerar, es el diseño de la propia lámpara, porque entre más pequeña sea ésta, el flujo luminoso con el tiempo se verá disminuido, ocasionando también, la disminución de su eficacia debido a que la tensión de trabajo irá desgastando los polvos fluorescentes provocando que el flujo luminoso y su eficacia decaigan.

El electrodo de la lámpara sirve para conducir la corriente eléctrica en el interior de ésta; cuando pierde material emisor, no envía la cantidad necesaria de electrones ocasionando una deficiente ionización dentro del tubo, con esto, el flujo luminoso se irá disminuyendo y en consecuencia la eficacia luminosa también.

Cuando se habla de eficacia luminosa de una LFC (o cualquier otra lámpara de descarga) deberá hacerse una clara distinción entre la eficacia de la lámpara y la del sistema asociado a las mismas. Ésta última incluye las pérdidas de energía en el circuito en el que funciona. Y aunque sería mejor expresar la eficacia luminosa en términos de la eficacia del sistema, es problemático hacerlo porque depende del tipo de circuito y componentes empleados, factores que generalmente no son controlados por el fabricante.

En los sistemas integrales de LFC's en las que la lámpara y balastro forman una sola unidad, la eficacia del sistema es la única que puede especificarse.

En ausencia de un recubrimiento fluorescente, la eficacia de la descarga de mercurio a baja presión sería del orden de 5 lm/W. Los polvos más eficientes de que se dispone para luz "blanca" permiten alcanzar una eficacia luminosa aproximadamente de 82 lm/W. Está claro que la naturaleza de la capa fluorescente es el factor individual que más contribuye a la determinación de la eficacia luminosa de estas lámparas.⁽³⁾

2.1.10 TEMPERATURA DE COLOR CORRELACIONADA (TCC)

La temperatura de color es una medida que se especifica en las lámparas y se refiere a la apariencia o tonalidad de la luz que emite la fuente luminosa. La forma en que vemos cierto ambiente depende de la tonalidad de luz de la lámpara y es crucial para establecer una atmósfera de confort o frescura.^(14, 15)

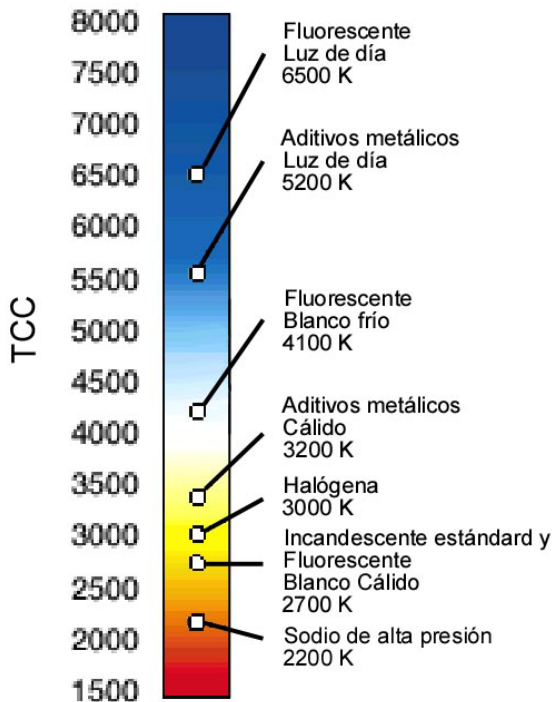


Figura 2.10 Comparación de valores de TCC para lámparas de diferentes tipos.
Fuente:

Las lámparas fluorescentes son capaces de producir más variedad de colores gracias a la calidad y tipo de los fósforos que revisten el tubo. Resulta difícil dar una definición exacta de color, entre otras cosas, debido a que este concepto se presta a una doble interpretación.

Por una parte, el color es un fenómeno físico que, como tal, es mensurable (se puede medir) con relación a una unidad. Por otro lado, el color es una sensación, es decir, la respuesta a un estímulo luminoso que se capta por medio de un órgano sensorial (el ojo humano) y que, seguidamente se percibe por el cerebro.

El efecto de toda radiación luminosa varía con su longitud de onda. Dicho de otro modo, a cada longitud de onda le corresponde siempre una sensación particular de color. Cada color está asociado, por convención, a la temperatura de un cuerpo patrón que se calienta y emite un color específico asociado a cada temperatura.^(16, 17,18) La escala de

temperatura es absoluta y en Kelvin (figura 2.10).

Como hemos visto, cada fuente luminosa, sea sólida o gaseosa, genera visibles radiaciones electromagnéticas comprendidas en el intervalo de 380 a 780nm. La distribución de las radiaciones en la banda espectral visible determina el color de la luz, o mejor dicho su tonalidad de color.

Según una convención internacional establecida por la CIE, la tonalidad de color de la luz se extrae con un método directo de comparación a través de una medida térmica, es decir, la temperatura absoluta expresada en Kelvin (K) de un cuerpo negro que irradia luz con la misma tonalidad de color de la luz emitida de la fuente examinada. Tal temperatura de referencia es llamada temperatura de color y la podemos observar en el diagrama de cromaticidad que se muestra en la figura 2.11.

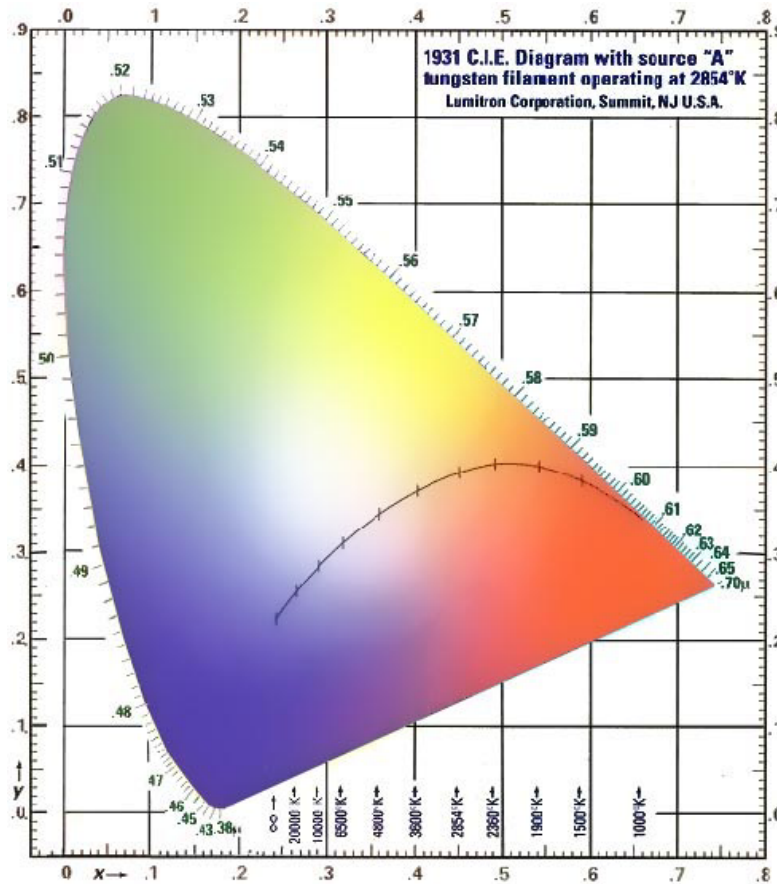


Figura 2.11 Diagrama de Cromaticidad
Fuente: CIE

Decir que una lámpara tiene una temperatura de color de 3000K significa que la luz producida por la lámpara tiene la misma tonalidad que la luz generada por el cuerpo negro llevado a la temperatura de referencia de 3000K. La definición es suficientemente apropiada cuando se analiza la tonalidad de la luz derivada de un cuerpo sólido que, al igual que el cuerpo negro, tiene un espectro de emisión continuo. ^(2, 18)

Las fuentes de luz que percibimos blancas y brillantes o azuladas tienen una temperatura de color arriba de los 5500K y la luz se denomina "luz fría", se usan en aplicaciones industriales, oficinas, hospitales, etc.

Las fuentes de luz que percibimos rojizas o amarillentas tienen una temperatura de color debajo de los 3000K y se denomina “luz cálida”, se usan en lugares donde se requiera un ambiente de hospitalidad y confort por ejemplo, tiendas de ropa, hogar, restaurantes, etc.

Y a la temperatura de color de 4100K se le denomina neutra o “blanco frío” y comúnmente es usada en lugares de trabajo, incluyendo oficinas, salas de conferencia, bibliotecas, escuelas.

2.1.11 INDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR (IRC)

El índice de rendimiento de color (IRC) es la capacidad que tiene una lámpara para reproducir fielmente los colores de los objetos, siendo un factor muy importante a considerar en cualquier aplicación de iluminación. Se mide en una escala de 0 a 100.

La luz del sol, y la luz de una lámpara incandescente tienen una IRC de 100 ya que corresponde a la luz blanca con espectro continuo y completo.⁽¹⁸⁾ Es importante saber que los objetos y personas iluminadas bajo luz con un alto IRC se ven más naturales, además que el nivel de iluminación se percibe como mayor.

RESUMEN DE COLORES				
Grupo de color	Temperatura de color (K)	IRC	Eficacia luminosa (lm/W)	
Blanco cálido	IRC < 80	2900	52	78
		2700	83	49
	80 < IRC < 90	2800	85	80
		3000	85	80
		2700	92	44
	IRC > 90	2700	94	65
Blanco		3000	95	65
	IRC < 80	3400	58	76
	80 < IRC < 90	3700	83	42
		3800	87	53
Blanco frío	IRC > 90	3800	96	65
	IRC < 80	4100	65	78
		4100	77	62
	80 < IRC < 90	4000	85	80
		4000	90	50
	IRC > 90	4200	97	46
Luz de día		5000	97	46
		5000	98	65
	IRC < 80	6500	77	65
	80 < IRC < 90	6000	85	80
	IRC > 90	6500	95	50
	7500	94	45	

Tabla 2.4 Resumen de Colores Philips
Fuente: Philips⁽³⁾

Las lámparas con un IRC menor a 80 proporcionan un rendimiento de color moderado, siendo adecuadas para exteriores o como alumbrado de orientación y para aquellas

actividades industriales donde la discriminación del color no sea crítica. Las lámparas con índice de rendimiento de color entre 80 y 90, generalmente encuentran aplicación para locales comerciales y sociales, así como en el hogar. Y finalmente, las que tienen un IRC por encima de 90, se emplean en aquellos casos para los que resultan particularmente críticos los requisitos sobre rendimiento de color, como museos, hospitales, ciertos tipos de tiendas, estudios gráficos y de diseño y otros lugares en los que el trabajo que se realiza exige una gran precisión en la comparación y evaluación de los colores.

Para el caso de las LFC's, se tiene de cuatro a cinco veces mayor eficacia que las lámparas incandescentes con idénticas temperaturas de color, con un alto IRC de 82.

La tabla 2.4 muestra las temperaturas de color e índices de rendimiento de color de los diversos colores normalizados.

2.1.11.1 SISTEMA MUNSELL

En 1905 Albert H. Munsell dio origen a un sistema de orden de color (o escala de color) que sigue en uso hoy en día. El Sistema Munsell le asigna valores numéricos a las tres propiedades del color: matiz, valor y croma.

Variables Físicas

Desde el punto de vista de la Física, el color se compone de aquellas características de la luz diferentes a las de espacio y tiempo, siendo la luz aquel aspecto de la energía radiante que el hombre percibe a través de las sensaciones visuales que se producen por el estímulo en la retina. Estas características son.⁽¹⁹⁾

- Flujo luminoso: es una medida de la efectividad de la luz para provocar sensación de brillo o luminosidad.
- Longitud de onda dominante: corresponde a cada tinte.
- Pureza cromática: indica la cantidad de color en porcentaje de acuerdo a un valor 0 (acromático, sin color) y 100 (croma espectral, colores del espectro).

Variables Gráficas

Estas variables tienen su correspondencia con las variables físicas. De esto se desprende:⁽¹⁹⁾

- Flujo luminoso = *valor*
- Longitud de onda = *tinte*
- Pureza cromática = *saturación*

Valor

Es el grado de luminosidad que tiene un color, ya sea claro u oscuro (figura 2.12). Cuanto más luminoso, su valor es más alto y por el contrario, cuanto más oscuro, su valor es más bajo. El color amarillo tiene el valor más alto de luminosidad mientras que el violeta tiene el valor más bajo de luminosidad.



Figura 2.12 Variable gráfica "Valor"
Fuente: Color ⁽¹⁹⁾

La escala de valores es bipolar y por tanto lineal (no se cierra en sí misma) lo que implica que blanco y negro nunca se unen.^(19, 20)

Tinte

Cuando se le pida que identifique un color lo primero que probablemente hará es hablar del tinte. Se especifica mediante un nombre: amarillo, rojo, azul, etc. y define al color en relación con otro o en relación con su situación frente a los demás (figura 2.12). El tono se mantiene en un color cuando éste deriva hacia otro. Es un sistema cíclico porque se cierra en sí mismo: se observa que partiendo del amarillo, por ejemplo, y progresando por el naranja, el rojo, el violeta, el azul y el verde, se vuelve forzosamente al amarillo.^(19, 20)

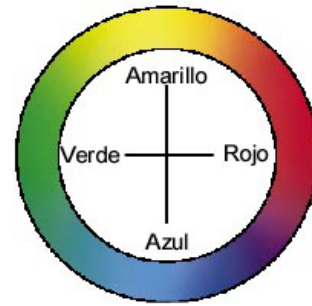


Figura 2.13 Variable gráfica "Tinte"
Fuente: Comunicación del color⁽²⁰⁾

Saturación

La saturación describe lo llamativo o apagado de un color, en otras palabras, qué tan cerca está el color ya sea al gris o al tinte puro (figura 2.14). Por ejemplo, al comparar un tomate con un rábano, el rojo del tomate es mucho más llamativo mientras que el rábano parece más apagado. Cuando un color se mezcla con otros colores, blanco, negro o gris, pierde pureza y se dice que está "quebrado" o "desaturado". La saturación se mide en por ciento y también se le conoce como croma.^(19, 20)

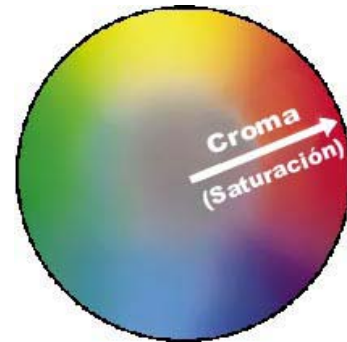


Figura 2.14 Variable gráfica "Saturación"
Fuente: Comunicación del color⁽²⁰⁾

Sólido de Munsell

El Sólido de Munsell permite de una manera simple, probar la existencia de infinitos matices y ayudar a proponer ordenamientos cromáticos (figura 2.15).

Está formado por tres ejes que se interceptan: un eje lineal que corresponde al valor y un eje circular que corresponde al círculo cromático. El nexos entre estos dos ejes se encuentra en la observación según la cual, la mezcla de los diferentes colores que componen el círculo cromático da lugar a un neutro, es decir, a un gris más o menos oscuro. De esto se deduce que el eje de valor pasa por centro del círculo cromático. Pero como a cada tinte le corresponde un valor determinado en la escala de grises (acromáticos), donde el amarillo es el más alto y el violeta es el más bajo, lo que implica que el círculo cromático o "ecuador" del Sólido de Munsell no se halla en posición horizontal sino inclinada con respecto al eje vertical. Finalmente, la distancia que hay desde el eje circular hasta el eje de valor nos da el tercer eje que es el de la saturación. Se llega así a una figura de tres dimensiones con lo cual se puede comprobar que un color, o el matiz de un color, puede ser situado de forma no ambigua en un punto preciso de ese espacio.^(19, 20)



Figura 2.15 Sólido de Munsell
Fuente: Color⁽¹⁹⁾

Interrelación de las tres variables del color

Relación de saturación y valor con respecto al tinte, Cartas de Munsell (figura 2.16).

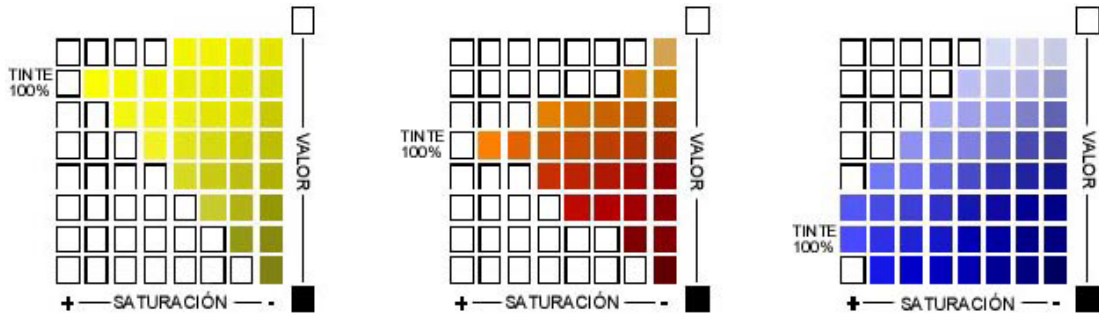


Figura 2.16 Interrelación de las Tres Variables del Color

Fuente: Color⁽¹⁹⁾

Podríamos entonces pensar a este sólido como si fueran las páginas de un libro que contuviera planchas y estuviera totalmente abierto, de forma que las tapas anterior y posterior estuvieran en contacto. Cerrando el libro se obtendría el llamado atlas de colores (figura 2.17). La realización de estos atlas son internacionales y está hecha a partir de la conjunción de las asociaciones nacionales del color (España, Francia, Alemania, Estados Unidos y Países Bajos).^(19, 20)



Figura 2.17 Atlas de colores de Munsell

Fuente: Guía para Entender la Comunicación del Color⁽²⁰⁾

Una notación típica en el sistema Munsell podría ser 5YR6/4, que significaría un “rojo-amarillo” de “Tono” 5, “valor” 6 y “Cromaticidad” 4, es decir una tonalidad marrón.⁽³⁾

2.1.12 CARACTERÍSTICAS FOTOMÉTRICAS DE LAS LFC's

El principal efecto, aunque no el único, que la luz ejerce sobre la fisiología y psicología del ser humano es el que le permite percibir lo que está sucediendo a su alrededor. Esto es posible gracias a que dispone de un órgano sensible extremadamente delicado, el ojo humano. El papel que juega la luz respecto del contacto del hombre con su entorno difícilmente puede sobreestimarse, no es aventurado afirmar que aproximadamente el 80% de la información que recibe del mundo exterior pasa a través de sus ojos.

El conjunto de radiaciones de la luz de día tiene longitudes de onda que van desde 380nm para el color violeta, hasta 780nm para el color rojo; estos valores corresponden a los

límites de sensibilidad del ojo humano a la luz. Fuera de los mismos el ojo es ciego, esto es, no percibe ninguna clase de radiación. ⁽¹⁾

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

Si se representa mediante una gráfica la sensibilidad de la retina del ojo humano para las diferentes longitudes de onda de luz del medio día soleado, se obtiene una curva de campana que se denomina “Curva de Sensibilidad del Ojo Humano” (figura 2.18). Como se puede apreciar, el ojo tiene la mayor sensibilidad para una longitud de onda de 555nm que corresponden al color amarillo verdoso y la mínima a los colores rojos y violeta, como se observa en la gráfica. ⁽¹⁾

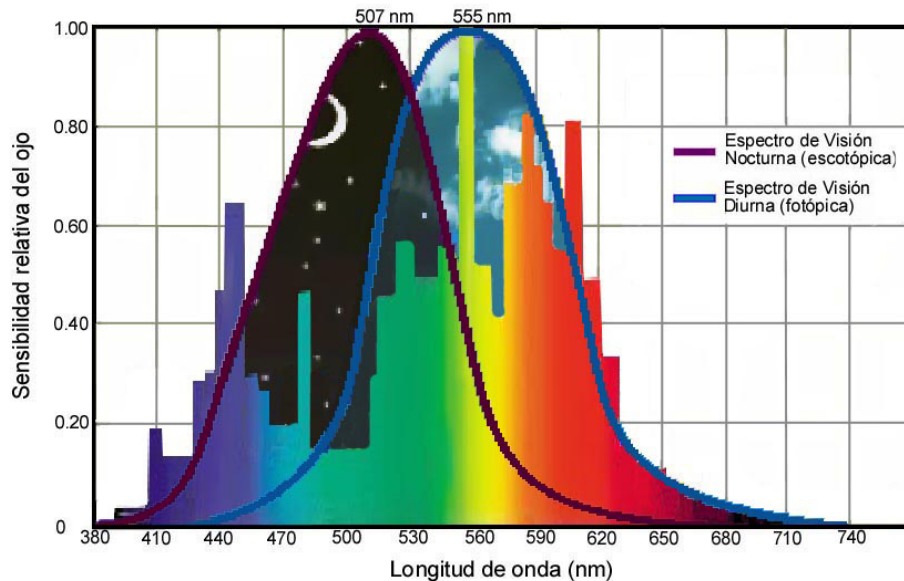


Figura 2.18 Curva de Sensibilidad del Ojo Humano relacionada al espectro de las LFC's
Fuente: Lámparas, CLYFC ⁽¹⁾

La curva de sensibilidad del ojo humano está basada en la visión por conos (fotópica), es decir, a niveles luminosos ordinarios durante el día. Cuando los niveles disminuyen sensiblemente durante la noche, la visión se efectúa principalmente por medio de los bastones (escotópica) y la curva de sensibilidad se verifica de acuerdo con una nueva curva que la fotópica, pero desplazada 48nm hacia el extremo azul del espectro. Esta traslación es conocida como Efecto Purkinje y desplaza a la sensibilidad máxima del ojo de los 555 a 507nm según puede apreciarse en la misma figura. ⁽¹⁾

El resultado es que en la oscuridad y a pesar de que la visión carece completamente de color, el ojo se hace relativamente muy sensible a la energía del extremo azul del espectro y casi ciego al rojo.

Con la fotometría se pretende definir unas herramientas de trabajo, magnitudes y gráficos, para la luz con las que se puedan realizar los cálculos de iluminación.

Las características fotométricas son: ⁽¹³⁾

- Flujo luminoso
- Intensidad luminosa
- Iluminancia
- Luminancia

2.1.12.1 FLUJO LUMINOSO

Considerando dos LFC's, una de 5W y otra de 20W; está claro que la de 20W dará una luz más intensa. Pues bien, ésta es la idea: ¿cuál da más luz?

Solo una parte de la potencia consumida por una LFC se convierte en luz visible, a esta parte se le conoce como flujo luminoso; que podría medirse en watts (W), sin embargo la unidad con que se mide es el lumen, que toma como referencia la radiación visible.

El flujo luminoso se puede definir como la cantidad de luz emitida por una fuente, medida en lúmenes (lm) a la tensión nominal de funcionamiento. Se designa por el símbolo Φ .⁽²¹⁾ Como puede observarse en la tabla 2.5, no existe una relación fija entre la energía eléctrica disipada por una lámpara y el flujo luminoso radiado.

LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS						
Datos Generales			Base Arriba		Base Abajo	
Fabricante	Potencia W	Flujo Luminoso Nominal lm	Flujo Luminoso Real lm	Relación de Flujo Luminoso Real y Flujo Luminoso Nominal	Flujo Luminoso Real lm	Relación de Flujo Luminoso Real y Flujo Luminoso Nominal
Lights of America	13	800	844	1.06	861	1.08
GE Lighting	15	900	839	0.93	829	0.92
	15	825	802	0.97	777	0.94
OSRAM SYLVANIA	15	925	922	1.00	932	1.01
Panasonic	15	850	782	0.92	758	0.89
Philips	16	900	936	1.04	947	1.05
	17	870	868	1.00	892	1.03
Litetronics	15	900	864	0.96	649	0.72
Philips	18	1100	1102	1.00	1071	0.97
OSRAM SYLVANIA	20	1280	1060	0.83	1013	0.79
Panasonic	20	1200	1063	0.89	1039	0.87
Philips	20	1200	1257	1.05	1271	1.06
GE Lighting	22	1300	1108	0.85	1115	0.86
Lights of America	20	1150	1228	1.07	1231	1.07
GE Lighting	24	1520	1434	0.94	1106	0.73
Panasonic	25	1370	1073	0.78	1087	0.79
Litetronics	20	1200	1283	1.07	1028	0.86
Lights of America	23	1600	1500	0.94	1520	0.95
GE Lighting	28	1750	1676	0.96	1486	0.85
Panasonic	28	1750	1451	0.83	1303	0.74
Lights of America	30	2100	1892	0.90	1874	0.89
	34	2100	2232	1.06	2245	1.07
GE Lighting	39	2780	2316	0.83	2323	0.84

Tabla 2.5 Flujo Luminoso de Diferentes LFC's
Fuente: NLPIP National Lighting Product Information Program⁽²⁷⁾

2.1.12.2 INTENSIDAD LUMINOSA

Este concepto se puede comparar con la intensidad de un chorro de agua en una dirección dada. La intensidad luminosa puede definirse como el flujo luminoso en una cierta dirección radiado por unidad de ángulo sólido (ec. 2.1).⁽²¹⁾ Se designa por el símbolo I y su unidad es la candela (cd)

$$I = \frac{\phi}{\omega} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.1})$$

Esta definición nos conduce al concepto de ángulo sólido y a su unidad el estereorradián. La mejor forma de describir un ángulo sólido es como aquella porción de espacio en torno de un punto abarcado por la superficie de un cono cuyo vértice coincide con el punto respecto al que se establece el ángulo sólido.

2.1.12.3 ILUMINANCIA

Quizás alguna vez haya jugado a iluminar con una linterna objetos situados a diferentes distancias. Si se pone la mano delante de la linterna podemos ver esta fuertemente iluminada por un círculo pequeño y si se ilumina una pared lejana el círculo es grande y la luz débil. Esta sencilla experiencia recoge muy bien el concepto de iluminancia.

Se designa por el símbolo E. La unidad es el lux (lx). Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado (lm/m²). La iluminancia puede definirse como el cociente entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y el área de dicha superficie (ec. 2.2), es decir:⁽²¹⁾

$$E = \frac{\phi}{A} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.2})$$

La iluminancia es independiente de la dirección con que el flujo luminoso alcanza la superficie considerada.

2.1.12.4 LUMINANCIA

Hasta ahora se ha hablado de magnitudes que informan sobre propiedades de las fuentes de luz (flujo luminoso o intensidad luminosa) o sobre la luz que llega a una superficie (iluminancia). Pero no se ha mencionado nada de la luz que llega al ojo, que a fin de cuentas es la que se ve. De esto trata la luminancia. Tanto en el caso en que se vea un foco luminoso como en el que se vea luz reflejada procedente de un cuerpo la definición es la misma.

La luminancia se designa por el símbolo L y su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m²). La luminancia puede definirse como el cociente entre la intensidad luminosa procedente de una superficie, en una dirección dada y el área aparente de dicha superficie (ec. 2.3). Esto es:⁽²¹⁾

$$L = \frac{I}{A} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.3})$$

Es importante destacar que sólo vemos luminancias, no iluminancias.

2.1.13 EFECTO DE LA POSICIÓN DE OPERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LUZ

Una LFC opera más eficientemente a una presión específica de vapor de mercurio, dicha presión es establecida en base a la temperatura del punto más frío (ubicado sobre la pared del tubo) ;⁽³⁾ las altas temperaturas pueden causar una mayor vaporización del mercurio contenido dentro de la lámpara incrementando la presión y disminuyendo su flujo

de salida por debajo de las condiciones de diseño a las que está determinada. Inversamente, si la temperatura decrece, el vapor de mercurio se condensará en forma de pequeñas gotas sobre el punto más frío, dando como resultado una drástica reducción de la presión de vapor (figura 2.19). Las LFC's que operan con su base abajo llegan a producir un 15 o 20% menos luz que las que operan con la base arriba.

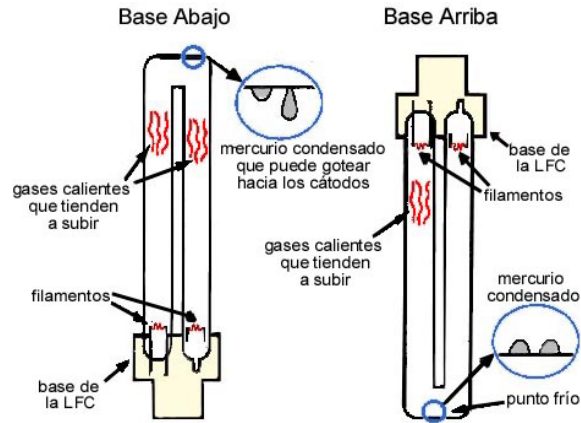


Figura 2.19 Posición de operación o encendido
Fuente: Home Energy Magazine

En consecuencia, a bajas temperaturas se tendrá un número insuficiente de átomos de mercurio gaseoso para la descarga en relación con la oferta de electrones libres. La salida de luz de la lámpara decrecerá así rápidamente a temperatura ambiente por debajo de los 15°C. Por el contrario, a elevadas temperaturas, existirán demasiados átomos de mercurio en estado gaseoso que absorberán entre sí energía radiante (luz), convirtiéndola en calor. Es decir, con el incremento de la temperatura, la salida de luz también decrece el flujo luminoso, aunque en una proporción menor.⁽³⁾ La salida de energía radiante alcanza su máximo con una presión de vapor de mercurio de aproximadamente 1.07Pa. La temperatura correspondiente al punto frío es en promedio de 50°C cuando la LFC está operando; para una LFC sin luminario, este valor se alcanza a una temperatura ambiente de 25°C en ausencia de corrientes de aire.⁽³⁾

Los luminarios cerrados incrementan el calor alrededor de la lámpara provocando una disminución en su eficacia. Las LFC que se emplean al desnudo, están expuestas al enfriamiento excesivo producido por climatizadores pueden causar un rendimiento lumínico reducido. Cuando las LFC's se usan a la intemperie o en lugares a bajas temperaturas, el encendido de éstas puede representar un problema ya que pueden requerir un voltaje más alto para generar el arco.

Es importante considerar que la forma del diseño del tubo influye en que el mercurio condensado se colecte lejos del balastro y los cátodos, un ejemplo de ello son los tubos en forma helicoidal. Al modificar la construcción de la lámpara se busca crear un mayor número de puntos fríos en lugares apartados de la descarga. Estos pueden ser los espacios existentes detrás de los electrodos.

Cuando se relaciona la posición de funcionamiento (o encendido) es importante tener en cuenta la temperatura ambiente a la que se está trabajando, si se tienen temperaturas superiores a 20°C es recomendable emplear las LFC's con el casquillo arriba o en forma horizontal, mientras que el funcionamiento con el casquillo abajo es más ventajoso cuando se tienen temperaturas menores a 20°C. De esta forma es posible aprovechar al

máximo su flujo luminoso. En general, las LFC's funcionan aceptablemente dentro de un intervalo de temperatura ambiente de -15 a 60°C (figura 2.20).

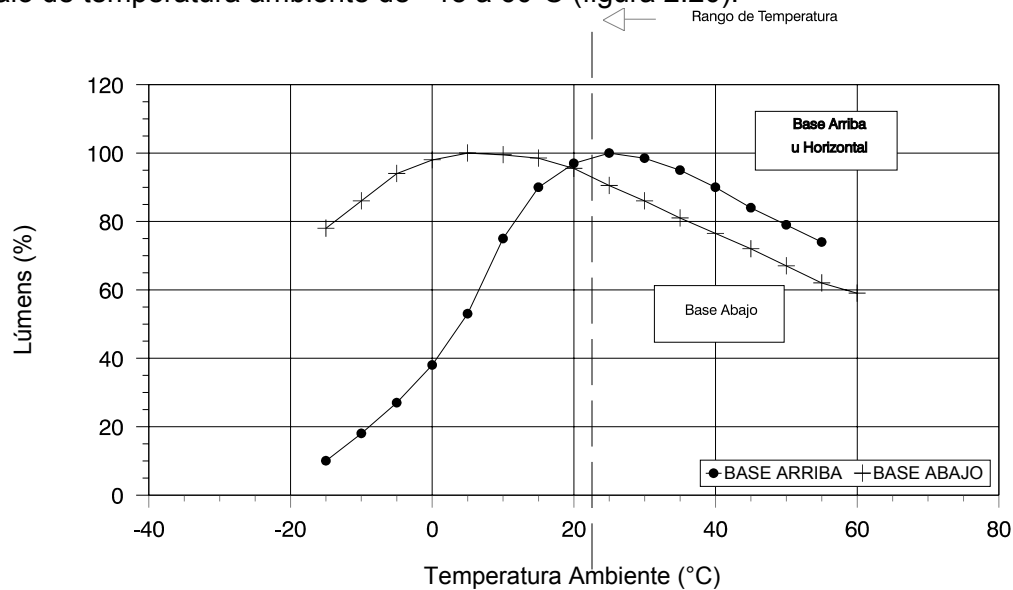


Figura 2.20 Posición de Funcionamiento.
Fuente: Notas de Lámparas Fluorescentes Compactas⁽⁸⁾

Es importante mencionar que esta gráfica solo aplica a LFC's que no emplean la tecnología de amalgama, pues a éstas últimas la posición de encendido ya no les afecta en su producción de flujo luminoso. La amalgama es sólida bajo condiciones de trabajo normales y por tanto la presión de vapor de mercurio sobre ella será para una temperatura dada, inferior a la existente sobre mercurio líquido. Además, el incremento de presión con la temperatura es mucho más lento hasta que se alcanza el punto de fusión de la amalgama (aproximadamente los 100°C).

2.1.14 CURVA DE ESPERANZA DE DURACIÓN DE LAS LFC's

En las lámparas incandescentes la duración está esencialmente ligada a la temperatura del filamento, por lo que se ha podido establecer leyes que relacionan a la duración con la tensión de alimentación; en las LFC's, el desgaste del material emisor es un factor determinante en la vida de la lámpara y depende entre otras cosas de:⁽¹⁾

- la cantidad de material emisor utilizado en la fabricación,
- la naturaleza y la presión del gas que rellena la lámpara,
- el procedimiento de encendido de la lámpara,
- los períodos de encendido,
- el calentamiento, permanente o no, de los electrodos,
- la temperatura ambiente en el momento de encendido,
- la forma de onda de la corriente proporcionada por el balastro y
- la tensión de alimentación.

El tiempo nominal de vida en las LFC's se hace en base al promedio de duración de un grupo considerable de ellas funcionando bajo condiciones controladas de laboratorio.

La duración promedio calculada es el punto en el cual el 50% de las LFC's de un mismo grupo se han fundido y el 50% restante continúan encendidas, según se detalla en la

curva de esperanza de duración. Durante el ciclo de arranque y el período de funcionamiento de una LFC, el material emisivo es expulsado de los cátodos. El final de la vida de una LFC se alcanza cuando no queda material emisivo suficiente en ninguno de los dos cátodos para formar el arco. ⁽¹⁾ Una curva de mortalidad típica LFC's se puede ver en la figura 2.21.

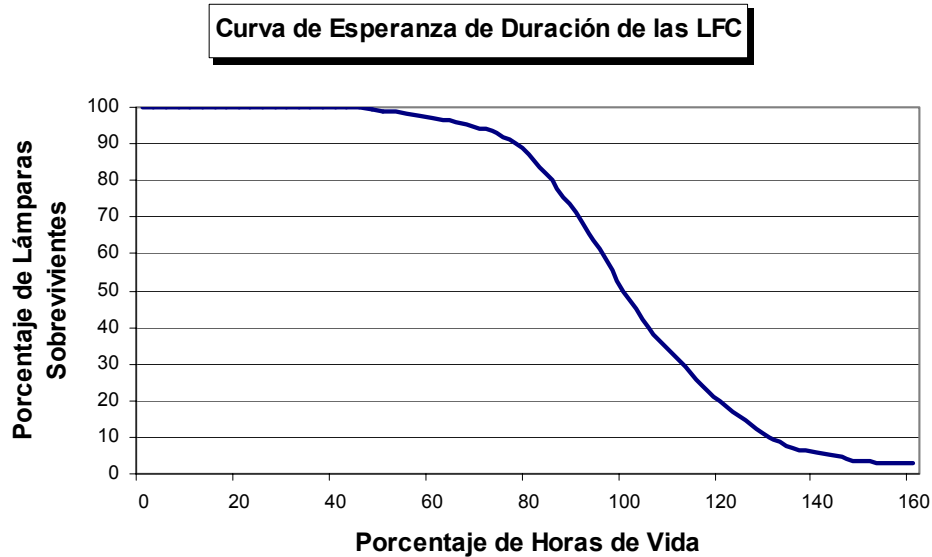


Figura 2.21 Curva de esperanza de LFC's.
Fuente: Gráfica elaborada con datos The IESNA Lighting Handbook ⁽⁹⁾

2.1.15 INFLUENCIA DE LOS CICLOS DE OPERACIÓN EN LA VIDA DE LAS LFC's

En virtud de que las cifras publicadas en los catálogos de los fabricantes sobre el promedio de duración nominal de las lámparas se basan por regla general en un ciclo de encendido de tres horas, los cálculos tienen que reflejar los efectos tanto de los períodos de apagado como de encendido, reflejando las horas de servicio (figura 2.22).

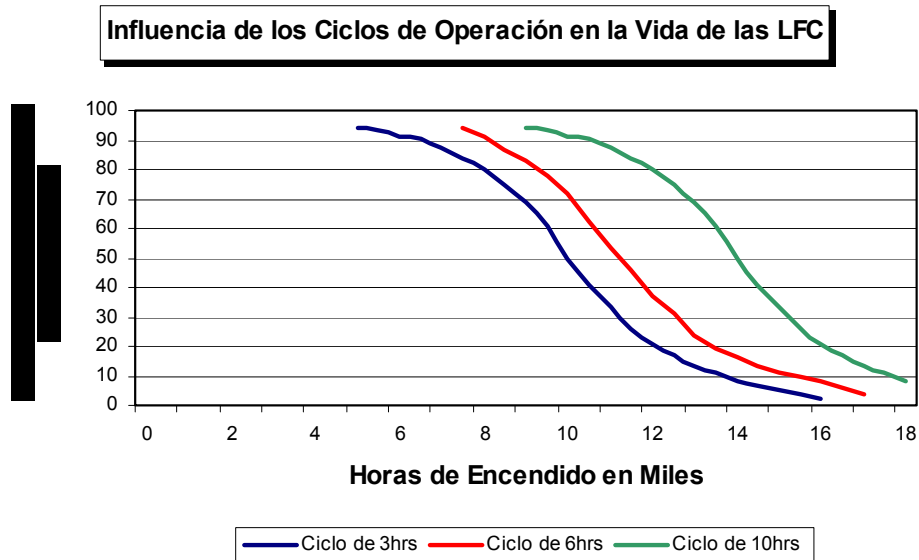


Figura 2.22 Influencia de los ciclos de operación.
Fuente: Gráfica elaborada con datos de Lámparas, CLYFC ⁽¹⁾

Por tanto tenemos que:⁽¹⁾

- Sí los ciclos de encendido-apagado son más cortos, se reduce la vida de la LFC.
- Sí los ciclos de encendido-apagado son más largos, se aumenta la vida de la LFC

2.1.16 CURVA DE DEPRECIACIÓN DE LUMENES DE LAS LFC'S

La salida de luz (o flujo luminoso) prácticamente para cualquier tipo de lámpara, declina con su vida de funcionamiento; mientras que algunas, además, sufren un incremento en la potencia consumida a lo largo del tiempo cuando no cuentan con la protección EOL (End Of Life) de la cual se hablará más a fondo en el punto 2.2 de este capítulo.

El resultado global es un descenso de la eficacia luminosa hasta alcanzar un punto en el que es económicamente más rentable reemplazar la lámpara por una nueva que esperar a que ésta falle (figura 2.23).

Las causas de la disminución de la emisión de luz son numerosas. En las lámparas incandescentes se debe generalmente al ennegrecimiento de la superficie interior de la ampolla (producido por la evaporación del filamento) junto con una reducción gradual de la corriente de la lámpara motivada por el adelgazamiento paulatino del filamento.

Por ejemplo, para una LFC cuya vida nominal es de 10,000hr, después de las 8,000hr el flujo luminoso estará cerca del 80% del valor inicial, esto es en el caso de que no cuenten con la tecnología de amalgama, pues dicha tecnología, además implicar que la LFC cuenta con recubrimientos trifosfóricos o de tierras raras, después de ese periodo de tiempo mantiene un flujo luminoso cercano al 90%.

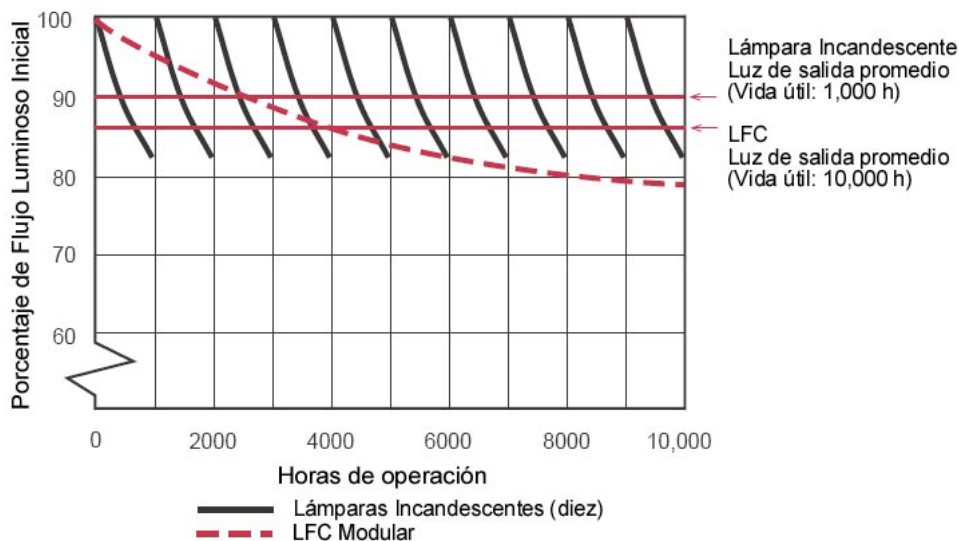


Figura 2.23 Curva de Depreciación de Lúmenes de las LFC's
Fuente: Gráfica elaborada con datos The IESNA Lighting Handbook⁽⁹⁾

La causa principal de la depreciación es que los polvos fluorescentes se han ido haciendo lentamente menos efectivos, como consecuencia del ataque químico producido por los iones de mercurio. La intensidad de dicha depreciación depende de la carga de la pared (definida como la relación entre la corriente de la lámpara y la superficie de pared) y del

tipo de polvos fluorescentes empleados; los fósforos de tres bandas (trifosforos) presentan una depreciación considerablemente menor que los halofosfatos. Cuando se emplean mezclas de diferentes polvos fluorescentes, puede ocurrir a veces que las lámparas viejas muestran una ligera decoloración en comparación con las nuevas.⁽³⁾

Una segunda causa de depreciación está motivada por el ennegrecimiento de la pared del tubo, especialmente hacia sus extremos, debido al material emisor dispersado (como resultado del constante bombardeo con iones procedentes de la descarga). Este proceso se acelera debido a varios factores, tales como precalentamiento insuficiente de los electrodos, conmutaciones excesivas y picos agudos en la corriente de la lámpara.⁽³⁾

Un ejemplo de ello se puede ver en las LFC' de menor diámetro, con tubos T4 presentan un mayor ennegrecimiento en los extremos debido a que los cátodos están más cerca de las paredes del bulbo. Para evitar menor dispersión del material emisor se deben de emplear balastos de alta frecuencia (en el caso de emplear sistemas modulares), lo que retrasará la depreciación luminosa.

2.1.17 GRÁFICAS DE DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL

Una gráfica de distribución espectral nos muestra el comportamiento de una temperatura de color dada a través de la franja de radiación situada entre la región ultravioleta y la infrarroja que va de los 380 a 780nm conocida también como radiación visible. La información que podemos obtener de una gráfica de este tipo es la reproducción de colores que brinda cada temperatura de color, lo que nos ayuda a encontrar una aplicación más adecuada para cada una de ellas.

Los colores más comunes en las LFC's son:

- Luz de día = 6,500 K
- Blanco frío = 4,100 K
- Blanco cálido = 2,700 K

La lámpara de luz de día (Figura 2.24A) se llama así debido a que el espectro luminoso se asemeja bastante al de la luz natural. El efecto que da es impersonal y dinámico, y el ambiente al que se asocia es al de la limpieza, por lo que se emplea en joyerías, consultorios, imprentas y hospitales.

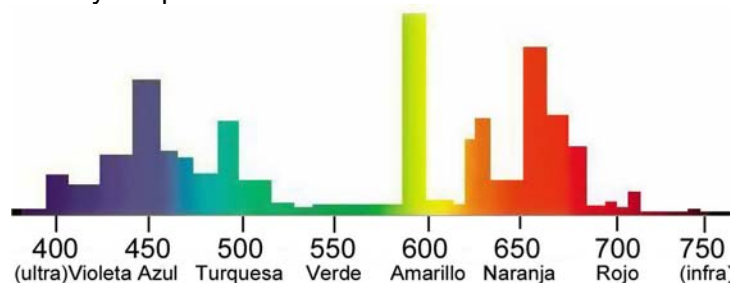


Figura 2.24A. Distribución de Energía Espectral (Luz de Día)

Fuente: Osram

Las lámparas de blanco frío (Figura 2.24B) tienen un efecto de frescura y limpieza, se asocia a un ambiente rodeado de eficiencia, por lo que se emplea en oficinas, salones de conferencias, escuelas, hospitales y tiendas comerciales.

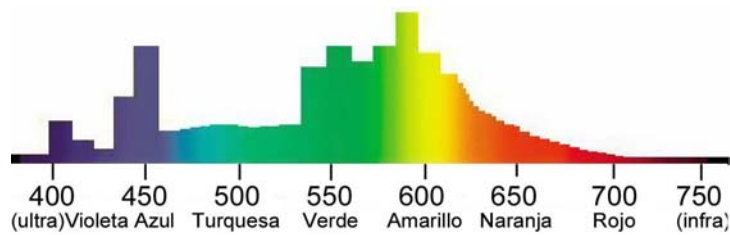


Figura 2.24B. Distribución de Energía Espectral (Blanco Frío)

Fuente: Osram

Las lámparas de blanco cálido (Figura 2.24C) producen un efecto amigable y personal, por lo que se emplea en restaurantes, lobbies, boutiques, librerías, tiendas de ropa y en los hogares.

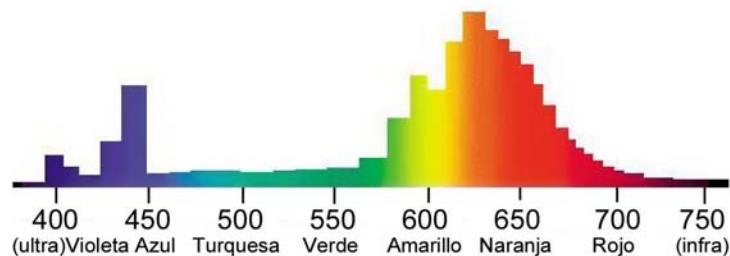


Figura 2.24C. Distribución de Energía Espectral (Blanco Cálido)

Fuente: Osram

2.1.18 EFECTO DE LA HUMEDAD

Cuando la humedad ambiente es elevada, se aprecia un notable aumento en la tensión de encendido; esto se debe a que la humedad enfría la superficie de la lámpara y por tanto equivale a un descenso de la temperatura ambiente que provoca un aumento en dicha tensión. En las lámparas que emplean un arrancador durante su encendido, la acción de la humedad no tiene ningún efecto sobre ella ya que la sobretensión producida por el arrancador es, por mucho, superior a la tensión de encendido.

2.1.19 TIEMPO DE ARRANQUE Y REENCENDIDO DE LAS LFC's

El tiempo de arranque de la lámpara o arranque en frío, nos muestra la evolución del flujo luminoso emitido por la lámpara durante su proceso de encendido. Si consideramos que inicialmente la lámpara está a una temperatura ambiente de 25°C podemos decir que las LFC's emiten el 90% de su flujo luminoso nominal en aproximadamente en 1 minuto.

Cuando una lámpara está en estado de funcionamiento normal y se interrumpe su alimentación, ésta necesita un periodo de tiempo determinado para poder arrancar nuevamente. Este periodo de tiempo es muy variable y viene determinado por el tipo de tecnología, ya sea incandescente, de descarga, inducción, etc. El tiempo de reencendido en caliente, ofrece información referente a este periodo e indica el tiempo mínimo necesario para poder arrancar de nuevo una lámpara después de la interrupción de su alimentación.

Para una LFC de encendido rápido se tiene un tiempo de reencendido en caliente casi instantáneo, por lo cual, son una buena opción para usarlas en zonas donde se prevea la

posibilidad de cortes y/o subtensiones transitorias de la tensión de red que puedan provocar la extinción del arco de la lámpara.

2.1.20 VIDA ÚTIL DE LAS LFC's

En realidad, es imposible predeterminar cuánto tiempo durará una lámpara debido a la multitud de factores que pueden intervenir en su duración. La vida útil es el tiempo, medido en horas que funciona una LFC encendida y durante el cual mantiene su flujo luminoso dentro del rango establecido si está operando dentro del rango de voltaje y temperatura establecidos. Ese tiempo es proporcionado por el fabricante.

2.1.21 VIDA DE GARANTÍA DE LAS LFC's

Las LFC's consumen un 75% menos energía eléctrica que las lámparas incandescentes, tienen una vida útil 10 veces mayor a las, ya que su duración alcanza las 10,000 horas siempre y cuando el producto haya sido empleado de acuerdo con las precauciones de uso así como las condiciones especificadas por el fabricante.

El único tipo de garantía que existe para las LFC's, es el que ampara algún defecto de fabricación. El tiempo lo especifica el fabricante en el empaque, siendo por lo general de 1 año (figura 2.25). Lamentablemente no todas las marcas de LFC's brindan garantía a sus productos, por ello es importante consumir lámparas respaldadas por marcas reconocidas.

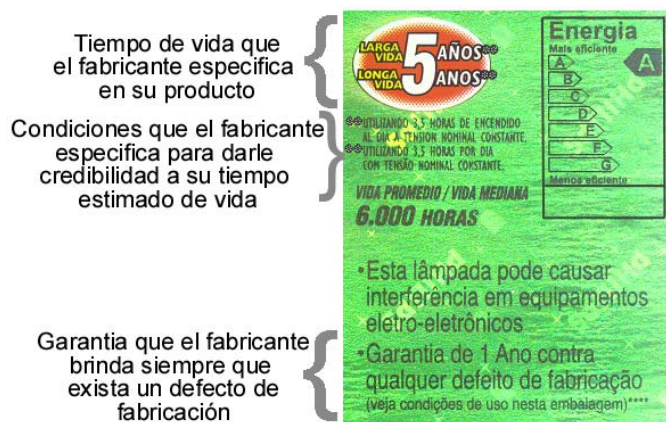


Figura 2.25 Etiqueta de Garantía de una LFC
Fuente: Philips

En el caso de las marcas que no son de renombre y la mayor parte son fabricadas en China, llegan a carecer de una garantía y por lo general, la calidad de sus componentes es muy baja.

2.1.22 FORMAS COMUNES

En las LFC's el diseño de la forma de los tubos es importante a fin de buscar una mejor distribución luminosa. En la actualidad pueden distinguirse varios tipos básicos de tubos para LFC's:⁽³⁾

- Tubo único de pequeño calibre, plegado en forma compacta y plana, o bien, dos o más tubos paralelos de pequeño calibre así como de forma helicoidal, interconectados de forma que ofrezca un recorrido continuo para la descarga eléctrica. La lámpara está provista de un balastro convencional o electrónico, y de un casquillo de rosca (figura 2.26 A).

- Tubo único de pequeño calibre, plegado en forma compacta y ubicado en el interior de una envoltura de vidrio o plástico. Integrados a la lámpara se puede encontrar un arrancador y un balastro convencional o electrónico, el conjunto se acopla con un casquillo de rosca (figura 2.26 B).
- Dos o más tubos paralelos de pequeño calibre, interconectados por o cerca de los extremos de modo que ofrezcan un camino continuo para la descarga eléctrica. La lámpara está equipada con una base especial que a veces contiene un arrancador (figura 2.26 C).



Figura 2.26 Tipos básicos de tubos para LFC's
Fuente: Philips

2.1.23 CLASIFICACIÓN DE LAS LFC's (NEMA)

Los fabricantes de LFC's acostumbran crear su propia nomenclatura para tener mayor penetración en el mercado, pero estos nombres a veces dificultan la posibilidad de manejar una especificación genérica. Afortunadamente, la Asociación Nacional de Fabricantes de Equipo Eléctrico de Estados Unidos (NEMA), ha desarrollado un sistema genérico de designación para las compactas fluorescentes. En cualquiera de los casos el especificador ya puede relacionar fácilmente el producto deseado con el código NEMA. El código consiste de los siguientes elementos:⁽²²⁾

CF + (Forma) + (Watts) + (Designación de la base o casquillo)

La forma puede ser:

- "T" para tubo gemelo sencillo
- "Q" para tipo Quad ó tubo gemelo doble
- "S" para forma cuadrada
- "M" para cualquier configuración que no éste cubierta por las anteriores.

Las designaciones para la base aparecen en los catálogos de los propios fabricantes, quienes emplean el código de la designación NEMA; de esta manera, una LFC de 13W con tubo sencillo T4 se designa como:

CF + T + 13W + GX23 = CFT13W / GX23

Una LFC de 26W, T4 de tubo gemelo doble de dos alfileres o pines, se designa como:

CF + Q + 26W + G24d = CFQ26W / G24d

2.1.24 CARTA DE SERVICIO DE LAS LFC's

Una instalación de alumbrado fluorescente, como cualquier edificio o pieza de maquinaria, representa inversión de capital. El buen mantenimiento siempre ayudará a tenerla en buen estado, dicho mantenimiento puede ser de dos clases: preventivo y correctivo.

Mientras mejor sea el programa de mantenimiento preventivo, menor será el mantenimiento correctivo que se requiera. Sin embargo, no es razonable esperar que el mantenimiento preventivo elimine todas las causas de mal funcionamiento que requieren acción correctiva. Por esta razón, es conveniente que el Ingeniero en Iluminación, o la persona a cargo del funcionamiento de una instalación de alumbrado, conozca cuáles son algunos de los síntomas que indican la existencia de alguna dificultad. A continuación se explican algunos de los problemas más comunes, sus características y causas posibles y la acción correctiva que deba tomarse.⁽²³⁾

LÁMPARAS QUE NO ENCIENDEN	
CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Lámparas equivocadas	Examinar los datos del balastro y reemplazar la(s) lámpara(s) del sistema dedicado. Se requiere desconectar el circuito antes de hacer cualquier reemplazo.
Contacto defectuoso entre la lámpara y los portalámparas	En un sistema dedicado, si las portalámparas están flojas, habrá que ajustarlas o reemplazarlas. Reemplace las portalámparas corroídas, rotas o que muestren evidencia de arqueo.
Fin normal de la vida de la lámpara	Agotamiento del revestimiento catódico. Se manifiesta por ennegrecimiento en los extremos de la lámpara extendiéndose en el tubo. La LFC puede parpadear por un corto período o producir luz trémula. Las LFC's de encendido instantáneo suelen producir luz en forma de espiral. Los extremos de la LFC de precalentamiento pueden apagarse y encenderse. Si el arco se forma, puede manifestarse por un efecto de luz trémula durante un corto período.
Excesiva humedad o acumulación de polvo en las lámparas	Quite, limpie y reemplace las LFC's. Use una solución de jabón en lugar de detergente ya que éste puede eliminar el revestimiento de silicón de la lámpara. Es deseable que las lámparas se sequen a base de aire seco en lugar de con un paño, ya que este puede crear electricidad estática que atrae el polvo. Si las condiciones de humedad y polvo prevalecen, es preferible cubrir las lámparas.
Temperatura ambiente extrema (caliente o fría)	En condiciones de frío extremo, a pesar de que las lámparas funcionan, su producción lumínica puede ser tan baja que dé la impresión de estar apagada.
Bajo voltaje en la lámpara	Verifique el voltaje con un voltímetro adecuado, corrija o reemplace el balastro por uno adecuado al voltaje de alimentación existente en caso de sistemas dedicados
Circuito abierto en los electrodos de la lámpara	Las causas pueden ser inadecuada conexión a tierra, alambrado inadecuado, portalámparas rotos o insuficiente capacidad del balastro, cualquiera de las cuales da como resultado que se esté aplicando un voltaje excesivo al cátodo. Otras causas pueden ser daños durante el transporte, malas soldaduras, electrodos rotos.

VIDA CORTA DE LA LÁMPARA

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Ciclo de encendido corto	Revise el programa de operación de encendido de la(s) LFC ('s) y la mejor manera de llevarla a cabo económicamente. Con frecuencia se ha visto que el apagar las LFC's por cortos períodos de tiempo, para reducir el consumo de energía, realmente representa un aumento del costo de la instalación.
Alto o bajo voltaje en la lámpara	Si el voltaje que se suministra a la LFC de precalentado o de encendido rápido es más alto que lo normal, el rendimiento de luz aumentará, pero la LFC encenderá instantáneamente, esto es, sin preacondicionamiento adecuado de los cátodos causando su deterioro y dando como resultado una reducción en su vida. El voltaje demasiado alto puede causar que el balastro funcione con corrientes anormalmente altas, las cuales reducen su vida y disminuyen el mantenimiento del flujo luminoso. Si el voltaje de lámpara es bajo, la emisión lumínica se reducirá, el funcionamiento de la LFC será inestable y su encendido más lento, difícil y prolongado, provocando una destrucción de los cátodos y el decremento en la vida de la LFC

REDUCIDA EMISIÓN LUMINICA

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Mantenimiento normal	La emisión lumínica de una LFC durante las primeras horas de operación es mayor que después de las 100hr de encendido, punto en el cual la LFC logra sus valores nominales. Si el rendimiento de las LFC's nuevas parece disminuir en los primeros días, quizá se deba al mantenimiento normal. Usualmente este efecto pasa desapercibido debido a que es pequeño. Los proyectos de iluminación deben considerar el decremento de emisión luminosa que ocurre en las primeras 100hr y la depreciación a través de las horas de vida. Un sistema de mantenimiento por grupo disminuirá el cambio en el nivel de iluminación que se presente cuando las LFC's continúen operando después de haber alcanzado sus horas nominales de vida.
Polvo en las LFC's y luminarios	Después de cierto período de tiempo es necesario limpiarlos del polvo, incluyendo pisos, suelos, paredes y contenidos del inmueble si es necesario.
Alta o baja temperatura ambiental	La emisión lumínica de una LFC depende de la temperatura ambiente. La emisión lumínica de las LFC's se ve afectada a temperaturas mayores o menores que la óptima y decrecerá a razón del 3% por cada °F de temperatura. Si las lámparas están expuestas a temperaturas frías se deben cubrir para retener parte de su calor, con luminarias o pantallas adecuadas. Si la lámpara se encuentra instalada en una luminaria o compartimento completamente cerrado se debe de proporcionar ventilación para disipar parte del calor que se acumula.

ÁREAS OSCURAS O MANCHAS EN LA LÁMPARA

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Condensación del mercurio	Las corrientes de aire pueden causar puntos fríos en las paredes de la lámpara, lo que a su vez hace que el mercurio dentro de la lámpara se condense en esas áreas. A menudo, en algunas lámparas nuevas se pueden observar pequeñas gotas de mercurio, debido a que el mercurio no ha sido evaporado. En operación con corriente directa ocurre una concentración del mercurio en uno de los cátodos. Si la dirección de la corriente no se cambia periódicamente, dará como resultado el ennegrecimiento de la pared en el extremo del ánodo. Se deben tomar precauciones para que la corriente cambie de dirección frecuentemente.

DIFERENCIA EN LOS COLORES DE LAS LÁMPARAS

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Mantenimiento normal	Además de la disminución normal de emisión lumínica o brillantez, un pequeño cambio en el color de las lámparas puede ocurrir a medida que sean usadas.
Color equivocado de la lámpara	Verifique las características de las lámparas que aparentan ser de distinto color. Reemplácelas por las de color correcto.
Tolerancias de manufactura	Dichas tolerancias son: las de composición del fósforo así como el espesor del recubrimiento. Generalmente, la variación de color que ocurre dentro de estos límites es percibida únicamente por expertos. Si las variaciones son notables, consulte a su proveedor de lámparas.
Variaciones en la temperatura o corrientes de aire	La temperatura afecta el color de una LFC, así como la emisión lumínica. En la mayoría de las instalaciones, el efecto es tan pequeño que casi no se nota. Si la diferencia es notoria se deberá de corregir.

INTERFERENCIA DE RADIO Y T.V.

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Radiación de la lámpara al circuito receptor de la antena	Esta interferencia se debe a la oscilación de electrones en los cátodos de la LFC. Para verificar que las LFC's son las causantes, se debe sintonizar el receptor en el punto máximo de interferencia y entonces apagar las LFC's. Si la interferencia no desaparece, la causa es otro dispositivo.

SISTEMAS QUE MOLESTAN LA VISTA O CAUSAN DOLORES DE CABEZA

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Reacciones psicológicas	En algunas ocasiones existen quejas de que el alumbrado fluorescente molesta a la vista de las personas trabajando en ciertas áreas. La "Journal of the American Medical Association", en 1945, estableció lo siguiente: "La iluminación fluorescente no es perjudicial a la vista, por lo tanto, no debe causar cansancio si se instala y usa apropiadamente". Si existe alguna queja, lo mejor es tratarla con psicología. La manera más fácil de hacerlo es cambiando el color de la lámpara.

2.2. BALASTROS

Un balastro es un dispositivo externo auxiliar que limita la corriente de operación de todas las lámparas que producen luz por medio de un arco eléctrico en un ambiente gaseoso tal como lo son las lámparas fluorescentes lineales y compactas. El balastro es la parte más importante de un sistema de iluminación fluorescente, pues sin él, la lámpara no puede emitir luz sin ser dañada.^(22, 24)

La Norma Oficial Mexicana NOM-058-SCFI-1999, “Productos Eléctricos-Balastros para Lámparas de Descarga Eléctrica en Gas -Especificaciones de Seguridad”; da su definición de balastro como: dispositivo electromagnético, electrónico o híbrido que, por medio de inductancias, capacitancias, resistencias, y/o elementos electrónicos (transistores, tiristores, etc.) solos o en combinación, limitan la corriente de lámpara y, cuando es necesario, la tensión y corriente de encendido. Los balastros electromagnéticos e híbridos tienen una frecuencia de salida de 60 Hz. Los balastros electrónicos son aquellos que internamente tienen al menos un convertidor de frecuencia.⁽²⁵⁾



Figura 2.27 Diferentes tipos de balastros para LFC's
Fuente: Fotografías de diversas marcas

En la figura 2.27 se muestran diferentes tipos de balastros, de izquierda a derecha se tiene: balastro electrónico para un sistema dedicado marca Lutron, balastro electromagnético para un sistema modular marca GE, balastro electrónico para un sistema dedicado marca Triad, balastro electromagnético para un sistema dedicado marca Philips y conjunto lámpara-balastro que constituyen un sistema integral marca Philips.

2.2.1 FUNCIÓN DEL BALASTRO EN UN SISTEMA FLUORESCENTE COMPACTO

Las funciones de un balastro son principalmente las siguientes:

- Proporcionar la corriente de arranque o de precalentado de los cátodos, generando la suficiente emisión de electrones que propicie la conducción en el medio gaseoso de la lámpara.
- Limitar o regular la corriente de operación de la lámpara a los valores adecuados para su correcto funcionamiento.
- Amortiguar las variaciones de consumo de corriente, frente a oscilaciones de la tensión de línea, con la finalidad de prolongar la vida de la lámpara y del equipo, mejorando también el rendimiento energético y la calidad del alumbrado.

- Proporcionar la tensión o tensiones inicial(es) de encendido y operación de la lámpara.
- De ser necesario, proveer de calentamiento a los filamentos (lámparas fluorescentes de encendido rápido)
- En algunos tipos: reducir la radiointerferencia (RFI) producida normalmente por el conjunto lámpara-balastro.

2.2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Todas las lámparas que producen energía luminosa por medio de un arco eléctrico requieren un balastro que les proporcione el voltaje necesario para arrancar y operar adecuadamente una vez que esté encendida.

Inicialmente entre los electrodos de este tipo de lámparas existe una resistencia muy alta, misma que al momento de aplicar una diferencia de potencial entre los cátodos tiende a disminuir a cero provocando un corto circuito dentro de las lámparas. Cuando se establece la diferencia de potencial, el gas existente dentro de la lámpara tiende a ionizarse, lo que provoca una impedancia negativa y al presentarse una resistencia menor la corriente es mayor. Si la resistencia tiende a cero: la corriente tiende a infinito; esta es la razón que obliga a poner una limitante que haga la función de resistencia al paso de la corriente conectada en serie con la lámpara, de lo contrario el incremento de la corriente sería cada vez mayor hasta destruir la lámpara en unos cuantos segundos. Por lo que, el balastro es un dispositivo adicional que funciona para cualquier lámpara fluorescente como un regulador de corriente.⁽²⁴⁾

2.2.3 COMPONENTES DE UN BALASTRO

Los balastros consumen electricidad mientras proveen las condiciones necesarias (voltaje, corriente y forma de onda) para encender y operar las LFC'.

En las LFC's, la construcción de un balastro puede ser de dos tipos: balastros electrónicos o electromagnéticos.

Balastros Electromagnéticos

Los balastros electromagnéticos constan básicamente de un núcleo de acero y una bobina comúnmente hecha de cobre o de aluminio; haciendo así, la función de un transformador de voltaje y un limitador de corriente en el circuito.

Algunos balastros electromagnéticos están equipados además con un capacitor como tercer elemento básico permitiendo al balastro utilizar la potencia de línea de una manera más eficiente. Estos balastros son conocidos como balastros electromagnéticos de "alto factor de potencia" ó de "factor de potencia corregido".

Debido a su bajo costo inicial, este tipo de balastros tienen una demanda muy alta. En Estados Unidos, hasta antes de 1990, los fabricantes de balastros electromagnéticos ofrecían productos con altas pérdidas magnéticas pero una vez que entraron en vigor

ciertos proyectos del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) en donde se contempla eliminar a los balastos electromagnéticos utilizados para nuevas construcciones y sustituir este tipo de balastos en edificios comerciales e industriales para el año 2005, la eliminación total de estos balastos se estima para el año 2010 en ese país⁽²⁸⁾, lamentablemente en México aún no existe ningún programa orientado a eliminar el uso de los balastos electromagnéticos en las LFC's.

En la figura 2.28 se muestra un balastro electromagnético para sistemas modulares que fue desarmado para apreciar su construcción interna (núcleo y la bobina).

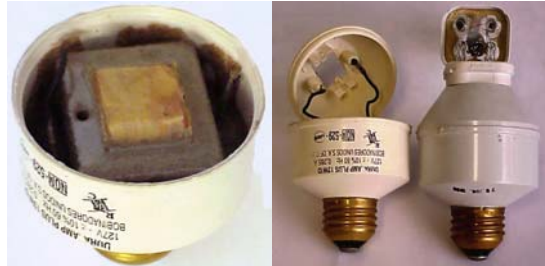


Figura 2.28 Vista del Núcleo del Balastro (Der.) y Balastro Electromagnético (Izq.)
Fuente: Fotografías de Diversas Marcas

Balastos Electrónicos

Los avances en la tecnología de estado sólido permitieron a los fabricantes de balastos dar otra opción en el mercado haciéndolos más eficientes, menos pesados y más pequeños en tamaño a diferencia de los electromagnéticos.

Un balastro electrónico consta básicamente de un circuito principal y diversos componentes electrónicos. Esquematizando los pasos básicos de éste tipo de balastos, el siguiente diagrama de bloques (figura 2.29) muestra los seis pasos a seguir.

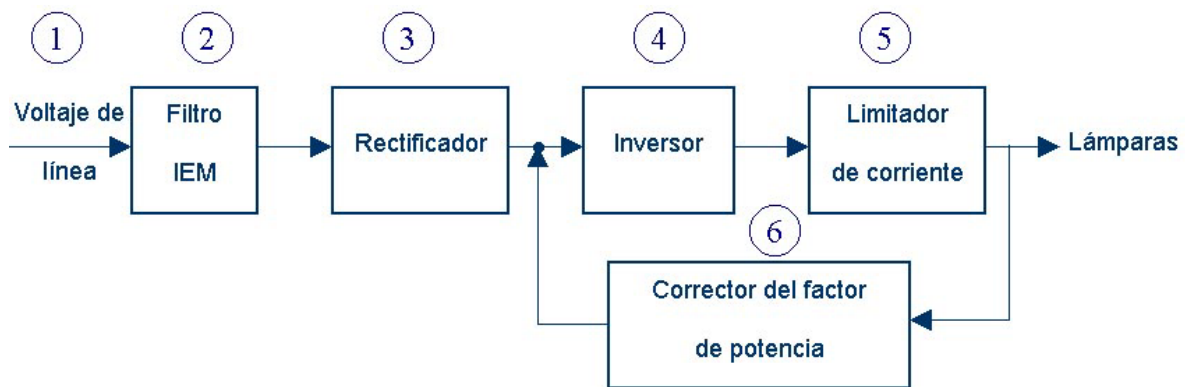


Figura 2.29 Diagrama de bloques de un balastro electrónico
Fuente: Advance, CONAE^(29, 37)

1. Voltaje de entrada: Es el voltaje que proviene de la línea de suministro, en la mayoría de los casos es de 110 a 127V (figura 2.30A).

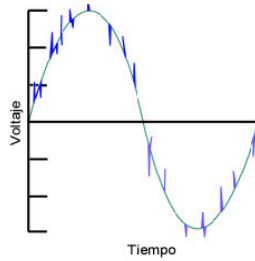


Figura 2.30A Voltaje de Entrada a un Balastro Electrónico
Fuente: Advance ⁽²⁹⁾

2. Filtro IEM (figura 2.30B): Limita la interferencia electromagnética a la línea y protege a los componentes del balastro contra transitorios.

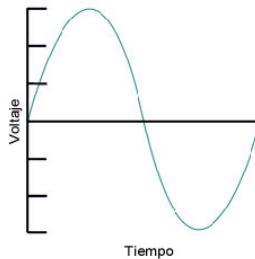


Figura 2.30B Filtro IEM
Fuente: Advance ⁽²⁹⁾

3. Rectificador (figura 2.30C): Convierte la onda de voltaje alterna (AC) en una señal rectificada de voltaje (DC).

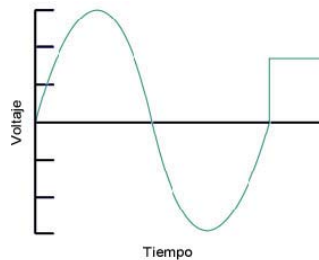


Figura 2.30C Rectificador
Fuente: Advance ⁽²⁹⁾

4. Inversor (figura 2.30): Convierte la señal rectificada de voltaje (DC) a alterna con una frecuencia de oscilación entre los 20 y 60 kHz.

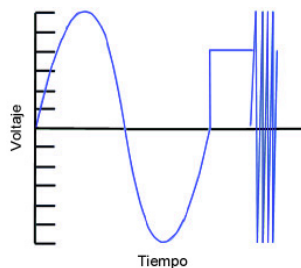
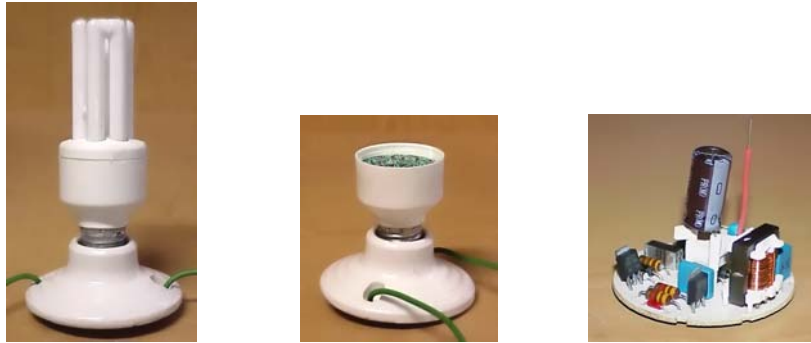


Figura 2.30D Inversor
Fuente: Advance ⁽²⁹⁾

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.

En la figura 2.31A aparece una LFC integral con balastro electrónico, la imagen 2.31B muestra la base de la LFC que alberga el balastro y por último tenemos en la imagen 2.31C una toma ampliada del balastro electrónico donde se aprecian los elementos que lo forman: transistores de conmutación, estabilizador de corriente, capacitor para operar libre de parpadeos, supresor de RFI, entre otros. ⁽⁴⁶⁾



A B C
Figura 2.31 LFC integral con balastro electrónico, marca Osram
Fuente: Fotografía de una LFC marca OSRAM de 15 W

En la figura 2.32A se muestra un balastro electrónico para sistema dedicado en caja de plástico marca Tecno-Lite, en la imagen 2.32B se muestra un balastro electrónico para un sistema dedicado con caja metálica marca Triad.



A B
Figura 2.32 Balastos electrónicos para sistemas dedicados
Fuente: Fotografías de diversas marcas

TECNOLOGÍA EOL

Las LFC's al final de su vida útil, presentan un aumento de la corriente de arco que genera un sobrecalentamiento no deseado en la zona de los cátodos. Con el fin de evitar este problema, algunos balastos electrónicos del mercado disponen de dispositivos de protección para limitar esta sobrecorriente a unos límites seguros incorporando un dispositivo propio de protección denominado end of life (EOL).

La tecnología EOL (figura 2.33) incorpora en la zona de los cátodos una pequeña dosis de Hidruro de Titanio, cuando la temperatura en esta zona alcanza un valor elevado, éste desprende H₂ (hidrógeno), que extingue el arco de la lámpara. Con ello se evita el calentamiento de la base de la LFC que, aunque está diseñada para soportar temperaturas elevadas, al evitar un calentamiento excesivo se elimina el riesgo de activar alarmas contra humo en caso de que el inmueble donde se encuentre la instalación cuente con ellas.

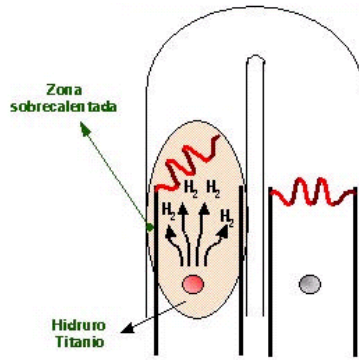


Figura 2.33 Tecnología End of Life
Fuente: Aplicación de las LFC's; GE Lighting

2.2.4 FRECUENCIA DE OPERACIÓN

Cuando se habla de la frecuencia de operación de un balastro debemos considerar que este término abarca dos consideraciones importantes: la frecuencia de línea (o frecuencia de entrada) que es la frecuencia de entrada al balastro y la frecuencia de salida que se refiere a la frecuencia a la que el balastro opera a la lámpara.

Frecuencia de Entrada (frecuencia de línea)

Los balastros usualmente se conectan a la línea de corriente alterna (AC) a 50 ó 60 Hz (o ciclos por segundo) dependiendo de la compañía local que suministre energía eléctrica; siendo por lo general 60 Hz en América y 50 Hz en Europa ⁽²⁶⁾.

La mayoría de los balastros están diseñados para una de estas dos frecuencias pero no para ambas. Algunos balastros electrónicos están diseñados para operar al conectarse a la corriente directa (DC), pero este tipo de balastros pueden considerarse balastros especiales para aplicaciones muy específicas, por ejemplo para la iluminación en autobuses y por lo general, su venta se realiza bajo pedido.

Frecuencia de Salida (frecuencia de operación de la lámpara)

La frecuencia de salida varía según el tipo de balastro que se emplee.

Los balastros electromagnéticos tienen generalmente grandes pérdidas de potencia en comparación a los balastros electrónicos; operan las lámparas a la frecuencia de línea, figura 2.34A.

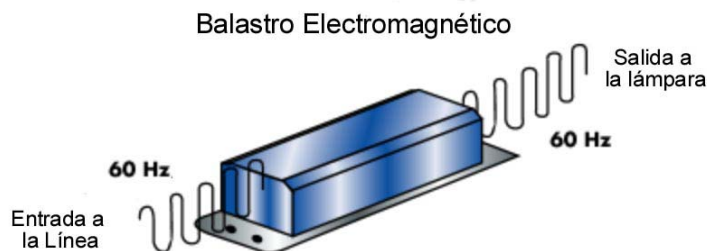


Figura 2.34A Frecuencia de Operación (en Hz) de un Balastro ELMG
Fuente: Electronic Ballasts ⁽²⁸⁾

En cambio, los balastos electrónicos (figura 2.34B) operan lámparas en un rango de frecuencia que va de 20 a 60kHz ⁽²⁶⁾. La eficacia de la lámpara también se ve incrementada (aproximadamente 10 a 15% comparada con la operación a 60Hz) cuando ésta opera a frecuencias superiores a 20kHz, ayudando al ahorro del consumo de energía.

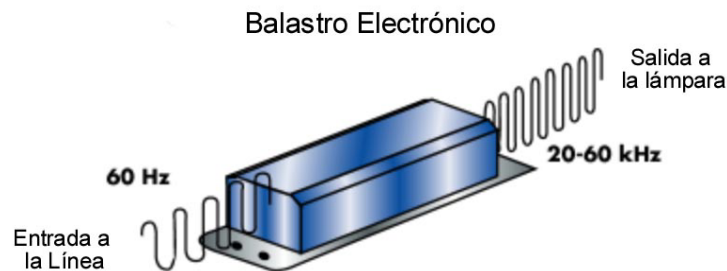


Figura 2.34B Frecuencia de Operación (en Hz) de un Balastro ELTN
Fuente: Electronic Ballasts ⁽²⁸⁾

Una desventaja que tienen los balastos electrónicos es que pueden llegar a causar interferencia electromagnética (EMI) sobretodo si trabajan frecuencias muy altas. De la interferencia electromagnética se hablará más adelante en el punto 2.2.7.10 de éste capítulo.

En la grafica de la figura 2.35 se aprecia cómo la frecuencia de un balastro electrónico aumenta la eficiencia de la lámpara, dicho de otra manera, se puede alcanzar hasta un 10% más del flujo luminoso nominal operando la lámpara en frecuencias altas.

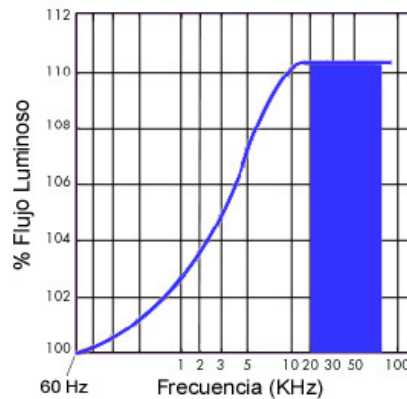


Figura 2.35 Gráfica de la frecuencia de operación vs % flujo luminoso
Fuente: Advance & The IESNA Lighting Handbook; Reference and Application ^(29, 32)

2.2.5 MODOS DE ENCENDIDO

El modo de encendido que utilizan los balastos de las LFC's puede ser:

- Encendido precalentado
- Encendido instantáneo
- Encendido rápido
- Encendido programado

2.2.5.1 ENCENDIDO PRECALENTADO

Este tipo de balastos precalientan los electrodos de la lámpara por un periodo que puede ir de 150ms a 1s (o más) ⁽⁴¹⁾ aproximadamente entre 800 a 1000°C ⁽²⁷⁾ de ahí su nombre.

En la figura 2.36 se muestra el circuito típico para este modo de encendido. Una vez que los electrodos están precalentados el switch de encendido abre para proporcionar un voltaje de 200 a 300 V ⁽²⁷⁾ para ser aplicado a través de la lámpara para formar el arco.

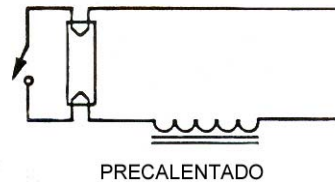


Figura 2.36 Circuito de Encendido Precalentado
Fuente: Notas de Lámparas Fluorescentes Compactas ⁽⁸⁾

Los balastos de encendido precalentado paran el suministro del voltaje de calentamiento en los electrodos después del encendido de la lámpara. Los balastos magnéticos de precalentado provocan en la lámpara un destello de encendido y apagado unos cuantos segundos después de finalizar la etapa de encendido; en cambio, los balastos electrónicos de precalentado encienden a las lámparas sin ese destello. Con este método de encendido la lámpara puede tardar uno o dos segundos en encender.

2.2.5.2 ENCENDIDO INSTANTÁNEO

Este tipo de balastos fueron desarrollados para encender las lámparas sin retrasos ni destellos. En lugar de tener un calentamiento en los cátodos previo al encendido, los balastos de encendido instantáneo suministran un voltaje inicial cercano a los 400 V ⁽²⁷⁾ para formar el arco (figura 2.37), este alto voltaje es aplicado en menos de 50ms ⁽²⁷⁾ y es requerido para iniciar la descarga entre los electrodos.

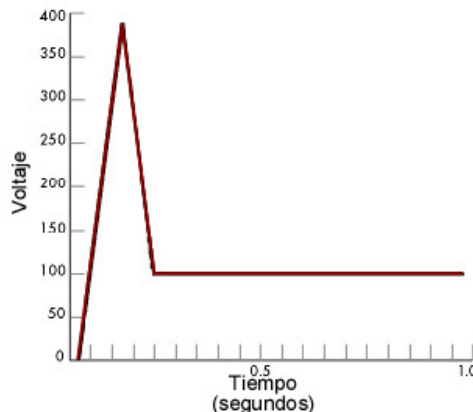
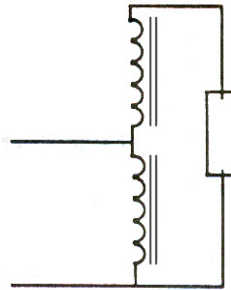


Figura 2.37 Gráfica de Voltaje Inicial en el Encendido Instantáneo
Fuente: Advance ⁽²⁹⁾

Los electrodos no son calentados ni antes ni durante la operación, por lo que los sistemas con balastos de encendido instantáneo tienen bajas pérdidas de potencia en comparación a los balastos de encendido rápido. La figura 2.38 muestra su circuito típico.



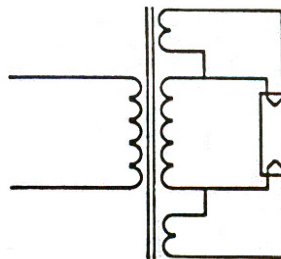
ENCENDIDO INSTANTÁNEO

Figura 2.38 Circuito de Encendido Instantáneo
Fuente: Notas de Lámparas Fluorescentes Compactas⁽⁸⁾

Es generalmente aceptado que los sistemas con balastos de encendido instantáneo pueden reducir la vida de la lámpara en comparación a los balastos de precalentado, especialmente si el sistema sufre de frecuentes encendidos y apagados debido a que el alto voltaje inicial acelera la degeneración del recubrimiento emisor de los electrodos. Con este método de encendido, la lámpara enciende casi tan rápido como lo hace una incandescente.

2.2.5.3 ENCENDIDO RÁPIDO

En la figura 2.39 se muestra el circuito básico par el modo de encendido rápido.



ENCENDIDO RÁPIDO

Figura 2.39 Circuito de Encendido Rápido
Fuente: Notas de Lámparas Fluorescentes Compactas⁽⁸⁾

Los balastos de encendido rápido proporcionan un bajo voltaje, alrededor de 3.5V⁽²⁷⁾ a los electrodos, calentándolos aproximadamente 1000°C⁽²⁷⁾ en uno o dos segundos. Entonces un voltaje de encendido de 200 a 300V⁽²⁷⁾ es aplicado para formar el arco. Los balastos de encendido rápido suministran el voltaje de calentamiento en los electrodos incluso después de que la lámpara ha encendido, resultando en pérdidas de potencia de 3 a 4 W por cada lámpara. Los balastos de encendido instantáneo encienden las lámparas con un pequeño retardo pero sin ningún destello. Con este método de encendido la lámpara puede tardar unos cuantos segundos en encender (figura 2.40).

Los fabricantes de balastos han ido desarrollando nuevas tecnologías de encendido rápido que pueden ser más precisas en controlar los procesos de encendido tanto para extender la vida de la lámpara como para alcanzar nuevas aplicaciones en la iluminación con LFC's. Una de estas nuevas tecnologías es la del "encendido programado" y otra es la capacidad que tienen algunos balastos de encendido rápido para ser "dimmeados" es decir, para atenuar los niveles de iluminación en un sistema variándolo de 100% al 1%⁽³¹⁾.

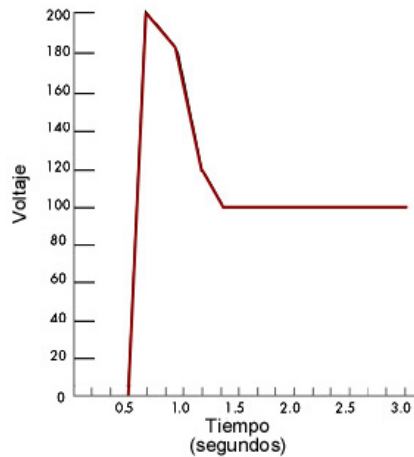


Figura 2.40 Gráfica de Voltaje Inicial en el Encendido Rápido
Fuente: Advance ⁽²⁹⁾

2.2.5.4 ENCENDIDO PROGRAMADO

La reciente tecnología que usan los balastos de encendido programado ha sido basada en la tecnología de balastos de encendido rápido entrelazada al auge de la tecnología de microprocesadores (figura 2.41)



Figura 2.41 Balastro ELTN de encendido programado
Fuente: Advance

Al igual que los balastos de encendido rápido, la lámpara es encendida sin retrasos ni parpadeos; de hecho, es el mismo sistema que el del encendido rápido excepto porque el voltaje de encendido es menor después del encendido de la lámpara y con esta medida se ahorra aun más energía y conviene emplearlo en sistemas que estén expuestos a frecuentes ciclos de encendido.

El voltaje aplicado a los cátodos es un voltaje que asegura que éstos alcanzarán la temperatura deseada antes del encendido, si este voltaje fuera mayor al requerido, la lámpara arrancarían antes de que los cátodos tuvieran la temperatura deseada, lo que implicaría la pulverización o evaporación catódica del material emisor, mientras los cátodos se calientan al menos hasta $700^{\circ}\text{C}^{(30)}$ (intervalo de precalentado), el voltaje a través de la lámpara es reducido al nivel donde disminuye la corriente de luminiscencia (glow current) que es el valor de la corriente que fluye a través del cátodo durante el intervalo de precalentado hasta que se inicia la descarga luminiscente en la lámpara, ésta corriente es la que provoca el ennegrecimiento en el tubo cerca de los cátodos y va degradando la vida de la lámpara.

Los balastos con encendido programado son capaces de mantener la pulverización o evaporación catódica del material emisor al mínimo al reducir el voltaje a través de la

lámpara durante ésta primera fase. Algunos, pero no todos, tienen la capacidad de eliminar completamente la corriente de luminiscencia completamente al no aplicar ningún voltaje a través de la lámpara durante la primera fase.

La duración de ésta fase es pre-programada en el circuito del balastro. Mientras el voltaje de la lámpara se mantenga muy bajo, la lámpara no encenderá hasta que los cátodos se calienten a su óptima temperatura, cuando esto suceda entonces el balastro programado pasará a una segunda etapa.

La segunda etapa del proceso de encendido es la aplicación del voltaje de la lámpara. Una vez que el tiempo programado del primer paso ha sido alcanzado, un voltaje es aplicado a través de la lámpara encendiéndola con la mínima pérdida de material emisor, lo que, con el tiempo prolonga la vida de la lámpara que puede ser de 12 a 15 hr para LFC's bajo ciertos ciclos de encendido y apagado además de cuidar la calidad de la energía en los lugares donde se instala, sin embargo el hecho de utilizar mayor cantidad de circuitos de control implica un incremento en el consumo de energía del orden de 2 W comparado con los balastos de encendido rápido.

Otros nombres con los que se le conoce a este tipo de encendido pueden ser: encendido rápido modificado (MRS) o encendido rápido controlado.



Figura 2.42 Balastos ELTN programados
Fuente: Philips

En la figura 2.42A se muestra un balastro electrónico de alta frecuencia (HF) con encendido programado, marca Philips, modelo HF-PERFORMER ULTRA para lámparas PL-T Y PL-C; mientras que la imagen 2.42B muestra un balastro electrónico de encendido programado, igualmente de la marca Philips, modelo HF-PERFORMER para LFC PL-L.

2.2.6 BALASTROS DIMMEABLES

Los balastos electrónicos dimmeables (figura 2.43), permiten que la luz de salida sea continuamente controlada sobre rangos del 10% al 100% de la luz total que pueda brindar un sistema. Una señal de pequeño voltaje (aproximadamente entre 0 y 10 V) a la salida del circuito del balastro modifica la corriente de la lámpara.



Figura 2.43 Balastro ELTN Dimmeable
Fuente: Lutron

Los balastos electrónicos dimmeables están equipados con circuitos retroalimentados que mantienen el voltaje del electrodo cuando la corriente de la lámpara es reducida. Esto permite a la lámpara ser dimmeada sobre un amplio rango sin reducir su vida. Esta técnica de dimmeo contrasta con la de los balastos electromagnéticos donde una potencia de entrada al balastro es modificada para alterar la corriente de la lámpara reduciendo también el voltaje del electrodo, lo que limita el rango práctico de dimmeo de la lámpara a aproximadamente el 50% del total de la luz emitida por el sistema.^(38, 42)

Para que una lámpara fluorescente pueda ser dimmeada sin reducir su tiempo de vida, los cátodos deben permanecer activados durante la operación de ésta. Lo que significa que los balastos dimmeables serán menos eficientes mientras operen la(s) lámpara(s) en niveles de dimmeo⁽⁴²⁾.

En la actualidad existen balastos electrónicos con un completo rango de dimmeo del 1% al 100%⁽³¹⁾ mediante balastos diseñados para ese propósito, ofreciendo atenuación libre de flicker a lo largo de todo el rango, permitiendo con ello la elección del correcto nivel de iluminación para diferentes actividades en un mismo espacio, logrando con esta medida, además de un ahorro extra de energía cuando la luz de día está presente, la posibilidad de aplicar los sistemas fluorescentes en un mayor campo de aplicaciones decorativas o arquitectónicas.

Otra ventaja es que se pueden ajustar para compensar la pérdida gradual de luz que presentan las LFC's con el tiempo, poniendo un nivel un poco más bajo cuando la LFC es nueva y aumentándolo mientras la vida del sistema se va desgastando poco a poco, logrando con eso un mantenimiento lumínico más uniforme durante la vida de las LFC's.

2.2.7 ESPECIFICACIONES Y TÉRMINOS

A continuación, se listan los términos y las especificaciones necesarias para entender las características que los fabricantes dan a sus balastos.

2.2.7.1 CERTIFICACIÓN

Las organizaciones mencionadas a continuación son algunas que están relacionadas con las pruebas y estandarizaciones realizadas a balastos en México, Estados Unidos y Canadá.



SELLO FIDE – Es una etiqueta que portan los productos eficientes sobresalientes en el ahorro de energía eléctrica en México a los que, después de comprobar su alto nivel de eficiencia se les otorga una licencia para utilizarlo en ellos. Pertenece a un programa de Identificación Voluntaria por parte del FIDE (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica) con el fin de dar respuesta a la necesidad del usuario de identificar, entre una gran variedad de productos existentes en el mercado, aquellos que presentan alto grado de eficiencia energética. Asimismo, permite reconocer y apreciar los avances tecnológicos de los fabricantes e induce a la formación de una nueva cultura de compra en el sector consumidor mexicano.⁽³⁹⁾



ANCE – Asociación de Normalización y Certificación A.C. Tiene como funciones elaborar normas y certificar productos del sector eléctrico en México. Actualmente está acreditada ante la SECOFI para elaborar dentro del seno del CONANCE (Comité de Normalización de ANCE) las normas NMX de carácter voluntario que atañen a la calidad de los balastos, lámparas y luminarios; también ha elaborado normas NOM obligatorias de seguridad para los mismos productos. ⁽³⁷⁾



CBM - Certified Ballast Manufacturers Association. La Asociación de Fabricantes de Balastos Certificados es una asociación que produce balastos conforme a las especificaciones ANSI C82.1, C82.11, C82.2, C82.3 y C78. ⁽²⁶⁾



ANSI – American National Standard Institute. El Instituto Americano Nacional de Estándares es el que se encarga de crear los estándares a nivel nacional en EU. Está compuesto por más de 120 asociaciones comerciales, sociedades técnicas, grupos profesionales y organizaciones de consumidores. Crea estándares tanto para lámparas como para balastos para garantizar la correcta operación de los mismos. ⁽²⁶⁾



ETL – Electrical Testing Laboratories Inc. Los Laboratorios de Pruebas Eléctricas son una organización privada e independiente; prueban y miden las lámparas y el equipo de iluminación. Es sustentado por la CBM para probar balastos producidos por sus miembros para garantizar el cumplimiento de las normas ANSI a las que la CBM se apega. ⁽²⁶⁾



UL – Underwriters Laboratories Inc. Estos laboratorios son una organización independiente no lucrativa que prueba equipos para la seguridad pública. Su función es, a través del estudio, prueba y experimentación, prevenir la pérdida de vidas humanas y bienes inmuebles por riesgo de fuego o accidentes. ⁽²⁶⁾



CSA – Canadian Standards Association. La Asociación de Estándares Canadienses es la autoridad que prueba la seguridad de los balastos utilizados en Canadá. ⁽²⁶⁾



E – Energy Efficient Ballast. Indica que el balastro cumple con los requerimientos de eficiencia energética aprobados por el Departamento de Energía de los EU (DOE). ⁽²⁶⁾

2.2.7.2 INFORMACIÓN BÁSICA

Para elegir el balastro correcto en un determinado sistema de iluminación no integrado se deben considerar tres aspectos básicos:

- El tipo de lámpara que vaya a utilizar el sistema.
- El número de lámparas que el balastro pueda operar.
- El voltaje de entrada del sistema.

2.2.7.3 POTENCIA DE ENTRADA

La potencia de entrada se refiere a la cantidad total de watts requeridos para operar tanto al balastro como a la lámpara que forman un sistema fluorescente.

Si se asume que el balastro opera a la(s) lámpara(s) a la potencia que indican, la potencia de entrada es la suma de los watts del balastro más los watts de la lámpara.

No obstante, si existen pérdidas en el balastro (ver punto 2.2.7.7 de éste capítulo), la potencia de entrada será la suma de la potencia de la lámpara más las pérdidas del balastro.

2.2.7.4 FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia es una medida del aprovechamiento del sistema eléctrico, que determina qué tan adecuadamente se está convirtiendo la corriente de entrada en potencia útil suministrada a la lámpara.

El factor de potencia de un balastro describe qué tanto aprovecha el balastro la potencia que le es suministrada; es decir, qué tan eficientemente convierte en voltaje y la corriente suministrada en potencia consumida por el balastro y la(s) lámpara(s) (ec. 2.4).^(26, 46)

$$FP = \frac{\text{Potencia de entrada}}{\text{Voltaje de línea} \times \text{Corriente de línea}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.4})$$

Debido a que los balastros con alto factor de potencia son más eficientes que los balastros de bajo factor de potencia, pueden alimentarse de circuitos con baja capacidad de corriente; en cambio, los balastros de bajo factor de potencia requieren aproximadamente el doble de la corriente que necesitan los de alto factor de potencia y por lo mismo, su alimentación se lleva a cabo con cables de mayor calibre por representar mayor carga al circuito.

Los balastros pueden influir en la producción de un bajo factor de potencia general. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) y La Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLYFC) penalizan en México a los usuarios con bajo factor de potencia. Mientras más cercano a la unidad sea el factor de potencia de un balastro es mucho mejor.

El bajo factor de potencia es un indicador del efecto que las LFC's pueden causar en el sistema de distribución. Los sistemas con LFC's tienen generalmente factores de potencia mucho menores a 0.9, valor que se alcanza y rebasa casi siempre con las fluorescentes convencionales. En México, la norma "NMX-J-545-ANCE-2001 Iluminación - Funcionamiento de las LFC's autobalastradas- Especificaciones y métodos de prueba" especifica que para LFC's de este tipo, con potencias iguales o menores a 35W su factor de potencia mínimo será de 0.5 y para LFC's con potencias de 35 a 60W será de 0.8.

Una utilización óptima de la corriente produciría un factor de potencia unitario lo que significaría que el producto de la corriente por el voltaje (VA) es igual a la potencia usada (watts). Un factor de potencia debajo de 0.6 es considerado pobre mientras que un valor arriba de 0.9 se considera muy bueno.⁽³⁶⁾

2.2.7.5 FACTOR DE BALASTRO (BF)

El Factor de Balastro, o BF por sus siglas en inglés, es una medida relativa de la eficacia de un sistema lámpara-balastro fluorescente.

Es importante conocer este concepto, pues determina los lúmenes de salida producidos por un balastro comercial (balastro de prueba). Está determinado por la relación de la luz de salida de la(s) lámpara(s) operadas por un balastro específico entre la luz de salida de la(s) misma(s) lámparas operadas por un balastro referenciado.

Para los balastros magnéticos el BF va de 0.93 a 0.98. ⁽²⁸⁾ Para los balastros electrónicos los rangos del BF son de 0.73 a 1.50 proveyendo una amplia elección de niveles de luz de salida para un sistema. ⁽²⁸⁾ El BF se calcula conforme a la ecuación 2.5.

$$BF = \frac{\text{Luz de salida de la lámpara con el balastro de prueba (lm)}}{\text{Luz de salida de la lámpara con un balastro referenciado (lm)}} \dots \text{(Ec. 2.5)}$$

y como la luz especificada de salida está medida en base a un balastro referenciado, el BF también puede calcularse como (ec. 2.6):

$$BF = \frac{\text{Luz de salida de la lámpara con el balastro de prueba (lm)}}{\text{Número de lámparas} \times \text{Luz especificada de salida de una lámpara (lm)}} \dots \text{(Ec. 2.6)}$$

El balastro referenciado, se basa en especificaciones hechas por ANSI (ANSI C82.3-1983). ⁽²⁸⁾ Los balastros referenciados utilizados en las pruebas son balastros diseñados y construidos específicamente para proveer condiciones estables para probar balastros y lámparas. Siempre operan a frecuencia de línea (60Hz en América) ⁽²⁸⁾, tienen una impedancia constante para largos periodos de tiempo sobre un amplio rango de corriente de operación y son relativamente ininfluenciables por la temperatura o por ambientes magnéticos.

La luz de salida de una lámpara fluorescente depende de la corriente circulante a través de la lámpara, corriente que es controlada por el balastro. El rango de luz de salida de una lámpara es determinado cuando la lámpara es operada con un balastro referenciado a frecuencia de línea. Cuando las lámparas son operadas a altas frecuencias (20-60kHz), menos corriente es requerida para producir la misma luz de salida debido a que las lámparas operan más eficientemente.

Para balastros de encendido rápido es la relación entre la luz producida por un balastro comercial y la luz producida por las mismas lámparas operadas por un balastro patrón o de laboratorio. Para lámparas de encendido precalentado e instantáneo es la misma relación, pero se sustituye a la luz por la potencia de las lámparas en cuestión, es decir, se considera la potencia en watts en lugar del flujo luminoso en lúmenes.

Se expresa generalmente en por ciento, aunque para fines de cálculo de otros parámetros puede expresarse en por unidad y la información se obtiene del fabricante.

La Norma Oficial Mexicana NOM-017-ENER-1997 "Eficiencia energética de lámparas fluorescentes compactas. Límites y métodos de prueba" que fija los límites mínimos de

eficacia de las LFC's con potencias hasta 26W y de los balastos con que operan estas mismas, establece que el factor de balastro mínimo que se debe de tener es del 92.5%.⁽³⁵⁾

2.2.7.6 FACTOR DE EFICIENCIA DEL BALASTRO (BEF)

El Factor de Eficacia del Balastro o BEF por sus siglas en inglés es llamado también factor de eficiencia del balastro. Como su nombre lo dice, define la eficiencia del balastro. Se define como el factor de balastro (expresado en porcentaje) entre la potencia de entrada del sistema (ec. 2.7).⁽²⁸⁾

$$BEF = \frac{BF \times 100}{\text{Potencia de entrada}} \frac{(lumens)}{(watts)} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.7})$$

Es importante mencionar que para hacer las comparaciones de BEF se debe hacer solo con la misma cantidad de balastos operando el mismo tipo y número de lámparas porque el BEF depende del tipo y número de LFC's que el balastro está operando.

2.2.7.7 PÉRDIDAS DE BALASTRO

Se considera pérdida de balastro a cualquier energía suministrada a éste que no es transformada en energía luminosa

Los balastos electromagnéticos presentan pérdidas eléctricas como resultado del paso de la corriente a través del núcleo y la bobina, donde alguna energía es transformada en energía calorífica que, obviamente no es energía que ayude a la lámpara para producir luz. Éste es un claro ejemplo de la importancia que tiene el BEF para garantizar que el balastro que elegimos no produzca más calor del necesario y no “quite” luz en nuestro sistema de iluminación.⁽²⁶⁾

Actualmente es posible encontrar en el mercado balastos electromagnéticos de “alta eficiencia” cuyos diseños tienen como objetivo minimizar éste tipo de pérdidas.

2.2.7.8 FACTOR DE CRESTA

El factor de cresta es una medida de la deformación de la corriente. Es la relación del valor pico de una onda senoidal entre su valor rms (figura 2.44 y ec. 2.8).⁽²⁷⁾

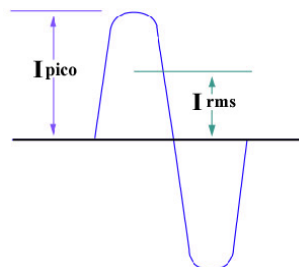


Figura 2.44 Factor de Cresta
Fuente: Advance⁽²⁹⁾

$$FC = \frac{I_{pico}}{I_{rms}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.8})$$

La consecuencia de que un sistema fluorescente presente corrientes con factores de cresta elevados, se manifiesta en la reducción de la vida de la(s) lámpara(s). Por ello, el factor de cresta es uno de los criterios que se utilizan para estimar la vida de las LFC's.

2.2.7.9 DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

A la distorsión armónica total se le conoce técnicamente como THD por sus siglas en inglés "Total Harmonic Distortion".

Cualquier carga no lineal como una televisión, una computadora personal, un variador estático de velocidad para motores o una LFC causa distorsión armónica en los sistemas de distribución.

Los armónicos ocurren siempre que exista distorsión en la forma de onda senoidal pura, ya sea de corriente o voltaje. Cuando las cargas no son lineales, se dibujan pequeños pulsos de corriente en cada ciclo que distorsionan la forma de onda generando que las corrientes armónicas comiencen a fluir. La corriente total será una combinación de la fundamental mas cada una de las armónicas y el THD es la medida de la magnitud de la amplitud de las corrientes armónicas totales y la amplitud de la onda a frecuencia fundamental (ec. 2.9).^(26, 28)

Comúnmente se expresa en por ciento con respecto a la onda fundamental y puede darse en voltaje, corriente o potencia. Un THD alto produce exceso de corriente en el neutro de los sistemas trifásicos, elevación de pérdidas en cables y transformadores, etc.,

$$THD = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_{33}^2}{I_1^2}} \times 100 \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.9})$$

Donde: I_1^2 Es la Corriente Fundamental
 I_2^2 Es la corriente en la segunda armónica
 I_3^2 Es la corriente en la tercera armónica
y así sucesivamente.

Mientras más bajo sea su valor, mejor. La mayoría de los balastos electromagnéticos para LFC's produce un THD entre 15% y 25%. En cambio, para los balastos electrónicos de las mismas LFC's es mucho más alta debido a la distorsión de la forma de onda de la corriente, para potencias menores o igual a 35W la máxima distorsión es de 200%, mientras que para $35W < P \leq 60W$ la máxima distorsión es de 80%.

La distorsión de la onda senoidal (figura 2.45) también puede estar asociada con una reducción en el factor de potencia. Un punto importante es la presencia de terceras

armónicas (180Hz), que reciben su nombre según su frecuencia fundamental, en este caso 60Hz donde la segunda armónica es 120Hz y así sucesivamente ⁽²⁶⁾, ya que estas pueden causar sobrecalentamiento en el hilo neutro de los sistemas trifásicos de edificios comerciales antiguos. Este problema generalmente no es grave cuando se instalan LFC's gracias a que la carga total con estas lámparas por lo general no es muy grande.

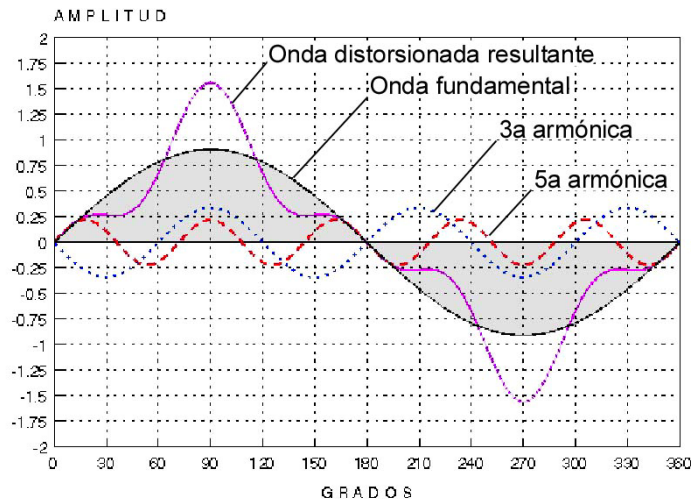


Figura 2.45 Distorsión de la Onda Senoidal
Fuente: Onda generada en Wave Maker

En la actualidad existen productos que reducen tanto la THD como la tercera armónica de los balastos electrónicos llegando a valores tan bajos como los producidos por los balastos electromagnéticos. También se dispone de sistemas integrales de LFC's con balastos electrónicos con alto factor de potencia y baja THD. Sin embargo, debido a que estos productos son de mayor tamaño, producen mayor interferencia (RFI) y son más costosos; su desarrollo se ha visto limitado.

2.2.7.10 EMI, RFI Y FLICKER

La Interferencia Electromagnética (EMI) generalmente ocurre en dos bandas de frecuencia, la primera se ubica entre los 10 kHz y los 100 kHz, la cual está por debajo de la banda de radio de Amplitud Modulada (AM) y la segunda banda de frecuencia incluye la radiación infrarroja.

En el caso de la primera banda, la fuente de esta radiación es el circuito de la lámpara provocando interferencia en la banda de radiofrecuencias (RFI). En el caso de la segunda banda, la interferencia puede presentarse con el uso de controles remoto utilizados en aparatos electrónicos como las televisiones o las videocaseteras debido a que algunos de éstos controles utilizan radiaciones infrarrojas.

El flicker es el parpadeo de la luz perceptible al ojo humano que puede llegar a presentarse en una LFC, se le conoce así, por su nombre del inglés: to flicker, que significa parpadear o titilar; es un fenómeno fisiológico visual cuyo origen está en las fluctuaciones bruscas de la tensión de red. En las LFC's la posibilidad de que se presente flicker disminuye al utilizan balastos electrónicos debido a las altas frecuencias a las que trabajan, por lo que llega a ser prácticamente imperceptible.

2.2.7.11 PROTECTOR TÉRMICO CLASE P

El protector térmico clase P es un switch con el que deben contar todos los balastos empleados en interiores. El switch se encargará de desconectar al balastro si el intervalo de temperaturas a las que trabaja llega a ser mayor a 110 °C ⁽²⁸⁾, esta medida busca prevenir sobrecalentamiento en el balastro y evitar un posible incendio.

2.2.7.12 RUIDO

El ruido producido por un balastro puede ser de dos tipos:

- a) El que se presenta con una frecuencia entre 100 y 500 Hz⁽²⁴⁾

Este tipo de ruido se presenta por la vibración del núcleo de acero y la caja del balastro bajo la influencia de las fuerzas ejercidas sobre ellos por el campo magnético.

- b) El que se manifiesta a 1,000 o más Hz⁽²⁴⁾

Este tipo de ruido es producido por las armónicas elevadas de la corriente de la lámpara.

Muchas veces los balastos electromagnéticos producen un zumbido cuando operan a una frecuencia de 120Hz, lo cual puede molestar a algunas personas; como el sonido decae rápidamente con la distancia, este zumbido molestará más a las personas que se encuentren cerca de la lámpara que opere con balastos de este tipo.

Los balastos electrónicos presentan una significativa reducción de sonido en comparación a los electromagnéticos, el cual es generalmente imperceptible al oído.

En ambos tipos de balastos (electrónicos o electromagnéticos) la clasificación del ruido que producen va de la “A” a la “F” (tabla 2.6), donde la “A” es para aplicaciones en interiores (por ejemplo en oficinas) y “B” se propone para aplicaciones tanto en exteriores como en interiores como almacenes donde la existencia del ruido no molesta mucho o bien, no es importante ⁽²⁴⁾.

CLASIFICACIÓN DEL RUIDO EN LOS BALASTROS

Clasificación de Ruido	Promedio de ruido ambiental (dB)	Ejemplo de aplicación
A	20 – 24	Residencias, Bibliotecas, Estaciones de Radio y TV
B	25 – 30	Bibliotecas, Residencias, Escuelas, Cuartos de lectura, Almacenes
C	31 – 36	Edificios, Oficinas, Recepción, Almacenes
D	37 – 42	Tiendas, Oficinas Ruidosas, Consultorios Odontológicos, Salones de clases
E	43 – 48	Tiendas, Almacenes, Industria Ligera, Alumbrado Exterior
F	49 y mayores	Industria pesada, Alumbrado Público

Tabla 2.6 Clasificación del Ruido en los Balastos
Fuente: Curso Básico de Iluminación ⁽²⁴⁾

La mayoría de los balastos electrónicos son de tipo “A”. Aunque los balastos electrónicos son generalmente más silenciosos que los magnéticos, otros factores pueden amplificar la vibración y el ruido generado por el balastro, por ejemplo la técnica de montaje, la ubicación del balastro en la instalación, el material empleado en la fabricación de la luminaria o incluso el tener piezas flojas en la misma.

2.2.7.13 DIAGRAMAS DE CONEXIÓN

En el caso de un sistema integral o modular este punto no aplica, dado que son conjuntos autobalastados diseñados para ser alambrados como parte de un luminario para LFC’s.

Pero si se trata de un sistema dedicado, el alambrado del balastro es importante para poder emplear el sistema de iluminación correctamente.

Los balastos son conectados o alambrados entre la línea de potencia de entrada y la lámpara fluorescente. La configuración que puede tener está determinada por el tipo de la(s) LFC (‘s) que el balastro vaya a operar.

Los diagramas de alambrado se encuentran en la etiqueta que el balastro trae o en las hojas de especificación que el fabricante debe proporcionar con su producto. Para facilitar la instalación del balastro existe un código de colores estándar en el que se basan para explicar los diagramas. En las figuras 2.46 y 2.47 se muestran unos ejemplos de la información para el alambrado que contiene la etiqueta de un balastro electrónico.

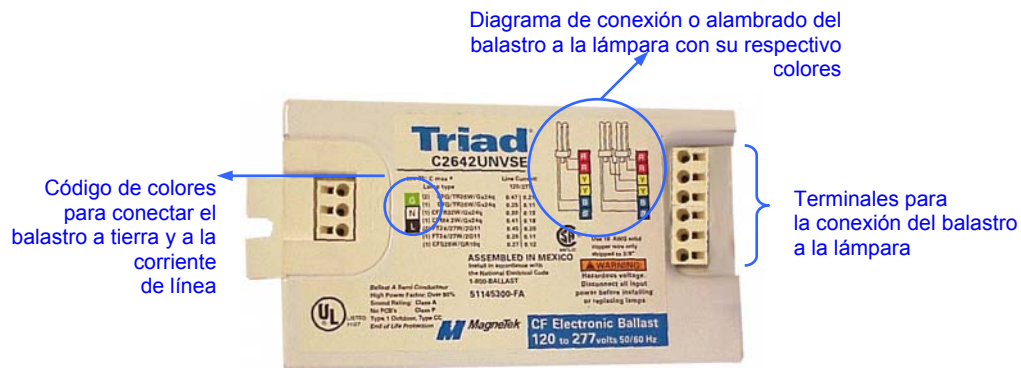


Figura 2.46 Diagrama de Alambrado de un Balastro
Fuente: Fotografía balastro marca Triad

El código de colores para el alambrado en los balastos se muestra en la tabla 2.7.

En balastos		Color	Conexión
Nacionales	Importados		
G	G	Verde	A tierra
L	B	Negro	Al neutro
N	W	Blanco	A la línea
B	Blue	Azul	Del balastro a la lámpara
Y	Y	Amarillo	Del balastro a las lámparas
R	R	Rojo	Del balastro a la lámpara
		Gris	Control de dimmeo (-)
		Violeta	Control de dimmeo (+)

Tabla 2.7 Código de Colores Para el Alambrado en los Balastos
Fuente: Ver Referencias (40, 44, 45, 46)

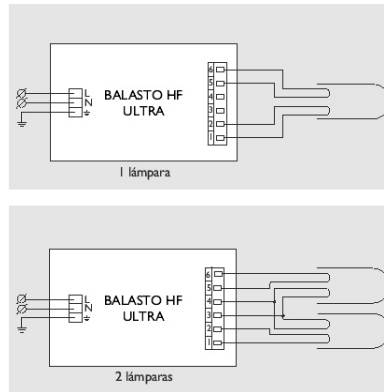


Diagrama de conexión

Figura 2.47 Diagrama de Conexión de un Balastro Marca Philips modelo HF- ERFORMER ULTRA para lámparas PL-T Y PL-C
Fuente: Philips

2.2.8 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS BALASTROS

Los balastos diseñados para LFC's son muy similares en cuanto a sus características físicas. Los materiales más empleados para la fabricación de las cajas que los albergan son el plástico y el metal.

Balastos Electromagnéticos

Su peso va de los 120 a los 460gr⁽²⁷⁾ dependiendo de la potencia de la lámpara con la que va a operar, esta diferencia en peso es más marcada en los balastos electromagnéticos y en los electrónicos la diferencia es mucho menor.

Balastos Electrónicos

Su peso, generalmente es menor a los 230gr⁽²⁷⁾, aunque los balastos donde se utiliza potting (material asfáltico) como relleno aislante, éstos pueden alcanzar los 850gr⁽²⁷⁾. Para el caso de las LFC's este tipo de balastos tienen dimensiones bastante reducidas en comparación con los balastos para lámparas fluorescentes lineales, en consecuencia tienen un peso bastante reducido lo cual hace posible que existan una gran variedad de LFC's que integran el balastro en la base de la misma.

2.2.8.1 FORMAS COMUNES

Las formas más comunes para los balastos de las LFC's son las que se muestran en las figuras 2.48, 2.49, 2.50, 2.51.

Haciendo una clasificación, existen básicamente dos formas comunes, las que presentan los balastos para lámparas no integradas y las de los balastos para lámparas integradas.

Balastos para Sistemas Dedicados

Generalmente se encuentran dentro de cajas rectangulares cuyas dimensiones varían según el número de lámparas para las que están diseñados (figura 2.48).

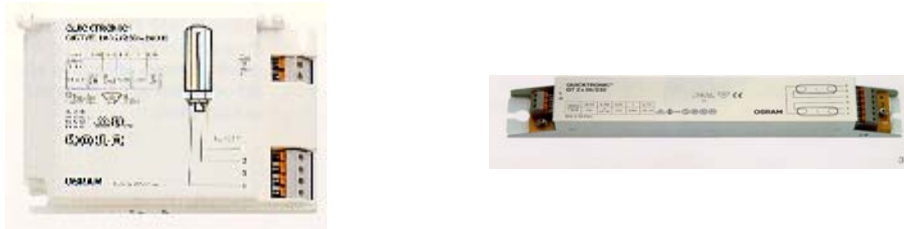


Figura 2.48 Balastro ELTN (Izq.) y ELMG (Der.)
Fuente: Catálogo Osram Quicktronic QT T/E

En la figura 2.49, se muestra la fotografía de un sistema dedicado. A la izquierda se ve la campana armada y en la imagen de la derecha se muestra sin tapa con el fin de apreciar la colocación del balastro en este sistema.



Figura 2.49 Sistema dedicado
Fuente: Fotografía Philips-Construlita

Balastos para Sistemas Modulares

Las formas de los balastos para este tipo de sistemas son variadas (figura 2.50), suelen estar dentro de cajas trapezoidales ya sea planas o circulares tal como se observa en las figuras, por lo general los balastos electromagnéticos son los que presentan un mayor volumen por su construcción misma.

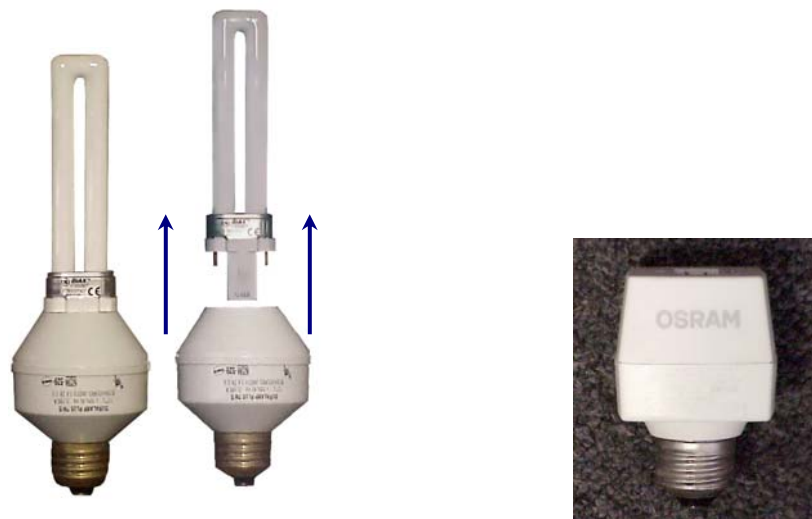


Figura 2.50 Balastro ELMG's para sistemas modulares
Fuente: Fotografías de diversas marcas

Balastos para Sistemas Integrales

Como su nombre lo indica, este tipo de balastos se encuentran “integrados” a la lámpara, se localizan en la base de la misma y podemos encontrar tanto balastos electrónicos como electromagnéticos. En la figura 2.51A se muestra una LFC integral con balastro electrónico marca Philips y en la 2.51B una LFC con balastro electromagnético marca Osram.



A B
Figura 2.51 Balastos de sistemas integrales
Fuente: Fotografía de diversas marcas (Philips y Osram)

2.2.9 VIDA NOMINAL DE UN BALASTRO

La vida en los balastos depende de varios factores que influyen de una u otra manera alargando o acortando la misma. Estos factores principalmente son: el voltaje de entrada, la temperatura ambiente y la temperatura de operación de los balastos.

Voltaje de Entrada

Los balastos electrónicos usan dispositivos semiconductores como diodos y transistores que son más sensibles que los componentes magnéticos a variaciones del voltaje de entrada. Hay dos categorías generales de variaciones: las de largo plazo y las de corto plazo (o transitorias). Dependiendo de la configuración de la red de distribución eléctrica, el voltaje suministrado a los balastos puede estar constantemente por arriba o por debajo de los rangos de voltaje de entrada para un balastro. Tradicionalmente, los balastos electrónicos habían sido diseñados para satisfacer sus rangos de vida con variaciones de voltaje de $\pm 10\%$ aunque algunos fabricantes de balastos han buscado que los rangos de variación caigan dentro del $\pm 20\%$ alegando que la variación en el sistema eléctrico es un factor importante para no poder dar una garantía que convenga tanto al consumidor como al fabricante⁽²⁶⁾.

Los picos transitorios y las sobrecargas son breves en comparación a las variaciones de largo plazo, pero más extremas. Para proteger a los componentes de voltajes transitorios, los balastos electrónicos diseñados pueden utilizar filtros y limitadores de voltaje a la salida del balastro. La vida de los balastos depende del diseño y la calidad de los componentes y al grado en el cual el balastro es expuesto a las fluctuaciones transitorias de modo que, si un balastro es expuesto a un excesivo número de fluctuaciones del sistema eléctrico, la vida del balastro puede disminuir significativamente.

Temperatura de Operación y Temperatura Ambiente

Como cualquier otro equipo eléctrico, los balastos para LFC's generan calor durante su operación y cuando estas temperaturas son altas, pueden dañar los componentes internos del balastro. Por razones de seguridad la asociación de aseguradores de los Estados Unidos que establece las normas de seguridad para tipos de aparatos y componentes de aparatos, Underwriter Laboratories (UL) especifica la temperatura máxima de operación que debe ser menor a 90 °C (194 °F) ⁽²⁶⁾. Además, a esta temperatura, los fabricantes suelen mencionar en sus productos la temperatura ambiente máxima para la cual su balastro garantiza su buen funcionamiento.

2.2.9.1 GARANTÍA DE UN BALASTRO

Actualmente no existe una garantía de fabricante por escrito que respalde a los balastos; sin embargo la confiabilidad de éstos es muy alta. Por lo general, los fabricantes de balastos advierten que la garantía no es válida si el balastro no es utilizado de manera adecuada durante su instalación, durante su uso o mantenimiento haciéndose responsables en un 100% solo cuando el defecto del balastro radica en la fabricación del mismo dando un tiempo determinado a partir del día en el que éste se fabricó.

2.2.10 COMPARACIÓN DE BALASTROS ELECTROMAGNÉTICOS VS ELECTRÓNICOS

Tipo de Balastro	Generación de Ruido	Su costo es	Pueden causar EMI	Tipo de Encendido	Presentan destello al encender	Presentan retardo al encender	Tienen pérdida de potencia	Disminuyen la vida de la lámpara
Electromagnético	Mayor 31db	Menor	No	Precalentado	Sí		Mayor	En forma normal
				Encendido Instantáneo	No	No		Mas rápido de lo normal
				Encendido Rápido		Sí		En forma normal
Electrónico	Menor 25db	Mayor	Sí	Precalentado	No		Menor (ahorran de 3 a 8W por balastro)	En forma normal
				Encendido Instantáneo	No	No		Mas rápido de lo normal
				Encendido Rápido	No	Sí		En forma normal
				Encendido Programado	No			En forma normal

Tabla 2.8 Comparación de Balastos ELMG's vs ELTN's

2.2.11 CARTA DE SERVICIO PARA BALASTROS DE LFC's

Una instalación de alumbrado fluorescente, como cualquier edificio o pieza de maquinaria, representa inversión de capital. El buen mantenimiento siempre ayudará a tenerla en buen estado, dicho mantenimiento puede ser de dos clases: preventivo y correctivo.

Mientras mejor sea el programa de mantenimiento preventivo, menor será el mantenimiento correctivo que se requiera. Sin embargo, no es razonable esperar que el mantenimiento preventivo elimine todas las causas de mal funcionamiento que requieren acción correctiva. Por esta razón, es conveniente que el Ingeniero en Iluminación, o la persona a cargo del funcionamiento de una instalación de alumbrado, conozca cuáles son algunos de los síntomas que indican la existencia de alguna dificultad. A continuación se explican algunos de los problemas más comunes, sus características y causas posibles y la acción correctiva que deba tomarse.⁽²³⁾

LÁMPARAS QUE NO ENCIENDEN	
CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Falta de suficiente calentamiento catódico	En un sistema de encendido rápido, si una LFC muestra 1 ó 2 extremos ennegrecidos, es posible que no esté recibiendo un adecuado calentamiento catódico. Lo anterior puede ser causado por un contacto deficiente, por problemas en el balastro, por usar balastros que no proporcionen los mínimos requerimientos de la lámpara ó bajo voltaje de línea.
El balastro no proporciona los mínimos requerimientos de la lámpara	El balastro debe limitar el flujo de corriente en la LFC a un valor dentro de límites razonables de los valores nominales de las lámparas. Adicionalmente, el balastro de precalentamiento deberá proveer suficiente corriente de precalentamiento y voltaje de arranque. Los balastros de encendido instantáneo deberán proveer la adecuada corriente y voltaje de arranque. Los balastros de encendido rápido deberán proporcionar suficiente voltaje entre las terminales de la lámpara y corriente apropiada para el calentamiento catódico.
Circuito abierto en los electrodos de la lámpara	Las causas pueden ser inadecuada conexión a tierra, alambrado inadecuado, portalámparas rotos o insuficiente capacidad del balastro, cualquiera de las cuales da como resultado que se esta aplicando un voltaje excesivo al cátodo. Otras causas pueden ser daños bruscos sobre la LFC antes de instalarla, malas soldaduras, electrodos rotos y lámparas con escape de aire.
Cortocircuito dentro del balastro	En sistemas dedicados o modulares, si en un circuito de encendido rápido tipo secuencia serie, se encuentra una lámpara fuera de operación y la otra está operando normalmente, nos indica que probablemente exista un cortocircuito en el condensador de arranque. Este problema se puede determinar comprobando la continuidad entre los hilos de conexión a la lámpara que está apagada. Si cualquiera de los dos conductores en los extremos de las lámparas muestran continuidad, existe un cortocircuito. Reemplazar el balastro.
Fin de la vida del balastro electromagnético	Cuando el aislamiento en las bobinas del balastro falla, el balastro no podrá suministrar los requerimientos de la lámpara. Por lo tanto, ha llegado al final de su vida. La vida de los aislamientos se ve afectada por el tiempo y la temperatura. Si el balastro está sujeto a altas temperaturas de operación, temperaturas en la cubierta mayor a 90°C, su vida se reducirá considerablemente. Como regla general, podemos decir que cada 10°C de incremento arriba de 90°C reducirá la vida del balastro a la mitad de su vida nominal. Las fugas de compuesto, excepto pequeñas cantidades en los orificios de entrada, lo cual es normal; aislamiento agrietado o seco y decoloración en la cubierta son indicaciones de que el balastro está llegando o ha llegado al final de su vida. El simple hecho de que un balastro encienda una LFC, no siempre es indicativo de que el balastro esté funcionando debidamente, a menudo, muchas LFC's aparentemente duran pocas horas antes de que se haya notado que el balastro ha llegado al final de su vida útil.

LÁMPARAS NUEVAS QUE FALLAN AL PRINCIPIO DE SU FUNCIONAMIENTO

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Balastro equivocado en sistemas modulares o dedicados	Compruebe que el balastro usado en la LFC sea el apropiado para las condiciones eléctricas y ambientales existentes. El balastro debe ser para corriente alterna o corriente continua, dependiendo de las características de alimentación y debe ser del voltaje y la frecuencia correcta.
Cortocircuito dentro del balastro en sistemas modulares o dedicados	Pueden ocurrir cortocircuitos que hagan que la lámpara opere con corriente excesiva. Para verificar lo anterior, hay que seguir los procedimientos sugeridos por los fabricantes de balastos. Generalmente, se hace lo siguiente (aunque hay excepciones): colocar un amperímetro en serie con la lámpara, si el medidor indica más de 120% de la corriente nominal de la lámpara, hay que reemplazar el balastro.

EFFECTO DE PARPADEO

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Balastro equivocado en sistemas modulares o dedicados	El efecto de parpadeo se presentará si la frecuencia normal del balastro no coincide con la frecuencia de la línea de alimentación. Reemplace el balastro por uno apropiado.

REDUCIDA EMISIÓN LUMINICA

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
El balastro no proporciona los requerimientos mínimos de lámpara	Si la corriente de la lámpara es menor que la nominal la emisión lumínica se reducirá.

SOBRECALENTAMIENTO EN LA CUBIERTA DEL BALASTRO

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Alta temperatura en el ambiente del balastro	Puede ser causado por la mala disipación de calor del luminario, debido a diseños impropios o instalaciones defectuosas. Proporcionar ventilación adicional en el compartimento del balastro o al área en la cual el balastro esté colocado. Cambiar el balastro a una área más fría. Asegurarse de que el balastro se encuentra en contacto con superficies frías conductoras de calor.

RUIDO EN EL BALASTRO

CAUSA POSIBLE	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Zumbido normal del balastro	Debido a la acción de la corriente alterna en el núcleo de hierro, el balastro usado para LFC's produce normalmente un zumbido. La magnitud de éste depende del diseño y calidad del balastro. Los fabricantes clasifican sus balastos desde el punto de vista del ruido que producen. El balastro "Tipo A" es el más silencioso y estas clasificaciones deben de considerarse cuando se realizan proyectos de iluminación. Si es necesario, reemplace el balastro por uno que produzca menor ruido.
Componentes de luminarias que se aflojan y vibran	Los componentes que se aflojan, tales como rejillas, entrepaños y balastos, tienden a vibrar amplificando el zumbido normal del balastro. Apriételos o cámbielos según sea necesario.
Balastro defectuoso	Si el zumbido del balastro se incrementa, es señal de que el balastro tiene algún defecto. Si el zumbido que hace un balastro en particular es mayor que otros balastos de una instalación se debe cambiar. Se pueden localizar apagando secciones de la instalación y luego apagando los luminarios individualmente hasta que el zumbido desaparezca.

2.2.12 HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE UNA LFC

A continuación se presenta la información de una hoja de especificación de una LFC de la marca General Electric, de tipo modular, de 42W, de encendido rápido.



GE Lighting

Biax T/E TM 42W con Amalgama

Lámpara Fluorescente Compacta Biax TM T/E 42W (F42TBX) Información del Producto para Fabricantes de Equipo Original

DESCRIPCIÓN

Las ultra compactas lámparas ahorradoras de energía Biax TM T/E con tecnología de amalgama extienden el espacio de aplicación del innovativo diseño de tres tubos. Pueden utilizarse tanto en interiores como en exteriores sin que exista una pérdida significativa de luz.

La tecnología de amalgama hace apropiada a la lámpara Biax TM T/E para ser utilizada en cualquier posición de funcionamiento con el mismo flujo luminoso.

Las lámparas Biax TM T/E 42W con conexión eléctrica de 4 pines y sin un arrancador interno, están diseñadas para trabajar con balastos electrónicos de alta frecuencia.



CARACTERÍSTICAS

- Misma luz de salida en cualquier posición de funcionamiento.
- Ideal para colocarse dentro de casi cualquier luminario.
- Ahorros de energía arriba del 80%
- Dura 12 veces más que la mayoría de los focos incandescentes estándar.
- Alto índice del rendimiento del color — Ra = 82
- Disponible en cuatro temperaturas de color — 2700, 3000, 3500, 4000K.
- Puede ser utilizada con balastos electrónicos
- Protección End-of-Life

ÁREAS DE APLICACIÓN

- Residencial
- Oficinas
- Hoteles/moteles/restaurantes
- Corredores
- Industrial

SEGÚN LOS ESTÁNDARES CEI

Las lámparas fluorescentes compactas GE cumplen con la CEI 60061, CEI 60901 y la CEI 61199.

TECNOLOGÍA DE LA LÁMPARA

La F42TBX es una LFC con tecnología de amalgama. La amalgama es una aleación de mercurio, la cual es un moderno reemplazo para el tradicional líquido y la píldora de mercurio. La amalgama es colocada dentro de la LFC y la provee de los siguientes beneficios: mayor estabilidad luminosa en cualquier posición de funcionamiento y un amplio rango óptimo de la temperatura de operación dado que la amalgama le da un mejor control al vapor de mercurio. En ciertas circunstancias, con muy poca probabilidad, una LFC puede ahumar y emitir un aroma de plástico quemado al final de su vida. Esto puede suceder porque el voltaje en la LFC es incrementado y el balastro continúa sosteniendo la descarga al grado de sobrecalentar la lámpara. Aun cuando la mayoría de los balastos comerciales están equipados con la protección End-of-Life, la F42TBX está diseñada para eliminar lo anteriormente mencionado por sí sola. Una pequeña porción de hidruro de titanio es colocado cerca del cátodo, en caso de un sobrecalentamiento crítico la evaporación del hidrógeno extingue el arco.



**RESUMEN DE ESPECIFICACIONES
de acuerdo a las hojas de especificaciones EN 60901, CEI 60901-7442**

Base		GX24-q4
Operación		Alta frecuencia
Cátodo		Precautado
Posición de Encendido		Universal
Rango de TCC disponible	K	2700,3000,3500,4000

Información para pedidos

TCC		Descripción del Producto		Código del Producto
2700K	-	F42TBX/827/A/4P/EOL	-	46312
3000K	-	F42TBX/830/A/4P/EOL	-	46313
3500K	-	F42TBX/835/A/4P/EOL	-	46314
4000K	-	F42TBX/840/A/4P/EOL	-	46315

Características eléctricas y fotométricas

Potencia	W	43
Voltaje de la lámpara	V	135
Corriente de la lámpara	A	0.32
Frecuencia de Operación	kHz	>20
Flujo Luminoso a 25°C, base arriba	Lm	3200
Flujo Luminoso a 25°C, base abajo	Lm	3200
Rango de temperatura para alcanzar el 90% del flujo luminoso		
Vertical, base arriba	°C	-10...60
Horizontal, base abajo	°C	0...70
Vertical, base abajo	°C	10...80
Índice de rendimiento de color	R _a	82
Eficacia Luminosa	Lm/W	74
Tiempo de calentamiento para alcanzar el 80% del flujo luminoso	s	110
UV PET	h	504

Tiempo de vida

Mantenimiento lumínico		
A 500 h	%	96
A 1000 h	%	94
A 2000 h	%	90
A 4000 h	%	85
Vida nominal (ciclos de 2h15min encendido por 15 min apagado)	h	12,000
Ciclos breves de encendido - apagado (ciclos de 30s encendido por 4.5 min apagado)	ciclos	>20,000

Características de encendido

Corriente de precalentado	A	0.36
Tiempo de precalentado	s	2
Tiempo de encendido	s	<0.1
Voltaje de circuito abierto		
A 25°C	V	380
A 10°C	V	405
A -15°C	V	460

Características del cátodo

Corriente de prueba (proporcionando R _h / R _c =4.75)	A	0.31
Resistencia de cada cátodo	Ω	13

Specification summary

RESUMEN DE ESPECIFICACIONES
de acuerdo a las hojas de especificaciones EN 60901, CEI 60901-7442

Características del balastro

Frecuencia	kHz	20-26
Potencia Nominal	W	42
Voltaje Nominal	V	270
Corriente de calibración	A	0.32
Resistencia	W	420

Información para diseño de balastros de alta frecuencia (HF)

Frecuencia	kHz	>20
Corriente en cualquier conductor hacia los cátodos	A	<0.48
Corriente de la lámpara	A	0.22...0.36

Tiempo de vida

Mantenimiento luminoso		
A 500 h	%	96
A 1000 h	%	94
A 2000 h	%	90
A 4000 h	%	85
Índice de rendimiento de color	h	12,000
Ciclos breves de encendido - apagado (ciclos de 30s encendido, 4.5 min apagado)	ciclos	>20,000

Corriente controlada de precalentamiento

Mínima corriente de precalentado para el tiempo de emisión t_0 (s)	A	$(0.13/t_0+0.0625)^{0.5}$
Máxima corriente de precalentado		
$t < 0.4s$	A	0.85
$0.4 < t < 2.0s$	A	0.94-0.23t
$t > 2.0s$	A	0.48
Voltaje de circuito abierto (V_{rms}) sin encendido auxiliar		
$t < t_0$	V	265
$t > t_0$ a $10^\circ C$	V	600
$t > t_0$ a $-15^\circ C$	V	600

Energía controlada de precalentamiento (en el programa CEI)

$E=Q+Pt(t=0.5...3.0S)$

Q	J	0.8...1.4
P	W	1.0...1.8
R_{sub}	Ω	9

Dimmeo (en el programa CEI)

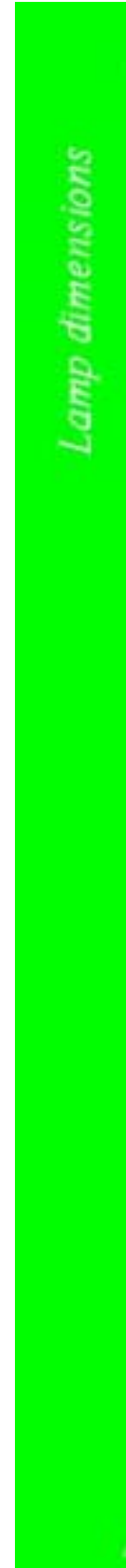
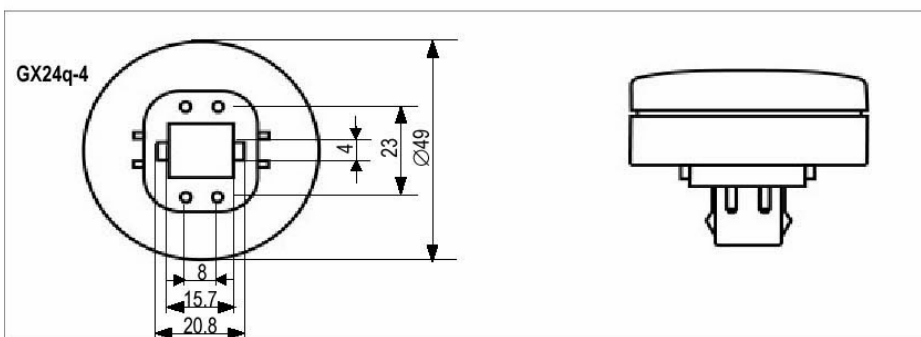
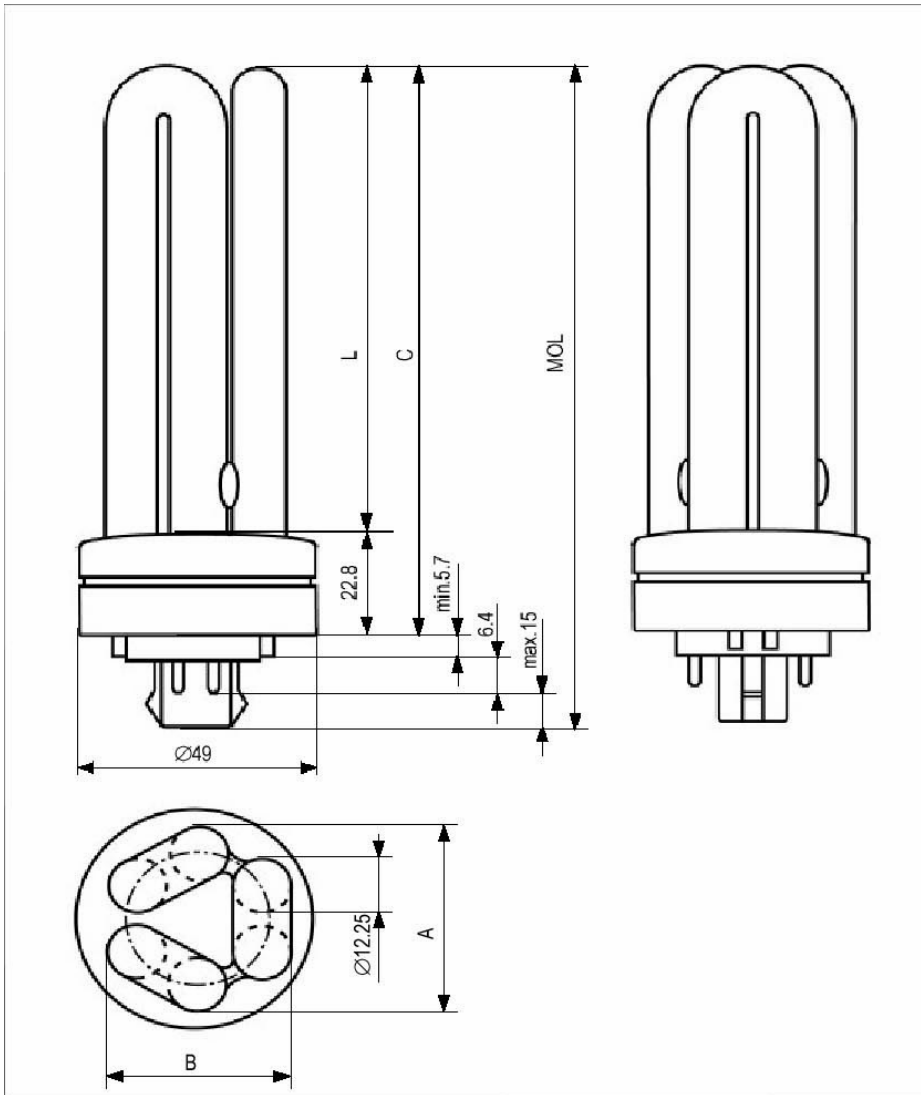
Corriente total (I_t)		
Corriente de calentamiento (I_h)	J	0.8...1.4
Corriente de operación de la lámpara con calentamiento de cátodo adicional	W	1.0...1.8
Corriente mínima de operación sin calentamiento de cátodo adicional	Ω	9

Requerimientos de seguridad

Temperatura máxima permitida en la base bajo condic. anormales	$^\circ C$	140
Máximo incremento de temperatura en la base	$^\circ C$	75
Máxima corriente de precalentado	A	0.48
Máxima corriente en cualquier conductor	A	0.48
Máxima corriente de operación en la lámpara	A	0.48

Dimensiones

A –EN 60901	mm	máx.43
A –EN 60901	mm	máx.39
A –EN 60901	mm	máx.147.7
L – Longitud del tubo	mm	119.2
MOL – Longitud Máxima Total	mm	162.5



MANTENIMIENTO LUMINOSO Y VIDA DE LA LÁMPARA

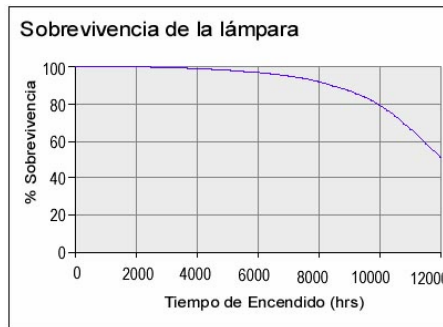
Los cátodos de una lámpara fluorescente pierden su emisividad de electrones durante su vida a través de la evaporación durante la operación normal de la lámpara. Cuando la deterioración alcanza un cierto nivel, el cátodo se rompe. Las típicas características del tiempo de vida de una LFC están basadas en mediciones de la GE de acuerdo a los estándares CEI. El tiempo de vida declarado de la lámpara es el tiempo medio de la misma, el cual se da cuando el 50% de las lámparas de un lote grande han fallado. El tiempo real de vida puede depender de la aplicación que se le da a la lámpara. Por ejemplo, un inapropiado precalentado de cátodo, una corriente de operación muy alta o incluso una corriente de operación muy baja sin un cátodo de calentamiento adicional reduce la vida esperada de la lámpara.

La gráfica de mantenimiento luminoso muestra cómo el flujo luminoso decae a lo largo de la vida de la lámpara. Las causas principales de la depreciación luminosa son la deterioración del recubrimiento de fósforo y el ennegrecimiento causado por el depósito de la mezcla evaporada de emisión sobre el tubo de vidrio. Estos efectos son irreversibles. La curva de mantenimiento luminoso presentada aquí para la lámpara de 42W Biax T/E está basada en el rendimiento luminoso bajo condiciones de laboratorio.

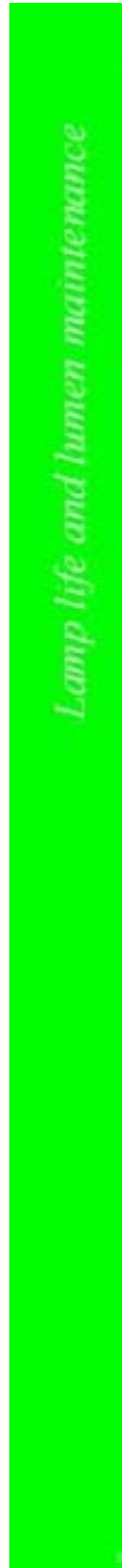
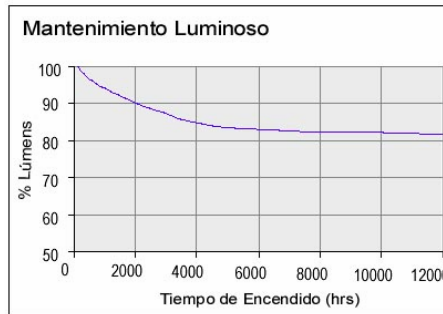
Condiciones de prueba:

- Esfera fotométrica
- Posición de encendido vertical con la base arriba
- Ciclo de switcheo: 165 min encendido – 15 min apagado
- Alta frecuencia de operación
- Temp. ambiente de 25°C

Horas de Encendido	%Sobrevivencia
4000	99
8000	92
12000	51



Horas de Encendido	% lúmenes
500	96
1000	94
2000	90
4000	85



ENCENDIDO DE LA LÁMPARA

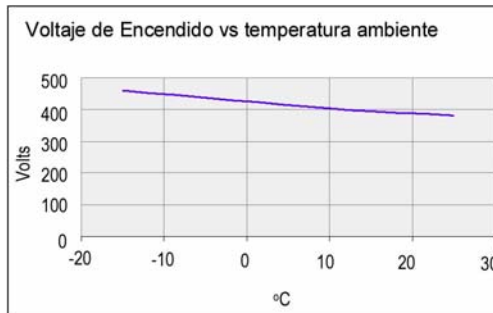
Voltaje de encendido

La siguiente curva muestra cómo el principal circuito de voltaje abierto depende de la temperatura del aire en el ambiente. La gráfica de abajo está basada en mediciones de la GE Lighting's bajo condiciones controladas de prueba. Las figura reales dependen del balastro electrónico a utilizar. Un apropiado precalentamiento de los cátodos es necesario para alcanzar el bajo voltaje de encendido y aumentar el tiempo de vida útil de la lámpara.

Condiciones de prueba:

- posición de la lámpara: vertical con la base arriba.
- Cámara térmica proporcionada $\pm 2^\circ\text{C}$ de exactitud
- 2 s de corriente controlada de precalentado
- corriente de precalentado: 450 mA
- voltaje de rampa antes de la ignición

$T_{\text{amb}}(^{\circ}\text{C})$	OCV (V_{rms})
-15	460
10	405
25	380



Calentamiento

Las siguientes curvas muestran el flujo luminoso relativo en función del tiempo. Por definición, el tiempo de calentamiento indica el tiempo cuando el flujo luminoso de una lámpara alcanza 80% de su valor en régimen permanente o en estado estacionario. La segunda curva muestra la rampa inicial.

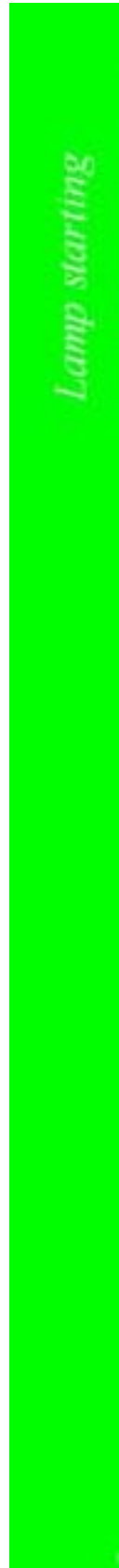
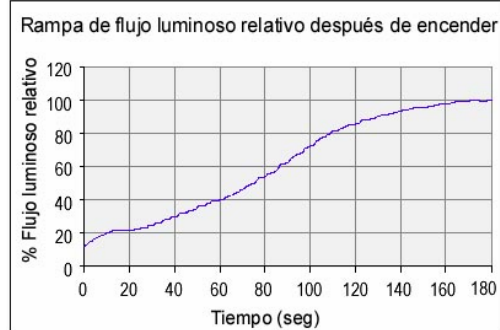
Condiciones de prueba:

- Temp. ambiente de 25°C
- Posición de encendido con la base arriba
- Alta frecuencia de operación a 320 mA

Tiempo (min)	%Lm
1	40
2	86
3	100
4	98
5	94
6	91
7	92
8	95
9	98
10	100
20	100
30	100



Tiempo (s)	%Lm
20	22
40	30
60	40
80	54
100	72
120	86
140	93
160	98
180	100



INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

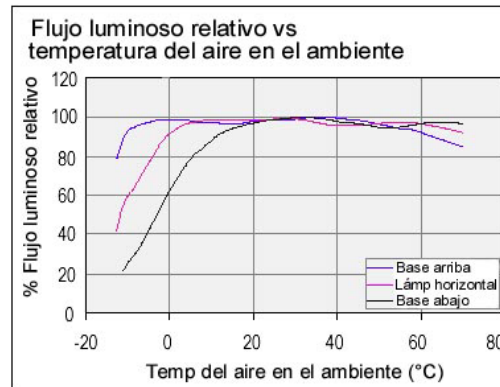
Funcionamiento de la lámpara

Los parámetros de funcionamiento de la lámpara tales como el flujo luminoso, el voltaje de la lámpara y su potencia dependen de la presión del vapor de mercurio en el tubo de descarga. La presión del vapor de mercurio está en función de las condiciones térmicas alrededor de los tubos de vidrio y de la amalgama. Las posiciones de encendido, el flujo de aire y las fuentes de calor radiado tienen efecto en esas condiciones. La primera curva muestra el flujo luminoso relativo en función de la temperatura ambiente en tres diferentes posiciones de encendido: con la base arriba, con la base horizontal y con la base abajo. Pruebas donde funcionó bajo condiciones térmicamente controladas libres de corrientes de aire. La segunda tabla muestra el efecto de la temperatura del aire sobre los parámetros de funcionamiento de la lámpara considerando una posición de encendido con la base arriba. Estos parámetros relativos son: flujo luminoso (ϕ), voltaje de la lámpara (U), corriente de la lámpara (I) y potencia de la lámpara (P).

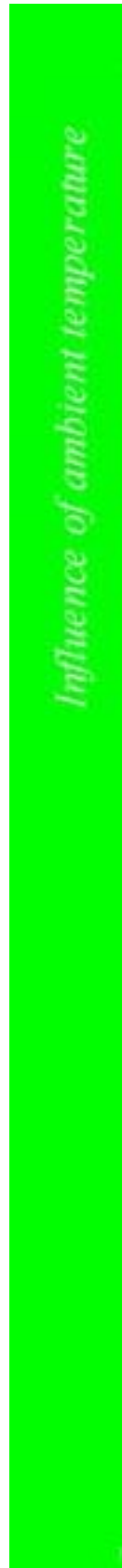
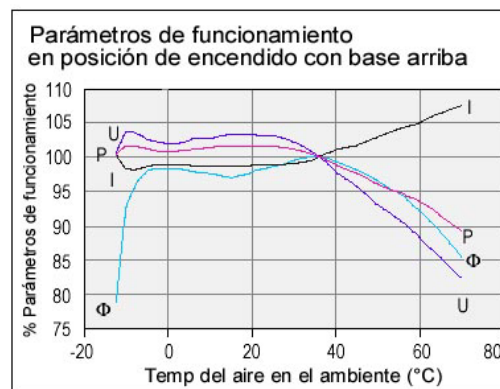
Condiciones de prueba:

- cámara térmica con $\pm 2^\circ\text{C}$ de exactitud
- libre de corrientes de aire
- balastro de 1x42W

T_{amb} ($^\circ\text{C}$)	%Flujo luminoso relativo		
	Base arriba	Horiz.	Base abajo
-10	93	59	25
0	99	91	60
10	98	98	88
20	98	99	97
30	100	100	100
40	100	96	98
50	97	96	95
60	92	97	97
70	86	92	97



T_{amb} ($^\circ\text{C}$)	ϕ %	U %	I %	P %
-10	93	104	98	102
0	99	102	99	101
10	98	103	99	101
20	98	103	99	102
30	100	102	99	101
40	100	98	101	99
50	97	93	103	96
60	92	88	105	94
70	86	83	108	90



INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

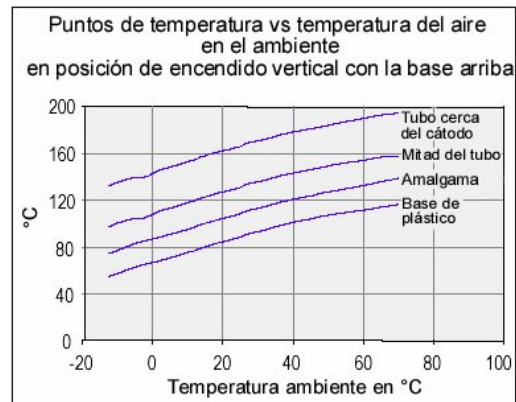
Temperaturas de la lámpara

Las siguientes tablas muestran las temperaturas de la lámpara en dos posiciones de encendido en cuatro diferentes puntos: la pared del tubo cerca del cátodo, la pared del tubo a la mitad del tubo, el depósito de amalgama y la temperatura de la base. La temperatura de la base fue medida de acuerdo a las siguientes condiciones de prueba de la CEI.

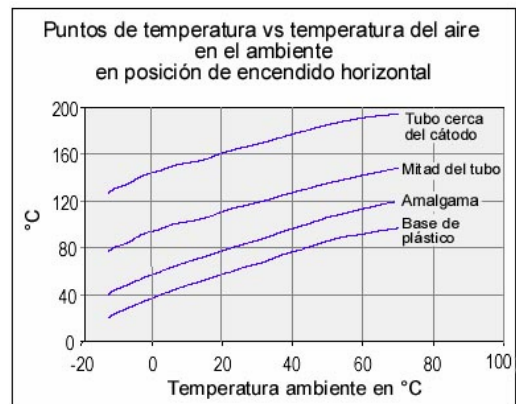
Condiciones de prueba:

- cámara térmica con $\pm 2^\circ\text{C}$ de exactitud
- libre de corrientes de aire
- balastro de 1x42W

T_{amb} ($^\circ\text{C}$)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)			
	Tubo cerca del cátodo	A mitad del tubo	Amalgama	Base de plástico
-10	135	100	77	55
0	143	108	87	64
10	153	118	96	73
20	162	127	104	84
30	171	136	113	93
40	178	143	121	101
50	184	149	127	107
60	190	154	132	112
70	194	158	138	116



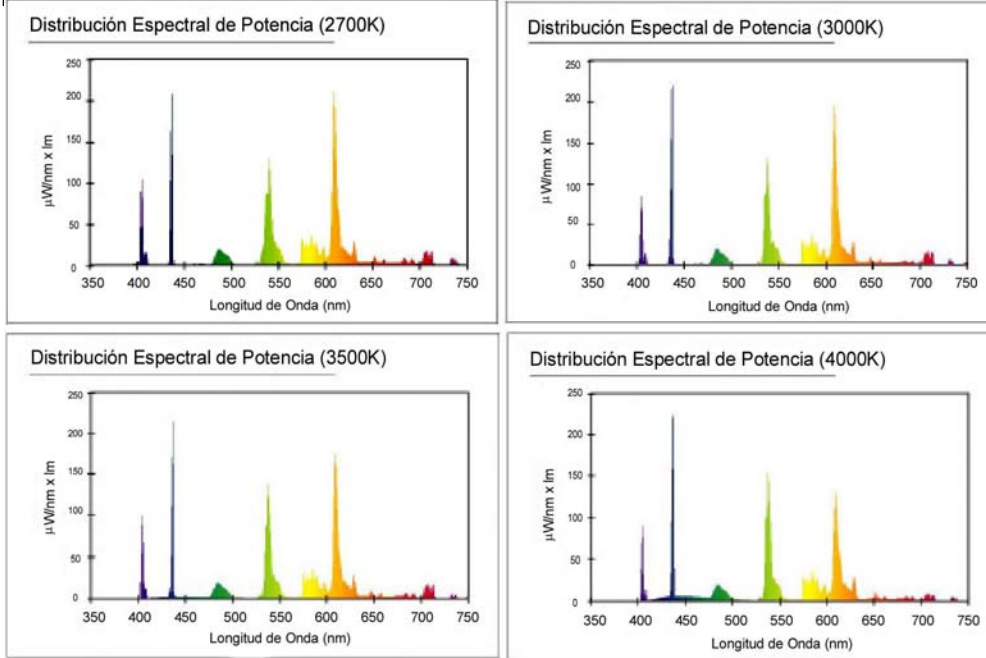
T_{amb} ($^\circ\text{C}$)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)			
	Tubo cerca del cátodo	A mitad del tubo	Amalgama	Base de plástico
-10	131	81	44	24
0	142	94	56	37
10	152	102	68	48
20	161	111	77	57
30	168	118	86	66
40	177	127	96	77
50	185	135	106	86
60	191	142	113	91
70	195	148	120	96



COLOR DE LA LÁMPARA

Las curvas de Distribución Espectral de potencia están representadas en los siguientes diagramas.

Distribución Espectral de Potencia

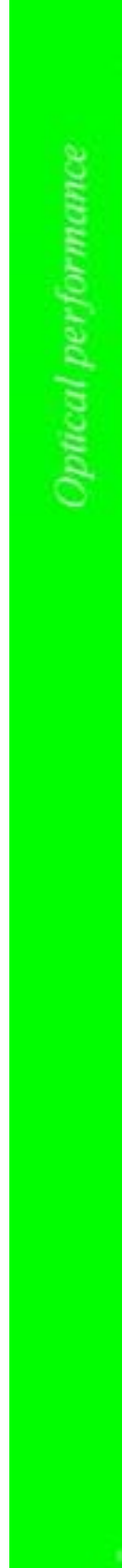
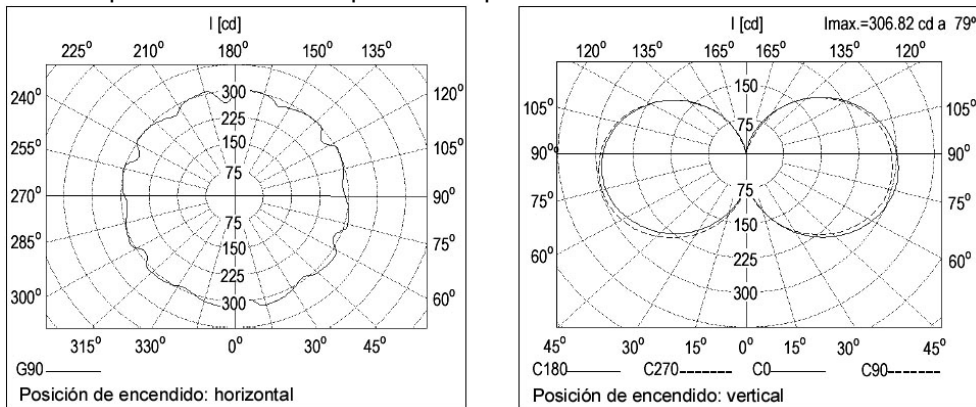


Especificaciones de color de acuerdo con la CEI 1931

TCC (K)	X	Y	CRI
2700	0.455	0.410	82
3000	0.443	0.406	82
3500	0.420	0.400	82
4000	0.378	0.386	82

DISTRIBUCIÓN DE LA INTENSIDAD LUMINOSA

Los siguientes diagramas muestran la distribución polar de la intensidad luminosa de la lámpara con la base en posición superior.



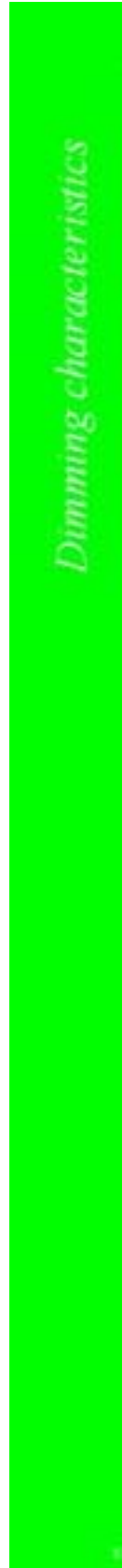
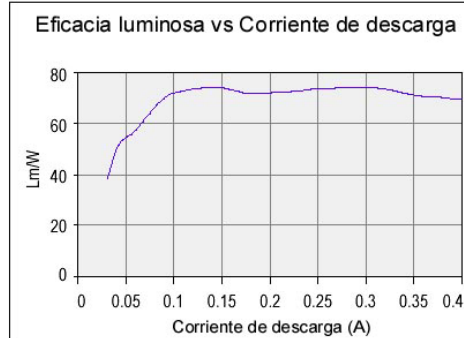
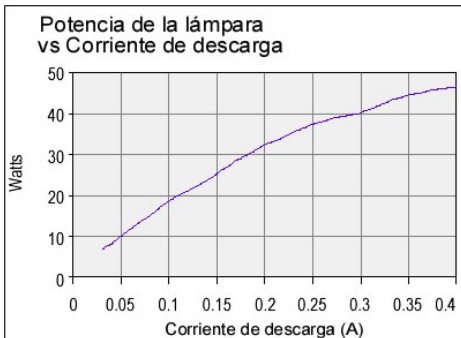
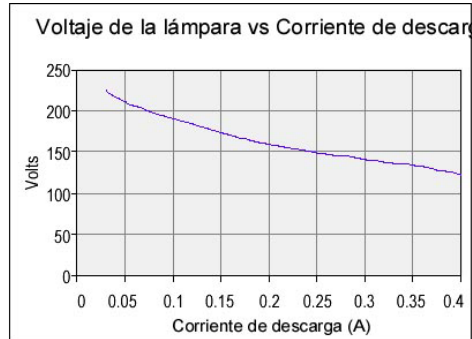
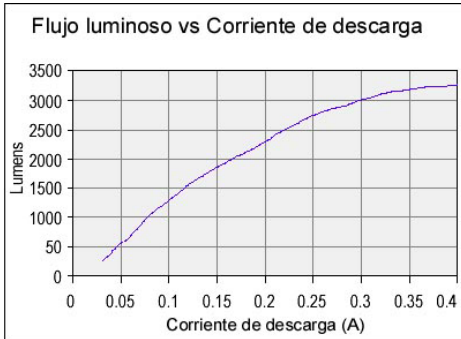
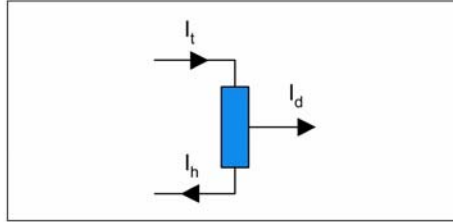
CARACTERÍSTICAS DE DIMMEO

Durante la operación de dimmeo, un cátodo adicional de calentamiento se encargará de mantener la temperatura adecuada del cátodo. Un inadecuado cátodo de calentamiento afectaría el funcionamiento de la lámpara y reduciría su vida útil. El tener un cátodo demasiado caliente implicaría la acelerada evaporación del material emisor; por el contrario, si el cátodo es demasiado frío y su emisividad electrónica es insuficiente, ocurriría una evaporación catódica de la mezcla emisiva debido al alto rango de bombardeo iónico.

Condiciones de prueba:

- posición de encendido con la base arriba
- Temp. ambiente de 25°C
- 20 kHz de frecuencia de operación
- la corriente de precalentado fue aplicada como se muestra en la tabla de abajo

I_d/I_{nom}	I_d (A)	I_h (A)	I_t (A)	ϕ (lm)	U (V)
0.10	0.03	0.27	0.30	270	225
0.20	0.06	0.24	0.31	680	202
0.30	0.10	0.22	0.31	1300	192
0.40	0.13	0.19	0.32	1650	181
0.60	0.19	0.14	0.33	2220	162
0.80	0.26	0.09	0.35	2900	147
0.90	0.29	0.00	0.29	2940	142
1.00	0.32	0.00	0.32	3150	136
1.10	0.35	0.00	0.35	3190	132
1.25	0.40	0.00	0.40	3250	122



BALASTROS ELECTRÓNICOS

Balastros Electrónicos de 120V Aprobados por GE Lighting

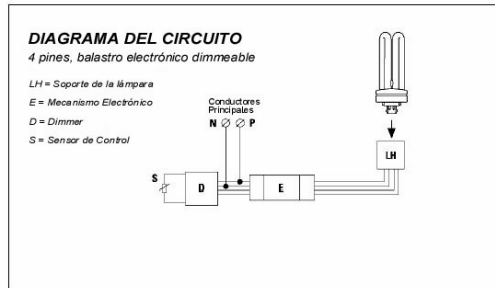
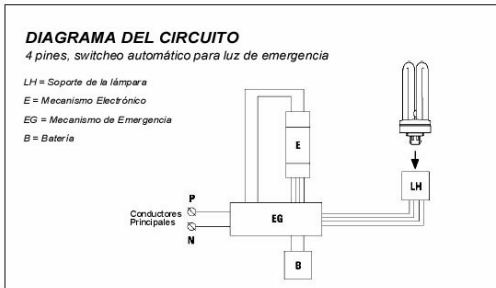
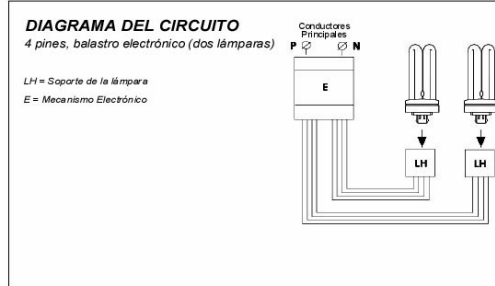
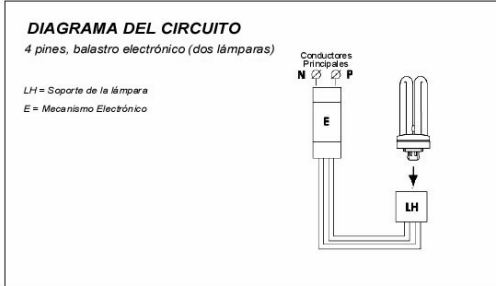
La lista proporcionada a continuación meramente indica los balastros probados por GE Lighting en el momento de la publicación. Mientras los balastros producidos por otros fabricantes cumplan con los estándares IEC/ANSI podrán ser también considerados como adecuados.

Favor de contactarse a GE CFL Product Management al (216) 266-5955 para recomendaciones de balastros adicionales.

Fabricantes	Opción para una lámpara	Opción para dos lámparas
Magnetek	C2642UNVSE	
Energy Savings	ES-1-CFH-42/32/26-UNV-D	
Motorola		M2-CF-26/32/42-B-M-UNIV
Advance Transformer		ICF-2S42-M2-LS
ACE		CSD-UV42PSA

Notas:

1. Sistema compatible a los estándares eléctricos aplicables ANSI y CEI a la fecha de prueba.
2. Para recomendaciones de balastros dimmeables que no pudieron ser probados a la fecha de la publicación, favor de contactarse GE CFL Product Management para mayor información.



GE Lighting



y General Electric son marcas registradas de the General Electric Company, USA
© General Electric Company (USA) 2000

GE Lighting está constantemente desarrollando y mejorando productos. Por esta razón, todas las descripciones del producto en esta hoja son consideradas como una guía general, y podemos cambiar especificaciones sin previo aviso cada vez que lo consideremos necesario conforme al desarrollo del producto. Todas las descripciones presentadas solo podrán emplearse para bienes particulares a las cuales deberán ser referidas y no formarán parte de ningún contrato. Los datos en esta guía han sido obtenidos en condiciones experimentales controladas.

Producto F42TBX Información para OEMs

2000. Agosto



2.3 LUMINARIO

Un luminario es un dispositivo compuesto por un gabinete o armadura de metal que sirve para distribuir, controlar y filtrar la iluminación a través de un reflector y accesorios necesarios para fijar, proteger y conectar una o más lámparas al circuito de alimentación eléctrica.^(18, 47)

2.3.1 CARACTERÍSTICAS FOTOMÉTRICAS DE LOS LUMINARIOS

La fotometría determina la capacidad luminosa de una fuente, midiendo la intensidad de la luz en varios ángulos desde el mismo punto el proceso de trabajo se denomina geofotometría. Generalmente se utiliza un fotómetro electrónico de precisión como instrumento de medición.

Distribución Luminosa y Curva Fotométrica

El conjunto de la intensidad luminosa de un manantial en todas las direcciones (figura 2.52) constituye lo que se llama distribución luminosa. Las fuentes de luz utilizadas en la práctica tienen una superficie luminosa más o menos grande, cuya intensidad de radiación se ve afectada por la propia construcción de la fuente presentando valores diferentes en las distintas direcciones.

Con aparatos especiales se puede determinar la intensidad luminosa de un manantial en todas direcciones del espacio con relación a un eje vertical. La intensidad luminosa distribuida por un luminario es medida en ángulos específicos alrededor de ella, estos ángulos varían de acuerdo al tipo de luminario, pero normalmente son 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, ... 85° y 90° para luminarios directos, para luminarios con elementos reflejantes, estos ángulos pueden ser de 95°, 100°, 105°, ... 180°.⁽⁴⁸⁾

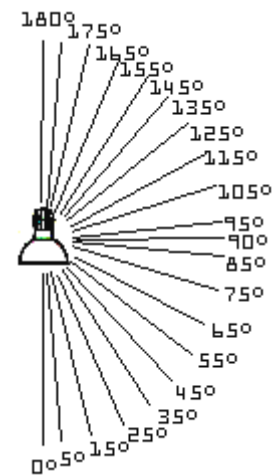
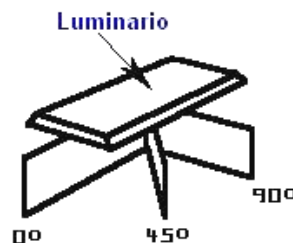


Figura 2.52 Distribución luminosa
Fuente: Curso Interactivo FIDE

En patrones de distribución simétrica se mide en un solo plano, si no existe simetría en la distribución se medirá en varios planos (figura 2.53). Cuando se requiere de más de un plano de medición, la intensidad luminosa se medirá para cada uno de los planos.



Tres de los planos verticales utilizados en fotometría de luminarios con lámparas fluorescentes

Figura 2.53 Distribución simétrica
Fuente: FIDE⁽⁴⁸⁾

Un reporte fotométrico debe contener como mínimo la siguiente información:⁽⁴⁸⁾

- Nombre del fabricante de la lámpara y/o luminaria, así como el número de catálogo.
- Tipo de lámpara y color usado en la prueba.
- Curva de distribución: Es una representación física de la distribución de la intensidad luminosa medida en diferentes ángulos (figura 2.54A).

En ambos lados del eje de 0° podemos ver una distribución geométrica.

Luminario

Ángulos de Medición

Superficie Iluminada :
La forma física de la superficie iluminada

Potencia en Candelas

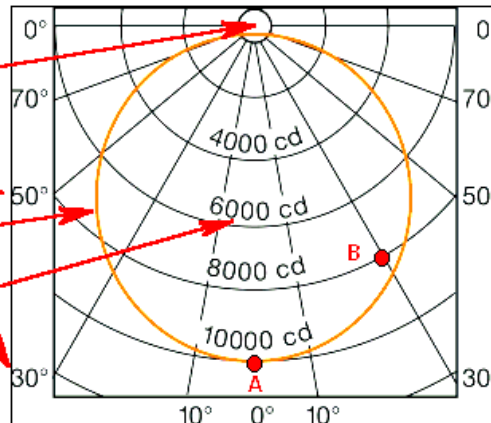


Figura 2.54A Curva fotométrica de un luminario
Fuente: FIDE⁽⁴⁸⁾

Para esta curva la distancia de medición fue de 25 pies y podemos observar que la intensidad máxima a esta distancia es aproximadamente 10,000 candelas (punto A); para saber la intensidad en el punto B por ejemplo, se mide el ángulo de 30° y la intensidad es de 8,000 candelas.

En la figura 2.54B se muestra un ejemplo de descripción de fotometría de un reflector especular marca Construlita modelo W1D/60 que fue probado con una LFC sencilla de 13W, 800lm, 10,000hr de vida promedio, TCC de 4100K, diámetro de tubo T4, base GX23, IRC>82 y 178mm de longitud.

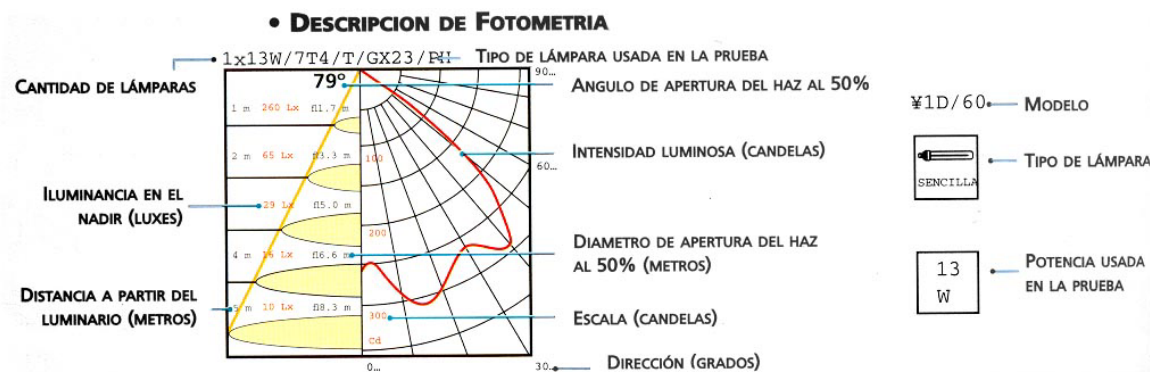


Figura 2.54B Ejemplo de una descripción de fotometría
Fuente: Philips

- Tabla de distribución: Es una tabla que contiene los datos con los que se graficó la curva de distribución.
- Coeficiente de utilización: Es la relación entre el flujo luminoso saliente de una luminaria y el incidente sobre el plano de trabajo. Es una medida del aprovechamiento de un luminario.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS LUMINARIOS

Los aparatos destinados al alumbrado deben reunir una serie de características bien definidas, a veces dictadas por la naturaleza de las fuentes de luz y en otras ocasiones por su utilidad o las exigencias del entorno de la instalación. Estas características se pueden encuadrar en tres categorías perfectamente definidas:⁽¹⁸⁾

- a) Características ópticas y luminosas.
- b) Características mecánicas y eléctricas.
- c) Características físicas y plásticas.

a) Características ópticas y luminosas

Son el conjunto de propiedades de un luminario que determinan la distribución y modificación del flujo emitido por la lámpara o lámparas y construido por reflectores, deflectores, refractores y difusores o una combinación de éstos.

De esta forma se configura la distribución luminosa y el rendimiento del luminario. Es muy importante el control de la luminancia de la lámpara o superficies reflectantes, por debajo de unos ángulos bien definidos, que permitan un nivel determinado de confort visual en su utilización.⁽¹⁸⁾

b) Características eléctricas y mecánicas

Dentro de este apartado se agrupan los requerimientos de un luminario para albergar una o varias lámparas determinadas, teniendo en cuenta el tamaño, la temperatura de operación, el portalámparas y elementos de sujeción, centrado, alineación y protección de la lámpara, así como una construcción adecuadamente robusta a los condicionantes de su emplazamiento.

Esta construcción debe tener en cuenta el uso final del luminario, por ejemplo, si debe tener cualidades antideflagrantes para su utilización en entornos susceptibles de explosión o, si debe disponer de elementos de seguridad antivandálicos.

Debe cumplir la normativa vigente sobre protecciones, estas normativas tienen por objeto recoger las especificaciones mínimas requeridas de un aparato de iluminación en lo que respecta a:⁽¹⁸⁾

- Grado de protección eléctrica
- Grado de protección contra la penetración de líquidos
- Grado de protección contra daños mecánicos
- Grado de protección contra la penetración de polvo y sólidos

Protección contra los choques eléctricos

Los luminarios deben estar dotados de sistemas de protección que garanticen la vida de las personas y/o animales contra cualquier contacto eléctrico producido de manera accidental, por falla del aislamiento principal. Según el sistema de protección empleado en el luminario ésta se clasifica como se indica en la tabla 2.9. Las clases de luminario deben indicarse sobre la placa de características, a excepción de las clases 0 y 1.




PROTECCIÓN CONTRA LOS CHOQUES ELÉCTRICOS		
Clase de Protección	Definición	Símbolo
0	Luminarias en las que la protección contra los choques eléctricos recae exclusivamente sobre el aislamiento; descansando la protección, en caso de fallos del aislamiento principal, sobre el medio circundante.	
I	Luminarias en las que la protección contra los choques eléctricos recae exclusivamente sobre el aislamiento principal y un conductor de protección conectado a tierra (toma de tierra), que debe conectarse al borne marcado.	
II	Luminarias en las que la protección contra los contactos eléctricos no recae exclusivamente sobre el aislamiento principal sino que comprende medidas suplementarias, tales como el doble aislamiento o el aislamiento reforzado. Estas luminarias no incorporan toma de tierra.	
III	Luminarias en las que la protección contra los contactos eléctricos, se realiza alimentando las luminarias a una muy baja tensión de seguridad.	

Tabla 2.9 Protección contra choques eléctricos
Fuente: Manuales de Luminotecnia ⁽¹⁸⁾

Grados IP y Julios

Los grados IP son los grados de protección contra los cuerpos sólidos y la humedad proporcionados por las envolventes, definidos en la UNE 20324-93, NF C20-10, DIN 40050 o BS 5490.

Los Julios es la protección contra los daños mecánicos y/o fuerza de choque. Este grado de protección también puede ser indicada mediante una tercera cifra en el IP, esta cifra corresponde a una determinada energía de choque (tabla 2.10). ⁽¹⁸⁾

GRADOS IP		
Primera Cifra	Segunda Cifra	Tercera Cifra
Protección contra cuerpos sólidos	Protección contra cuerpos líquidos	Protección mecánica
0 Sin protección	0 Sin protección.	0 Sin protección.
1 Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 50mm (ej: contactos involuntarios de la mano).	1 Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua (condensación).	1 Energía de choque: 0.225 Julios.
2 Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12mm (ej: dedos de la mano).	2 Protegido contra las caídas verticales de agua hasta 15° de la vertical.	2 Energía de choque: 0.375 Julios.
3 Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 2.5mm (ej: herramientas, cables,...).	3 Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° de la vertical.	3 Energía de choque: 0.500 Julios.
4 Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 1mm (ej: herramientas finas, pequeños cables,...).	4 Protegido contra las proyecciones de agua en todas direcciones.	
5 Protegido contra el polvo (sin sedimentos perjudiciales).	5 Protegido contra el lanzamiento de agua en todas direcciones.	5 Energía de choque: 2.00 Julios.
6 Totalmente protegidos contra el polvo.	6 Protegido contra el lanzamiento de agua similar a los golpes del mar.	
	7 Protegido contra la inmersión.	7 Energía de choque: 6.00 Julios.
	8 Protegido contra los efectos prolongados de la inmersión bajo la presión.	
		9 Energía de choque: 20.00 Julios.

Tabla 2.10 Clasificación de los Grados de Protección IP
Fuente: Manuales de Luminotecnia ⁽¹⁸⁾

c) Características físicas y plásticas

Una buena parte de estas características dependerá de la física de la lámpara o fuente de luz, así como de los requerimientos eléctricos y mecánicos de la misma. No obstante, no hay que olvidar que, además de alojar la lámpara, un luminario también debe cumplir una función estética, que tendrá que ser apreciada tanto en reposo como en funcionamiento, de día y de noche. En otros casos, su diseño tendrá que obedecer a un estilo determinado para integrarse a entornos de carácter definido, como es el caso las arañas de cristal, candelabros o de elementos arquitectónicos en exteriores o jardines.

2.3.3 CLASIFICACIÓN DE LUMINARIOS

Los luminarios son diseñados y manufacturados para todos los tipos comunes de lámparas eléctricas. Los luminarios se pueden clasificar de dos maneras⁽⁴⁸⁾:

Por su uso:

a) Luminarios Comerciales

Normalmente este tipo de luminarios son instaladas en interiores como aulas escolares, oficinas, centros comerciales, tiendas, salas de exposición, etc. Este tipo de luminarios deben presentar: buena distribución de luz, baja brillantez, alta eficiencia, ocultamiento de LFC's, apariencia distinguida y moderna así como accesibilidad en su montaje y limpieza.

b) Luminarios Industriales

Se recomiendan para naves industriales con alturas de montaje superiores a los tres metros. Este tipo de luminario debe ser capaz de alojar lámparas de alta emisión luminosa y reflectores especiales. Algunos tipos especiales se diseñan para lugares donde se tiene atmósferas explosivas, vapores o líquidos volátiles, por lo que su construcción es hermética, para ofrecer seguridad en las instalaciones de trabajo.

En términos generales, estos luminarios deben de proporcionar las siguientes cualidades: curva de distribución adecuada a la altura de montaje, construcción en un material conveniente a su función, buena difusión de luz, alta eficiencia, resistencia mecánica y facilidad de mantenimiento.

c) Luminarios Decorativos

Ayudan a crear un ambiente agradable al integrarse al conjunto arquitectónico, los luminarios encendidos o apagados deben crear la misma apariencia amable y congruente con el medio. Los luminarios decorativos de interiores deben armonizar con el conjunto de muebles y demás elementos. Integrando las siguientes características: iluminación elegante que resalte la belleza de los objetos, apariencia agradable, construcción de acuerdo a las necesidades del local y facilidad de mantenimiento y limpieza.

d) Luminarios para Alumbrado Público y Exteriores

Los luminarios para alumbrado público deben tener dos características fundamentales:

- Su construcción debe ser resistente a la intemperie y
- Su flujo luminoso debe ser acorde al espacio a iluminar

Dado que se encuentran en el exterior, están expuestos a lluvia, polvo y temperaturas extremas por lo que su balastro, reflectores y refractores deben ser impermeables.

Por su flujo luminoso:

a) Flujo Luminoso Semi-Directo

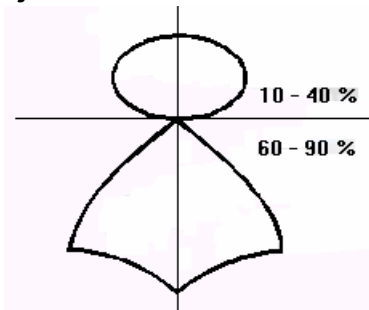


Figura 2.55 Flujo Luminoso Semi-Directo
Fuente: FIDE ⁽⁴⁸⁾

Dentro de esta clasificación se encuentran los que dirigen hacia abajo del centro focal de la luminaria entre el 60 al 90% de su flujo luminoso. En la figura 2.55 se muestra la curva de distribución.

El aprovechamiento adecuado de estos luminarios depende también, en buena parte, de la reflectancia del techo.

b) Flujo Luminoso Semi-Indirecto

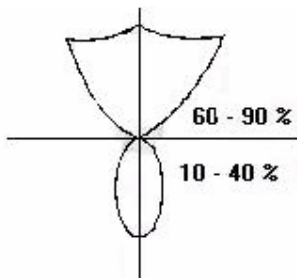


Figura 2.56 Flujo Luminoso Semi-Indirecto
Fuente: FIDE ⁽⁴⁸⁾

Dirigen del 60 al 90% (figura 2.56) de su flujo luminoso hacia arriba del centro focal de la luminaria, la mayor parte de la luz alcanza el plano de trabajo por reflexión en el techo y la parte alta de las paredes.

Es por tanto imperativo que los colores de techo y paredes se hallen en un tono muy claro para que las reflectancias sean tan altas como sea posible.

c) Flujo Luminoso Directo-Indirecto

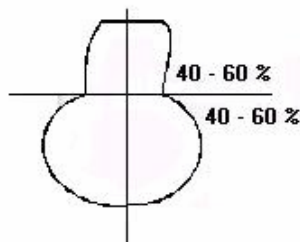


Figura 2.57 Flujo Luminoso Directo-Indirecto
Fuente: FIDE ⁽⁴⁸⁾

Emite menor cantidad de luz en ángulos cercanos a la horizontal, tal como se muestra en la figura 2.57.

d) Flujo Luminoso Directo

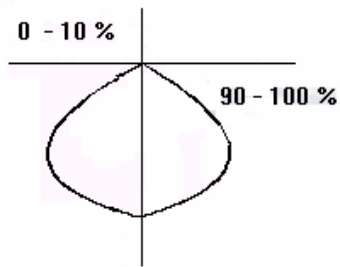


Figura 2.58 Flujo Luminoso Directo
Fuente: FIDE ⁽⁴⁸⁾

Apuntan de 90 a 100% de su flujo luminoso hacia debajo del centro focal y de 0 a 10% hacia arriba, estos luminarios proveen iluminación más eficiente en las superficies de trabajo (figura 2.58).

e) Flujo Luminoso Difuso-Directo

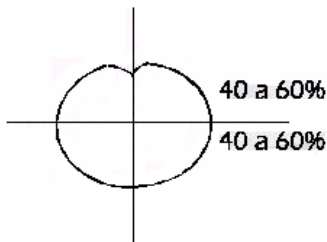


Figura 2.59 Flujo Luminoso Difuso-Directo
Fuente: FIDE ⁽⁴⁸⁾

Esta clasificación se aplica a luminarios en los cuales las componentes del flujo luminoso hacia arriba y hacia abajo del centro focal son aproximadamente las mismas, cada una de 40 a 60% del flujo luminoso total del luminario. El luminario general difuso emite luz casi igualmente en todas direcciones (figura 2.59).

f) Flujo Luminoso Indirecto

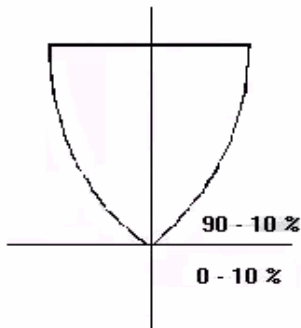


Figura 2.60 Flujo Luminoso Indirecto
Fuente: FIDE ⁽⁴⁸⁾

Los luminarios de este tipo emiten de 90 a 100% de su flujo luminoso total arriba del centro focal (figura 2.60). La utilización de la luz de este tipo de luminarios depende en su totalidad de las reflectancias, entiéndase colores, del techo y de la parte alta de las paredes.

2.3.4 SISTEMAS DE CORRECCIÓN Y CONTROL DEL FLUJO

Partiendo del elemento más básico de una fuente de luz como un filamento empleado en la actualidad o las bujías de antaño, la emisión es prácticamente omnidireccional. Un ejemplo típico es el solitario esplendor con el que una bombilla colgando de un cable repartía su luz por toda la estancia. El problema de este sencillo sistema, como lo percibieron los primeros usuarios y proyectistas, es que carecía de control, y sin éste, de flexibilidad.

El concepto de control es gobernar algo para que haga lo que nosotros queramos, dentro de los límites lógicos y con las pérdidas inherentes de todo sistema. En una fuente de luz, podemos controlar o corregir algunas o varias de las características del flujo, mediante el uso de una serie de elementos concretos. Las características del flujo son: dirección, forma, concentración, composición y cantidad, las cuales son susceptibles de modificación y control con los siguientes elementos:⁽¹⁸⁾

- a) Dirección, mediante reflectores y deflectores.
- b) Forma, mediante reflectores, deflectores, lentes y máscaras.
- c) Concentración, mediante reflectores y lentes.
- d) Composición, mediante filtros.
- e) Cantidad, mediante máscaras y filtros.

Todo esto sin perder de vista los límites técnicos de la fuente de luz, ya que en el caso de la cantidad, ésta se puede regular mediante un reóstato o dimmer que regule el voltaje de la lámpara. Aunque en el caso particular de las LFC's hay que recordar que no todas cuentan en la actualidad con ésta posibilidad de dimmeo, por lo que es importante consultar las características del sistema de LFC's que se vaya a emplear para ver según la marca y el modelo si es factible controlar la cantidad de su flujo luminoso.

Existen tres elementos de corrección y control en la emisión de una fuente de luz: los elementos reflectores, la geometría y los tipos de reflectores

Elementos Reflectores

Todo sólido es reflector en mayor o menor grado. La mayoría de los reflectores reales son especulares, es decir, aquellos que, teóricamente, redirigen el haz íntegramente, sin alterar su cromaticidad. Sin embargo, en la práctica se denominan reflectores a todos los cuerpos, especulares o no, cuyos planos cambian la dirección del haz, mediante un proceso de reflexión, un cierto nivel de difusión y absorción selectiva que altera, a veces sensiblemente, la cromaticidad del mismo.

Los reflectores especulares pueden estar formados exclusivamente por el propio metal o soportados por otro elemento, como el vidrio, plástico o incluso otro metal. Técnicamente los reflectores se dividen en dos grupos, según sea su disposición física:⁽¹⁸⁾

- a) Reflectores frontales: Son aquellos en los que la superficie reflectante es la primera que encuentra el haz en su camino y que, paradójicamente, engloban los reflectores de mejor calidad y los peores. De hecho, cualquier metal debidamente pulimentado es un reflector.
- b) Reflectores de fondo: En estos reflectores, el haz debe atravesar primero la estructura del soporte, como sucede con un espejo corriente, donde primero el haz atraviesa el vidrio para más tarde llegar al reflector. Esto resuelve el problema de la fragilidad de la superficie reflectante y del pulido, ya que el vidrio puede tener una buena planimetría. Así mismo, la limpieza de éstos es sencilla y eficaz.

Geometría de los Reflectores

Los reflectores se dividen en dos tipos generales en función de su geometría:⁽¹⁸⁾

- a) Reflectores planos: Éste es el tipo más sencillo de reflector que, en teoría, no altera la geometría intrínseca del haz, tan sólo cambia la dirección de una parte del mismo, de forma que la porción del haz deseada se dirija hacia una direccionalidad concreta.
- b) Reflectores curvos: Así como los reflectores planos solamente alteran la direccionalidad del haz, los reflectores curvos, adicionalmente, tienen la propiedad de alterar y rectificar la geometría del haz, dirigiendo el flujo hacia un punto determinado. Los reflectores curvos obedecen a dos configuraciones básicas.⁽¹⁸⁾
 - b.1) Reflectores de revolución: Este tipo de reflectores adoptan una geometría esférica, parabólica o elipsoidal, la cual depende de los requerimientos del reflector y de las distancias relativas de los focos.
 - b.2) Reflectores asimétricos: Son aquellos que no generan una mancha más o menos circular sino ovaloide. Por regla general tienen menos precisión que los reflectores de revolución y se utilizan para la iluminación de baño o de grandes espacios.

Tipos de Reflectores

Dentro de los diferentes tipos de reflectores encontramos los siguientes:⁽¹⁸⁾

- a) Reflectores difusores: Este tipo de reflector obedece un control de haz mucho más reducido que los especulares y consiste principalmente en superficies pintadas o esmaltadas que reflejan la luz de manera difusa.
- b) Deflectores: Se trata de planos, generalmente metálicos, que se sitúan en el interior de un luminario, de forma plana o anular y con acabados altamente absorbentes del flujo luminoso, como es el caso del negro mate. Sus funciones, dependiendo del diseño, tienen por objeto reducir o eliminar la luminancia directa de una luminaria, o bien recortar una porción del haz.
- c) Máscaras: Son elementos de recorte, generalmente utilizadas en combinación con sistemas ópticos para conformar el haz de forma que la mancha tenga un contorno más recortado y definido.
- d) Difusores: Son elementos que actúan sobre el flujo luminoso de una fuente de luz para incrementar la superficie de la misma y de esta forma disminuir el valor de su luminancia media.
- e) Filtros: Para un control de la luz más flexible necesitamos elementos capaces de alterar a voluntad la composición cromática y el balance del haz. Estos elementos son los filtros.

2.3.5 LUMINARIOS PARA LFC's

Las lámparas empleadas en iluminación de interiores abarcan casi todos los tipos existentes en el mercado. Las lámparas escogidas, por lo tanto, serán aquellas cuyas características mejor se adapten a las necesidades y características de cada instalación

La elección de los luminarios está condicionada por la lámpara utilizada y el entorno de trabajo de esta. La forma y tipo de los luminarios oscilará entre las más funcionales donde lo más importante es dirigir el haz de luz de forma eficiente; para el caso de las LFC tenemos los luminarios del tipo Downlight con las siguientes características:

Downlight Lámpara-Horizontal

Los downlights de LFC's más comunes operan con lámparas en posición horizontal (figura 2.61). Una lámpara montada horizontalmente permite al luminario tener una altura relativamente baja, para que puedan integrarse más fácilmente en techos poco profundos. Estos luminarios pueden operar con una, dos, o tres lámparas, y generalmente tiene distribuciones ligeramente más anchas que los downlights de lámpara-vertical.

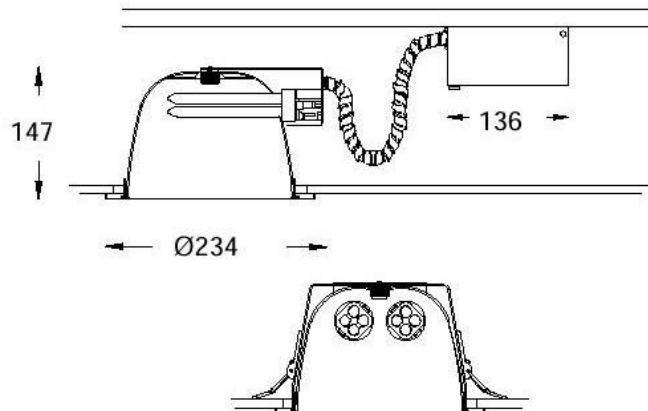


Figura 2.61 Luminario Tipo Downlight Lámpara-Horizontal
Fuente: Philips

Downlight Lámpara-Vertical

Algunos downlights de LFC's operan la lámpara en posición vertical base-arriba (figura 2.62). Este tipo de luminarios normalmente tienen una altura mayor que los downlights de lámpara-horizontal. La mayoría de estos downlights usan una sola lámpara, aunque hay disponibles para usar con dos lámparas. Los downlights de lámpara-vertical tienden a tener una distribución ligeramente más estrecha.

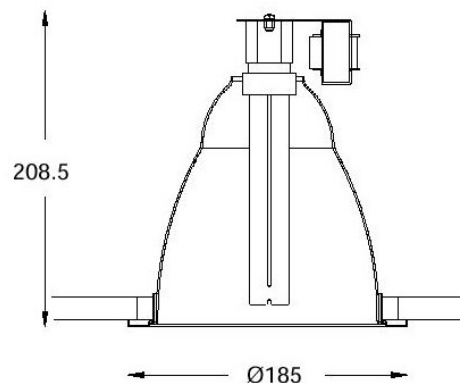


Figura 2.62 Luminario Tipo Downlight Lámpara-Vertical
Fuente: Philips

Las atractivas oportunidades de ahorro con luminarios para LFC's han causado que muchos fabricantes lancen al mercado productos que son simplemente luminarios incandescentes con sockets para fluorescentes compactas. Sin embargo, se deben tomar precauciones para evitar los siguientes problemas:⁽⁸⁾

- Uso de reflectores y otros componentes diseñados especialmente para lámparas incandescentes (causando problemas de eficiencia del luminario).
- Problema de sobrecalentamiento, que provoca la reducción de vida en la LFC y el balastro, así como la disminución del flujo luminoso (problema de diseño del luminario).
- Producción de ruido por la lámpara y el balastro (problema del luminario y limitante de aplicación).
- Temperatura excesivamente alta ó baja en la pared del bulbo de la LFC, causando disminución del flujo luminoso nominal (problema de diseño del luminario y aplicación).

Por otro lado, el paso del tiempo provoca sobre las instalaciones de alumbrado una disminución progresiva en los niveles de iluminancia. Las causas de este problema se manifiestan de dos maneras, por un lado tenemos el ensuciamiento de LFC's, luminarias y superficies donde se va depositando el polvo y por otro tenemos la depreciación del flujo de las lámparas.⁽⁴⁹⁾

En el primer caso la solución está en mantener una limpieza periódica de lámparas y luminarios y en el segundo en establecer un programa de sustitución de las lámparas. Aunque a menudo se recurre a esperar a que fallen para cambiarlas, es recomendable hacer la sustitución por grupos o de toda la instalación a la vez según un programa de mantenimiento. De esta manera aseguraremos que los niveles de iluminancia real se mantengan dentro de los valores de diseño de la instalación.⁽⁴⁹⁾

Para el reemplazo de una LFC en un luminario del tipo downlight con lámpara-vertical no es difícil, puesto que la lámpara puede separarse de su adaptador en forma recta hacia abajo. En downlights con lámpara-horizontal, el espacio restringido en la parte superior del luminario puede hacerlo difícil quitar la LFC de su base e instalar la nueva lámpara. La mayoría de los downlights lámpara-horizontal tienen una abertura en el reflector en la parte opuesta de donde se localiza la portalámpara para facilitar el reemplazo; estas aberturas pueden causar algunas pérdidas ópticas, pero estas mismas aberturas sirven para quitar el calor en los extremos de las lámparas.

2.3.6 FORMATOS PARA ESPECIFICAR LUMINARIOS

Especificar LFC's no es difícil. Hay muchas formas para asegurarse que las características deseadas sean entendidas por los distribuidores y se eviten así sustituciones con productos de calidad inferior. El proyectista debe especificar los productos usando los formatos para luminarios o escribiendo las especificaciones completas.

La mayoría de los proyectistas describen los luminarios por tipo usando una simbología que se incluye en los planos, para describir con cierto detalle los luminarios, lámparas y balastos. Sin embargo, para especificar correctamente las LFC's es recomendable que se proporcione información adicional a la que se acostumbra dar para otros tipos de productos.

Como cada fabricante tiende a crear sus propios nombres comerciales, lo que dificulta la especificación genérica. Por esta razón es deseable que cada especificador use las designaciones NEMA cada vez que sea posible. Para las LFC's integrales es conveniente identificar a un solo fabricante que disponga de todos los tipos de productos y aprovechar su nomenclatura. De esta forma, se pueden fácilmente enlistar los números correspondientes a las LFC's en un formato general de acuerdo con la sustitución propuesta.⁽⁸⁾

2.4 CONTROL EN ILUMINACIÓN

El sistema de iluminación tiene como característica de diseño el proporcionar el nivel de iluminación requerido dependiendo de la actividad desarrollada.

Los controles para iluminación ofrecen un ahorro potencial igual o mayor que los luminarios y lámparas eficientes. Una estimación conservadora nos sugiere que puede existir un ahorro del 30% en consumo de un edificio comercial utilizando una estrategia de control adecuado.⁽⁵⁰⁾

Las lámparas y luminarias eficientes pueden reducir la potencia del sistema de iluminación; mientras que los controles pueden reducir el tiempo de uso de esa potencia.

Los controles para iluminación han sufrido un gran desarrollo en los últimos años, debido principalmente a la preocupación por el uso eficiente de la energía y al avance de la electrónica de estado sólido.

A su vez, el aumento del costo de la energía y la disponibilidad de dispositivos electrónicos de bajo costo y alta fiabilidad han estimulado un gran número de innovaciones en los controles para sistemas de iluminación.

Dentro de los sistemas de control actuales podemos encontrar desde dispositivos integrales y de tamaño reducido hasta sistemas que utilizan computadoras centrales y que cuentan con funciones de manejo de energía (control de los equipos).

Es importante mencionar que aún con el desarrollo de estos sistemas de control, existen otros dispositivos tan simples como el apagador de pared que pueden proporcionarnos un ahorro significativo de energía, siempre y cuando sean utilizados apropiadamente.

2.4.1 CONTROL DE POTENCIA DE LAS LFC's

En general, la potencia de las LFC's no puede controlarse usando equipo convencional de dimmeo. Por ejemplo, de acuerdo con algunos de los fabricantes de lámparas, si se usa un dimmer convencional para incandescentes en un sistema integral de LFC

(especialmente los que usan balastro electrónico) se puede causar un incendio. Sin embargo, hay productos especiales que sí pueden dimmear LFC's:⁽⁸⁾

- Adaptadores que permiten que un dimmer para incandescentes dimmee una LFC de doble tubo gemelo con cuatro pins. El adaptador sólo puede usarse con un balastro específico que esté instalado en el luminario desde fábrica.
- Balastros dimmeables de estado sólido que controlan la potencia de lámparas de cuatro alfileres con tubo gemelo sencillo ó doble a través de un potenciómetro remoto ó de una señal de bajo voltaje.
- LFC's integrales que ya permiten su dimmeo sin requerir algún adaptador especial. Para ello hay que corroborar en el empaque de la lámpara que ésta sea dimmeable y es recomendable revisar las especificaciones de uso que da el fabricante sobre su producto para emplear la LFC de la forma más óptima.

2.4.2 SISTEMAS TÍPICOS DE CONTROL

Interruptores

La forma más simple de hacer un buen uso en los sistemas de iluminación es apagándola cuando no se necesita. Los interruptores pueden ser tan simples como los de pared, o tan complicados como los sistemas digitales que controlan a todo un edificio, incluyendo a la seguridad y los equipos de aire acondicionado.

Los interruptores son la base de cualquier estrategia de programación; también pueden ser utilizados para esquemas de adaptación, compensación y de aprovechamiento de la luz natural.

A continuación se da una descripción de algunos interruptores, tanto manuales como automáticos.⁽⁵⁰⁾

a) Interruptores Manuales

Los interruptores manuales incluyen dos modelos muy comunes: los normales y los decorativos. Existen otros diseños menos conocidos, ya que son de aplicación especial, los hay de gran tamaño para cuartos de niños y los que cuentan con un indicador de estado. Dentro de los últimos, existen dos variantes: de luz piloto y los que cuentan una lámpara para la ayuda de su localización (con indicador).

Los interruptores con luz piloto encienden el indicador cuando el circuito que controla está encendido; mientras que en los de lámpara de ayuda, se enciende el indicador en la oscuridad cuando el circuito está apagado. Estos interruptores son de gran utilidad cuando operan circuitos remotos, ya que permiten conocer su estado aún cuando la fuente de luz no es visible.

b) Interruptores de Pared

El dispositivo de control más sencillo y barato es el interruptor de pared. Aunque muchas de las estrategias para el ahorro de energía se basan en el uso de equipo de control más

complejo, la mayoría de las instalaciones cuentan con sistemas de iluminación controladas manualmente. Son de bajo costo y alta fiabilidad, lo que los convierte en una importante opción para cualquier instalación.

La mayoría de los reglamentos exigen controles accesibles a los ocupantes, o en su defecto, sensores de presencia. Lo anterior significa que todos los cuartos de un edificio deben tener su propio interruptor, lo que los hace fundamentales para el ahorro de energía.

2.4.3 DISPOSITIVOS DE CONTROL AUTOMÁTICO

Dentro de los dispositivos de control automático, encontramos a los sensores de presencia, relojes (timers) y fotoceldas. ⁽⁵⁰⁾ Estos dispositivos deben ser utilizados en conjunto para integrar un sistema completo que sea capaz de manejar varias estrategias de control para un gran número de luminarios.

a) Sensores de presencia

Este tipo de dispositivo fue desarrollado en un principio para la industria de la seguridad, ya que son de alta fiabilidad en la detección de personas en el lugar de su instalación. Una de sus principales ventajas es que, mientras no detecta movimiento o calor humano, no hay motivo alguno para encender las luces. La mayoría pueden ser calibrados para determinar el tiempo entre la última detección y el apagado de la iluminación. Los modelos más eficientes requieren que el usuario encienda las luces en el área controlada, mientras que la función de apagado es automática.

Los sensores de presencia se pueden colocar en:⁽⁵⁰⁾

- En el techo: Se utilizan para cubrir toda el área del cuarto y evitar interferencia (figura 2.63). Los sensores omnidireccionales (o para centro), son utilizados en espacios rectangulares, tales como oficinas y salones de clase. Los sensores unidireccionales (o para esquina o pared), se utilizan en grandes oficinas o salas de juntas. Los bidireccionales se utilizan en corredores, bibliotecas e iglesias.

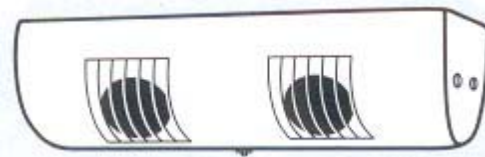


Figura 2.63 Sensor de presencia para instalar en techo
Fuente: Lutron

- En pared: Este tipo de sensores sustituye directamente a interruptores de pared y los mejores incluyen un interruptor manual (figura 2.64). Algunos se diseñan con un sensor fotoeléctrico incorporado, lo cual evita que las lámparas o luminarios se enciendan cuando exista aportación de luz natural suficiente; sin embargo, han sido fuertemente criticados, ya que no detectan el nivel de iluminación en el plano de trabajo.



Figura 2.64 Sensores de presencia para instalar en pared
Fuente: Lutron y Bticino

Existen factores importantes para la adecuada utilización de estos dispositivos, tales como la selección correcta del sensor, su calibración, el lugar de instalación y activación por falsas señales.

Por ejemplo, un sensor PIR (infrarrojo) puede operar inadecuadamente cuando no tiene filtros especiales para las radiaciones infrarrojas de la luz normal; un sensor ultrasónico puede responder a las vibraciones, como la del aire acondicionado, o al paso de corrientes de aire; los sensores de microondas pueden atravesar las paredes y detectar presencia en el área equivocada.

En general, los sensores de presencia son efectivos cuando se aplican en oficinas privadas, salones de clase y ciertas áreas de servicios como en los aeropuertos y en todos aquellos lugares con visitas esporádicas y que no requieren de una iluminación constante.

Para cualquier proyecto que considere sensores de presencia se deben considerar los siguientes aspectos:⁽⁵⁰⁾

- La posibilidad de ciclos frecuentes de encendido-apagado (especialmente en sistemas fluorescentes), en caso de que se presenten, no es recomendable colocar LFC's, ya que podemos ocasionar que la vida de la lámpara se vea reducida drásticamente y tengamos que reemplazarla en un corto tiempo. De cualquier forma, la recomendación de uso para LFC's en este caso sería LFC's cuyo encendido sea del tipo programado.
- Tiempo que opera el sistema de iluminación innecesariamente.
- Forma y dimensiones del área a controlar.
- Presencia de barrera u obstáculos.
- Ubicación del sensor.
- Tipo de sensor (PIR, ultrasónico).
- Ajuste de sensibilidad y tiempo.
- Mantenimiento (reemplazo de lámparas).

b) Relojes (timers)

La forma más fácil de programación es utilizando unidades de tiempo. Su aplicación más sencilla es la de encender las luces a una hora determinada y apagarlas a otra, como en sistemas de iluminación para exteriores. Con esto, se pueden utilizar las LFC's sin ningún problema, pero no hay que pasar por alto en la programación del reloj que los encendidos-apagados no sea muy frecuentes.

Existen unidades más complejas que permiten la programación para los 365 días del año con ajustes para cada estación, dentro de ellos existen dos tipos básicos de relojes que son electrónicos y electromecánicos.

Los relojes electrónicos controlan la energía de los circuitos por medio de relevadores. Algunos tienen la posibilidad de manejar dos o más relevadores con diferentes horarios, por lo general, tienen una batería de respaldo por si falla el suministro de la energía eléctrica.⁽⁵⁰⁾

Los relojes electromecánicos operan eléctricamente y accionan el interruptor mecánicamente. Este tipo de dispositivos mecánicos se encuentran en versiones de 24 horas y de 7 días, algunos otros tienen ajustes astronómicos para compensar las variaciones del día y la noche de acuerdo a la estación del año, otros cuentan con un mecanismo de cuerda como respaldo de la energía eléctrica.⁽⁵⁰⁾

c) Fotosensores

Estos dispositivos censan el nivel de iluminación y generan una señal proporcional a éste que se procesa en la unidad de control, para después mandar una señal a los interruptores o dispositivos de dimmeo. Lo anterior permite tener un ajuste del nivel de iluminación de acuerdo a las condiciones que perciba el control.

Para el caso de utilizar LFC's, se pueden aplicar los fotosensores junto con un interruptor; en el caso que se quisiera utilizar un dimmer, se debe de contar con un balastro dimmeable para la lámpara, de lo contrario, la vida de la LFC se verá disminuida drásticamente.

La ubicación de los fotosensores es un aspecto crítico que determina la correcta operación del sistema de control, por lo que el diseñador deberá decidir si se controla el nivel de iluminancia en el plano de trabajo o el de la fuente de luz natural.⁽⁵⁰⁾

2.4.4 TECNOLOGÍA PARA ATENUADORES (dimmers)

Los dimmers disminuyen la potencia que se entrega a la lámpara, lo que ocasiona una salida de lúmenes menores. Generalmente se utilizan para crear ambientes o efectos especiales, pero tienen una importancia relevante en el ahorro de energía eléctrica. Pueden reducir la iluminancia en el área controlada al nivel mínimo necesario, aunque en muchos casos, el nivel puede ser ajustado automáticamente de acuerdo a la aportación de luz natural u otras fuentes.

Los dimmers pueden afectar el funcionamiento de algunas lámparas, por lo que no se recomienda su uso si no se tiene la seguridad de que el tipo de LFC a emplear pueda usarse con dimmers.

2.4.4.1 PRECAUCIONES Y CONSIDERACIONES

Originalmente sólo se podían dimmear lámparas convencionales, pero la depuración de la tecnología permite en la actualidad dimmear algunas LFC's como ya se ha comentado:⁽⁵⁰⁾

- Algunos sistemas requieren balastos dimmeables especiales, diferentes tipos de dimmers electrónicos, distinta circuitería y en algunos casos, bases especiales.
- Existe una gran cantidad de dimmers fluorescentes y sistemas dimmeables por lo que se debe consultar a los fabricantes con el objeto de utilizar el dimmer adecuado para cada lámpara, esto en el caso de que ella lo permita.
- Los cátodos de las lámparas deben permanecer activados durante la operación de éstas para asegurar un funcionamiento adecuado del dimmer y mantener la vida de la(s) lámpara(s). Algunas lámparas ahorradoras de energía pueden no operar apropiadamente con dimmers pues interrumpen el calentamiento de los cátodos durante la operación con el objeto de disminuir el consumo de energía.
- La salida de luz de las lámparas de distinta longitud puede variar en ciertos tipos de dimmers.
- Si se reduce considerablemente la emisión lumínica de las lámparas por medio de un dimmer, éstas pueden presentar flicker.
- Dimmear lámparas fluorescentes a bajas temperaturas o en luminarios que permiten la circulación de aire puede provocar inestabilidad o muy baja emisión de luz debido a las variaciones de temperatura en las paredes del tubo sobretodo si la LFC no cuenta con tecnología de amalgama.
- Existe por lo general poca variación en el color cuando se dimmean las lámparas.
- La vida de las lámparas se puede ver reducida al aplicar sistemas con dimmer, por ello se recomienda ver la hoja de especificación de la LFC proporcionada por el fabricante.

2.4.5 ESTRATEGIAS DE CONTROL DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Existen dos beneficios potenciales que resultan de la aplicación de controles en iluminación:

1. Administración de la energía: proporciona ahorros en energía y costos de operación a través de la reducción de los niveles o del tiempo de uso.
2. Estética: proporciona la habilidad de cambiar la función y/o crear ciertas sensaciones en los espacios iluminados.

Una de las recomendaciones es que la iluminación se diseñe de tal forma que se tienda a igualar en todo el espacio; es decir, que si junto a la ventana de un edificio hay 1,000 luxes, la iluminación por lámparas es innecesaria, pero, conforme se interne en el área, el nivel de iluminación artificial deberá graduarse para así encontrar un nivel proporcional en

todo el espacio. También puede tomarse en consideración la propuesta de variar los niveles de luz conforme transcurre el día laboral, para de esta manera no interferir en los ritmos biológicos del usuario; un elemento que puede elevar el confort en los espacios de oficinas.

La utilización de sistemas que conjugan la iluminación natural con la artificial es una de las estrategias más eficaces para el ahorro de energía y pueden ser de gran utilidad para nuestros fines.

Así por ejemplo, si utilizamos el llamado método de Iluminación Artificial Suplementaria Permanente en Interiores, junto con las luminarias de mayor eficiencia, tendríamos una distribución como la que se muestra en la figura 2.65, y su funcionamiento sería el siguiente:

Durante las horas del día, cuando la iluminación natural fuera abundante, la fila que permanecería encendida sería la señalada con la letra D, esto supondría un ahorro energético del orden del 75%. Cuando el nivel de luz exterior descendiera se podría añadir la siguiente línea, es decir la señalada con la letra C, con ello el ahorro energético estaría en el orden del 50%. Una vez que la luz exterior descendiera hasta un nivel muy bajo, las líneas señaladas con la letra A, B y C se encenderían, lo cual aún implicaría un ahorro energético del 25%. Finalmente, sería durante las noches y los días más oscuros cuando se requeriría del encendido de todo el sistema.

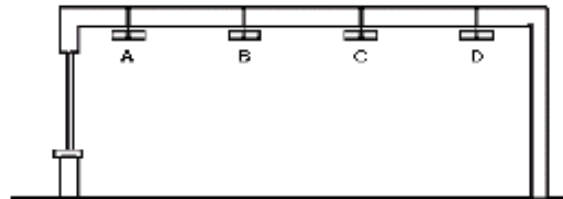


Figura 2.65 Estrategia de Control
Fuente: FIDE⁽⁴⁸⁾

III. NORMALIZACIÓN APLICABLE

En México, la Asociación de Normalización y Certificación A.C. tiene como función elaborar normas y certificar productos del sector eléctrico. Actualmente, está acreditada ante la SECOFI para elaborar dentro del seno del CONANCE (Comité de Normalización de ANCE) las normas NMX de carácter voluntario que atañen a la calidad, funcionalidad, métodos de pruebas y especificaciones de los balastos, lámparas y luminarios así como normas NOM obligatorias de seguridad, eficiencia energética y térmica o información comercial para los mismos productos. Estas últimas son también un medio para impulsar el ahorro de energía eléctrica, mismas que, una vez publicadas en el Diario Oficial, tienen el carácter de obligatorias en todo el país.

El desarrollo de este tipo de normas, además de los beneficios directos al consumidor en materia de ahorro de energía eléctrica, tiene un efecto directo sobre la eficiencia de sistemas, procesos, materiales y dispositivos. En éste sentido, la normalización es una herramienta clave en la modernización de la planta industrial de un país.

Las LFC's que se realizan en el extranjero son sometidas a rigurosas normas elaboradas por distintas asociaciones según el país de origen, un ejemplo de ello es la CSA (Canadian Standards Association) que prueba la seguridad de los balastos utilizados en Canadá, o la ANSI (American National Standard Institute) que crea estándares para lámparas y balastos para garantizar la correcta operación de los mismos dentro de Estados Unidos por nombrar algunas de ellas. En México, el Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE) es quien lleva a cabo un programa de identificación voluntaria otorgando el Sello FIDE a LFC's que comprueban su alto nivel de eficiencia, por lo que en este capítulo se hablará de éste programa y de las normas que competen a LFC's, luminarios e iluminación en nuestro país.

3.1 EL SISTEMA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN EN MÉXICO

La normalización en México data de 1928 con la aparición de la Ley de Pesas y Medidas, en 1945 se expide la Ley de Normas Industriales, en 1961 aparece la Ley General de Normas, Pesas y Medidas y en 1988 se emite la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Hasta ese momento, las normas eran consideradas Normas Oficiales Mexicanas y a partir del 1° de julio de 1992 con la aparición de una nueva Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, las normas comienzan a clasificarse dentro de dos grupos: Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas, las primeras de obligado cumplimiento y las segundas de carácter voluntario.⁽¹⁾

Asimismo, en esta Ley aparecen nuevos términos y actores en el ámbito de la normalización y certificación tales como los Laboratorios de Calibración, los Laboratorios de Pruebas, los Organismos de Normalización, los Organismos de Certificación y las Unidades de Verificación. Entre ellos tenemos a:

- Organización Internacional de Normalización (ISO)
- Comisión Electrotécnica Internacional (CEI)
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas
- Asociación de Normalización y Certificación, A.C. (ANCE)
- Normalización y Certificación Electrónica, A.C. (NYCE)

- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. (IMNC)
- SANYGAL Y Asociados en Normalización Eléctrica, S.A. de C.V.

En 1998 aparecen las Reformas a la Ley, donde se crea el organismo de “entidad de acreditación” y cuyo objeto y principal trabajo es el de reconocer la competencia técnica y confiabilidad de los Organismos de Certificación, de los Laboratorios de Prueba, de los Laboratorios de Calibración y de las Unidades de Verificación para la evaluación de la conformidad y en 1999 el 15 de marzo aparece en el Diario Oficial de la Federación el “Reglamento a la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización” a efecto de tener un documento de apoyo para su correcta interpretación.⁽¹⁾

Los beneficios que se han logrado con estos cambios en el Sector Eléctrico, uno de los sectores más avanzados, han sido el contar con productos e instalaciones más seguras, eficientes y confiables y el fortalecimiento de la estructura de la normalización y de la evaluación de la conformidad.

3.1.1 NORMALIZACIÓN

En el marco de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se contemplan tres tipos de normas: Las normas oficiales mexicanas “NOM’s”, las normas mexicanas “NMX” y normas o lineamientos internacionales.

Algunos tipos de normas oficiales mexicanas “NOM” que se expiden actualmente por las dependencias de gobierno son:⁽¹⁾

- NOM de seguridad de producto
- NOM de eficiencia energética y térmica
- NOM de instalaciones (a gas, eléctricas, etc.)
- NOM de información comercial

Algunos ejemplos de los tipos de normas mexicanas “NMX” que son emitidas por los organismos nacionales de normalización son:⁽¹⁾

- NMX de especificaciones.
- NMX de calidad
- NMX de funcionalidad
- NMX de métodos de pruebas.

Actualmente el Sistema Nacional de Normalización está a cargo de la Comisión Nacional de Normalización y se puede considerar enmarcado en dos grandes esquemas: por una parte por el sector público, a través de las secretarías de estado y mediante los Comités Consultivos Nacionales de Normalización que expiden normas oficiales mexicanas y por el sector privado, a través de los Comités Técnicos de Normalización que expiden normas mexicanas.

Indistintamente, los normalizadores son personas expertas representantes de los diversos sectores que forman la sociedad en México y dentro de los que destacan los industriales, los usuarios, los consumidores, la Administración Pública, los Centros de Investigación, los profesionales y expertos, entre otros, para lo cual se debe tener un conocimiento profundo de nuestros productos, tecnologías, prácticas y definición de las características técnicas deseables, sin dejar de considerar el análisis de las especificaciones,

tecnologías, prácticas y requerimientos de otros mercados (Normas Internacionales, como ISO y CEI).

3.1.2 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La actual Ley Federal Sobre Metrología y Normalización hace referencia a detalle sobre los procesos de “Evaluación de la Conformidad” y los define como la determinación del grado de cumplimiento con las Normas Oficiales Mexicanas o la conformidad con las Normas Mexicanas, las Normas Internacionales u otras especificaciones, prescripciones o características. La evaluación de la conformidad comprende, entre otros, los procedimientos de muestreo, prueba, calibración, certificación y verificación. ⁽¹⁾

3.1.3 PRUEBAS DE LABORATORIO

Paso seguido a la formulación y expedición de las normas y previo a la certificación, continúan las pruebas de laboratorio que son ensayos que se realizan a muestras representativas de productos sujetos a las normas correspondientes, dichos ensayos se realizan en laboratorios acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) y bajo el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Prueba, SINALP.

Los laboratorios para ser acreditados deben demostrar que cumplen con la norma NMX-CC-13 “Criterios generales para la operación de laboratorios de pruebas”. Algunos de estos criterios que se deben cumplir son: tener instalaciones adecuadas, personal calificado, métodos de prueba confiables, instrumentos calibrados con trazabilidad al Centro Nacional de Metrología, CENAM y contar con un sistema de calidad, entre otros. ⁽¹⁾

3.1.4 CERTIFICACIÓN

La certificación tal y como está definida en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, es un procedimiento por el cual se asegura que un producto, proceso, sistema o servicio se ajusta a las normas o lineamientos internacionales.

La certificación en un contexto global se puede considerar de tres tipos:⁽¹⁾

- Certificación de primera parte. Es la declaración de un proveedor de un bien o un servicio, de que este cumple con cierta normativa y dicha declaración es comúnmente hacia su cliente directo.
- Certificación de segunda parte. Es la constatación del cumplimiento de un bien o servicio que realiza por lo común un cliente o comprador a su proveedor.
- Certificación de tercera parte. Es la declaración de la evaluación de la conformidad de un producto, bien o servicio que emite un organismo de tercera parte y es un servicio que se da a cualquier persona que lo solicite.

3.1.5 VERIFICACIÓN

Posterior a la comprobación del cumplimiento con especificaciones (certificación), es necesario verificar la continuidad de ese cumplimiento, siendo la constatación ocular o

comprobación mediante muestreo, medición, pruebas de laboratorio, o examen de documentos que se realizan para evaluar la conformidad en un momento determinado. ⁽¹⁾

3.1.6 ¿CÓMO SE ASEGURA LA CONFIANZA EN LA CERTIFICACIÓN?

Se requiere tener una infraestructura completa para la evaluación de la conformidad, partiendo de la emisión de normas, teniendo laboratorios de pruebas y de calibración acreditados, organismos de certificación y unidades de verificación también acreditados. Todos ellos reuniendo la experiencia y el conocimiento necesarios, actuando con transparencia e imparcialidad y con la participación activa de todos los interesados. ⁽¹⁾

3.2 NORMAS NACIONALES APLICABLES A LFC's, LUMINARIOS E ILUMINACIÓN

Uno de los medios efectivos para impulsar el ahorro de energía eléctrica es la emisión de Normas Oficiales Mexicanas; las cuales, una vez publicadas en el Diario Oficial, tienen el carácter de obligatorias en todo el país.

Además de los beneficios directos al consumidor, en materia de ahorro de energía eléctrica las normas tienen un efecto directo sobre la eficiencia de sistemas, procesos, materiales y dispositivos. En éste sentido, la normalización es una herramienta clave en la modernización de la planta industrial de nuestro país.

Para la realización del presente trabajo, se considero la siguiente Normatividad:

- NOM-017-ENER-1997. Eficiencia Energética de las LFC's. Límites y Métodos de Prueba.
- NOM-058-SCFI-1999. Productos Electrónicos–Balastos para Lámparas de Descarga Eléctrica en Gas.
- NOM-064-SCFI-2000. Productos Eléctricos-Luminarios para Uso en Interiores y Exteriores.
- NOM-025-STPS-1999. Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo.

La **NOM-017-ENER-1997** tiene por objeto fijar los límites mínimos de eficacia de las LFC's con potencias de hasta 28 W y de los balastos con que operan. Con esto, se atiende a la necesidad de comercializar productos que propicien el uso eficiente de energía, además de favorecer el ahorro de energéticos a efecto de preservar los sistemas ecológicos y los recursos naturales de la nación. ⁽²⁾

Aplica a LFC's de cátodo caliente encendido por precalentamiento, con interruptor automático integrado (arrancador) y con sistema modular, así como a los balastos electromagnéticos para estas lámparas, que son comercializados en la República Mexicana, en tensiones de 120, 127 y 220 V de corriente alterna y frecuencia de 60Hz. ⁽²⁾

Las lámparas probadas con balastro patrón deben tener como mínimo una eficacia, que corresponda a lo establecido en la tabla 3.1.

No se aplica a lámparas de colores, especiales de radiación ultravioleta, con encendido electrónico o que no cuentan con interruptor automático integrado. ⁽²⁾

DESIGNACIÓN	POTENCIA NOMINAL (W)	TENSIÓN NOMINAL DE OPERACIÓN (V)	CORRIENTE NOMINAL DE OPERACIÓN (mA)	BASE	BULBO	EFICACIA MÍNIMA (lm/W)
5W/5T4/T/G23/PH	5	38	180	G23	T-4	38
7W/5T4/T/G23/PH	7	45	180	G23		50
9W/6T4/T/G23/PH	9	59	180	G23		55
13W/7T4/T/GX23/PH	13	59	285	GX23		52,5
9W/4T4/Q/G23-2/PH	9	59	180	G23-2		51
13W/5T4/Q/GX23-2/PH	13	59	285	G23-2		52
18W/7T4/Q/G24/PH	18	100	220	G24d-2		60,5
26W/8T4/Q/G24/PH	26	105	325	G24d-3		61,5

Tabla 3.1 Límites de Eficacia Para las LFC's

Fuente: NOM-017-ENER-1997⁽²⁾

Nota.- Los valores de potencia, tensión y corriente nominal se especifican sólo para identificar el tipo de la lámpara que se trata.

Los balastos deben tener como mínimo un factor de eficacia de balastro (BEF) y un factor de balastro (BF) de acuerdo a lo establecido en la tabla 3.2.

POTENCIA NOMINAL DE LA LÁMPARA QUE OPERA (W)	BF MÍNIMO (%)	BEF MÍNIMO
7	92,5	9,00
9		7,80
13		5,10
18 (108 V OCV)		4,00
18 (198 V OCV)		3,30
26		2,50

Tabla 3.2 Límites de Eficacia de Balastos

Fuente: NOM-017-ENER-1997⁽²⁾

La **NOM-058-SCFI-1999** establece las especificaciones de seguridad que deben cumplir los balastos para lámparas de descarga eléctrica en gas, con el propósito de prevenir y eliminar los riesgos para la incolumidad corporal de los usuarios y para la conservación de sus bienes. ⁽³⁾

La **NOM-064-SCFI-2000** establece los requisitos de seguridad y los métodos de prueba aplicables a los luminarios para interiores y exteriores. ⁽⁴⁾

La **NOM-025-STPS-1999** establece las características de iluminación en los centros de trabajo con el fin de cuidar la salud de los trabajadores al realizar sus actividades. ⁽⁵⁾

Los niveles mínimos de iluminación que deben presentarse en el plano de trabajo, según el tipo de tarea visual, son los establecidos en la tabla 3.3.

3.3 OTRAS NORMAS A CONSIDERAR (NACIONALES E INTERNACIONALES)

- NOM-024-SCFI-1998. Información Comercial Para Empaques, Instructivo y Garantía de los Productos Electrónicos, Eléctricos y Electrodomésticos.
- NOM-008-SCFI-2002. Sistema General de Unidades de Medida.
- NOM-003-SCFI-2000. Productos Eléctricos-Especificaciones de Seguridad.
- NMX-J-156-1994-ANCE. Productos Eléctricos-Balastos Electromagnéticos Para Lámparas Fluorescentes-Calidad y Funcionamiento.

- NMX-J-295-1999-ANCE. Productos Eléctricos-Lámparas Fluorescentes Para Alumbrado General.
- ANSI C78.5-1997. Especificaciones Para el Desempeño de Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastradas.
- IES LM-66-00. Método Aprobado Para las Mediciones Eléctricas y Fotométricas de Lámparas Fluorescentes Compactas.

TAREA VISUAL DEL PUESTO DE TRABAJO	ÁREA DE TRABAJO	NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN (LUX)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble e inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies, y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabado con pulidos finos.	Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Áreas de proceso de gran exactitud.	2,000

Tabla 3.3 Niveles Mínimos de Iluminación
Fuente: NOM-025-STPS-1999⁽⁵⁾

3.4 SELLO FIDE ⁽⁶⁾

El Sello FIDE (figura 3.1) es un programa mexicano de Identificación Voluntaria de productos eficientes sobresalientes en el ahorro de energía eléctrica a los que, después de comprobar su alto nivel de eficiencia, se otorga una licencia para portar dicho sello.



Figura 3.1 Sello FIDE
Fuente: FIDE ⁽⁶⁾

Los beneficios que tiene el Sello FIDE en el caso del fabricante, es que puede ser utilizado con fines de mercadotecnia y propaganda de sus productos. Los beneficios para el consumidor al adquirir productos con Sello FIDE, es que podrán reducir el pago por consumo de energía eléctrica, mejorando así su economía.

Por otro lado, el Sello FIDE pretende concientizar a la población sobre el mejor aprovechamiento de la energía eléctrica mediante la creación de una cultura energética en la compra y uso de productos ahorradores de energía eléctrica, así como en reducir la emisión de gases contaminantes al ambiente, como consecuencia de un menor consumo de combustible por las plantas generadoras de energía eléctrica.

Para información sobre el otorgamiento del Sello FIDE puede consultar la red mundial de información www.fide.org.mx en donde se indican el procedimiento a seguir.

IV. CRITERIOS GENERALES DE APLICACIÓN

La idea de sustituir lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas (LFC's) ha sido el motor principal para el desarrollo de los sistemas fluorescentes de iluminación que hoy en día, gracias a la reducción del tamaño de sus lámparas y a las diversas tecnologías que emplean para producir una buena calidad de luz a bajos costos, vemos empleados en proyectos de ahorro de energía eléctrica obteniendo buenos resultados.

México es un país que debe continuar difundiendo una cultura energética entre los millones de usuarios que diariamente hacen uso de la energía eléctrica. El Fideicomiso para el Ahorro de Energía en México (FIDE) es un organismo de carácter privado no lucrativo, creado para promover acciones que induzcan y fomenten el ahorro y uso racional de la energía eléctrica, mediante el apoyo en la realización de proyectos demostrativos en el sector industrial, comercial y de servicios, utilizando productos de alta eficiencia energética e induciendo al cambio en los hábitos de consumo eléctrico en la población. En lo que respecta a LFC's, el FIDE, tan solo mediante sus diversos programas de alumbrado doméstico, ha logrado reemplazar a nivel nacional 8'554,196 lámparas incandescentes por LFC's ⁽⁹⁾, trayendo con ello un beneficio no solo a las familias que han participado en estos programas sino también al país entero. Los favorables resultados en proyectos a nivel nacional como los que lleva a cabo el FIDE o el proyecto ILUMEX, por ejemplo, son una muestra de lo que el interés de difundir dicha cultura energética se respalda con hechos.

Los criterios generales de aplicación para LFC's varían según el tipo de uso para el que se vaya a requerir. En este capítulo se comentan los diversos sectores donde las LFC's son ideales para obtener una buena iluminación y un ahorro económico al mismo tiempo, proponiendo una guía rápida de aplicaciones para que el usuario sea capaz de tomar una mejor decisión para elegir el tipo de LFC más adecuada a su necesidad sin tener que ser experto en el tema o contar con un amplio número de conocimientos al respecto.

4.1 COMPARACIÓN DE LFC'S CONTRA INCANDESCENTES

Aunque son muchos los métodos para producir luz artificial, hay uno que ha predominado ampliamente en todo el mundo desde hace más de 100 años: el incandescente.

La lámpara incandescente se compone de un filamento de alambre encerrado en una bombilla ó bulbo relleno de determinado gas ó simplemente al vacío (figura 4.1A). Desafortunadamente el 80%⁽²⁾ la energía eléctrica que se le aplica, es disipada al medio en forma de calor y el resto se convierte en energía luminosa (figura 4.1B).

La figura 4.1B muestra una termografía realizada a una lámpara incandescente (izquierda) y a una LFC (derecha), pudiendo determinar que una LFC convierte en luz el 22% de la energía que consumen, el 36% es radiación infrarroja y el 42% es calor que se va al medio a diferencia de las lámparas incandescentes donde el 95% de la energía que consumen es calor y el 5% es luz tal como se ve en la figura. Esta es una razón importante para usarlas en lugares donde se emplean sistemas de aire acondicionado, pues al disminuir el calor en el ambiente, los equipos de aire acondicionado trabajan menos disminuyendo con ello su carga de trabajo.



Figura 4.1A Lámpara incandescente
Fuente: Advance Tranformer Co.

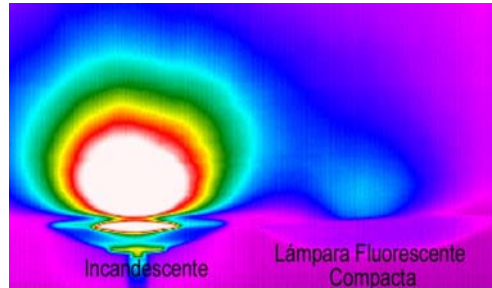


Figura 4.1B Termografía, Lámpara Incandescente vs LFC
Fuente: Advance Tranformer Co.

En los hogares, la iluminación representa más de la tercera parte del consumo energético total. La mayoría de los hogares en México emplean iluminación incandescente, incrementando así, la cantidad de dinero que pagan en su recibo de consumo mensual.

En los capítulos anteriores se ha hablado del sistema fluorescente de iluminación; por lo que, para reducir el consumo de energía eléctrica y ahorrar dinero existe la propuesta de sustituir las lámparas incandescentes por LFC's que, a pesar de ser más caras, consumen aproximadamente cuatro veces menos energía al convertir el 80% en luz y sólo el 20% en calor⁽²⁾, produciendo el mismo ó, un mayor flujo luminoso que los focos incandescentes (tabla4.1)⁽¹⁾ además de durar hasta diez veces más que éstos (figura 4.2).



Figura 4.2 LFC vs Incandescente
Fuente: Philips

Lámparas Incandescente Clásica A19		Lámpara Fluorescente Compacta con Base E26-E27	
Potencia	Flujo Luminoso [lm]	Potencia	Flujo Luminoso [lm]
25	260	5	235
40	490	7	400
60	820	8	420
75	1,070	9	580
100	1,560	11	600
		13	800
		15	925
		20	1,280
		23	1,580

Tabla 4.1 LFC vs Incandescente (Relación de Potencias y Flujo Luminoso)
Fuente: Catálogo OSRAM y catálogo Philips⁽¹⁾

Para ver de una manera más clara el ahorro que representan las LFC's, en la tabla 4.2 se muestra un ejemplo del ahorro obtenido al reemplazar una lámpara incandescente de 60W por una LFC de 15W con las siguientes características: marca Osram con balastro

electrónico integrado de bajas armónicas y sin flicker, con base E26, temperatura de color (TCC) de 2,700 K, índice de rendimiento de color (IRC) de 82, vida útil de 10,000 hrs, 120V, frecuencia de 60 Hz fabricada en Alemania.

CONCEPTO	LFC	INCANDESCENTE
Consumo	15 W	60 W
Flujo Luminoso	925	820
Vida de la Lámpara	10,000 hrs	1,000 hrs
Precio de Compra	\$110	\$3.00
Costo kW/hr *	\$0.541	\$0.541
Costo de lámpara para 10,000 hrs	\$110	\$3.0 x 10 = \$30
Costo de la Energía	$10,000 \times 15 \times 0.541$	$10,000 \times 60 \times 0.541$
	1,000	1,000
	=\$81.15	=\$324.60
Costo de Sustitución	\$110.00	\$30.00
Costo Total	$\$81.15 + \$110 = \$191.15$	$\$324.60 + \$30 = \$354.60$
Ahorro Total de:	$\$354.60 - \$191.15 = \$163.45$	
Plazo de Amortización	$\$110 - \$30 \times 10,000 / \$163.45 = 4,894 \text{hrs}$	

* Tarifa eléctrica 1 de uso residencial con un uso no mayor a 75 kW/hr; Junio 2004.

Tabla 4.2 Ahorros de una LFC vs Incandescente

Fuente: Philips ⁽²⁾

Nota: El costo de la lámpara fue tomado de la tienda de autoservicio Comercial Mexicana en el mes de Junio del 2004.

De la tabla 4.2 se observa que la LFC ofrece, en relación con la incandescente, un ahorro del 75%, un incremento de flujo luminoso cerca del 13% y una duración de 8 a 10 veces más. Por otro lado, al hacer el análisis económico se ve que, efectivamente, en un principio se necesita una inversión alta para la adquisición de la LFC, no obstante, la inversión realizada en la compra de la LFC se recupera aproximadamente a la mitad de su vida.

Cabe señalar que el plazo de amortización es alto debido a que se está considerando una lámpara de alta calidad y de buen desempeño. Es importante mencionar que, si se adquiriera una lámpara de calidad media (costo de compra más económico), los ahorros se elevarán un poco y en consecuencia la recuperación de la inversión será un poco más rápida; no obstante, se corre el riesgo de que la LFC pueda fallar de un momento a otro debido a que la calidad de los materiales es mucho menor, siendo por lo general proporcional al costo de la misma, lo que incrementa la probabilidad de fallar y en un momento dado, el hecho de ni siquiera poder recuperar la inversión de la(s) LFC('s). A fin de cuentas, la decisión de la(s) LFC ('s) a emplear la toma el usuario.

4.2 APLICACIÓN DE LAS LFC's

Existen diversos criterios para determinar la conveniencia o no de realizar un cambio. El más simple, dice que conviene comenzar por aquellas lámparas más potentes y que permanezcan encendidas durante más horas al día. En general, las LFC's son aplicables en aquellos casos en los que existen incandescentes ó fluorescentes convencionales de baja potencia. Puede usarse en una gran cantidad de aplicaciones, ya sean del tipo:

- Residencial
- Comercial
- En Nuevas Construcciones, ó
- En Remodelaciones (Retrofits)

Por otro lado, se puede elegir en diferentes tonalidades de color que pueden ser tanto luz cálida que se asemeja a luz incandescente (2,700K) que tiene aplicaciones en donde se desea una tonalidad más amigable, tales como restaurantes, hoteles, residencias, etc. la luz fluorescente fría (4,100K) encuentra mayores aplicaciones dentro de tiendas departamentales, oficinas, hospitales, áreas de circulación y de trabajo donde se busca un ambiente de frescura y limpieza.

4.2.1 APLICACIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL

El enorme consumo de energía eléctrica en inmuebles residenciales representa una importante área de oportunidades para ahorro, siendo la sustitución de lámparas incandescentes por LFC's una excelente alternativa. El uso de luminarios con LFC's es especialmente recomendable en cuartos como cocinas y salas, donde la alta salida de luz y el alto rendimiento de color hacen muy atractiva su aplicación (figura 4.3).

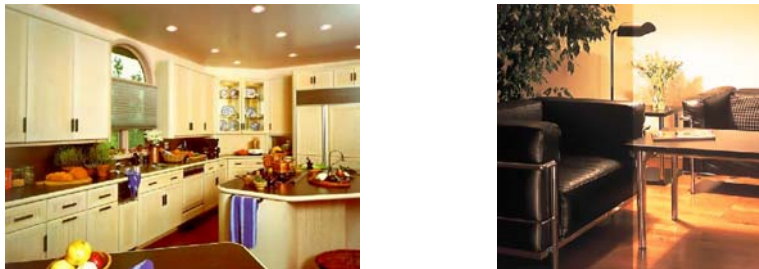


Figura 4.3 Aplicación de las LFC's en el Sector Residencial
Cocina con LFC's de 4,100 K (Izq.) y Sala con LFC de 2,700 K (Der.)
Fuente: Osram

La variedad de LFC's ayuda a poder iluminar una residencia con varios tipos de lámparas dando con ello una diversidad en tonos de luz, por ejemplo, las LFC's con difusor tipo globo con potencias alrededor de 23W cuya temperatura de color sea cálida, son ideales para áreas como recámaras, sustituyendo con ello a los focos incandescentes de 100W, mientras que las lámparas sin difusor, ya sea en forma helicoidal o de dos o tres tubos con potencias entre 5 y 11W también cálidas, pueden emplearse en lámparas de mesa o escritorio reemplazando a los focos de 20 y 40W. En comedores y cocinas existen también diversas opciones, donde el gusto del usuario es el que determinará las LFC's a emplear, pues hay quienes prefieren usar luz fría para dar un ambiente de mayor frescura y quienes prefieren nuevamente la luz cálida con el fin de no notar la diferencia entre el color cálido de las LFC's y los focos incandescentes (figura 4.4), aunque lo importante de todo es que, sea cual sea la elección de LFC, el ahorro que representa a la economía familiar es siempre favorable.

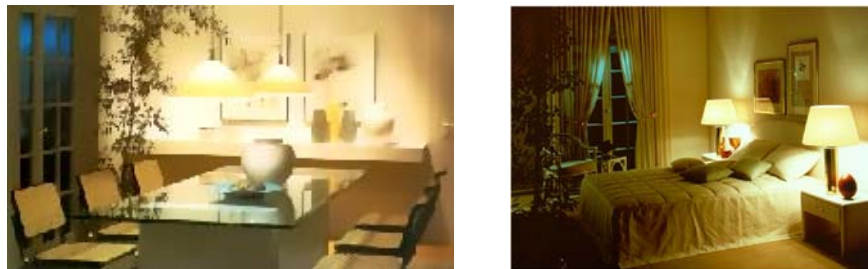


Figura 4.4 Aplicación de las LFC's en Comedor y Recamara con TCC de 2,700 K
Fuente: Osram

Otro uso de las LFC's es en general en interiores y en luminarios cerrados (figura 4.5). Su larga vida también las hace recomendables para lugares en donde el mantenimiento llega a ser complicado.



Figura 4.5 LFC en un Luminaria Cerrado
Fuente: Philips-Construlita

Cuando los equipos con balastos electromagnéticos se usan en aplicaciones residenciales, las cualidades como alta eficiencia y larga vida pueden perderse por la desventaja de producir alto ruido y flicker en el arranque. En muchas aplicaciones residenciales esta operación es intolerable. Por lo que, lo más recomendable es emplear LFC's integradas, donde el reemplazo por las incandescentes no requiere ningún tipo de cambio en la instalación eléctrica ya que todas ellas cuentan con la misma base tipo rosca (E26).

4.2.2 APLICACIONES EN EL SECTOR COMERCIAL

Hay cuatro funciones que desempeña la iluminación en los establecimientos comerciales que contribuye directamente en la visión de la mercancía. Estas funciones de una buena iluminación son:

1. Asegurar buena visibilidad de la mercancía.
2. Lograr que los colores de las mercancías se vean reales.
3. Aumentar la brillantez hacia el foco de atención haciéndolo interesante.
4. Minimizar el brillo directo que distrae y molesta.

Estos factores están íntimamente relacionados y deben estudiarse cuidadosamente en la planeación o remodelación de un local.

Con lo anterior, la iluminación comercial representa la mejor aplicación para las LFC's. Los luminarios pueden incorporarse fácilmente a los diseños de iluminación proporcionando ventajas estéticas y energéticas. Actualmente es posible realizar un diseño de primer nivel usando LFC's en lugar de la mayor parte de las incandescentes empleando luminarios empotrados en los pasillos de centros comerciales así como en el interior sus tiendas, donde los tiempos en los que requieren mantener iluminadas sus áreas son muy largos, un ejemplo de ello son los centros comerciales que por lo general son techados y requieren iluminación en los pasillos por lapsos mayores a 10hr, así como las tiendas y comercios establecidos dentro de las mismas (figura 4.6).

En este tipo de casos, los sistemas modulares o dedicados resultan una mejor opción que los sistemas integrales, pues los gastos de mantenimiento se reducen al no tener que reemplazar el conjunto lámpara-balastro cuando alguno de ellos llega a fallar o a culminar

con su vida útil. Pudiendo adaptar en éste tipo de áreas, sistemas donde un mismo balastro alimenta a dos o tres LFC's.



Figura 4.6 Aplicación de las LFC's en el Sector Comercial
Fuente: Osram

En restaurantes y lugares de esparcimiento en general la mayor parte de las áreas de circulación y otros espacios públicos pueden iluminarse con LFC's, excepto cuando las alturas de montaje sean muy altas y por tanto sea mejor emplear lámparas de alta intensidad de descarga (HID) de baja o mediana potencia.



Figura 4.7 Aplicación de LFC's en una Casa Club
Fuente: Fotografías de una Casa Club

En este tipo de lugares los luminarios juegan también un papel muy importante, por ejemplo, en los restaurantes se pueden emplear luminarios empotrados que no aporten gran decoración al diseño del inmueble o bien, luminarios más estéticos que pueden ser candiles que penden del techo, luminarios de sobreponer (figura 4.7) o arbotantes fijos a las paredes

En museos o lugares donde monten exposiciones, la iluminación de acento y el ahorro que las LFC's pueden dar son una buena opción para contrarrestar los largos periodos de tiempo en los que se requiere de la iluminación artificial (figura 4.8).

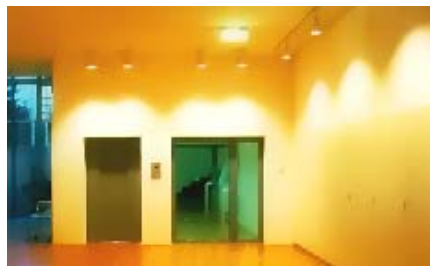


Figura 4.8 Aplicación de LFC's para Iluminación General
Fuente: Osram

En el diseño de iluminación para oficinas, lugares de lectura y escuelas, es importante estudiar los niveles de iluminación al sustituir lámparas incandescentes por LFC's para evitar la vista cansada en las personas frecuenten esos lugares, lo más común en éste

tipo de espacios es el uso de LFC's modulares de luz fría (3,600 a 4,900K), lo que se asocia a un ambiente de trabajo dinámico, por lo que este tipo de luz se recomienda también en lugares como gimnasios o donde se realicen actividades físicas (figura 4.9).



Figura 4.9 Aplicación de las LFC's en Oficinas
Fuente: Osram

4.2.3 APLICACIONES DE LAS LFC's EN EXTERIORES

Para la instalación de LFC's en exteriores hay que tomar previamente algunos factores:

- Agentes atmosféricos
- Temperaturas extremas (altas y bajas)
- Agresiones vandálicas
- Influencia de instalaciones colindantes

Todos estos factores, son causa del rápido y progresivo deterioro de los sistemas de iluminación. Una recomendación importante para garantizar un flujo luminoso constante en amplios rangos de temperatura ambiente, es el uso de LFC's con tecnología de amalgama.

En jardines se puede recomendar el uso de LFC's de 15 y 18 W las cuales sustituyen a las lámparas convencionales de 60 y 75 W con una presentación de luz cálida (2,700K) y una excelente reproducción de color de 82. Son ideales para permanecer encendidas durante toda la noche resultando económicas y brindando seguridad al mantener iluminados los pasillos y/o corredores de un lugar. Al estar expuestas a la intemperie, éstas deberán contar con una cubierta traslúcida (figura 4.10) para evitar el deslumbramiento ayudando además a proteger a la LFC de la humedad y el polvo, por lo que es poco recomendable el uso de LFC's desnudas en lugares que no cuenten siquiera con un techo para protegerlas.

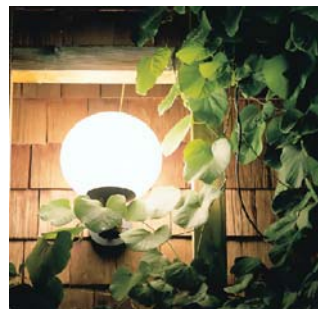


Figura 4.10 Aplicación de las LFC's en Exteriores
Fuente: Osram

4.2.4 APLICACIÓN DE LAS LFC's EN NUEVAS CONSTRUCCIONES Y REMODELACIONES

La crisis energética que se produjo en Europa durante la década de los sesenta motivó a ingenieros y arquitectos a idear una forma de edificación que considerara el ahorro de energía. De esta manera, se buscó la construcción de edificaciones que emplearan la energía mínima necesaria para operar y con el paso del tiempo se logró incorporarles servicios que optimizan su funcionalidad⁽⁴⁾.

Actualmente, el empleo de la más alta tecnología en edificaciones, hace de estas, edificaciones inteligentes; es decir, edificios que, a base de una central inteligente (generalmente una PC) controla básicamente todos los sistemas instalados para reducir el consumo de energía y aumentar el confort⁽⁵⁾.

Un inmueble inteligente ayuda a:

- Disminuir el gasto energético para cuidar el medioambiente y ahorrar dinero.
- Aumentar el confort y la tranquilidad al saber que los sistemas con los que cuenta funcionan de la manera más óptima.
- Facilitar la organización de la vida cotidiana.
- Aumentar la seguridad y mejorar la estancia de discapacitados y personas de la tercera edad.

En lo que a iluminación compete a éstos inmuebles, dada la flexibilidad de los sistemas actuales, se puede iniciar con la simple automatización de, por ejemplo, un circuito de iluminación y posteriormente expandirlo poco a poco hasta tener un sistema completo. En la mayoría de los casos, los propietarios suelen inclinarse por esta opción, para así experimentar los beneficios del sistema y luego completarlo.

Una recomendación para lograr una iluminación eficiente en nuevas construcciones, es evitar en lo posible la instalación de luminarios que empleen sockets, colocando en su lugar luminarios diseñados para LFC's modulares para evitar su reemplazo al llega al fin de su vida útil, por un foco tradicional incandescente tipo A19 (figura 4.11),

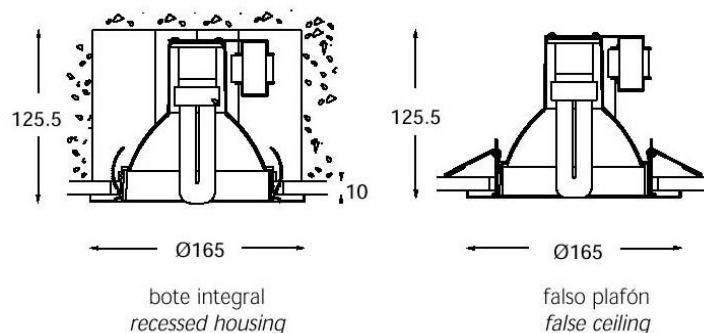


Figura 4.11 Aplicación de las LFC's en Sistemas Dedicados
Fuente: Philips-Construlita

Tal como se vio en el Capítulo I; actualmente las LFC's ya no tienen en su contra las grandes dimensiones que tenían en un principio, razón por la cual fueron rechazadas para la sustitución de la lámpara tradicional incandescente (A19) por varios años. Por lo que, el avance en las tecnologías que emplean han dado como resultado la comercialización de varios modelos cuyos tamaños son muy parecidos a los de los focos A19 e incluso menores a éstos.

4.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LFC's

Ventajas

- Las LFC's comparadas con las incandescentes es que consumen de 75 a 80% menos energía, brindando la misma o una mayor cantidad y calidad de luz, cabe agregar que también se reduce la emisión de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera ya que se dejan de quemar miles de toneladas de combustible fósil (carbón y combustibles) con el que se genera la mayor cantidad de energía eléctrica (Capítulo I).
- Tienen una duración de 8 a 10 veces mayor que las lámparas incandescentes, es decir, tienen una vida promedio de 10, 000 horas, con esto se aumenta el tiempo de reemplazo lo cual nos lleva a que se tengan bajos costos de mantenimiento, especialmente en lugares de difícil acceso.
- En las LFC's se tiene la posibilidad de escoger en distintas temperaturas de color, como son el blanco cálido (2,700K), blanco frío (4,100K), luz de día (6,500K) y colores como rojo, verde, azul y lámparas de luz negra. Ampliando así el uso en casi cualquier aplicación.
- A lo largo de su vida útil, el ahorro en la factura eléctrica compensa, al menos, su costo inicial.
- Tiene eficacias que van desde los 50 hasta los 82lm/W que en las incandescentes que es de 8 a 20lm/W; dicho de otra manera, dan más o la misma luz pero con menos consumo de energía.
- Las LFC's integradas que incorporan un balastro electrónico, proporciona un arranque suave, bajo la forma de un diseño convencional. Se utilizan de forma general en casas habitación, en la oficina, en la industria y en la hotelería.
- Existe en el mercado una amplia gama de luminarios específicos para LFC's con casquillo E26 ó E27, por lo que su reemplazo no requiere de un cambio en la instalación eléctrica cuando se emplean LFC's integrales o modulares.
- Las lámparas ahorradora de energía son de un diseño y tecnología de vanguardia, con un tamaño tan reducido que igualan o se acercan a las dimensiones de las lámparas incandescentes, lo cual da muchas posibilidades de aplicación debido a la amplia gama disponible, una solución para casi cualquier proyecto de iluminación.

Desventajas

- Tienen un costo inicial elevado en comparación a los focos A19, lo que complica la rentabilidad en aplicaciones con pocas horas de utilización.
- No se recomiendan en lugares donde se lleven a cabo un gran número de encendidos y apagados, pues el material emisor de los cátodos se desgasta rápido de esa manera.

- No todas pueden emplearse con dimmers o reguladores de flujo.
- Una limitación de las LFC's, es que no deben emplearse en instalaciones cuya altura de montaje sea mayor a 4m, de lo contrario, su calidad lumínica se ve afectada (disminuye).
- Una LFC en servicio deja de consumir aproximadamente el 80% de la potencia activa que consume un foco incandescente. Las LFC's integrales tienen un factor de potencia que oscila entre 0.5 y 0.6 atrasado, por lo que se les tiene que suministrar adicionalmente una potencia reactiva de aproximadamente el 150% de la potencia activa de la LFC. Por ejemplo, a una LFC de 15W con un FP de 0.55 atrasado se le tiene que suministrar 22.8 VAR de potencia reactiva adicionales (figura 4.12), los cuales deberán ser transmitidos desde la central generadora hasta la carga, produciendo pérdidas de energía y disminuyendo además la capacidad útil de las instalaciones por las que fluyen. Es difícil conseguir un alto FP y una reducción de sus armónicos, por las limitaciones de peso, volumen y costo en este tipo de lámparas. En las LFC con balasto electrónico no incorporado, el factor de potencia se aproxima a la unidad.

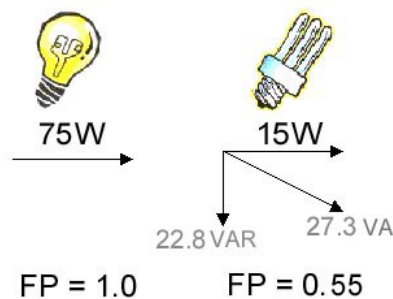


Figura 4.12 Comparación del FP, incandescente vs LFC.
Fuente: PAESE

4.4 COMPARACIÓN ENTRE LFC's

Como ya se ha comentado, la gran variedad de LFC's en la actualidad es muy amplia, la evolución que éstas han tenido (Capítulo I) permite, hoy en día, poder elegir entre una gran cantidad de marcas y modelos escogiendo así, la LFC más adecuada según la aplicación en la que se vaya a emplear.

Para uno como usuario es difícil elegir ante la diversidad de LFC's, de modo que al ver en las tiendas de autoservicio anaqueles llenos de productos de iluminación fluorescente compacta es fácil perderse o confundirse empezando por la variedad de marcas. Para evitar esto, simplemente hay que recordar que una LFC puede tener equivalentes bajo diferentes nombres dependiendo de su fabricante.

En la tabla 4.3 se muestran las líneas Dulux, Biax y PL de las marcas Osram/Silvana, GE y Philips respectivamente, con el objetivo de identificar las equivalencias que existen entre LFC's independientemente de la marca que sean. A pesar del gran número de fabricantes que existen en la actualidad, cabe aclarar que las marcas que se eligieron para someterse a comparación, fueron seleccionadas bajo el criterio de ser las pioneras en el desarrollo de la tecnología fluorescente a nivel mundial.


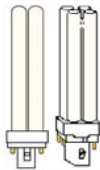

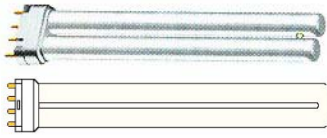



COMPARACIÓN ENTRE LFC'S DE TRES DIFERENTES MARCAS			
	OSRAM/SYLVANIA (DULUX)	GE (BIAX)	PHILIPS (PL)
	DULUX S	BIAX	PL-S
	DULUX D, D/E	Double BIAX	PL-C
	DULUX T, T/E	Triple BIAX	PL-T
	DULUX F	---	---
	DULUX L	High Lumen LBX BIAX (alta luminosidad)	PL-L
	DULUX EL	LFC's Electrónicas Autobalastadas (Antes Compax)	Marathon, SLS y PLEU-Universal, Reflector, Twister, Gennie
	DULUX EL Classic, EL Globo,	FLG/E, FLG, FLB	Deco Globo, Ambiance, SLE/ Prismática, EL/O Outdoor
	---	2D	---

Tabla 4.3 LFC's de diferentes marcas equivalentes en características de uso.
Fuente: Osram/Sylvania, Philips Lighting, GE Lighting

4.5 GUÍA RÁPIDA DE APLICACIONES

La tabla 4.4, muestra una propuesta de aplicaciones para las LFC's tanto en exteriores como en interiores. Es importante considerar que ésta guía solo ayuda a brindar una idea general de las aplicaciones de cada tipo de LFC's, por lo que debe complementarse revisando la ficha técnica de cada LFC y el luminario a emplear, a fin de obtener mejores resultados si lo que se desea es seleccionar la mejor opción según el sector donde se vayan a emplear.

GUÍA RÁPIDA DE APLICACIONES























	 Lámparas de mesa	 Interiores Abiertos	 Sockets	 Espacios Limitados	 Interiores Cerrados	 Abajo de Gabinetes	 Señales	 Riel	 Empotrado	 Exteriores Cerrados	 Luminarios 2x2ft	 Luminarios 1x1ft	 Reflectores	 Exteriores Cubiertos	 Dimmers
 Tubo Gemelo	+(I)	+(I)	+(I)	+	+(II)	+(I)	+(II)	+(I)	++	+(II)	-	-	+	+(I)	-
 Cuatro Tubos	+(I)	+(I)	+(I)	+	+(II)	+(I)	+(II)	+(I)	++	+(II)	-	-	+	+(I)	++
 2D	+(I)	+(I)	+(I)	+	+	++	++	-	-	+	++	++	+(I)	++	++
 Alta Luminosidad	-	-	-	++	+	+	++	-	+	+	++	++	++	++	++
 ELTN autobalastada	++	++	++	-	+(II)	-	-	+	++	+(II)	-	-	-	-	+(III)
 ELTN con reflector	-	+	++	-	-	-	-	++	++	-	-	-	-	-	-
 ELTN con difusor	+	++	++	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.4 Recomendación de aplicaciones para cada tipo de LFC

Fuente: Osram/Sylvania, Philips Lighting, GE Lighting

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - No debe emplearse para esa aplicación + Buena elección ++ Muy buena elección | <ul style="list-style-type: none"> (I) Que cuente con base tipo rosca (E26) (II) Preferentemente que cuente con tecnología de amalgama para brindar un mejor desempeño (III) No todas las LFC's de este tipo pueden ser dimmeables (ver sus especificaciones) |
|--|--|

4.5.1 RECOMENDACIONES PARA SU USO ADECUADO

La iluminación representa una tercera parte del consumo de energía en el hogar (cuando no existe aire acondicionado) y, por ende, de lo que se paga en la factura eléctrica. ¿Cómo se puede reducir el consumo de energía eléctrica en iluminación sin prescindir de este importante servicio y, al mismo tiempo, ahorrar dinero? Para lograrlo, se pueden poner en práctica las siguientes recomendaciones:

- Antes de quitar o instalar cualquier lámpara ahorradora o foco, no hay que olvidar bajar el interruptor general de la instalación eléctrica para evitar riesgos de choques eléctricos, también es importante esperar a que se haya enfriado lo suficiente para evitar quemaduras.
- Al instalar en el portalámparas la lámpara ahorradora, hay que sujetarla por la base y no por el tubo, girar sin forzarla demasiado para que se enrosque adecuadamente; hay que tener en cuenta que los tubos de cristal son muy frágiles. Para el caso de las lámparas modulares, hay que verificar que la base de la lámpara corresponda a la del balastro y que quede firme sujetadamente a presión.
- Las LFC's pueden verse afectadas en su ciclo de vida si se someten a encendidos y apagados de manera continua.
- Apague la luminaria cuando no la utilice. La iluminación representa una parte importante del consumo de energía en los hogares y por lo tanto del pago por consumo de energía eléctrica.
- Para tener siempre un buen nivel de iluminación, hay que limpiar los tubos de la lámpara ahorradora (no hay que olvidar que son muy frágiles) cuando menos cada seis meses o antes si se encuentran en zonas muy polvosas o sucias. Para limpiarlas hay que utilizar un paño limpio y seco.
- Para tener un mejor rendimiento de iluminación, ya sea en el hogar o en el comercio, procurar pintar los techos y paredes con colores claros.
- En pasillos, estacionamientos y en lugares poco concurridos, se pueden colocar LFC's
- Las LFC's pueden causar interferencia, siendo sólo aquellas que contengan balastro electrónico, con otros aparatos como radios, teléfonos, televisores o controles remotos, cuando esto ocurra, hay que conectar el o los aparatos en otro contacto eléctrico.
- A fin de evitar toda esta serie de pequeños desastres, vale la pena reemplazar las LFC's al final de la vida útil especificada por el fabricante y, a menudo, en el caso de instalaciones donde sea necesario mantener una buena calidad lumínica, hacerlo cuando la operación de los tubos alcance dos terceras partes de lo especificado por el fabricante. Esto debe hacerse sin importar el buen estado aparente de las LFC's, sin importar que aun puedan brindar luz por unos cuantas semanas (o meses) más.

4.6 MERCADO ACTUAL EN MÉXICO

Actualmente, en el mercado nacional existen aproximadamente 28 marcas de LFC's, desde las marcas más reconocidas hasta las de reciente incorporación al mercado, siendo la mayor parte de ella importadas, de las que se comercializan más de 250 modelos. Los modelos de estas LFC's se clasifican principalmente en lámparas que reemplazan focos de 40, 60, 75 y 100W.

Es importante considerar, además del tipo de área que se vaya a iluminar, aspectos como el color (cálido o frío), el tamaño, la forma (espiral, bala, circular, globo, entre otras), el consumo en watts y la calidad, ya que de estas características depende de su precio. De todos los modelos de LFC's que sustituyen a las lámparas incandescentes, solo el 28.5% de todas las ciudades en México cuentan con más del 57.5% de todos los modelos disponibles, mientras que en el 71.5% de las ciudades restantes, sólo se pueden encontrar a lo más el 42.5% de modelos, es decir, menos de la mitad. ⁽⁶⁾

En cuanto a la disponibilidad, las LFC's cada vez se encuentran a la venta en lugares más accesibles como los supermercados y tiendas de autoservicio.

4.7 PROGRAMAS DE AHORRO DE ENERGÍA EN MÉXICO

Como ya se ha mencionado, ahorrar energía es una forma clara de reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero en México, donde cerca del 75% de la energía primaria para producir la electricidad proviene de combustibles fósiles. ⁽⁷⁾ A su vez, ahorrar energía es, en muchos sentidos, algo muy simple, tanto como mover un interruptor o cambiar un foco. Sin embargo, para que un esfuerzo nacional de ahorro de energía tenga un impacto significativo y permanente, se requiere de millones de acciones que se apoyen de un conjunto de elementos que, integrados, hagan posibles grandes modificaciones en los patrones de consumo.

El Fideicomiso para el Ahorro de Energía en México (FIDE) se encarga, entre otras cosas, de promover programas de apoyo enfocados al ahorro de energía eléctrica en México, el tipo de programas que mantiene, apoyan tanto a la industria y al comercio nacional como a los pequeños y medianos usuarios, brindando financiamientos a proyectos que justifiquen un ahorro de energía en los diferentes sectores. En lo que compete a LFC's, el FIDE, a través de los programas de "Alumbrado Doméstico" y "Alumbrado Doméstico con Luz y Fuerza del Centro" han logrado reemplazar de manera conjunta 8'554,196 lámparas incandescentes por LFC's. El Programa de Alumbrado Doméstico, se realiza a través de 154 puntos de venta distribuidos en 130 ciudades de 25 estados del país, logrando la sustitución de 8'150,230 LFC's hasta el mes de mayo del 2004, con lo que se ha beneficiado a 1'481,860 familias; por su parte, el reciente programa de Alumbrado Doméstico con Luz y Fuerza del Centro mediante las 31 sucursales y agencias de Luz y Fuerza del centro en distintas ciudades de México y zona conurbana ha logrado comercializar 403,966 LFC's a la misma fecha ⁽⁹⁾.

Como se puede ver, en México existen programas que promueven el ahorro de energía en el país; ciertamente falta mucho por hacer, como el establecer programas de recuperación o reciclaje para lámparas fluorescentes en general (no solo LFC's) sin embargo, el hecho de realizar programas como éstos, donde las cifras respaldan el trabajo de toda una institución, habla de la preocupación por ahorrar energía en el país y de los pasos que ya han comenzado a darse. Otro ejemplo de programas en pro al ahorro de energía eléctrica a nivel nacional es el Programa ILUMEX.

4.7.1 PROGRAMA ILUMEX

Fue precisamente cuando hacia finales de 1991, que el Banco Mundial (BM) identifica a México como un país candidato, por sus niveles de consumo de electricidad pero principalmente por su alta dependencia en combustibles fósiles en la generación de electricidad, a utilizar fondos del Global Environmental Facility (GEF), creado recientemente para apoyar proyectos orientados a reducir emisiones de gases de efecto de invernadero. Esta iniciativa tuvo eco en la CFE llevando a cabo una serie de actividades sin precedente no sólo para la CFE sino también para el BM, que permiten que vaya adelante el llamado Proyecto de Uso Racional de Iluminación en México (ILUMEX).⁽⁷⁾

En abril de 1994 se da inició en nuestro país el más ambicioso proyecto mundial para la reducción de gases contaminantes precursores del calentamiento de la tierra, en los dos principales centros de consumo residencial atendidos por la CFE: las ciudades de Guadalajara, Jalisco y Monterrey, Nuevo León.⁽⁸⁾ La inversión inicial fue de 23 millones de dólares para este Proyecto Piloto de iluminación de alta eficiencia en México (Ilumex), se integró con donaciones de 10 millones del Fondo Global para el Medio Ambiente, tres millones del Reino de Noruega y una aportación de 10 millones de la propia CFE.⁽⁸⁾

La meta original del proyecto consistió en la sustitución de 1.7 millones de focos incandescentes por un número igual de LFC's, con lo cual se preveía un ahorro anual de 169 GWh y una reducción de la demanda en el periodo de punta de 100 MW.⁽⁸⁾

La operación de este proyecto estuvo a cargo de los Fideicomisos Filumex Jalisco y Filumex Nuevo León (figura 4.13), que concluyeron la promoción de 2.5 millones de LFC's en diciembre de 1998, beneficiando a 410 mil viviendas en los estados de Jalisco, Colima, Nayarit, Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas. En estas cifras se incluyen a los siete mil cuatrocientos trabajadores de CFE, quienes también adquirieron LFC's para sus hogares, demostrando así su espíritu de solidaridad con los objetivos de la nación.⁽⁸⁾



Figura 4.13 Fideicomisos del Proyecto Ilumex
Fuente: Proyecto Ilumex⁽⁸⁾

El proyecto Ilumex logró cumplir con la mayor parte de las expectativas de quienes lo diseñaron y operaron, logrando así un ahorro de energía eléctrica por 302 GWh y se evitó una demanda asociada por 56 MW. En el panorama ambiental se evitó la emisión de 233 miles de toneladas de CO₂ en función de la mezcla de generación de electricidad en los puntos donde se ahorró la energía con el uso de las LFC's.⁽⁷⁾

V. CASO DE ESTUDIO

El gran consumo de energía eléctrica en edificios representa una importante área de oportunidad para el ahorro. El diseño de instalaciones con la ausencia de normalización sobre eficiencia energética, normas y recomendaciones vigentes, el continuo crecimiento de cargas en instalaciones existentes y la falta de mantenimiento adecuado, son algunas de las causas del uso ineficiente de la energía eléctrica en este tipo de inmuebles.

Debe entenderse que, de acuerdo con la filosofía de ahorro y uso eficiente de la energía, se puede considerar ahorro exclusivamente aquella disminución en el consumo que no disminuya la calidad de vida del usuario. Aunque los problemas y por tanto las soluciones son particulares para cada edificio, en este capítulo se plantean los problemas que presenta un hotel cuatro estrellas en cuanto a un alto consumo energético inicial, llevando a cabo en el inmueble un diagnóstico energético que permitió el planteamiento de una posible solución para enmendar sus problemas de consumo mediante el cálculo de parámetros eléctricos, consideraciones en la instalación y la inversión necesaria para realizar el proyecto propuesto.

Este caso de estudio demuestra que el ahorro energético que representa la sustitución de sistemas incandescentes de iluminación por sistemas fluorescentes compactos en proyectos de ahorro de energía eléctrica en México, se traduce en una importante cantidad económica que termina beneficiando al usuario al disminuir la carga en su sistema de iluminación, que en este caso representaba originalmente poco más del 36% de la carga total en el inmueble.

5.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Un diagnóstico energético es la aplicación, en conjunto, de técnicas que permiten determinar el grado de eficiencia con el que se utiliza la energía; con lo anterior se establece el punto de partida para la implementación de un programa de ahorro de energía, ya que se determina dónde y cómo es utilizada además de especificar cuanta es desperdiciada.

Existen tres grados de diagnósticos energéticos, el de primer grado consiste en detectar medidas de ahorro cuya aplicación sea inmediata, la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones y los equipos, el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación, el análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica.

El de segundo grado abarca lo del diagnóstico de primer grado más el análisis detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos. La información detenida directamente en campo se compara con las de diseño con el objeto de obtener las variaciones de eficiencia.

El de tercer grado incluye además, un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación mediante el uso de equipo especializado de medición y control.

El diagnóstico energético que se realizó para este caso de estudio fue de primer grado.

5.1.1 METODOLOGÍA PARA UN ESTUDIO DE AHORRO DE ENERGÍA EN ILUMINACIÓN DE UN INMUEBLE

La metodología a seguir en un estudio de ahorro de energía aplicada a un sistema de iluminación depende en gran medida del alcance previsto, no obstante, no existe una metodología obligatoria. Como referencia se mencionan las siguientes actividades:

- Recopilación de antecedentes
- Levantamiento y mediciones en campo
- Procesamiento y análisis de información
- Determinación de la situación existente
- Establecimiento de alternativas
- Análisis técnico-económico de alternativas
- Determinación de la mejor opción
- Elaboración de especificaciones y volumen de obra
- Conclusiones y recomendaciones

5.1.2 DATOS SOBRE EL INMUEBLE

El consumo de energía eléctrica en un inmueble depende de más de una variable, por lo que es necesario reunir la mayor cantidad de información posible de éste para poder entender mejor su situación energética actual y poder plantear una mejor propuesta de ahorro. Los datos sugeridos para este fin, son:

- Localización geográfica del inmueble
- Giro o actividad principal
- Facturación eléctrica histórica (de 6 meses a 1 año atrás)
- Equipos instalados
- Hábitos de consumo
- Periodos de mantenimiento
- Planos arquitectónicos
- Diagramas unifilares
- Estructura, configuración y materiales de construcción

5.1.3 DATOS SOBRE LA LÁMPARA

No existe ningún programa en que se diga cuál es la fuente de luz más adecuada para una labor concreta en un inmueble determinado, tan sólo hay indicaciones de las características generales de uno u otro tipo de la lámpara. Por lo que, la decisión sobre el tipo de lámpara que va a utilizar se basa en un criterio profesional dado por la experiencia.

Algunos datos importantes sobre la(s) lámpara(s) son: su cantidad de luz emitida (flujo luminoso), el color aparente de la luz (TCC) y la capacidad de ésta para reproducir los colores fielmente (IRC).

5.1.4 DATOS SOBRE LOS LUMINARIOS

Fuera de un criterio profesional, no existe ninguna ayuda para determinar el tipo de luminario(s) más adecuado(s) para un inmueble. La elección de éste se hace principalmente en base a la lámpara que se haya elegido, ya que la función del luminario es servirle como soporte eléctrico, mecánico, óptico y estético.

El tipo, modelo, color, dimensiones y fabricante es algo que tiene que figurar en la documentación del proyecto y que sirven de referencia para determinar la apariencia estética de la instalación. Son datos que se pueden recabar en los catálogos o en la documentación del fabricante así como sus curvas fotométricas.

5.1.5 PROBLEMAS DETECTADOS FRECUENTEMENTE EN EDIFICIOS

A continuación se enlistan algunos de los problemas eléctricos más comunes encontrados en edificios: ⁽¹⁾

a) Transformadores sobredimensionados. Esto provoca que se trabaje con bajo factor de potencia y baja eficiencia. El rango óptimo de carga para transformadores es variable, pero generalmente se encuentra entre 50% y 70% de plena carga.

b) Tableros con puntos calientes y circuitos compartidos. En algunos tableros la falta de mantenimiento provoca que se tengan malos aprietes que se convierten en puntos calientes y desperdicios de energía. También es común encontrar que la amperacidad de los cables y la corriente nominal de los interruptores no concuerdan, provocando altas temperaturas generadoras de mayores pérdidas y reducción de vida de aislamientos. Otro problema es encontrar circuitos compartidos para sistemas de fuerza y alumbrado. Esto dificulta ó imposibilita incluso el control y el monitoreo de parámetros relevantes para el control de energía.

c) Factor de potencia (FP). Aunque los sistemas de iluminación generalmente no producen bajo FP, la instalación en conjunto sí puede padecerlo. La corrección FP. es una de las inversiones más rentables.

d) Seccionamiento deficiente de circuitos. Es común encontrar áreas muy grandes con un número muy reducido de circuitos. Esto provoca una falta de control sobre la iluminación de áreas específicas, con el consiguiente desperdicio de energía.

e) Uso y abuso de lámparas incandescentes. Generalmente representan el mayor porcentaje de carga en hoteles ya que es común encontrarlas en corredores, salas de espera, habitaciones, etc. Estas lámparas pueden ser sustituidas por LFC's para iluminación general y a baja altura de montaje. Cada 3.5 kW de carga evitada, reduce una tonelada de aire acondicionado.

f) Luminarios ineficientes. Los principales problemas detectados son: mal ensamblaje, pintura de mala calidad, dimensiones irregulares, difusores de material rápidamente degradable por la radiación UV, lámina de menor calibre al requerido, diseño óptico ineficiente e información fotométrica inexistente.

g) Instalación defectuosa de luminarios. La instalación defectuosa contribuye a producir ruido, incertidumbre en el encendido y calentamiento anormal de lámparas y balastos. Un luminario con diseño térmico defectuoso ó con montaje que no permita un buen enfriamiento, provoca que el balastro trabaje a temperatura mayor con el aumento de pérdidas, haciendo que las lámparas reduzcan su eficacia al rebasar su punto óptimo de temperatura de trabajo.

h) Mantenimiento. La falta de un buen mantenimiento, lamentablemente suele ser común en muchos edificios. Un sistema de iluminación que no recibe mantenimiento adecuado, puede reducir su eficiencia hasta en un 40%. Se debe efectuar una revisión eléctrica y limpieza periódica a todos los componentes, especialmente al reflector y a la lámpara.

i) Bajo aprovechamiento de luz natural. A pesar de que en muchas instalaciones como edificios y comercios la aportación de luz natural es excelente, la falta de controles manuales o automáticos evita un óptimo aprovechamiento de este recurso. Mediante el control se pueden apagar durante ciertas horas del día las lámparas que estén colocadas cerca de las ventanas o bajo domos o láminas traslúcidas.

5.2 ILUMINACIÓN EN HOTELES

La forma en que un hotel esta iluminado afecta la percepción del mismo. Una pobre calidad de iluminación puede hacer que las mejores instalaciones se vean de baja calidad; además, los empleados dependen de una iluminación apropiada para desarrollar sus tareas más eficientemente y todos en el hotel dependen de un buen sistema de iluminación para propósitos de seguridad.

Por otro lado, la distribución por uso final de la energía eléctrica es variable. Se distinguen cuatro grandes tipos de carga: iluminación, aire acondicionado, motores (para elevadores y equipo de bombeo) y cargas múltiples (contactos principalmente).

En localidades con climas extremos el sistema de iluminación es el segundo después del sistema de enfriamiento de los que utilizan más energía en un hotel y la iluminación es probable el área más fácil y costo eficiente del hotel para reducir costos de energía. Empezando con una retro-alimentación en iluminación, un sistema nuevo eficiente deberá emitir mucho menos calor, lo cual reduce la carga de enfriamiento en el sistema existente.

Este caso de estudio presenta el desarrollo y los resultados obtenidos del diagnóstico energético de primer grado realizado en las instalaciones del "Hotel del Pacífico", dando un claro ejemplo de la aplicación de las LFC's y los ahorros energéticos y monetarios que éstas representan.

5.2.1 ANTECEDENTES DEL INMUEBLE

El "Hotel del Pacífico" se encuentra ubicado en el estado de Jalisco, labora los 365 días del año. El horario del personal administrativo es de lunes a viernes con un horario de 9:00 a 18:00hr, mientras que el horario de empleados (camareras, botones, valet parking, mantenimiento, etc.) es de 8hr diarias con tres turnos.

Los orígenes del Hotel del Pacífico se remontan al año de 1998. Está constituido por 23 niveles conformado de la siguiente manera:

- El sótano, que alberga a la subestación, a la planta de emergencia, bodegas, el área de calderas, mantenimiento y el servicio médico de los empleados.
- La planta baja, donde se ubica la entrada al hotel, jardines, el estacionamiento, la recepción, el lobby, el área de elevadores para clientes, el área de vigilancia, la entrada del personal y los elevadores de servicio.
- El Mezanine, que aloja el restaurante, el bar, sanitarios, la cocina, la panadería y los refrigeradores. Posteriormente tenemos un entrepiso llamado S1 donde se localiza el comedor de empleados, la lavandería, uniformes y el área de recursos humanos.
- Los siguientes 16 niveles albergan las habitaciones. Cada nivel cuenta con 12 habitaciones más una suite, un cuarto de hielo y uno de servicio. En total se tienen 192 habitaciones, 16 Suites, 16 cuartos de hielo y 16 de servicio.
- Posteriormente se ubica el nivel donde se localizan el gimnasio, el jacuzzi, la estética, los vapores-sauna (de mujeres y hombres) y dos áreas de masaje.
- El penúltimo nivel alberga las oficinas administrativas del hotel, la sala de juntas, el centro de negocios, el salón de eventos, sanitarios y una cocina.
- La azotea es el área donde se encuentran instalados los sistemas de aire acondicionado.
- El hotel cuenta con dos escaleras de emergencia localizadas de manera opuesta una de la otra.

5.2.2 ANTECEDENTES ELÉCTRICOS

El Hotel del Pacífico tiene contrato en tarifa HM, suministrando energía a todo el conjunto. Este servicio es proporcionado por medio de una subestación con transformador trifásico de 750kVA, el cual reduce el nivel de tensión de 23.5kV tres fases y tres hilos a 220/127V tres fases, cuatro hilos (conexión delta-estrella), 60Hz y %Z=4.64.

Con objeto de contar con la información energética histórica, se analizaron los recibos de facturación eléctrica de 6 meses atrás, del 9 de septiembre 2003 al 11 febrero 2004, de acuerdo con el análisis de los recibos de facturación de la CFE (Tabla 5.1), se tiene un consumo promedio mensual de 249,000kWh y una demanda facturable de 474.83kW al mes, con un FP que oscila alrededor de 95.78% generando con ello una bonificación que se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de bonificación} = \frac{1}{4} \times (1 - (90/\text{FP})) \times 100 \text{ (solo para FP mayor o igual a 90\%)}$$

**HOTEL DEL PACÍFICO
ANÁLISIS HISTÓRICO DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA**

Periodo de Consumo				Energía										
				Consumo de Energía				Precio Unitario			Importe por Concepto de Energía			
Periodo	Fecha Inicial	Fecha Final	Periodo Transcurrido	Energía en Base	Energía en Intermedia	Energía en Punta	Energía Total	P.U. por Energía Base	P.U. por Energía Intermedia	P.U. por Energía Punta	Cargos por Energía en Base	Cargos por Energía Intermedia	Cargos por Energía en Punta	Cargos por Energía
Mes	Fechas		Días	kWh				\$/kWh			\$			
Sep	09/09/03	14/10/03	35.00	78,000	192,000	19,000	289,000	0.4357	0.5216	1.6305	\$ 33,983.07	\$ 100,154.88	\$30,980.25	\$ 165,118.20
Oct	14/10/03	10/11/03	27.00	59,000	136,000	27,000	222,000	0.4441	0.5318	1.6621	\$ 26,201.27	\$ 72,322.27	\$44,877.10	\$ 143,400.64
Nov	10/11/03	09/12/03	29.00	63,000	127,000	36,000	226,000	0.4490	0.5376	1.6803	\$ 28,285.03	\$ 68,280.01	\$60,492.40	\$ 157,057.44
Dic	09/12/03	12/01/04	34.00	86,000	147,000	36,000	269,000	0.4501	0.5389	1.6843	\$ 38,705.56	\$ 79,214.83	\$60,636.30	\$ 178,556.69
Ene	12/01/04	11/02/04	30.00	67,000	143,000	32,000	242,000	0.4545	0.5441	1.7009	\$ 30,449.70	\$ 77,813.44	\$54,428.15	\$ 162,691.29
Feb	11/02/04	11/03/04	29.00	66,000	140,000	40,000	246,000	0.4592	0.5499	1.7188	\$ 30,309.43	\$ 76,984.06	\$68,752.40	\$ 176,045.89
Promedio			31	69,833	147,500	31,667	249,000	0.4488	0.5373	1.6795	\$ 31,322.34	\$ 79,128.25	\$53,361.10	\$ 163,811.69
Máximo			35	86,000	192,000	40,000	289,000	0.4592	0.5499	1.7188	\$ 38,705.56	\$ 100,154.88	\$68,752.40	\$ 178,556.69
Mínimo			27	59,000	127,000	19,000	222,000	0.4357	0.5216	1.6305	\$ 26,201.27	\$ 68,280.01	\$30,980.25	\$ 143,400.64

Tabla 5.1 Análisis de Facturación hoja 1 de 2
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

HOTEL DEL PACÍFICO
ANÁLISIS HISTÓRICO DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA

Periodo de Consumo			Demanda							Cargos Principales						
Periodo	Fecha Inicial	Fecha Final	Periodo Transcurrido	Demanda Máxima en Base	Demanda Máxima Intermedia	Demanda Máxima en Punta	Demanda Facturable	P.U. por kW de Demanda Facturable	Cargos por Demanda Facturable	Factor de Carga	Cargos por Energía y Demanda	Factor de Potencia	Multa por Bajo Factor de Potencia	Importe después de Bonificación	I.V.A.:	Importe a Pagar
Mes	Fechas		Días	kW			\$	\$	%	\$	%	\$				
Sep	09/09/03	14/10/03	35.00	396	470	466	467.00	99.58	\$ 46,505.15	73.2%	\$ 211,623.35	95.10%	-\$ 2,751.10	\$ 208,872.25	\$31,330.84	\$240,203.09
Oct	14/10/03	10/11/03	27.00	402	484	491	491.00	77.58	\$ 38,091.30	69.8%	\$ 181,491.94	95.97%	-\$ 2,903.85	\$ 178,588.09	\$26,788.21	\$205,376.30
Nov	10/11/03	09/12/03	29.00	400	479	480	480.00	85.12	\$ 40,855.35	67.6%	\$ 197,912.79	96.44%	-\$ 3,364.50	\$ 194,548.29	\$29,182.24	\$223,730.53
Dic	09/12/03	12/01/04	34.00	400	479	480	480.00	97.78	\$ 46,932.80	68.7%	\$ 225,489.49	96.23%	-\$ 3,607.85	\$ 221,881.64	\$33,282.25	\$255,163.89
Ene	12/01/04	11/02/04	30.00	407	456	461	461.00	89.34	\$ 41,187.05	72.9%	\$ 203,878.34	95.18%	-\$ 2,854.30	\$ 201,024.04	\$30,153.61	\$231,177.65
Feb	11/02/04	11/03/04	29.00	407	468	470	470.00	88.74	\$ 41,709.55	75.2%	\$ 217,755.44	95.76%	-\$ 3,266.35	\$ 214,489.09	\$32,173.36	\$246,662.45
Promedio			31	402	473	475	474.83	89.69	\$ 42,546.87	71.2%	\$ 206,358.56	95.78%	-\$ 3,124.66	\$ 203,233.90	\$30,485.08	\$233,718.98
Máximo			35	407	484	491	491.00	99.58	\$ 46,932.80	75.2%	\$ 225,489.49	96.44%	-\$ 2,751.10	\$ 221,881.64	\$33,282.25	\$255,163.89
Mínimo			27	396	456	461	461	77.58	\$ 38,091.30	67.6%	\$ 181,491.94	95.10%	-\$ 3,607.85	\$ 178,588.09	\$26,788.21	\$205,376.30

Tabla 5.1 Análisis de Facturación hoja 2 de 2
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacifico

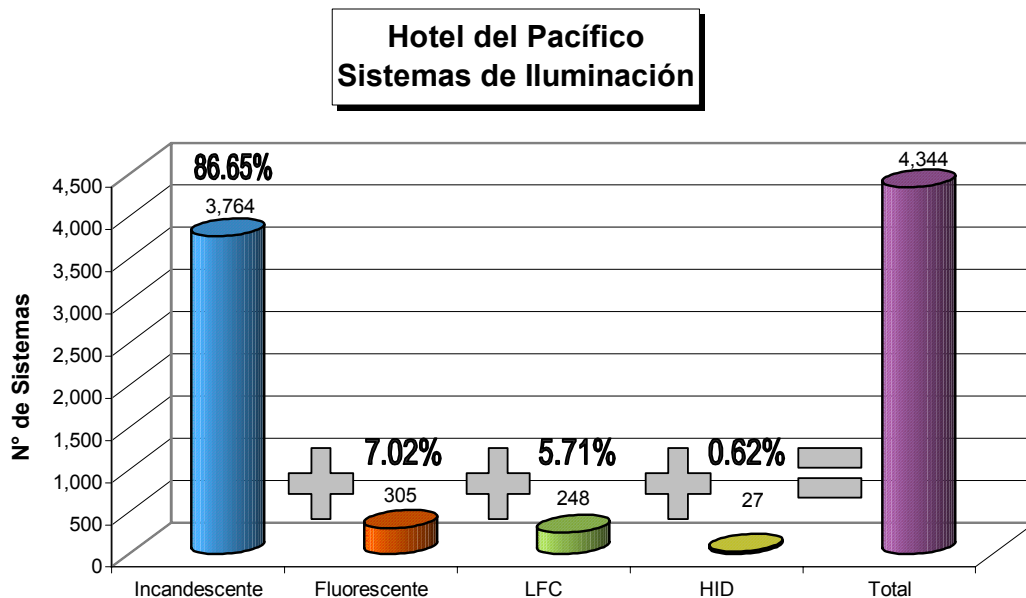
El factor de carga promedio es de 71.2%, siendo aceptable al tener una demanda cuyos periodos de consumo son muy largos. Un bajo factor de carga se presentaría al tener grandes picos de demanda con periodos de consumo cortos.

En lo que respecta a facturación, se reporta un pago promedio mensual de \$203,233.90 antes de IVA, cuyos cargos principales corresponden a los de energía, demanda facturable y bonificación por alto factor de potencia.

Por otro parte, dentro del análisis de facturación se determinó un costo promedio de la energía de \$0.8319/kWhr y un costo promedio de la demanda facturable de \$89.6901/kW; parámetros que fueron determinados para poder realizar el análisis de costos para el caso base y el propuesto.

5.2.3 LEVANTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Siendo el sistema de iluminación el principal objetivo de este diagnóstico energético, se procedió a realizar un análisis minucioso de los equipos que lo forman, para poder detectar las oportunidades de ahorro de energía. El levantamiento realizado en el Hotel del Pacífico área por área, reporta un total de 4,344 sistemas de iluminación (Gráfica 5.1), de los cuales el 86.65% corresponden a sistemas de iluminación incandescente, el 7.02% a sistemas fluorescentes, el 5.71% a sistemas fluorescentes compactos y el 0.62% a sistemas de alta intensidad de descarga (HID).



Gráfica 5.1 Sistemas de Iluminación del Hotel del Pacífico
Fuente: Gráfica Elaborada con Datos del Hotel del Pacífico

De la gráfica anterior, se observa claramente que el mayor sistema de iluminación instalado en el hotel es el incandescente, la Tabla 5.2. especifica los subsistemas que lo forman, siendo el incandescente-halógeno dicróico de 50W el predominante en este sistema; las lámparas de este tipo se encuentran empotradas en plafón corrido y la mayor parte de ellas están localizadas dentro de las habitaciones y áreas generales, representando el 45.14% del sistema incandescente.

El subsistema que le sigue representa el 25.65%, es del tipo reflector (o spot) con potencia de 75W, estas lámparas se encuentran empotradas junto con una campana de latón en plafón corrido y localizadas principalmente en habitaciones y pasillos del hotel.

El siguiente subsistema es el A-19 bajo tres diferentes potencias: 100, 60 y 40W, representando el 19.98%, el 2.39% y el 4.25% respectivamente. Las lámparas de 100W se encuentran principalmente dentro de las habitaciones (lámparas de mesa o candiles), las de 60W cuentan con un luminario de pared tipo submarino y se encuentran en su totalidad iluminando las escaleras de emergencia y las de 40W se encuentran en los pasillos del hotel en arbotantes.

En el resto de los subsistemas no se especifica la ubicación de las lámparas por no ser cargas muy representativas.

HOTEL DEL PACÍFICO				
SISTEMA DE ILUMINACIÓN				
Sistema Incandescente			Unidades	%
INC-HALOG	50W	EMPOTRADA	1,699	45.14
INC	75 w	SPOT	965	25.64
INC	100w	A19	752	19.98
INC	40w	A19	160	4.25
INC	60 W	A-19 SUBMARINA	90	2.39
INC	90W	PAR38	60	1.59
INC-HALOG	50W	MINI	17	0.45
INC	40W	VELA	10	0.27
INC-HALOG	50W	SIN REFLECT.	7	0.19
INC	150 W	SPOT	4	0.11
Total			3,764	100.00

Tabla 5.2 Sistema de Iluminación Incandescente
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

Uno de los datos más difíciles de determinar y recabar en un inmueble de este tipo, son las horas de uso de cada uno de los sistemas, principalmente en aquellas áreas donde el uso es muy variable, como en las habitaciones, por ejemplo. Para determinar este dato se le cuestionó al personal del hotel y a algunos huéspedes sobre los hábitos de consumo.

En cuanto a las horas de uso al año de un mismo sistema de iluminación, localizado en diferentes áreas que reportan distintas horas, se procedió de la siguiente manera:

En la zona “A” se encontraron “N” luminarios de un mismo tipo con “X” hr de uso reportadas al año, en la zona “B” se encontraron “M” luminarios del mismo que en la zona “A”, pero con “Y” horas reportadas al año. El número de horas se mediante la siguiente fórmula:

$$Horas = \frac{(N * X) + (M * Y)}{N + M} \dots\dots\dots (Ec. 5.1)$$

Este procedimiento se puede aplicar en varias zonas, siempre y cuando el tipo de sistema sea el mismo tanto para diferentes o iguales horas reportadas, sin importar que el número de sistemas sea diferente de un área a otra.

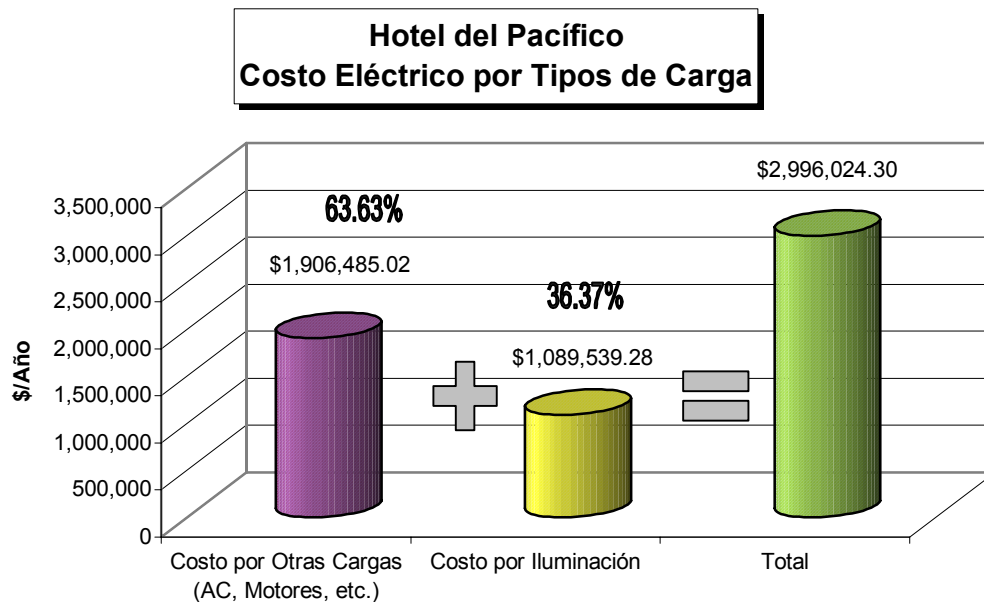
5.2.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN (CASO BASE)

Con la finalidad de realizar la propuesta de eficiencia energética en los sistemas de iluminación, se procedió al procesamiento y análisis de la información en relación a los sistemas de iluminación (Tabla 5.3), determinando principalmente:

- Costo y Consumo de energía (\$/kWhr-Año y kWhr-Año)
- Costo y Demanda (\$/kW-Año y kW-Año Facturable)

El peso relativo de cada concepto puede variar dentro de límites muy amplios, por lo tanto, para tratar de tener un diagnóstico con resultados más precisos se consideraron dos tipos de cargas a partir del consumo eléctrico total: la carga de “iluminación” y “otras cargas”, en donde se encuentran representados los sistemas de aire acondicionado, motores para elevadores, computadoras y cargas misceláneas, entre otros, con la finalidad de detectar alguna anomalía en cuanto a facturación o procesamiento de la información.

Al realizar el análisis de cargas, se encontró que por los sistemas de iluminación se paga el 36.37% de la energía eléctrica total, mientras que el 63.63% restante corresponde a otras cargas, Gráfica 5.2.



Gráfica 5.2 Costos Eléctricos por Tipos de Carga
Fuente: Gráfica Elaborada con Datos del Hotel del Pacífico

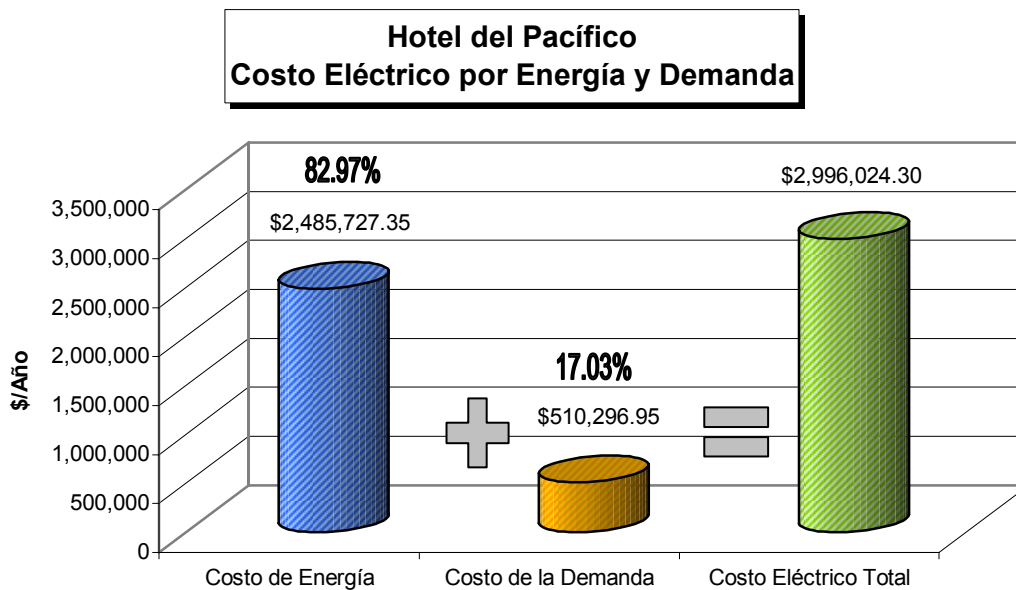
Por otra parte, en términos de consumo eléctrico, el 82.97% de lo que se paga en el recibo de la CFE corresponde a Energía (kWhr) y el 17.03% a Demanda (kW), Gráfica 5.3.

Otro dato que se determinó fue el costo de la Energía por tipos de carga, obteniendo los siguientes resultados: en el caso de Energía el 65.56% de lo que se paga corresponde a otras cargas, mientras que el 34.44% restante corresponde a iluminación, Gráfica 5.4.

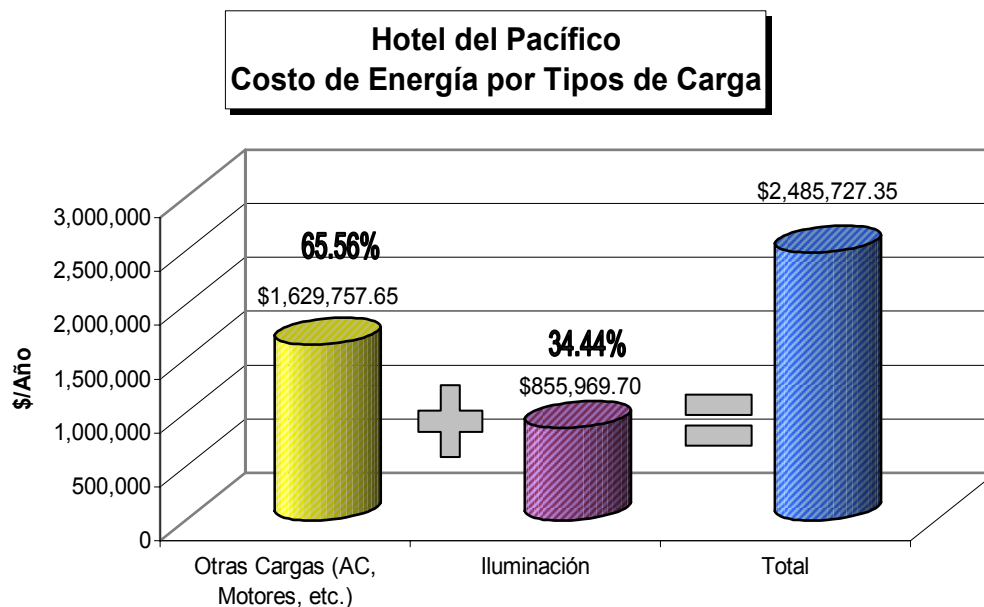
**HOTEL DEL PACÍFICO
CASO BASE**

N°	Sistema de Iluminación Actual		Potencia de Línea (W)	Horas de Uso Anual	F.C.	Unidades Actuales	KW Instalados	KWhr Anual	Demanda de Iluminación Mensual kW	\$/KWhr de Iluminación Anual	\$/KW de Iluminación Anual	F.P.	S [KVA]	Q [KVAR]
1	FLUOR	2x39W T-12	72	6,946.88	0.75	128	9.22	64,022.40	6.91	\$ 53,260.45	\$ 7,439.25	0.92	7.51	2.94
2	FLUOR	2X21W T-12	48	5,721.63	0.75	96	4.61	26,365.25	3.46	\$ 21,933.34	\$ 3,719.63	0.92	3.76	1.47
3	FLUOR	2(2X21)WT-12	96	6,930.00	0.75	39	3.74	25,945.92	2.81	\$ 21,584.50	\$ 3,022.20	0.92	3.05	1.20
4	FLUOR	2X75W T-12	130	8,008.00	0.75	8	1.04	8,328.32	0.78	\$ 6,928.36	\$ 839.50	0.92	0.85	0.33
5	FLUOR	1X20W T-12	28	4,160.00	0.75	6	0.17	698.88	0.13	\$ 581.40	\$ 135.61	0.92	0.14	0.05
6	FLUOR	2X17W T-8	33	2,816.32	0.75	25	0.83	2,323.46	0.62	\$ 1,932.90	\$ 665.95	0.92	0.67	0.26
7	FLUOR	1X8W T-2	11	8,736.00	0.75	3	0.03	288.29	0.02	\$ 239.83	\$ 26.64	0.92	0.03	0.01
8	INC-HALOG	50W MINI	55	7,787.76	0.75	17	0.94	7,281.56	0.70	\$ 6,057.55	\$ 754.74	1.00	0.70	0.00
9	INC-HALOG	50W SIN REFLECT.	55	4,368.00	0.75	7	0.39	1,681.68	0.29	\$ 1,399.00	\$ 310.78	1.00	0.29	0.00
10	INC.	90W PAR38	90	1,040.00	0.75	60	5.40	5,616.00	4.05	\$ 4,671.97	\$ 4,358.94	1.00	4.05	0.00
11	INC.	150 W SPOT	150	4,368.00	0.75	4	0.60	2,620.80	0.45	\$ 2,180.25	\$ 484.33	1.00	0.45	0.00
12	INC.	40w A19	40	8,736.00	0.75	160	6.40	55,910.40	4.80	\$ 46,512.05	\$ 5,166.15	1.00	4.80	0.00
13	INC-HALOG	50W EMPOTRADA	55	2,938.57	0.75	1,699	93.45	274,594.32	70.08	\$ 228,435.95	\$ 75,429.78	1.00	70.08	0.00
14	INC	75 w SPOT	75	4,122.71	0.75	965	72.38	298,381.20	54.28	\$ 248,224.33	\$ 58,421.86	1.00	54.28	0.00
15	INC	60 W SUBMARINA	60	8,736.00	0.75	90	5.40	47,174.40	4.05	\$ 39,244.54	\$ 4,358.94	1.00	4.05	0.00
16	INC.	40W VELA	40	6,988.80	0.75	10	0.40	2,795.52	0.30	\$ 2,325.60	\$ 322.88	1.00	0.30	0.00
17	INC.	100w A19	100	2,296.57	0.75	752	75.20	172,702.40	56.40	\$ 143,671.71	\$ 60,702.23	1.00	56.40	0.00
18	LFC	1x13 CAMPANA	15	4,160.00	0.75	5	0.08	312.00	0.06	\$ 259.55	\$ 60.54	0.55	0.10	0.09
19	LFC	1X13 PL-S	15	2,022.56	0.75	239	3.59	7,250.88	2.69	\$ 6,032.03	\$ 2,893.85	0.55	4.89	4.08
20	LFC	2X13 CAMPANA	30	8,736.00	0.75	4	0.12	1,048.32	0.09	\$ 872.10	\$ 96.87	0.55	0.16	0.14
21	HID - AM	150W REFLECTOR	180	4,368.00	0.75	25	4.50	19,656.00	3.38	\$ 16,351.89	\$ 3,632.45	0.90	3.75	1.63
22	HID - AM	400W CAMPANA	450	4,368.00	0.75	2	0.90	3,931.20	0.68	\$ 3,270.38	\$ 726.49	0.90	0.75	0.33
T O T A L						4,344	289.35	1,028,929.20	217.02	\$ 855,969.70	\$ 233,569.59	-	221.07	12.54

Tabla 5.3 Determinación de Parámetros y Costos Eléctricos (Caso Base)



Gráfica 5.3 Costo Eléctrico por Energía y Demanda
Fuente: Gráfica Elaborada con Datos del Hotel del Pacífico



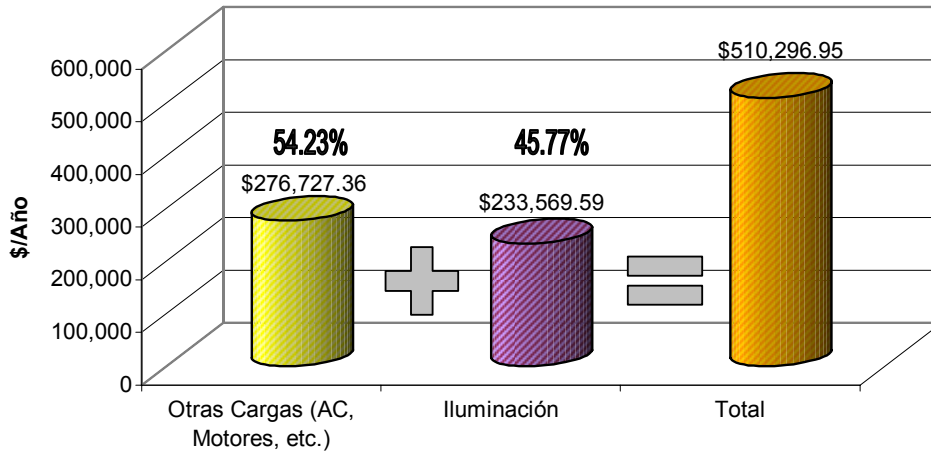
Gráfica 5.4 Costos de Energía por Tipos de Carga
Fuente: Gráfica Elaborada con Datos del Hotel del Pacífico

Para el caso de la Demanda, el 54.23% de lo que se paga con respecto a este concepto corresponde a otras cargas y el 45.77% corresponde a iluminación, Gráfica 5.5.

Conforme al análisis realizado sobre la misma base de iluminación, el 78.56% de lo que se paga corresponde a Energía y el 21.44% restante es de Demanda (Gráfica 5.6).

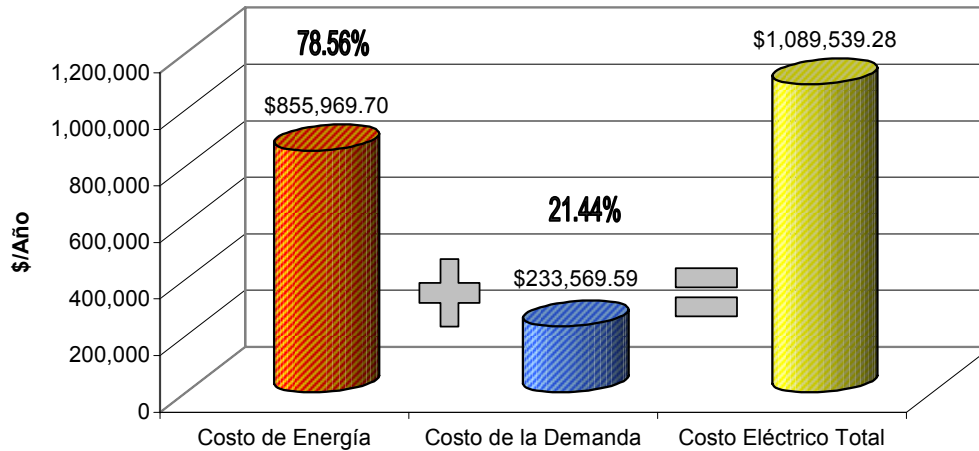
Todo lo anterior, queda resumido en la Tabla 5.4.

Hotel del Pacífico
Costo de la Demanda por Tipos de Carga



Gráfica 5.5 Costo de la Demanda por Tipos de Carga
Fuente: Gráfica Elaborada con Datos del Hotel del Pacífico

Hotel del Pacífico
Costo Eléctrico por Iluminación Actual



Gráfica 5.6 Costos Eléctricos Sobre la Base de Iluminación
Fuente: Gráfica Elaborada con Datos del Hotel del Pacífico

HOTEL DEL PACÍFICO						
COSTOS ELÉCTRICOS POR TIPOS DE CARGA (CASO BASE)						
Costo Eléctrico	Iluminación	%	Otras Cargas	%	Total	%
Energía (\$/año)	855,969.70	78.56	1,629,757.65	85.48	2,485,727.35	82.97
%	34.44		65.56			
Demanda (\$/año)	233,569.59	21.44	276,727.36	14.52	510,296.95	17.03
%	45.77		54.23			
Total	1,089,539.28		1,906,485.02		2,996,024.30	
%	36.37		63.63			

Tabla 5.4 Costos Eléctricos (Caso Base)
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

En lo que respecta a consumos eléctricos (Tabla 5.5), el consumo total de Energía al año es de 2,988,000 kWhr, donde el 65.56% corresponde a otras cargas y el 34.44% a iluminación. En lo que respecta a la Demanda Facturable, el 45.77% corresponde a iluminación y el 54.23% restante a otras cargas. Cabe aclarar que la Demanda Facturable se considera al año para poder determinar el cálculo en pesos ya que los kW no son acumulables como tal.

HOTEL DEL PACÍFICO			
CONSUMOS ELECTRICOS POR TIPOS DE CARGA (CASO BASE)			
Consumo Eléctrico	Iluminación	Otras Cargas	Total
Energía (kW/hr/año)	1,028,929.20	1,959,070.80	2,988,000.00
%	34.44	65.56	
Demanda Fac. (kW/mes)	217.02	257.11	474.13
%	45.77	54.23	

Tabla 5.5 Consumos Eléctricos por Tipos de Carga
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

5.2.5 CARACTERIZACIÓN DE LA PROPUESTA

Al saber todos los detalles y ubicación de los sistemas de iluminación se ha resuelto que el sistema de iluminación incandescente será reemplazado por LFC's pero no en su totalidad, ya que en algunos sistemas las incandescentes están bien aplicadas o bien, por cuestiones de estética no es posible reemplazarlas. En la Tabla 5.6 se presenta el sistema actual incandescente y la propuesta para reemplazarlo.

HOTEL DEL PACÍFICO						
CARACTERIZACIÓN DE LA PROPUESTA						
Sistema Actual			Sistema Propuesto			Unidades
INC-HALOG	50W	MINI	NA			17
INC-HALOG	50W	SIN REFLECT.	NA			7
INC.	90W	PAR38	NA			60
INC.	150 W	SPOT	NA			4
INC.	40w	A19	LFC	11 W	ELTN	160
INC-HALOG	50W	EMPOTRADA	LFC	13 W PAR 30	CAMPANA	1,699
INC.	75 w	SPOT	LFC	15 W R30	CAMPANA	965
INC.	60 W	A-19 SUBMARINA	LFC	11 W	SUBMARINA	90
INC.	40W	VELA	LFC	11 W	VELA	10
INC.	100w	A19	LFC	23 W	ELTN	752

NA: No Aplica

Tabla 5.6 Caracterización de la Propuesta
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

En los primeros cuatro casos no es posible hacer una propuesta debido a que las incandescentes-halógenas dicróicas de 50W mini son de iluminación muy puntual y están bien aplicadas. Por otro lado, se tienen a las incandescentes-halógenas de 50W sin reflector dicróico las cuales tampoco son reemplazables por cuestiones estéticas, además de que se tendría que reemplazar su luminario elevando el costo de la propuesta, con lo que ya no se justificaría la inversión en ésta. El subsistema incandescente de 90W PAR38 se decidió no reemplazarlo puesto que cuenta con un sistema de dimmeo y se localiza en el salón de eventos donde se encuentra bien aplicado. Por último, los spot de 150W se localizan en los vapores-sauna del hotel, área donde se busca mantener el calor por lo que la aplicación ahí resulta adecuada. De cualquier manera, en todos estos casos el número de unidades no son muy representativas dentro del sistema incandescente.

En los casos donde es posible hacer una propuesta de ahorro energético, se propone la sustitución de cada subsistema incandescente por diversos tipos de LFC's:

Las lámparas incandescentes de 40W serán sustituidas por LFC's de 11W, lo que incrementará el nivel de iluminación, ya que el foco de 40W tiene un flujo luminoso de 490lm y la LFC de 11W de 600lm. En este caso el luminario original no afecta en realizar la sustitución. Es importante mencionar que, al hacer el análisis de volumen de obra se considerará el doble de LFC's a sustituir debido a que estas lámparas operan 8,736hr al año y la vida de las LFC's es de 10,000hr; de no tomarse este criterio, como consecuencia, tanto la inversión como el tiempo simple de recuperación (TSR) serían menores, pudiendo ser que la vida de la LFC no alcanzara dicho período de recuperación.

El subsistema representado por las lámparas dicroicas de 50W empotradas, que representan la mayor parte del sistema incandescente, se propone reemplazarlo por LFC's de 13W tipo PAR30, acompañado de una campana por LFC que cumpla las características de no tenerla totalmente cerrada con la finalidad de no incrementar la temperatura de la LFC y en consecuencia disminuir su flujo luminoso y su vida nominal. Otro detalle que presenta esta sustitución, es que el plafón tendrá que ser perforado a la medida de la campana, lo que incrementa el costo de la propuesta, pero al ser la carga más representativa y la que más puede significar ahorros, la inversión se justifica.

Las lámparas de 75W spot, serán sustituidas por LFC's de 15W R30, un diseño idéntico con la misma calidad de luz, sólo que hay que añadir una campana para evitar el incremento de temperatura de la LFC, además de que el actual sistema tiene campanas de latón y en su mayoría están maltratadas o colgando y por tanto no dan muy buena imagen al hotel.

En el sistema de 60W tipo A19 en luminario de pared tipo submarino, se tuvo que buscar una LFC cuya característica física le permitiera entrar en el luminario actual que es de dimensiones limitadas. Al percibir este detalle, se probaron diferentes tipos de LFC's para ver cual era la mejor opción, concluyendo que la LFC idónea era la de 11W con tecnología de amalgama, evitando así la elevación en su temperatura y flujo luminoso. En la sustitución de este sistema, el nivel se verá disminuido en un 25% sin ser grave. Para el volumen de obra también se considerarán dos LFC's.

Con la gran variedad de LFC's las incandescentes de tipo vela de 40W pueden ser sustituidas por un modelo idéntico, el único inconveniente que pudieran llegar a tener es que tienen mayor longitud (aproximadamente 3cm), en este caso no afectan las dimensiones y se propone sustituirlas con una potencia de 11W.

Por último, la sustitución de los focos de 100W tipo A19 por LFC's de 23 W, aquí el diseño o forma de la LFC no afecta puesto que el mismo luminario oculta o no deja ver que tipo de lámpara tiene; el nivel de iluminación se mantiene al tener la LFC un idéntico flujo luminoso al foco de 100W.

5.2.6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

Prosiguiendo con la metodología, se recalculan los parámetros de costos y consumos eléctricos, pero ahora con los nuevos datos de la propuesta, respetando las mismas condiciones para así poder determinar los ahorros eléctricos y monetarios (Tabla 5.7).

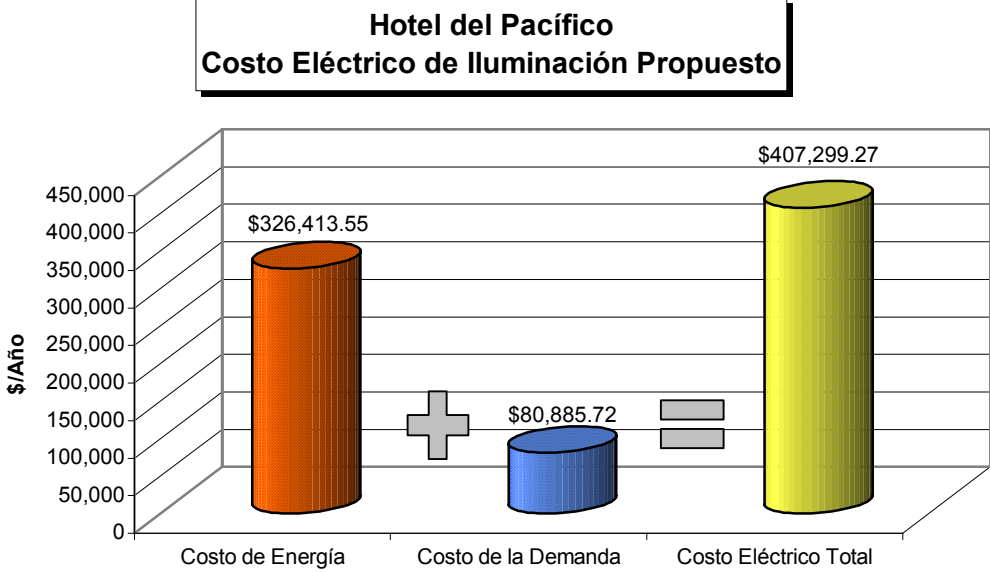
**HOTEL DEL PACÍFICO
CASO PROPUESTO**

N°	Sistema de Iluminación Propuesto			Potencia Línea Prop. (W)	Horas de Uso Anual	F.C.	Unidades Prop.	KW Instalados Propuestos	KWhr Anual Propuestos	Demanda de Iluminación Mensual Propuesta kW	\$/kWhr de Iluminación Anual Propuesto	\$/kW de Iluminación Anual Propuesto	F.P.	S [kVA]	Q [kVAR]
1	FLUOR	2x39W	T-12	72	6,946.88	0.75	128	9.22	64,022.40	6.91	\$ 53,260.45	\$ 7,439.25	0.92	7.51	2.94
2	FLUOR	2X21W	T-12	48	5,721.63	0.75	96	4.61	26,365.25	3.46	\$ 21,933.34	\$ 3,719.63	0.92	3.76	1.47
3	FLUOR	2(2X21)	WT-12	96	6,930.00	0.75	39	3.74	25,945.92	2.81	\$ 21,584.50	\$ 3,022.20	0.92	3.05	1.20
4	FLUOR	2X75W	T-12	130	8,008.00	0.75	8	1.04	8,328.32	0.78	\$ 6,928.36	\$ 839.50	0.92	0.85	0.33
5	FLUOR	1X20W	T-12	28	4,160.00	0.75	6	0.17	698.88	0.13	\$ 581.40	\$ 135.61	0.92	0.14	0.05
6	FLUOR	2X17W	T-8	33	2,816.32	0.75	25	0.83	2,323.46	0.62	\$ 1,932.90	\$ 665.95	0.92	0.67	0.26
7	FLUOR	1X8W	T-2	11	8,736.00	0.75	3	0.03	288.29	0.02	\$ 239.83	\$ 26.64	0.92	0.03	0.01
8	INC-HALOG	50W	MINI	55	7,787.76	0.75	17	0.94	7,281.56	0.70	\$ 6,057.55	\$ 754.74	1.00	0.70	0.00
9	INC-HALOG	50W	SIN REFLECT.	55	4,368.00	0.75	7	0.39	1,681.68	0.29	\$ 1,399.00	\$ 310.78	1.00	0.29	0.00
10	INC.	90W	PAR38	90	1,040.00	0.75	60	5.40	5,616.00	4.05	\$ 4,671.97	\$ 4,358.94	1.00	4.05	0.00
11	INC.	150 W	SPOT	150	4,368.00	0.75	4	0.60	2,620.80	0.45	\$ 2,180.25	\$ 484.33	1.00	0.45	0.00
12	LFC	11 W	ELTN	13	8,736.00	0.75	160	2.08	18,170.88	1.56	\$ 15,116.42	\$ 1,679.00	0.55	2.84	2.37
13	LFC	13 W PAR 30	CAMPANA	15	2,938.57	0.75	1,699	25.49	74,889.36	19.11	\$ 62,300.71	\$ 20,571.76	0.55	34.75	29.02
14	LFC	15 W R30	CAMPANA	17	4,122.71	0.75	965	16.41	67,633.07	12.30	\$ 56,264.18	\$ 13,242.29	0.55	22.37	18.68
15	LFC	11 W	SUBMARINA	13	8,736.00	0.75	90	1.17	10,221.12	0.88	\$ 8,502.98	\$ 944.44	0.55	1.60	1.33
16	LFC	11 W	VELA	13	6,988.80	0.75	10	0.13	908.54	0.10	\$ 755.82	\$ 104.94	0.55	0.18	0.15
17	LFC	23 W	ELTN	25	2,296.57	0.75	752	18.80	43,175.60	14.10	\$ 35,917.93	\$ 15,175.56	0.55	25.64	21.41
18	LFC	1x13	CAMPANA	15	4,160.00	0.75	5	0.08	312.00	0.06	\$ 259.55	\$ 60.54	0.55	0.10	0.09
19	LFC	1X13	PL-S	15	2,022.56	0.75	239	3.59	7,250.88	2.69	\$ 6,032.03	\$ 2,893.85	0.55	4.89	4.08
20	LFC	2X13	CAMPANA	30	8,736.00	0.75	4	0.12	1,048.32	0.09	\$ 872.10	\$ 96.87	0.55	0.16	0.14
21	HID - AM	150W	REFLECTOR	180	4,368.00	0.75	25	4.50	19,656.00	3.38	\$ 16,351.89	\$ 3,632.45	0.90	3.75	1.63
22	HID - AM	400W	CAMPANA	450	4,368.00	0.75	2	0.90	3,931.20	0.68	\$ 3,270.38	\$ 726.49	0.90	0.75	0.33
T O T A L							4,344	100.20	392,369.54	75.15	\$ 326,413.55	\$ 80,885.72	-	118.52	85.51

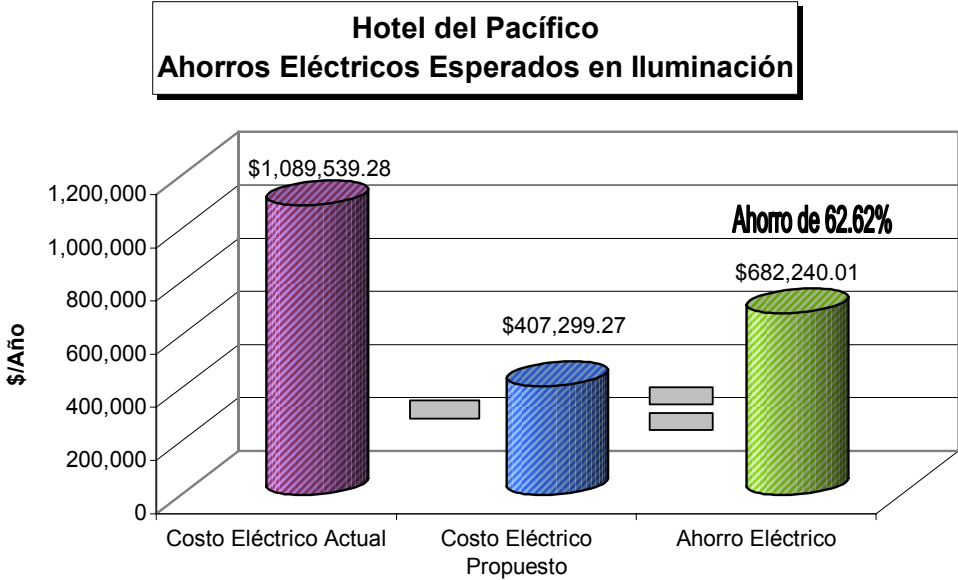
Tabla 5.7 Determinación de Parámetros y Costos Eléctricos (Caso Propuesto)

El costo eléctrico total esperado por concepto de iluminación es de \$407,299 al año (Gráfica 5.7). Con el cálculo anterior se puede determinar el ahorro sobre la base de iluminación (Gráfica 5.8), teniendo un ahorro esperado de 62.62%. El ahorro sobre la facturación eléctrica total anual esperada es de 22.77% (Gráfica 5.9), en otras palabras, se dejarán de pagar \$682,240 al año por usar LFC's. La Tabla 5.8 muestra un resumen ello.

En lo que respecta al ahorro en consumos eléctricos (Tabla 5.9), la Energía puede disminuir hasta en un 61.87% y la reducción en la Demanda Facturable puede llegar a ser de 65.37%, aclarando que estos ahorros son sobre la base de iluminación.

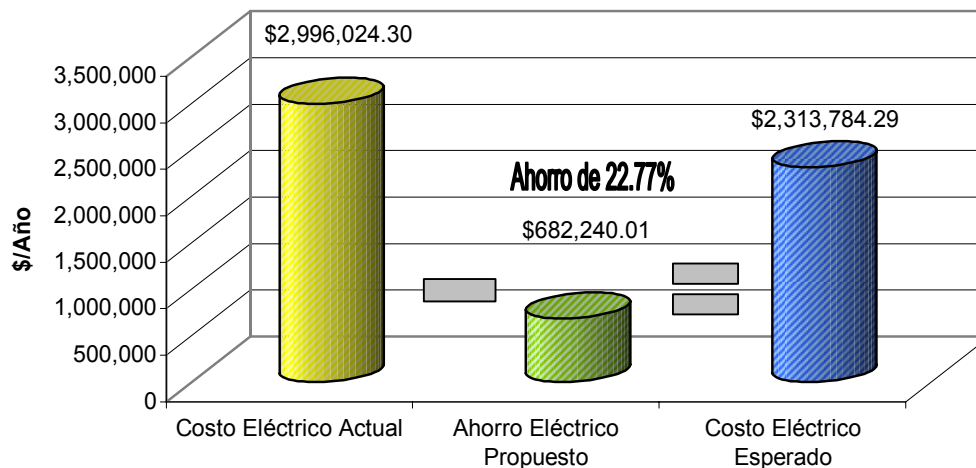


Gráfica 5.7 Costo Eléctrico de Iluminación Propuesto
Fuente: Gráfica Elaborada con Datos del Hotel del Pacífico



Gráfica 5.8 Ahorros Eléctricos Esperados en Iluminación
Fuente: Gráfica Elaborada con Datos del Hotel del Pacífico

Hotel del Pacífico Costo Eléctrico Esperado



Gráfica 5.9 Costo Eléctrico Esperado
Fuente: Gráfica Elaborada con Datos del Hotel del Pacífico

HOTEL DEL PACÍFICO AHORROS ELÉCTRICOS POR ILUMINACIÓN			
Costo Eléctrico	Actual	Propuesto	Ahorro
Energía (\$/año)	855,969.70	326,413.55	529,556.15
Ahorros Eléctricos por Energía Sobre la Base de Iluminación (%):			61.87
Demanda (\$/año)	233,569.59	80,885.72	152,683.86
Reducción de la Demanda Fac. Sobre la Base de Ilum. (%):			65.37
Total	1,089,539.28	407,299.27	682,240.01
Ahorros Eléctricos Totales Sobre la Base de Iluminación (%):			62.62
Ahorro Eléctrico Total Sobre Facturación Eléctrica (%):			22.77

Tabla 5.8 Ahorros Eléctricos por Iluminación
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

HOTEL DEL PACÍFICO AHORROS EN CONSUMO ELÉCTRICO POR ILUMINACIÓN			
Consumo Eléctrico	Actual	Propuesto	Ahorro
Energía (kW/hr/año)	1,028,929.20	392,369.54	636,559.66
Ahorro de Energía Sobre la Base de Iluminación (%):			61.87
Demanda Fac. (kW/mes)	217.02	75.15	141.86
Reducción de la Demanda Fac. Sobre la Base de Ilumin. (%):			65.37

Tabla 5.9 Ahorros en Consumo Eléctrico por Iluminación
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

La inversión de la propuesta es la parte más importante del diagnóstico energético, pues de ella se desprende la posibilidad de llevar a cabo o no las medidas de ahorro; que en este caso consisten básicamente en optimizar los sistemas de iluminación actuales de lámparas incandescentes por LFC's mejorando o conservando los niveles actuales de iluminación en el hotel. La inversión que se tiene que llevar para la ejecución del proyecto así como el TSR en años de la inversión se presenta en la Tabla 5.10.

HOTEL DEL PACÍFICO	
INVERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	
Inversión Total Antes de IVA (\$):	1,145,472.72
Tiempo Simple de Recuperación (Años):	1.68

Tabla 5.10 Inversión en los Sistema de Iluminación
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

El TSR se obtiene a partir de dividir la inversión total entre los ahorros económicos al año, ya sean ambos valores antes de IVA o después de IVA.

Con lo anterior podemos concluir que este proyecto es rentable, ya que los ahorros son significativos (\$682,240) y la recuperación de la inversión no va más allá de un año y nueve meses, trayendo además, una mejor imagen en el inmueble.

La inversión que se maneja ya incluye los costos de mano de obra, LFC's, luminarios y materiales misceláneos, así como el porcentaje de utilidad. Los costos que no se están incluyendo dentro de la inversión son los viáticos y el traslado de los materiales para la ejecución del proyecto, esto se hizo por petición del cliente, ya que el puede dar las facilidades de hospedaje y traslado de los instaladores, supervisores y materiales.

Todos los precios unitarios que se manejan no incluyen IVA. A continuación se presenta de manera muy general el volumen de obra del proyecto (Tabla 5.11).

HOTEL DEL PACÍFICO					
VOLUMEN DE OBRA					
N°	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Subtotal
1	LFC de 11 W electrónica, cálida.	pza	500	\$ 36.06	\$ 18,032.00
2	LFC de 13 W PAR 30 electrónica, cálida.	pza	1,699	\$ 104.72	\$ 177,919.28
3	LFC de 15 W R 30 electrónica, cálida.	pza	965	\$ 63.00	\$ 60,795.00
4	LFC de 11 W tipo vela electrónica, cálida	pza	10	\$ 59.50	\$ 595.00
5	LFC de 23 W electrónica, cálida.	pza	752	\$ 83.72	\$ 62,957.44
6	Luminario para LFC PAR30	pza	1,699	\$ 84.00	\$ 142,716.00
7	Luminario para LFC R30	pza	965	\$ 182.00	\$ 175,630.00
8	Materiales misceláneos	lote	1	\$ 77,196.00	\$ 77,196.00
9	Mano de Obra	lote	1	\$ 429,632.00	\$ 429,632.00
SUBTOTAL					\$ 1,145,472.72
IVA					\$ 171,820.91
TOTAL					\$ 1,317,293.63

NOTA 1: ESTOS PRECIOS NO INCLUYE EL TRASLADO DE LOS MATERIALES

NOTA 2: EL TOTAL NO INCLUYE VIATICOS

Tabla 5.11 Volumen de Obra
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

En el supuesto caso de que el dueño o dueños del hotel no quisieran invertir, pero si llevar a cabo el proyecto, éste se puede presentar al Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), con el fin de obtener un financiamiento dentro de su programa de apoyo a comercios y servicios.

5.2.7 ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA

Un punto muy importante es el factor de potencia (FP) de las LFC's. Éstas tienen un FP alrededor del 55%, al ser colocadas una gran cantidad de ellas provocan que el FP de

toda una instalación disminuya, trayendo como consecuencia una multa por parte de la compañía suministradora, siendo en este caso la CFE.

$$\text{Porcentaje de recargo} = 3/5 \times ((90/FP) - 1) \times 100 \text{ (solo para FP menores a 90\%)}$$

El análisis del FP para los dos tipos de carga que se están considerando (otras cargas e iluminación), para el caso actual y para propuesto, se muestran en la Tabla 5.12.

HOTEL DEL PACÍFICO ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA						
Concepto	Actual		Total	Propuesto		Total Esperado
	Iluminación	Otras Cargas		Iluminación	Otras Cargas	
P [kW]	217.02	273.98	491	75.15	273.98	349.14
Q [kVAR]	12.54	131.24	143.78	85.51	131.24	216.75
S [kVA]	217.38	303.79	511.62	113.84	303.79	410.94
FP [adim]	0.9983	0.9019	0.9597	0.6602	0.9019	0.8496

Tabla 5.12 Análisis del Factor de Potencia
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

Para el caso propuesto se espera que el FP caiga hasta 84.96% ocasionando que la CFE multe al hotel. En consecuencia, se propone la corrección del FP al 92% con un banco de capacitores de 68.01kVAR. Haciendo la corrección por tensión, el banco debe ser de 80.94kVAR, comercialmente hablando el valor del mismo será de 80.00kVAR (Tabla 5.13).

HOTEL DEL PACÍFICO ANÁLISIS DEL BANCO DE CAPACITORES			
Concepto	Valor	Unidad	
Capacidad del transformador	750	kVA	
Factor de potencia (caso propuesto)	0.8496	P.U.	
Factor de potencia deseado	0.92	P.U.	
Tensión de capacitores	220	V	
Tensión de capacitores	240	V	
Tamaño del banco de capacitores	68.01	kVAR	
Tamaño del banco corregido	80.94	kVAR	
KVAR máximos permitidos de acuerdo con la capacidad del transformador	75	kVAR	
Tamaño del banco de acuerdo con el fabricante	80	kVAR	

Tabla 5.13 Análisis del Banco de Capacitores
Fuente: Tabla elaborada con datos del Hotel del Pacífico

5.2.8 BENEFICIOS AMBIENTALES

Mejorar el sistema de iluminación por uno más eficiente, trae la reducción de contaminantes del medio ambiente y la preservación de combustibles fósiles. Como se menciona en su momento, el coeficiente de emisiones de Gases de Efecto Invernadero recomendado es de 0.6539 tCO₂/MWhr⁽²⁾; para este caso de estudio, el valor calculado a partir de los ahorros esperados por concepto de Energía es de 636,559 kWhr/año, con lo que se dejarían de emitir poco más de 416 toneladas de CO₂ al año con el simple hecho de llevar a cabo la implementación de equipo eficiente de iluminación en este inmueble. Con un poco de mercadotecnia, estas mejoras pueden traer al hotel reconocimientos por las inversiones de iluminación eficiente y beneficios ambientales.

$$tCO_2 = (0.6539 \frac{tCO_2}{MWhr}) * (\frac{636,559.66 \text{ kWhr}}{1,000 \text{ Año}}) = 416.246 \frac{tCO_2}{Año} \dots\dots\dots (\text{Ec. 5.2})$$

CONCLUSIONES

Han tenido que pasar tres décadas para alcanzar el mercado, aun en desarrollo, con el que las LFC's cuentan en la actualidad, en las que no ha sido fácil ir ganando terreno al gigantesco mercado que por más de 100 años han representado los sistemas incandescentes de iluminación tradicional.

Los sistemas de iluminación presentan una excelente oportunidad para el ahorro de energía, tomando en cuenta las tareas visuales efectuadas en el área donde se pretenda hacerlo, ya que una iluminación insuficiente disminuirá la productividad de las personas. Adicionalmente, debe mencionarse que es necesario conocer los avances tecnológicos en luminarios y controles de alumbrado para seleccionar la mejor alternativa según el caso.

La idea de sustituir lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas (LFC's) ha sido el motor principal para el desarrollo de los sistemas fluorescentes de iluminación que hoy en día, gracias a la reducción del tamaño de sus lámparas y a las diversas tecnologías que emplean para producir una buena calidad de luz a bajos costos, las vemos empleadas en proyectos de ahorro de energía eléctrica.

Una importante área para el ahorro de energía eléctrica es el sector residencial, donde la iluminación representa la tercera parte del consumo de electricidad, siendo las LFC's una buena opción para reemplazar los focos incandescentes al consumir la cuarta parte de la energía que éstas consumen y al durar hasta diez veces más que las mismas.

Al emplear LFC's se reduce la emisión de gases de efecto invernadero, al consumir 75% menos energía que los focos incandescentes a los que sustituyen, se requiere menos energía eléctrica para producir el mismo flujo luminoso, evitando la combustión de substancias contaminantes necesarias en la generación de electricidad sin sacrificar la calidad visual de iluminación del sistema incandescente sustituido.

En cuanto a la cantidad de mercurio que las LFC's contienen, cada vez es menor gracias al mejoramiento de las tecnologías desarrolladas en la actualidad que buscan no dañar al medio ambiente, una LFC común contiene en promedio de 4 a 5mg, cantidad que está por debajo de la que presentan otros productos tales como un termómetro casero (500mg a 2g). Es importante aclarar que el hecho de que una LFC contenga mercurio no es sinónimo de que exista una emisión de éste al ambiente mediante su uso.

Para evitar que elementos tóxicos como el mercurio puedan llegar a tener contacto directamente con el ambiente, es importante considerar que México requiere tomar medidas más estrictas en cuanto al manejo de la basura que se genera día a día, y poner en marcha programas de recuperación de materiales con los que se hacen las LFC's y otros productos más.

Las tecnologías que emplean las LFC's en la actualidad, permiten que sus aplicaciones se extiendan más, tal es el caso de la tecnología de amalgama con la que no importa la posición de encendido que tenga la LFC, pues su flujo luminoso no decaerá drásticamente siendo éste estable dentro de un amplio rango de temperaturas.

Los criterios generales de aplicación para LFC's varían según el tipo de uso para el que se vaya a requerir. Para obtener una buena iluminación y un ahorro económico al mismo

tiempo, en este trabajo se propuso una guía rápida de aplicación, que ayudará a orientar al usuario que desee emplear LFC's según el uso que le(s) vaya a dar.

Existen barreras que resisten la adopción a gran escala de tecnologías de iluminación eficiente en el sector residencial y comercial, la introducción de LFC's de menor precio pero con baja calidad en el mercado nacional y la falta de información sobre qué lámpara comprar, provoca en muchos consumidores el terminar comprando la opción más barata y no quedar satisfechos con el resultado final del producto. En México, la falta de normas nacionales actualizadas que regulen la calidad de los parámetros de uso de las LFC's, permite que el mercado siga creciendo a base de productos de baja calidad que solo confunden al usuario.

El caso de estudio que se presentó, es un claro ejemplo de la aplicación de las LFC's, la actual variedad de diseños hace posible el reemplazo de casi todo tipo de iluminación incandescente. El estudio indicó que se pueden alcanzar ahorros mayores al 20% anual sobre la facturación total antes de IVA, lo equivalente a \$682,240 al año; en particular, el ahorro sobre la misma base de iluminación alcanzó un 62% provocando que la inversión de \$1,145,472 antes de IVA, se recupere en un tiempo aproximado de 20 meses, haciendo bastante atractivo al proyecto para invertir en él mediante recursos propios o con financiamiento del FIDE.

En lo que respecta a los ahorros por consumo, el ahorro de energía fue de 21.3%, lo que implica que se dejen de consumir 636,560 kWhr/Año en el inmueble; la demanda se reduciría en un 30%, es decir, en 142 kW/Mes. Sobre la base de iluminación, el ahorro de energía y reducción de la demanda es de 62% y 65%, respectivamente.

El factor de potencia esperado fue de 84.96% y se desea corregirlo incrementándolo al 92.50% para evitar la multa por parte de la compañía suministradora, por lo que se necesitará un banco de capacitores de 80 kVAR con un precio aproximado de \$45,000 dependiendo del fabricante. Es recomendable hacer la inversión, de lo contrario, el porcentaje de recargo sería de 3.56% equivalente a \$6,864 al mes. Con lo anterior, la inversión del capacitor se pagaría en un plazo no mayor a ocho meses.

Los beneficios ambientales que la implementación del proyecto propuesto en el caso de estudio traerá, provocará que se dejen de emitir alrededor de 416 tCO₂/Año.

El formar una cultura de ahorro de energía en el país, traerá como beneficio el apoyo a un desarrollo sustentable que, actualmente no solo es una preocupación nacional sino internacional. Por ello, es imprescindible tomar conciencia hoy de la cultura del cuidado de la energía como parte de nuestra vida diaria, e inculcarla de ese modo a las generaciones futuras. Una actitud de cuidado de los recursos naturales en general, es un estilo de vida y resulta especialmente importante en aquellos bienes o servicios, como la energía eléctrica, cuya producción resulta costosa para la sociedad.

El uso de tecnologías que ayuden al ahorro de la energía eléctrica, como lo es desarrollo de proyectos de iluminación que emplean LFC's, es tan solo una pieza en el rompecabezas que el país requiere terminar de ensamblar si desea abastecer de energía a las futuras generaciones.

APÉNDICE A GLOSARIO

Alumbrado de emergencia. Alumbrado que entra en operación cuando falla el sistema de alumbrado normal.

Ampere. Unidad de corriente eléctrica dada en un coulomb por segundo. Identifica la cantidad de electrones que pasan por un punto determinado en un circuito durante un período específico.

Arbotante. Luminario apropiado para fijarse a la pared.

Balastro electrónico. Balastro que usa componentes a base de semiconductores para aumentar la frecuencia de operación de una lámpara fluorescente (típicamente entre 20 y 40 KHz.). La eficiencia del sistema fluorescente aumenta debido a la operación de la lámpara en alta frecuencia y a la reducción de pérdidas en el balastro. Puede suministrar a la lámpara potencia constante ó variable.

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

Biodegradable. Sustancias que pueden ser descompuestas por microorganismos (principalmente bacterias aerobias) en un período de tiempo relativamente corto. Muchos productos artificiales son biodegradables, pero otros (insecticidas organoclorados y detergentes "duros") son muy resistentes a la acción bacteriana.

Biodiversidad. Término general para designar la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte. Comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas. La biodiversidad es función del tiempo (evolución) y el espacio (distribución biogeográfica).

Bulbo. Una ampolla transparente o translúcida que encierra el elemento luminoso.

Cambio climático. Es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Candela. Unidad de intensidad luminosa, que describe la intensidad de una fuente de luz en una dirección específica.

Clima. Se define como la síntesis de las condiciones de la temperie o tiempo meteorológico en un lugar determinado, caracterizada por estadísticas a largo plazo de las variables meteorológicas (temperatura, presión atmosférica, nubosidad, viento, etc.)

Coefficiente de utilización. La relación del flujo que llega a un plano dado a aquel emitido por la lámpara.

Color. Sensación visual que permite al observador distinguir diferencias de calidad de esta sensación de acuerdo con las diferencias de composición espectral de la luz. Característica del estímulo luminoso (fuente de luz u objeto) que da lugar a la sensación visual.

Cromaticidad. La calidad de color de una luz definible por sus coordenadas de cromaticidad, o por su longitud de onda dominante (ó complementaria) juntamente con su pureza.

Cultura ambiental. Conceptualización que se apoya en valores éticos, sociales, históricos, ecológicos y religiosos que tiende a afianzar la identidad cultural en relación con el medio ambiente, enfatizando el sentido de compromiso y responsabilidad para el logro de un equilibrio que armonice al hombre y su cultura con la naturaleza y la tecnología.

Curva isocandela. Una curva trazada en una esfera imaginaria con la fuente en su centro y juntando todos los puntos correspondientes a aquellas direcciones en las cuales la intensidad luminosa es la misma o una proyección plana de esta curva.

Curva isolux. La unión de puntos sobre una superficie donde la iluminación tiene el mismo valor.

Descarga eléctrica en un gas. El paso de una corriente eléctrica a través de gases y vapores debido a la producción y movimiento de iones bajo la influencia de una diferencia de potencial eléctrico. Esto resulta en la emisión de radiaciones electromagnéticas; efecto que es básico en todas las aplicaciones prácticas de este fenómeno.

Descarga luminiscente. Una descarga auto-mantenida caracterizada por una emisión secundaria del cátodo la cual es mayor que la emisión termoeléctrica debido a una caída de voltaje considerable (70 V o más) y por una densidad de corriente baja en el cátodo (del orden de mA/cm²).

Deslumbramiento. Una condición de la visión en la cual hay incomodidad o una reducción de aptitud para distinguir los objetos o ambas, debido a una distribución ó cantidad de luminancia inadecuada ó a contrastes excesivos en el espacio ó tiempo.

Difusor. Un objeto que se usa para alterar la distribución espacial del flujo luminoso de una fuente, y utiliza esencialmente el fenómeno de difusión.

Distorsión armónica total (THD). Es la relación entre la amplitud de las corrientes armónicas totales y la amplitud de la onda a frecuencia fundamental. También es la relación entre la raíz cuadrática media de todas las armónicas y la raíz cuadrática media de la fundamental. Se expresa comúnmente como un porcentaje de la corriente fundamental, pero puede ser aplicable a una onda de corriente, voltaje, potencia, etc.

Ecología. Es una ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y las relaciones de los seres con su entorno físico de materia y energía

Efecto estroboscópico. Un movimiento aparente de un objeto que es diferente de su movimiento real o una detención aparente del movimiento de un objeto, cuando la iluminación sobre el mismo se varía a una cierta frecuencia.

Eficiencia de un luminario. La relación del flujo emitido por el luminario a aquel emitido por la(s) lámpara(s).

Esfera fotométrica (o de Ulbricht). Parte de un integrador fotométrico. Una esfera cubierta interiormente con una pintura mate no selectiva, que tiene una ventana de observación en la cual se coloca un receptor físico o un fotómetro visual. Una pantalla interior evita que esta ventana reciba luz directa de la fuente.

Flicker (FI). Es la medida relativa de la variación cíclica en la salida de potencia de las fuentes fluorescentes a determinada frecuencia ó también la relación entre el área arriba de la línea de salida de luz promedio y el área total de la curva en un ciclo. Los valores varían entre 0 y 1.0, donde a valores más altos se incrementa la posibilidad de efecto estroboscópico, así como también parpadeo perceptible de lámpara.

Fluorescencia. Luminiscencia que persiste por menos de aproximadamente 10^{-8} de segundo después de la excitación.

Fotometría. Las mediciones de cantidades relativas a la radiación valuadas de acuerdo con el efecto visual que producen y basadas en ciertas convenciones.

Geomorfológico. Forma y aspecto de la superficie terrestre

Impacto ambiental. Es cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales.

Indicadores ambientales. Variable que señala la presencia o condición de un fenómeno que no puede medirse directamente.

Lámpara de arranque en frío. Una lámpara fluorescente diseñada para arrancar y operar sin un precalentamiento de los electrodos.

Lámpara de arranque en caliente. Una lámpara de catarro caliente diseñada para operar mediante un dispositivo que provee el precalentamiento de los electrodos.

Lámpara de cátodo caliente. Una lámpara fluorescente en la cual los cátodos se calientan en el arranque y sus pérdidas son relativamente pequeñas. Esta lámpara puede requerir un dispositivo de arranque.

Lámpara de descarga. Una lámpara que depende de la descarga eléctrica a través de gas o un vapor metálico o una mezcla de varios gases o vapores.

Lámpara fluorescente. Una lámpara tubular de descarga de vapor de mercurio de baja presión, en la cual la mayor parte de la luz es emitida por una capa de material fluorescente excitado por la radiación ultravioleta de la descarga. Es una fuente que produce luz bajo el principio general de luminiscencia, es decir, con baja elevación de temperatura, usando también el fenómeno de fluorescencia.

Lámpara Fluorescente Compacta. Una lámpara fluorescente pequeña que se usa frecuentemente como una alternativa para sustituir lámparas incandescentes. Su vida es alrededor de 10 veces más que las lámparas incandescentes y entre 3 y 5 veces más eficiente.

Lámpara tipo PAR. Lámpara con reflector parabólico recubierto de aluminio. Puede ser incandescente, de aditivos metálicos ó fluorescente compacta. Se especifican en candelas y ángulos de apertura del haz luminoso.

Lluvia ácida. Es un complejo fenómeno químico-atmosférico que ocurre cuando las emisiones de compuestos de azufre, nitrógeno y otras sustancias, generalmente originadas por la actividad industrial, son transformadas por procesos químicos en la atmósfera, frecuentemente lejos de la fuente de origen, y luego depositados sobre la superficie terrestre por la vía húmeda.

Manejo sustentable. Administración y uso racional de los ambientes y sus recursos naturales basado en pautas que permiten su conservación y rendimiento sostenido en el tiempo.

Medio ambiente. Son todos aquellos factores que nos rodean (vivientes y no vivientes) que afectan directamente a los organismos (como nosotros). Es decir, el ambiente no está constituido sólo por factores físico-naturales sino por factores sociales, económicos, culturales, históricos, etc.

NOM. Siglas que identifican a las normas obligatorias mexicanas.

NMX. Siglas que identifican a las normas voluntarias mexicanas.

Parpadeo. Impresión de la fluctuación de luminosidad o de color, que ocurre cuando la frecuencia de la variación percibida se encuentra entre una frecuencia baja y la frecuencia de fusión de las imágenes.

Plano de trabajo. El plano (imaginario o real) en el cual se verifica la tarea visual y en el cual por lo tanto, se especifica y mide la iluminación. A menos que se indique en otra forma este plano se supone que sea horizontal y a 0.75 m sobre el piso.

Proyector. Un luminario el cual mediante espejos o lentes controla la luz en un ángulo sólido determinado, grande o pequeño.

Radiación. La emisión o transmisión de energía en la forma de ondas o partículas electromagnéticas.

Radiación monocromática. Radiación caracterizada por una sola frecuencia.

Radiación visible. Cualquier radiación que sea susceptible de producir una sensación visual directamente. El alcance de la longitud de onda de esa radiación puede considerarse, para fines prácticos, estar entre 380 y 780 milimicrones (3800 y 7800 Angstroms).

Reflectancia de una superficie. La relación entre el flujo luminoso que sale de una superficie ó medio y el flujo luminoso incidente. Depende del ángulo de incidencia, las características espectrales de la fuente y el ángulo de visión.

Reflector. Un dispositivo usado para alterar la distribución espacial del flujo luminoso de una fuente y que depende esencialmente del fenómeno de reflexión.

Sensor de Presencia. Dispositivo de control que detecta la ausencia/presencia de usuarios para apagar/encender la iluminación artificial. Puede ser ultrasónico, infrarrojo ó dual y en algunos modelos puede ajustarse para actuar de acuerdo con la cantidad de luz natural.

Sustancia luminiscente (fósforo). Un material generalmente sólido susceptible de producir una luminiscencia.

Tiempo meteorológico. El tiempo meteorológico o temperie es el estado de la atmósfera en un instante dado, definido por los diversos elementos meteorológicos.





Volt. Unidad de medida para el potencial eléctrico. Define la fuerza o presión eléctrica entre dos puntos de un circuito. Tiene influencia directa en el comportamiento de todos los equipos eléctricos.

Watt. Unidad de potencia eléctrica real, es decir, potencia que produce trabajo útil. Define el valor del consumo instantáneo de energía de un dispositivo eléctrico cuando está en operación. En circuitos de corriente directa es el producto del voltaje por la corriente. En circuitos de corriente alterna involucra al factor de potencia.










APÉNDICE B
PRINCIPALES FABRICANTES DE LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

MARCA	CONTACTO VÍA INTERNET
Osram	 www.osram.com.mx
Philips	 www.luz.philips.com
General Electric	 www.geiluminacion.com
Magg	 www.electromagg.com.mx
Truper	 www.truper.com
Tecno-Lite	 www.tecnolite.com.mx
Sanelec	 www.sanelec.com.mx
Maxlite	 www.maxlite.com
Pefsa	 www.pefsa.com.mx
Lights of America	 www.lightsofamerica.com
SLI	 www.sli_lighting.com
Donalite	lamparasybalastros@prodigy.net.mx
Tishman	www.bemec.com.mx

APÉNDICE C
PRINCIPALES FABRICANTES DE BALASTROS PARA
LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

Marca	Contacto Vía Internet
Osram 	www.osram.com.mx
Philips 	www.luz.philips.com
General Electric 	www.geiluminacion.com
Tecno-Lite 	www.tecnolite.com.mx
Advance 	www.advance.com.mx
Universal Lighting Technologies 	www.universalballast.com
Magg 	www.electromagg.com.mx
Sola Basic 	www.isbmex.com
Lumisistemas 	www.lumisistemas.com.mx

APÉNDICE D
PRINCIPALES FABRICANTES DE LUMINARIOS PARA
LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

Marca	Contacto Vía Internet
Philips-Contrulita 	www.luz.philips.com
BJC 	www.bjc.com.mx
Magg 	www.electromagg.com.mx
Tecno-Lite 	www.tecnolite.com.mx
Energiza 	www.energiza.com.mx
Lithonia 	www.lithonia.com
Holophane 	www.holophane.com.mx
Juno 	www.junolighting.com
Peber 	www.pluz.com.mx/entrada.htm

APÉNDICE E
LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS CON SELLO FIDE

OSRAM

Certificado SELLO FIDE No.: S0700

Fecha de Vencimiento: 01 de Agosto del 2004

MODELO	VALORES DE GARANTÍA			OTRAS CARACTERÍSTICAS
	POTENCIA MÁXIMA (WATTS)	FLUJO LUMINOSO (LUMENS)	EFICACIA MÁXIMA (LUMENS/WATTS)	
Balastro Electrónico, 127 V, 10,000 hr de vida.				
DULUX EL 15W/840	15	1000	63.0	---
DULUX EL 23W/865	23	1400	63.0	---

OSRAM

Certificado SELLO FIDE No.: S0700

Fecha de Vencimiento: 10 de Octubre del 2004

MODELO	VALORES DE GARANTÍA			OTRAS CARACTERÍSTICAS
	POTENCIA MÁXIMA (WATTS)	FLUJO LUMINOSO (LUMENS)	EFICACIA MÁXIMA (LUMENS/WATTS)	
Balastro Electrónico, 127 V, 6,000 hr de vida.				
DULUX EL MINITWIST BLANCO CÁLIDO	13.65	760	54.00	---
DULUX EL MINITWIST LUZ DE DÍA	13.65	760	54.00	---
DULUX GLOBO 16W BLANCO FRÍO	16.80	808	48.00	Difusor tipo Globo
DULUX GLOBO 16W LUZ DE DÍA	16.80	808	48.00	Difusor tipo Globo
Balastro Electrónico, 127 V, 8,000 hr de vida.				
DULUX EL T 23W 4200K	24.15	1378	63.0	---
Balastro Electrónico, 127 V, 10,000 hr de vida.				
DULUX EL T 15W BLANCO CÁLIDO	15.75	808	58.00	---
DULUX EL T 15W LUZ DE DÍA	15.75	808	58.00	---
DULUX EL LONGLIFE 15W/41-827	15.75	855	58.00	---
DULUX EL TWIST 15W BLANCO CÁLIDO	15.75	808	58.00	---
DULUX EL LONGLIFE 20W/21-840	21.00	1140	63.00	---
DULUX EL T 20W BLANCO CÁLIDO	21.00	1140	63.00	---
DULUX EL T 20W LUZ DE DÍA	21.00	1140	63.00	---
DULUX EL MINITWIST	24.15	1378	63.00	---
DULUX EL MINITWIST	24.15	1378	63.00	---

PHILIPS

Certificado SELLO FIDE No.: P0695

Fecha de Vencimiento: 14 de Octubre del 2004

MODELO	VALORES DE GARANTÍA			OTRAS CARACTERÍSTICAS
	POTENCIA MÁXIMA (WATTS)	FLUJO LUMINOSO (LUMENS)	EFICACIA MÁXIMA (LUMENS/WATTS)	
Balastro Electrónico, 127 V, 10,000 hr de vida.				
PLEUT 15W CDL	16.00	850	58.00	---
PLEUT 15W WW	16.00	850	58.00	---



Certificado SELLO FIDE No.: G1099

Fecha de Vencimiento: 01 de Agosto del 2004

MODELO	VALORES DE GARANTÍA			OTRAS CARACTERÍSTICAS
	POTENCIA MÁXIMA (WATTS)	FLUJO LUMINOSO (LUMENS)	EFICACIA MÁXIMA (LUMENS/WATTS)	
Balastro Electrónico, 127 V, 6,000 hr de vida.				
FLE15TBX/SPX41	14.5	820	59.00	---
FLE15/A2/A23/SW/CD	15.2	720	48.00	Difusor tipo Pera
FLE20/A2/A24/SW/CD	18.2	880	49.50	Difusor tipo Pera
FLE17HLX/SPX41/CS	15	950	65.00	---
FLE17HLX/SPX27/CS	15	950	65.00	---
FLE20HLX/9/SW/CD	20.5	1100	65.00	---
FLE21HLX/SPX41/CS	20	1100	65.00	---
FLE27HLX/SPX41/CS	27	1600	67.00	---
FLE27HLX/SPX27/CS	27	1600	67.00	---



Certificado SELLO FIDE No.: P1003

Fecha de Vencimiento: 13 de Octubre del 2004

MODELO	VALORES DE GARANTÍA			OTRAS CARACTERÍSTICAS
	POTENCIA MÁXIMA (WATTS)	FLUJO LUMINOSO (LUMENS)	EFICACIA MÁXIMA (LUMENS/WATTS)	
Balastro Electrónico, 127 V, 8,000 hr de vida.				
BAMBOO 1731				
BAMBOO 1807	13.50	750	57.00	AFP, BA
BAMBOO 1801				
TWISTER 1735	20.00	1200	63.00	AFP, BA
TWISTER 1737	23.00	1400	63.00	AFP, BA
Balastro Electrónico, 127 V, 10,000 hr de vida.				
BAMBOO 1730	13.00	750	60.00	---
BAMBOO 1732				
BAMBOO 1808	15.00	850	58.00	---
BAMBOO 1802				

AFP: Alto Factor de Potencia (Mayor de 90%)

BA: Bajo en Armónicas (menor a 33%)

Notas Importantes:

Al otorgar la Licencia para el Uso del SELLO FIDE a éstos productos durante un año, el FIDE realizó un muestreo y evaluó el cumplimiento a los valores arriba indicados, por lo que cada fabricante y distribuidor, garantiza que sus productos cumplen con los valores antes relacionados.

Cualquier inconformidad de los valores de garantía, favor de reportarla a la Coordinación del SELLO FIDE al Tel. 52-54-30-44, ext 96140, Fax. 52-54-20-36, e-mail: efrain.aguado@cfe.gob.mx

ÍNDICE DE TABLAS

Página

CAPÍTULO I

1.1	Gases de efecto Invernadero.....	18
1.2	Generación de electricidad en México.....	21
1.3	Capacidad y generación de las plantas termoeléctricas	22
1.4	Cantidad de mercurio en otros productos.....	23

CAPÍTULO II

2.1	Características de los polvos fluorescentes.....	33
2.2	Eficacia luminosa de los sistemas de iluminación	39
2.3	Balance energético de los sistemas de iluminación	40
2.4	Resumen de colores	43
2.5	Flujo luminoso de diferentes LFC's.....	48
2.6	Clasificación del ruido en los balastos.....	78
2.7	Código de colores para el alambrado en los balastos.....	79
2.8	Comparación de balastos ELMG's vs ELTN's.....	83
2.9	Protección contra choques eléctricos	100
2.10	Clasificación de los grados de protección IP	100

CAPÍTULO III

3.1	Límites de eficacia para las LFC's.....	118
3.2	Límites de eficacia de balastos.....	119
3.3	Niveles mínimos de iluminación.....	120

CAPÍTULO IV

4.1	LFC vs Incandescente (relación de potencias y flujo luminoso).....	123
4.2	Ahorros de una LFC vs Incandescente.....	124
4.3	LFC's de diferentes marcas equivalentes en características de uso.	132
4.4	Recomendación de aplicaciones para cada tipo de LFC	133

CAPÍTULO V

5.1	Análisis de facturación hoja 1 de 2	142
5.1	Análisis de facturación hoja 2 de 2	143
5.2	Sistema de iluminación incandescente.....	145
5.3	Determinación de parámetros y costos eléctricos (caso base)	147
5.4	Costos eléctricos (caso base).....	149
5.5	Consumos eléctricos por tipos de carga.....	150
5.6	Caracterización de la propuesta	150
5.7	Determinación de parámetros y costos eléctricos (caso propuesto).....	152
5.8	Ahorros eléctricos por iluminación	154
5.9	Ahorros en consumo eléctrico por iluminación	154
5.10	Inversión en los sistema de iluminación	155
5.11	Volumen de obra.....	155
5.12	Análisis del factor de potencia	156
5.13	Análisis del banco de capacitores.....	156

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Página

CAPÍTULO I

1.1	Tubo Cooper-Hewitt en forma de “U”, 1919.	2
1.2	Aplicación residencial de una lámpara circline en la década de los 70's	4
1.3	LFC en forma de espiral, 1976 ⁽⁸⁾	4
1.4	Lámpara “SL-18”, versión europea de 16.5cm de longitud ⁽⁵⁾	5
1.5	Construcción de la lámpara “SL”	5
1.6	Lámpara “Econ-Nova”, 1981	5
1.7	Modelo PL-L de Philips, 1981	6
1.8	Modelo PL-C de Philips, 1981	6
1.9	Modelo PL-L de Philips	6
1.10	LFC's, década de los 80's.....	7
1.11	Modelo PL-T de Philips, 1986.....	7
1.12	Modelo PLE-C de Philips	7
1.13	Modelo PLE-T de Philips.....	7
1.14	Lámpara Philips 15W SLS	8
1.15	Línea Earth Light SL de Philips.....	8
1.16	LFC DULUX T/E 23W	8
1.17	Lámpara PL-C de Philips EarthLight 13W. Conocida como “quad” con tecnología ALTO	9
1.18	LFC helicoidal producida por NARVA.....	9
1.19	LFC de 15W en forma de espiral.....	10
1.20	Lámpara 2D marca General Electric.....	11
1.21	MASTER 'TL'5 circular de Philips Europa.....	11
1.22	LFC's Dulux F y Dulux-L	12
1.23A	LFC con bulbo externo tipo A19 de 15W.....	12
1.23B	Corte de una lámpara con bulbo externo tipo A19.....	12
1.24	LFC con reflector integrado	13
1.25	Corte de una lámpara con reflector integrado.	13
1.26	Lámpara Dulux T/E IN 57W marca Osram	14
1.27	LFC de 65W en forma Helicoidal	14
1.28	Comparación de tamaño en LFC's maxi y mini coil.....	14
1.29	LFC's modulares con reflector para uso en interiores típicas de los 90's	14
1.30	Lámparas PAR 38, 30 y 20. En su interior emplean LFC's de forma helicoidal.....	14
1.31	LFC's en forma de vela 7W y 11W	15
1.32	LFC con bulbo exterior tipo bala, 15W.....	15
1.33	LFC tipo globo.....	15
1.34	LFC de 3W marca Winko	15
1.35	LFC encendida	15
1.36	Comparación del tamaño de la LFC con un encendedor de bolsillo	15
1.37	Diversas LFC's.....	15
1.38	Lámpara de emergencia	15
1.39	Diversidad representativa de LFC's marca Philips	15
1.40A	Línea mini essential de Philips 2003. Potencias de 5, 8 y 11W	16
1.40B	Comparación de tamaños entre LFC's	16
1.41	Efecto Invernadero.....	17
1.42	Emisiones totales de GEI's 1998 (millones de toneladas).....	19
1.43	Proceso de transformación de energía en una termoeléctrica	22
1.44	Tecnología de amalgama	24

CAPÍTULO II

2.1	Producción de luz en una lámpara fluorescente.....	26
-----	--	----

	Página	
2.2	Espectro electromagnético	26
2.3	Efecto Hall	28
2.4	Representación esquemática de una descarga gaseosa en C.C.	29
2.5	Zonas brillantes y oscuras de una descarga luminiscente en C.C.	30
2.6	Sistemas de LFC's	31
2.7	Construcción de una LFC	32
2.8	Bases para LFC's.....	35
2.9	Flujo luminoso de una LFC con y sin tecnología de amalgama.	38
2.10	Comparación de valores de TCC para lámparas de diferentes tipos.	41
2.11	Diagrama de cromaticidad	42
2.12	Variable "Valor"	44
2.13	Variable "Tinte"	45
2.14	Variable "Saturación"	45
2.15	Sólido de Munsell.....	45
2.16	Interrelación de las tres variables del color.....	46
2.17	Atlas de colores de Munsell	46
2.18	Curva de sensibilidad del ojo humano relacionada al espectro de las LFC's	47
2.19	Posición de operación o encendido	50
2.20	Posición de funcionamiento.	51
2.21	Curva de esperanza de LFC's.	52
2.22	Influencia de los ciclos de operación.	52
2.23	Curva de depreciación de lúmenes de las LFC's	53
2.24A	Distribución de energía espectral (Luz de Día)	54
2.24B	Distribución de energía espectral (Blanco Frío)	55
2.24C	Distribución de energía espectral (Blanco Cálido).....	55
2.25	Etiqueta de garantía de una LFC.....	56
2.26	Tipos básicos de tubos para LFC's.....	57
2.27	Diferentes tipos de balastos para LFC's.....	60
2.28	Vista del núcleo del balastro y balastro electromagnético.....	62
2.29	Diagrama de bloques de un balastro electrónico	62
2.30A	Voltaje de entrada a un balastro electrónico	63
2.30B	Filtro IEM.....	63
2.30C	Rectificador	63
2.30D	Inversor	63
2.31	LFC integral con balastro electrónico, marca Osram	64
2.32	Balastos electrónicos para sistemas dedicados.....	64
2.33	Tecnología End of Life	65
2.34	Frecuencia de operación (en Hz) de un balastro ELMG	65
2.34B	Frecuencia de operación (en Hz) de un balastro ELTN	66
2.35	Gráfica de la de la frecuencia de operación vs % flujo luminoso	66
2.36	Circuito de encendido precalentado	67
2.37	Voltaje inicial en el encendido instantáneo	67
2.38	Circuito de encendido instantáneo.....	68
2.39	Circuito de encendido rápido	68
2.40	Voltaje inicial en el encendido rápido.....	69
2.41	Balastro ELTN de encendido programado.....	69
2.42	Balastos ELTN programados.....	70
2.43	Balastro ELTN dimmeable	70
2.44	Factor de Cresta	75
2.45	Distorsión de la onda senoidal.....	77
2.46	Diagrama de alambrado de un balastro.....	79
2.47	Diagrama de conexión de un balastro marca Philips	80
2.48	Balastro ELTN y ELMG.....	81
2.49	Sistema dedicado.....	81

	Página
2.50 Balastro ELMG's para sistemas modulares	81
2.51 Balastos de sistemas integrales	82
2.52 Distribución luminosa	97
2.53 Distribución simétrica	97
2.54A Curva fotométrica de un luminario	98
2.54B Ejemplo de una descripción de fotometría.....	98
2.55 Flujo luminoso Semi-Directo	102
2.56 Flujo luminoso Semi-Indirecto.....	102
2.57 Flujo luminoso Directo-Indirecto	102
2.58 Flujo luminoso Directo.....	103
2.59 Flujo luminoso Difuso-Directo	103
2.60 Flujo luminoso Indirecto	103
2.61 Luminario tipo downlight lámpara-horizontal	106
2.62 Luminario tipo downlight lámpara-vertical.....	106
2.63 Sensor de presencia para instalar en techo	110
2.64 Sensores de presencia para instalar en pared	111
2.65 Estrategia de control	114

CAPÍTULO III

3.1 Sello FIDE	120
----------------------	-----

CAPÍTULO IV

4.1 Lámpara incandescente y termografía de lámpara incandescente vs LFC	123
4.2 LFC vs Incandescente	123
4.3 Aplicación de las LFC's en el sector residencial.....	125
4.4 Aplicación de las LFC's en comedor y recamara	125
4.5 LFC en un luminario Cerrado.....	126
4.6 Aplicación de las LFC's en el sector comercial	127
4.7 Aplicación de LFC's en una casa club	127
4.8 Aplicación de LFC's para iluminación general	127
4.9 Aplicación de las LFC's en oficinas	128
4.10 Aplicación de las LFC's en exteriores.....	128
4.11 Aplicación de las LFC's en sistemas dedicados	129
4.12 Comparación del FP, incandescente vs LFC.	131
4.13 Fideicomisos del proyecto Ilumex.....	136

CAPÍTULO V

5.1 Sistemas de iluminación del Hotel del Pacífico	144
5.2 Costos eléctricos por tipos de carga.....	146
5.3 Costo eléctrico por energía y demanda	148
5.4 Costos de energía por tipos de carga	148
5.5 Costo de la demanda por tipos de carga	149
5.6 Costos eléctricos sobre la base de iluminación.....	149
5.7 Costo eléctrico de iluminación propuesto	153
5.8 Ahorros eléctricos esperados en iluminación	153
5.9 Costo eléctrico esperado	154

REFERENCIAS

CAPÍTULO I

- (1) "Clases de Lámparas de Descarga"
<http://edison.upc.es/curs/llum/lamparas/ldesc2.html>
Octubre 2002
- (2) "Illumination Engineering", Joseph B. Murdoch, Visions Communications, Estados Unidos, 1994 p.211, 212
- (3) "Historia de la Luz y el Alumbrado"; Eindhoven, Philips Lighting Paises Bajos, 1986, p.32-35.
- (4) "Peter Cooper Hewitt"
<http://www.geocities.com/bioelectrochemistry/hewitt.html>
Febrero 2004
- (5) "Lighting a Revolution, Script for 20th Century Lamp Competition"
<http://www.americanhistory.si.edu/lighting/scripts/s20o.htm#o20a.htm>
Enero 2003
- (6) "The age of light"
<http://www.electrolink.co.nz>
Agosto 2003
- (7) "Residential Lighting"
<http://americanhistory.si.edu/csr/lightproject/res.htm>
Marzo 2004
- (8) "IEEE History Center, Legacies: Edward E. Hammer"
http://www.ieee.org/organizations/history_center/legacies/hammer.html
Febrero 2004
- (9) "Lighting a Revolution, Inventing Six Modern Electric Lamps"
<http://www.americanhistory.si.edu/lighting/invent20.htm>
Enero 2003
- (10) "Green Centre Philips Lighting Europe, Product Parade"
http://www.eur.lighting.philips.com/int_en/prof/about/environment/html/ecotone.html
Enero 2003
- (11) "Philips Iluminación, Lámparas Fluorescentes Compactas Econoplus"; Philips Lighting México; p.5.
- (12) "The History of lighting"; Dr Boyd Berends <http://www.ssslighting.com/historyoflighting.pdf>
Enero 2003
- (13) "Ballast for Single-Ended Fluorescent Lamps"; The Robertson Transformer Company, Estados Unidos, p.1.
- (14) "IAEEL Newsletter 1/92", International Association for Energy-Efficient Lighting; Estocolmo, Suecia; 1992; p.1, 7-11.
- (15) "IAEEL Newsletter 1/93", International Association for Energy-Efficient Lighting; Estocolmo, Suecia; 1993; p.14,15.
- (16) "Trends in Energy: Downsizing the CFL" Home Energy Magazine Online; Barbara Atkinson; Lawrence Berkeley Laboratory; California, E.U; January/February 1994;
<http://hem.dis.anl.gov/eehem/94/940103.html#94010301>
Agosto 2003

- (17) "History of Sylvania & Osram"
<http://www.sylvania.com/aboutus/history.htm#>
 Marzo 2004
- (18) "Lighting: Understanding" Home Energy Magazine Online; Anibal T. De Almeida; E.U;
 November/December 1993;
<http://hem.dis.anl.gov/eehem/93/931113.html>
- (19) "More Compact"
<http://www.oikos.com/esb/29/cfl.html>
- (20) "Catálogo General de Especificaciones 2001, México"; Philips Lighting 2001; p.5.
- (21) "IAEEL Newsletter 1/95", International Association for Energy-Efficient Lighting; Estocolmo, Suecia; 1995; p.8.
- (22) "2D Lamp Puts A New Twist on Compact Fluorescent Possibilities"
http://www.oikos.com/esb/39/2D_Lamps.html
 Febrero 2004
- (23) "IAEEL Newsletter 2/97", International Association for Energy-Efficient Lighting; Estocolmo, Suecia; 1997; p.2-7.
- (24) "Trends in Energy: Bright Prospects for CFL Torchieres" Home Energy Magazine Online;
 Chris J. Calwell; Colorado, E.U; January/February 1997;
<http://hem.dis.anl.gov/eehem/97/970108.html#97010801>
 Agosto 2003
- (25) "Trends in Energy: Utility Blitz Boosts Energy Star Torchieres" Home Energy Magazine Online;
 Chris J. Calwell; Colorado, E.U; September/October 1998;
<http://hem.dis.anl.gov/eehem/98/980903.html#98090301>
 Agosto 2003
- (26) "1995 Lamp Catalog" Grainger, General Electric, Estados Unidos; 1995; p.87-96.
- (27) "Green Centre Philips Lighting Europe, Lamps MASTER 'TL'5 + HF"
http://www.eur.lighting.philips.com/int_en/prof/about/environment/html/master_tl5_hf.html
 Enero 2003
- (28) "The New Look of Light"
<http://www.nanoluxcfl.com>
 Abril 2004
- (29) "IAEEL Newsletter 1/96", International Association for Energy-Efficient Lighting; Estocolmo, Suecia; 1996; p.9,10.
- (30) "IAEEL Newsletter 3-4/97", International Association for Energy-Efficient Lighting; Estocolmo, Suecia; 1997; p.7.
- (31) "IAEEL Newsletter 1/98", International Association for Energy-Efficient Lighting; Estocolmo, Suecia; 1998; p.5,11.
- (32) "IAEEL Newsletter 1-2/00", International Association for Energy-Efficient Lighting; Estocolmo, Suecia; 2000; p.6.
- (33) "Catálogo General de Luz 2001-2002, Osram"; Osram de México, S.A. de C.V;
- (34) "Reflect-A-Star"; Lumatech Corporation; California, Estados Unidos; 1994.
- (35) "Fluorescentes Compactas, Lámparas Ahorradoras de Energía"; Philips Mexicana S.A. de C.V.; Agosto 2002 p.1,4.
- (36) "Introducción a la Ingeniería; Ingeniería, Sociedad y Medio Ambiente"; Ing. Jacinto Viqueira Landa; Limusa; México 1994; p.287-317.
- (37) "Programa de Iluminación Eficiente (ELI)"; Fundación Ecológica Universal; p.7-10.

- <http://www.efficientlighting.net>
Junio 2003
- (38) “Secretaría de Energía – Política Energética – Cambio Climático”
<http://www.sener.gob.mx/work/secciones/217/imagenes/cambioclimatico2.doc> Enero 2003
- (39) “México. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”; Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1ª Edición, México, Noviembre 1997, p. 19-21, 25-26, 30-33, 40, 42.
- (40) “Cumbres Mundiales sobre el Cambio Climático”
<http://www.ecojoven.com/tres/01/ambientalismo.html>
Octubre 2003
- (41) “Cumbres Mundiales sobre el Cambio Climático”
<http://www.elpais.es/especiales/2001/clima/favor.html>
Marzo 2003
- (42) “Las Claves del Protocolo de Kioto”
<http://www.terra.es/ciencia/articulo/html/cie5240.htm>
Septiembre 2002
- (43) “Cumbres Mundiales sobre el Cambio Climático”
<http://www.agroconnection.com.ar/clima/art011.htm>
Junio 2004
- (44) “United Nations Framework Convention on Climate Change – Convention Parties and Obsevers: México”
<http://unfccc.int/resource/country/country.html?140>
Enero 2003
- (45) “United Nations Framework Convention on Climate Change – The Convention and Kyoto Protocol: Kyoto Protocol Status of Ratification”
<http://unfccc.int/resource/kpstats.pdf>
Enero 2003
- (46) “United Nations Framework Convention on Climate Change – The Convention and Kyoto Protocol: United Nations Framework Convention on Climate Change Status of Ratification”
<http://unfccc.int/resource/conv/ratlist.pdf>
Enero 2003
- (47) “Comisión Federal de Electricidad – Generación”
http://www.cfe.gob.mx/www2/queescfe/notaqueescfe.asp?seccion_id=2290&subseccion=Terminoel%E9ctrica&seccion_nombre=Generaci%C3n&seccion=queescfe
Marzo 2003
- (48) “Ahorro de Energía – Iluminación Interior – Lámparas Incandescentes”; Ing. Ramírez Rivero, Alex; Genertek, S.A. de C.V.; 2002
- (49) “CFL Disposal Kit”; Northwest Energy Efficient Alliance.
<http://www.nwalliance.org>
Agosto 2002d
- (50) “Oregon DEQ Mercury Fact Sheet”
<http://www.deq.state.or.us/wmc/Factsheets/CommonProductsContainingMercuryFactsheet.pdf>
Octubre 2003.
- (51) “Amalgam Technology”; GE Lighting; Cleveland OH, Estados Unidos; Enero 2001; p.1-2
- (52) “Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo – Aparatos y Equipos Eléctricos”
<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo3/81.pdf>
Mayo 2004

- (53) “El Desarrollo de Líneas Base para el Sector Energético y Comparación con el Sector de Uso de Suelos”; Ing. Valle, Beatriz e Ing. Vázquez, Oscar.
<http://www.ine.gob.mx/dgicurg/cclimatico/download/10%20Presentaci%F3n%20ATPAE-EnergySector.pdf>
Agosto 2004

CAPÍTULO II

- (1) “Lámparas”; Ing. Ramírez Rivero, Alex; Compañía de Luz Y Fuerza del Centro; Noviembre 1988; p. 27-30, 35-36, 56-58, 68-75.
- (2) “Curso por Correspondencia sobre Aplicaciones del Alumbrado – Luz y Radiación”; Tomo N° 3; LiDEC, Centro de Diseño e Ingeniería de Alumbrado, Philips, 1985; p. 12-14, 18-19, 29-30.
- (3) “Curso por Correspondencia sobre Aplicaciones del Alumbrado – Lámparas Fluorescentes”; Tomo N° 9; LiDEC, Centro de Diseño e Ingeniería de Alumbrado, Philips, 1987; p. 5-13, 15-16, 18-20, 22-25, 46.
- (4) “Efecto Termoionico”
http://www.geocities.com/martha_g/his.html
Septiembre 2002
- (5) “Física, Conceptos y Aplicaciones”; Tippens, Paul E.; 3ª Edición; McGraw-Hill; 1985; p. 881-882.
- (6) “Efecto Hall”
<http://www.salonhogar.com/ciencias/fisica/efectohallensemiconductores/intro.htm>
Noviembre 2003
- (7) “Curso por Correspondencia sobre Aplicaciones del Alumbrado – Principio sobre Generación de Luz”; Tomo N° 7; LiDEC, Centro de Diseño e Ingeniería de Alumbrado, Philips, 1989; p. 7-13, 19, 21-24.
- (8) “Notas sobre Lámparas Fluorescentes Compactas”; Ing. Ramírez Rivero, Alex; Genertek, S.A de C.V.; 2002.
- (9) “The IESNA Lighting Handbook; Reference and Application”; Ninth Edition; Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), 2000; p. 6.21-6.42.
- (10) “Casquillos para Lámparas Fluorescentes – NMX-J-280-1977”
<http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp>
Mayo 2004
- (11) “Eficiencia Energética”
http://www.procobreperu.org/energia/Texto/efic_en.htm
Enero 2004
- (12) “Construnario – Notiweb”
http://www.construnario.es/notiweb/tematicos_resultado.asp?id=180&informe=1
Junio 2004
- (13) “Cuadernos de Eficiencia Energética en Iluminación - Aplicaciones Eficientes de Lámparas”; Cuadernos 1 y 4; Comité español de Iluminación (CEI); IDEA Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía; Madrid, Noviembre 1996; p. 1.9-1.11 y 4.2-4.48
- (14) “La Naturaleza de la Luz”
<http://www.lighteducation.com/article.php?sid=55>
Octubre 2002
- (15) “La Temperatura del Color”
<http://www.lighteducation.com/article.php?sid=51>

Octubre 2002

- (16) "Las Características Cromáticas de la Luz"
<http://www.lighteducation.com/article.php?sid=52>
Octubre 2002
- (17) "Manual de Luminotecnia – Segunda Entrega"
<http://www.laszlo.com.ar/manual91113.htm>
Marzo 2004
- (18) "Manuales de Luminotecnia – Luz, Lámparas y Luminarias"; Jiménez, Carlos; Ediciones CEAC; 1997; p. 26-37, 225-255.
- (19) "Color"
<http://www.pescioweb.com.ar/bibliografia/color.pdf>
Noviembre 2003
- (20) "Guía para Entender la Comunicación del Color"
<http://www.x-rite.com>
Noviembre 2003
- (21) "Curso por Correspondencia sobre Aplicaciones del Alumbrado – Magnitudes y Unidades, Mediciones"; Tomo N° 5; LiDEC, Centro de Diseño e Ingeniería de Alumbrado, Philips, 1989; p. 3-11.
- (22) "Energy-Efficient fluorescent Ballasts"; Advanced Lighting Guidelines; Marzo 1993; p. 6.1-6.14.
- (23) "Boletín de Información Técnica - Lámparas Fluorescentes – Guía de Problemas en Instalaciones con Lámparas Fluorescentes"; Focos, S.A., Solar, Sylvania; p. 1-20
- (24) "Curso Básico de Iluminación"; Capítulo de Estudiantes IESNA, Sección México; ESIME, IPN, Septiembre 1999; p.14
- (25) "Secretaria de Comercio Y Fomento Industrial, Norma Oficial Mexicana NOM-058-SCFI-1999 Productos Eléctricos-Balastos para Lámparas de Descarga Eléctrica en Gas-Especificaciones de Seguridad"; Diario Oficial, Lunes 20 de Diciembre 1999.
- (26) "Fluorescent Ballasts Basics"; Advance Transformer Co; Illinois, Estados Unidos; 25 de Febrero 2003; p.4-6, 10, 11, 13-17, 21
- (27) "Screwbase Compact Fluorescent Lamp Products, Energy-Efficient Alternatives to Incandescent Lamp", Specifier Reports of NLPPI National Lighting Product Information Program; Vol 7, Num 1, June 1999; p.4.
- (28) "Electronic Ballasts", Specifier Reports of NLPPI National Lighting Product Information Program; Vol 8, Num 1, Mayo 2000; p.6-10, 12-16, 18"
- (29) "Balastos" Philips Lighting & Advance Transformer Co.
- (30) "Programmed Start: The New Way to Start a Fluorescent Lamp"; Greg Bennorth; Universal Lighting Technologies.
<http://www.universalballast.com/literature/programmed.html>
Febrero 2004
- (31) "Hi-Lume 100%-1% Dimming for Compact Fluorescent Lamps"; Lutron Electronics Co; Inc. U.S.A. 2002.
<http://www.lutron.com>
Febrero 2004
- (32) "Lighting Handbook, Reference & Application"; Illuminating Engineering Society of North America, 8th Edition.
- (33) "Advance Dimming Ballasts, Control Compatibility Guide"; Advance Transformer Co; Illinois, Estados Unidos; 2001; p.1

- (34) "Dimmable Compact Fluorescent Lamps"; Washington State University Cooperative Extension Energy Program;2003. p.1-3.
- (35) Secretaria de Energía, Norma Oficial Mexicana NOM-017-ENER-1997 "Eficiencia Energética de lámparas fluorescentes compactas. Límites y métodos de prueba"; Diario Oficial de la Federación, 7 de Febrero 1999.
- (36) "Compact Fluorescent Lamps: What you should know"; D.W. Finn and M.J. Ouellette; Aug. 1992
- (37) "Guía Práctica para la Adquisición de Equipo Eficiente, Balastos Electrónicos"; Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía, CONAE; Agosto 1999; p.13, 39.
- (38) "A 3 Way Dimming CFL Ballast"; Peter Green; International Rectifier; California USA; 20 de Enero 2004.p.1-11.
- (39) "Sello FIDE"
<http://www.fide.org.mx/servicios/sellofide/sello.html>
Septiembre 2002
- (40) "Sistemas Quicktronic con LFC's"; Osram de México, S.A. de C.V.
www.osram.com.mx
- (41) "Sam's F-Lamp FAQ,Fluorescent Lamps, Ballasts, and Fixtures"Principles of Operation, Circuits, Troubleshooting, Repair; Samuel M. Goldwasser; Version 2.07, 1994-2004
- (42) "Ballast, General Information"
<http://www.dscp.dla.mil/gi/general/lightcat/FLBAL%20gen.pdf>
Febrero 2004
- (43) "Applied Illumination Engineering", Jack L. Lindley, Fies; 2da ed 1991; p.62-64
- (44) "Smartmate: Ultimate Versatility, One Ballast Covers All!"; Advance Transformer Co; Illinois, Estados Unidos; 2000; p.1,6.
- (45) "Catálogo General de Especificaciones 2001, México"; Philips Lighting 2001 p.22, 45.
- (46) "Catálogo General de Luz 2002, Osram"; Osram de México, S.A. de C.V; p.3.02, 6.15.
- (47) "Productos eléctricos-Luminarios para uso en interiores y exteriores-Especificaciones de seguridad y métodos de prueba – NOM-064-SCFI-2000"
<http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp>
Julio 2003
- (48) "Curso Interactivo Sistemas de Iluminación FIDE – Componentes de un Sistema de Iluminación – Luminarios"; Fideicomiso Para el Ahorro de Energía Eléctrica; Julio 2003.
- (49) "Notas sobre Luminarios"; Ing. Ramírez Rivero, Alex; Genertek, S.A de C.V.; 2002.
- (50) "Curso Interactivo Sistemas de Iluminación FIDE – Componentes de un Sistema de Iluminación – Controladores y Sensores"; Fideicomiso Para el Ahorro de Energía Eléctrica; Julio 2003.

CAPÍTULO III

- (1) "Certificación y Normalización en el Sector Eléctrico"; Ing. Flores Ruiz, Martín.
<http://www.ance.org.mx/ie/documentosNormalizacion.pdf>
Febrero 2003
- (2) "Eficiencia Energética de las LFC's. Límites y Métodos de Prueba.
NOM-017-ENER-1997"

<http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=1328&urlwb=http://cronos.cta.com.mx/cgi-bin/normasa.sh/cgis/despliega2.p&convar=NOM-017-ENER-1997>
Julio 2003

- (3) “Productos Electrónicos–Balastos para Lámparas de Descarga Eléctrica en Gas. NOM-058-SCFI-1999”
<http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=1328&urlwb=http://cronos.cta.com.mx/cgi-bin/normasa.sh/cgis/despliega2.p&convar=NOM-058-SCFI-1999>
Julio 2003
- (4) “Productos Eléctricos-Luminarios para Uso en Interiores y Exteriores.NOM-064-SCFI-2000”
<http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=1328&urlwb=http://cronos.cta.com.mx/cgi-bin/normasa.sh/cgis/despliega2.p&convar=NOM-064-SCFI-2000>
Julio 2003
- (5) “Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo.NOM-025-STPS-1999”
<http://www.economia-noms.gob.mx/>
Julio 2003
- (6) “Sello FIDE”
<http://www.fide.org.mx/servicios/sellofide/sello.html>
Septiembre 2002

CAPÍTULO IV

- (1) “Catálogo General de Luz 2001/2002”; Osram; p. 1.01-1.13, 3.01-3.13.
- (2) “Fluorescentes Compactas, Lámparas Ahorradoras de Energía”; Philips; Agosto 2002; p. 1-11.
- (3) “Notas sobre Lámparas Fluorescentes Compactas”; Ing. Ramírez Rivero, Alex; Genertek, S.A de C.V.; 2002.
- (4) “Qué es un edificio inteligente”; Investigación y desarrollo, Periodismo de Ciencia y Tecnología. Octubre 1999
<http://www.invdes.com.mx/antiores/Octubre1999/htm/edificio.html>
- (5) “El Edificio Inteligente”
<http://www.edificiointeligente.8m.com/Inmotica.htm>
- (6) “Revista del Consumidor N° 320”; Profeco; Octubre 2003; p. 30
- (7) “Ilumex: Desarrollo y Lecciones del 1er Proyecto Mayor de Ahorro de Energía en México”
<http://www.funtener.org/pdfs/ilumex.pdf>
Enero 2004
- (8) “Proyecto Ilumex–México a la Vanguardia en Protección al Medio Ambiente con Acciones Eléctricas”
- (9) “Informe de la Sexagésima Primera Sesión del Comité Técnico del Fideicomiso para el Ahorro de Energía en México”; Jueves 27 de mayo del 2004; p.23.

CAPÍTULO V

- (1) “Notas sobre Ahorro de Energía en la Iluminación de Interiores”; Ing. Ramírez Rivero, Alex; Genertek, S.A de C.V.; 2002.
- (2) “Notas sobre Ahorro de Energía – Iluminación Interior – Lámparas Incandescentes”; Ing. Ramírez Rivero, Alex; Genertek, S.A. de C.V.; 2002