

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



BALASTOS ELECTRÓNICOS

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

DANIEL HUMBERTO ORJEDA SINCHE

PROMOCIÓN
2000 - I

LIMA – PERÚ
2005

BALASTOS ELECTRÓNICOS

Dedico este trabajo a:

*Mis padres y hermanos, inspiración de
lucha, y a Marisela mi esposa, por el
apoyo y sacrificio incondicional en mi
carrera, fiel testigo de mis experiencias
y logros.*

SUMARIO

Los estudios desarrollados por la electrónica de potencia, para conseguir el funcionamiento cada vez más eficiente de las lámparas de descarga, han logrado evolucionar a los equipos auxiliares de encendido, propios de estas lámparas. Es así que los denominados balastos electrónicos, han conseguido darles mayor eficiencia, rendimiento, incremento de la vida útil y lo más importante conseguir altos factores de potencia. Los programas de ahorro y los estudios acerca del uso racional de energía, representan hoy en día una búsqueda necesaria para conseguir la reducción de costos energéticos y el aumento de la competitividad entre las empresas e instituciones estatales del país. Entendidos de que dentro de una economía globalizada, la competitividad juega un papel muy importante, se hace necesario promover la puesta en práctica del empleo de los balastos electrónicos; que si bien es cierto aún no han alcanzado un gran interés en nuestro país, quedando finalmente en manos de los profesionales de la ingeniería conseguir dichas metas.

ÍNDICE

PRÓLOGO

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos	3
1.2 Alcances	3
1.3 Metodología	4

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA PROBI EMÁTICA

2.1 Visión general del auge de la iluminación	6
2.2 Costos Energéticos a niveles de instituciones estatales	7
2.3 Problema energético mundial	8

CAPÍTULO III

SOLUCIÓN TECNOLÓGICA MODERNA

3.1 Nociones básicas	9
3.2 Descripción del funcionamiento de las lámparas de descarga	13
3.3 Características importantes de la luz obtenida	18
3.4 Tipos de lámparas de descarga	20

CAPÍTULO IV**BALASTO ELECTRÓNICO**

4.1 El balasto electromagnético o convencional	25
4.2 Balasto Electrónico	31
4.3 Grupos principales de Balastos Electrónicos	33
4.4 Balastos resonantes fuente de voltaje	35
4.5 Inversores resonantes para Balastos Electrónicos	38
4.6 Balastos Electrónicos de alto Factor de Potencia	49

CAPÍTULO V**APLICACIONES EN ILUMINACIÓN**

5.1 Aplicaciones de los balastos electrónicos	58
5.2 Aplicaciones de uso específico	58
5.3. Fabricantes a nivel mundial a la vanguardia	63
5.4 Innovaciones tecnológicas	64
5.5 Normatividades	64

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
---------------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA	69
---------------------	-----------

APÉNDICE A: Normatividad referente a los Balastos Electrónicos.

PRÓLOGO

Los equipos de iluminación modernos están cada vez más desarrollados, gracias a los estudios realizados y a la rápida evolución de nuevos dispositivos electrónicos de potencia, como lo es el Balasto Electrónico, el cual ha permitido mejorar el funcionamiento de las Lámparas de Descargas, aportando los beneficios tales como la alta calidad en iluminación, un alto factor de potencia y el ahorro de energía eléctrica. Sin embargo, nuestro País al no contar con una política energética permanente que permita supervisar, evaluar y proponer mejoras a los sistemas de iluminación que vienen funcionando en las diferentes Instituciones Estatales, agrava lentamente nuestra economía y pone en riesgo la seguridad social. Cabe señalar, que las cargas eléctricas más representativas en las Instituciones Estatales son los equipos de iluminación y los equipos de aire acondicionado.

Por ello, el presente trabajo expone los principios y resalta la importancia del Balasto Electrónico, creado para lograr que las Lámparas de Descarga

funcionen con una alta eficiencia, ajustándose perfectamente a las necesidades de ahorro energético de nuestro País y del mundo.

Asimismo, dentro del desarrollo del trabajo se exponen las diferentes topologías y los diferentes inversores que hacen que el Balasto Electrónico posea un alto factor de potencia.

Finalmente comento que, el desarrollo que caracteriza a los sistemas de iluminación, es fiel reflejo de la evolución de los equipos de encendido con los que se opera, como lo es el Balasto Electrónico para las lámparas de descarga de alto factor de potencia.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

El objetivo del presente trabajo es la de exponer los principios, funcionamientos y resaltar la importancia del dispositivo creado para conseguir un funcionamiento altamente eficiente de las lámparas de descarga, beneficiando con un perfecto control y ahorro energético a dichas lámparas. Por ello, el Balasto Electrónico se ajusta perfectamente a las necesidades actuales a nivel mundial de ahorro de energía.

1.2 Alcances

El trabajo se ha elaborado en seis capítulos, los cuales son definidos de la siguiente forma:

En el Capítulo 1, exponemos los objetivos, los alcances y la metodología sobre los que se desarrolla el presente trabajo.

En el Capítulo 2, se describe de manera general la problemática existente debido al auge en la utilización de la iluminación, frente al problema del

ahorro energético mundial.

En el Capítulo 3, se presenta la solución al problema planteado, exponiéndose para ello inicialmente las nociones básicas del funcionamiento de las lámparas de descarga, sus parámetros de operación y estableciendo la necesidad de emplear al balasto electrónico como el dispositivo responsable para llevarse a cabo una correcta y eficiente descarga en la lámpara.

En el Capítulo 4, lo dedicamos exclusivamente al balasto electrónico, presentando la manera como opera, sus diferentes topologías y los diferentes inversores que hacen que el balasto electrónico posea un alto factor de potencia.

En el Capítulo 5, exponemos de manera general las diferentes aplicaciones de los balastos electrónicos y de su empleo en sistemas inteligentes de iluminación; y terminamos presentando a los fabricantes más representativos que apuestan por el empleo del balasto electrónico.

En el Capítulo 6, se plantean las conclusiones y recomendaciones obtenidas del presente trabajo, para enfrentar la problemática inicialmente planteada.

Finalmente, se presenta las referencias bibliográficas que se emplearon para la realización del presente trabajo.

1.3 Metodología

La metodología empleada en el siguiente trabajo es la descripción de los fenómenos y eventos involucrados, en la problemática y la solución referente

al ahorro de energía al emplear lámparas de descarga en sistemas de iluminación. Esta problemática planteada, se sustenta en el hecho que en la mayoría de nuestras instituciones estatales de nuestro país, donde la iluminación es la del tipo de descarga, no se emplean balastos electrónicos, originando altos consumos de electricidad, un servicio deficiente a los usuarios y a daños a la red eléctrica.

De acuerdo a ello, nos concentraremos en los balastos electrónicos, sus principios de operación dentro del encendido de las lámparas de descarga, con los cuales se logra un encendido eficiente, un bajo consumo de reactivos y gracias a la tecnología que emplean, pueden ser controlados para convertirlos en sistemas inteligentes.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

2.1 Visión general del auge de la iluminación

Actualmente sería imposible imaginarse poder vivir sin contar con la iluminación cualquiera sea su origen, a pesar de poder contar con la iluminación natural durante las pocas horas del día; muchos empleamos un nivel de iluminación para poder realizar trabajos dentro de: oficinas, talleres, laboratorios, salas de estudio, etc. El empleo de la iluminación es realmente importante y ha ido evolucionando paralelamente con el hombre, desde que empleaban el fuego para iluminarse, las lámparas de aceite, las lámparas de gas, las lámparas eléctricas tipo incandescentes, y actualmente las lámparas eléctricas de descarga.

La dependencia alcanzada por el tipo de iluminación no natural, ha ido creciendo rápidamente, y ha originado gran demanda por la adquisición y el empleo de todo tipo de lámparas eléctricas, en muchos casos sin importar la calidad de iluminación, los estándares de fabricación, los criterios técnicos de utilización y los estándares de seguridad que deberían poseer.

2.2 Costos Energéticos a niveles de instituciones estatales

El empleo de las lámparas eléctricas, generalmente en las instituciones del estado, ha alcanzado límites cercanos al 30% de la potencia eléctrica consumida en los meses de verano, y alcanzando un porcentaje mucho mayor en los meses de invierno. Los costos por la facturación del servicio de energía eléctrica cada vez son más significantes frente a nuestra realidad económica.

En muchas de las instituciones estatales, se han puesto en marcha programas de ahorro energético, de las cuales se desprende la utilización de los focos ahorradores y el empleo de lámparas de descarga como una solución al alto nivel de facturación, pero a pesar de esto, existe nuevamente un desequilibrio en el empleo de cantidades desmedidas, que han originado nuevamente el incremento de los costos de facturación. Para citar un ejemplo, la facturación anual promedio referente al consumo de energía eléctrica en el Congreso de la República, asciende a 1.2 millones de nuevos soles, es decir en iluminación anualmente se gasta aproximadamente S/.360, 000 (el 30% del total).

El problema expuesto, se debe en muchos de los casos: a un mal diseño de los sistemas de iluminación, al temor de emplear las tecnologías modernas debido al alto costo, y la falta de estandarización de los artefactos de iluminación a emplear, lo que provoca generalmente la adquisición de equipos de mala calidad, de procedencia desconocida, de baja vida útil, baja eficiencia, bajo rendimiento, etc.

Al ser la iluminación un factor del cual depende la calidad del ambiente de

trabajo y el rendimiento de las personas inmersas en esta, es preocupante que no se esté dando la debida importancia.

2.3 Problema energético mundial

A lo largo de la evolución humana, el hombre se ha valido de la energía eléctrica como una herramienta vital para su existencia y desarrollo científico, permitiendo a las sociedades desarrollarse en muchos niveles profesionales, los cuales a su vez han generado nuevos logros.

Estos logros y adelantos científicos, han originado un incremento en el consumo de energía eléctrica en la población, como consecuencia de responder a las necesidades de una sociedad cada vez más moderna y exigente. Lo más grave en esto, no es el desarrollo que hayamos alcanzado, sino es el consumo desmedido de la energía eléctrica por parte de los usuarios. Ante esto se deberían manejar políticas energéticas.

Como podemos observar, el ahorro energético se ha convertido en un factor bastante preocupante en la actualidad, y más aun si nuestro nivel mundial de recursos y reservas para la generación de energía eléctrica, están cada vez más reducidas.

CAPÍTULO III

SOLUCIÓN TECNOLÓGICAS MODERNAS

3.1 Nociones básicas

Las lámparas de descarga generan radiación electromagnética debido al paso de la corriente eléctrica a través de un gas o vapor de metal. Esta radiación es discreta, como lo contrario a la radiación continua emitida por el filmando de una lámpara incandescente. La Fig. 3.1 muestra el espectro electromagnético de una descarga eléctrica, el cuál consiste en un número de líneas espectrales separadas.

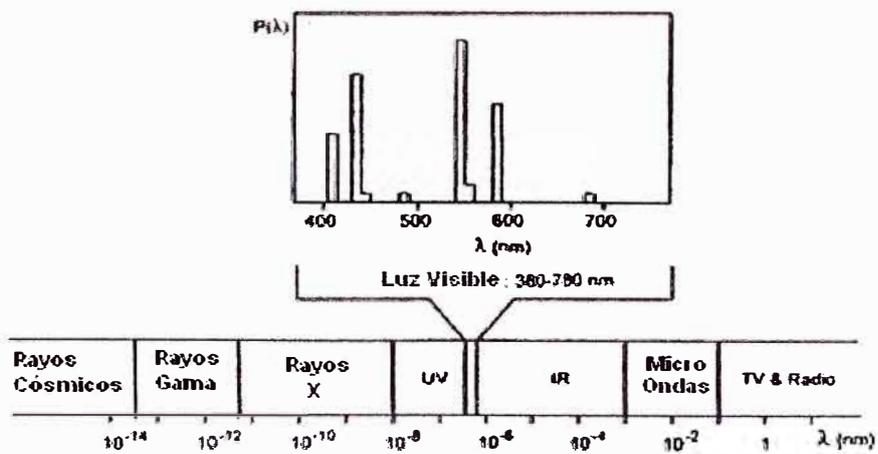


Fig. 3.1 Distribución de energía espectral de la descarga de un arco y el espectro de energía radiante.

Como se puede apreciar en la Fig. 3.1, solo la radiación electromagnética emitida dentro de la región visible (380-780nm) del espectro radiante de energía es utilizado por la iluminación. La potencia total en vatios, emitida por una descarga eléctrica puede ser obtenida integrando la distribución espectral de la energía. Sin embargo, este no es un parámetro conveniente para medir la cantidad de luz emitida por una lámpara de descarga.

El ojo humano responde diferentemente a los diferentes tipos de ondas electromagnéticas ubicadas en el rango visible. Como se aprecia en la Fig. 3.2, existen dos curvas estándar de respuestas del ojo humano. Primero, la curva Fotópica, llamado también $V(\lambda)$, es la curva característica empleada para representar el comportamiento del ojo humano bajo condiciones normales de nivel de iluminación o visión diurna. La segunda curva Escotópica $V'(\lambda)$ es la respuesta del ojo humano para situaciones con bajo niveles de iluminación, también conocida como visión nocturna. La razón para estos comportamientos diferentes es fisiológica.

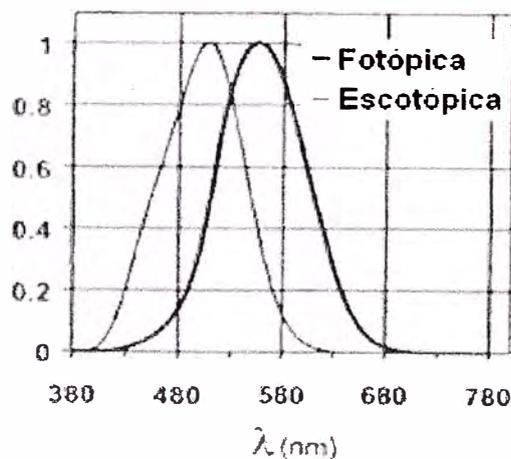


Fig. 3.2 Funciones de eficiencia para espectros luminosos para observadores estándar Fotópica y Escotópica.

El ojo humano consiste de dos tipos de fotorreceptores: bastones y conos. Los bastones son mucho más sensibles que los conos para bajos niveles de luz, pero ellos son menos sensibles para los diferentes colores de luz. Por otra parte, los conos son responsables por la normal visión del color y los altos niveles de luz. Normalmente, solo la función photopic se considera en el diseño de iluminación y se utiliza para calibrar los fotómetros.

Dado que el ojo humano responde en diferentes formas para diferentes longitudes de onda, la salida de potencia de una lámpara en vatios no es aplicable para representar la cantidad de luz generada. Así, se utiliza una unidad que incorpora la respuesta del ojo humano, que es llamado el *lumen*. La salida total de luz de una lámpara es la cantidad de lúmenes y es conocida como flujo luminoso de la lámpara. El flujo luminoso de la lámpara es obtenida por la integración de la potencia radiante como sigue:

$$\Phi = K_m \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} P(\lambda)V(\lambda)d\lambda \quad (3.1)$$

Donde K_m representa la máxima eficiencia luminosa espectral, el cual es igual a 683 lúmenes/watt (con $\lambda=555\text{nm}$) para la visión tipo fotópica y 1700 lúmenes/watt (con $\lambda=507\text{nm}$) para la visión tipo scotopic. Las funciones estándar fotópica y escotópica fueron definidas por la Comisión Electrotécnica Internacional sobre Iluminación (IEC) en 1924 y 1951, respectivamente. La medida total del flujo luminoso de la lámpara es muy útil en la determinación de si la lámpara está funcionando correctamente o no. En el laboratorio, la medida total del flujo luminoso de la lámpara se realiza por medio de una esfera integradora y usa el método de sustitución. La

esfera integradora, también conocida como un fotómetro Ulbrich, internamente está cubierto perfectamente con un material difusor. Así, la esfera realiza la integración en (3.1) la iluminación en la superficie interna es proporcional al flujo luminoso total. Un fotómetro con un filtro de $V(\lambda)$ se coloca para poder medir la iluminación interna, y un baffle es colocado para evitar la iluminación directa de la punta de prueba del fotómetro por la lámpara. La medida se hace en dos pasos, una con la lámpara a prueba y la otra con una lámpara estándar del flujo luminoso total conocido, el flujo luminoso total de la lámpara a prueba es deducida por una relación lineal. La Fig. 3.3 ilustra un fotómetro de esfera integradora.

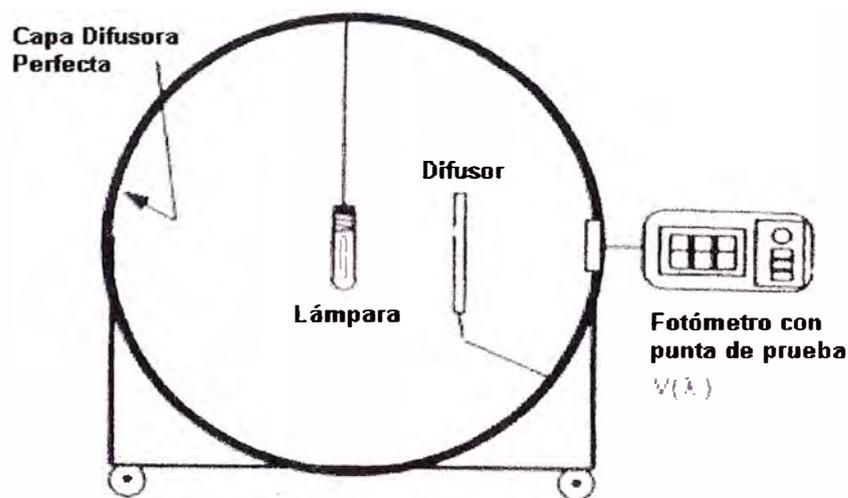


Fig. 3.3 Esfera integradora empleada para medir el flujo luminoso total de un lámpara

Un importante parámetro relacionado para el funcionamiento de la lámpara de descarga es la *eficiencia luminosa*. La *eficiencia luminosa* es definida como la relación del flujo luminoso total emitida por una lámpara con la potencia eléctrica consumida por dicha lámpara, usualmente está expresada

en lúmenes por vatios. La eficiencia luminosa de la lámpara de descarga puede ser incrementada por el propio diseño del balasto electrónico, lo cual también representa un ahorro en energía.

3.2 Descripción del funcionamiento de las lámparas de descarga

Básicamente, las lámparas de descarga consisten de una descarga dentro de un tubo, en el cual la energía eléctrica es transformada en radiación electromagnética. El tubo de descarga es fabricado de un material transparente o translúcido con un electrodo sellado en cada extremo, como se muestra en la Fig. 3.4. El tubo de descarga es llenado con un gas inerte y vapor de metal. Los electrodos generan electrones libres, los cuales son acelerados por el campo eléctrico existente dentro de la descarga. Estos electrones acelerados colisionan con los átomos del vapor, obteniendo colisiones elásticas e inelásticas dependiendo de la energía cinética del electrón.

3.2.1 Procesos básicos de funcionamiento:

Los procesos básicos dentro del tubo de la descarga, son ilustrados en la Fig. 3.4, y son las siguientes:

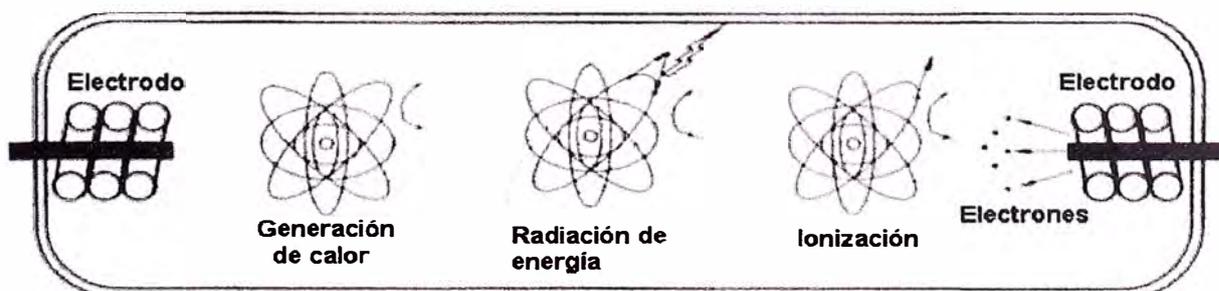


Fig. 3.4 Proceso básico dentro del volumen de descarga

1. Generación de Calor:

Cuando la energía cinética del electrón es baja, da a lugar a una colisión elástica y solo una pequeña parte de la energía del electrón es transferida al átomo del gas. El resultado de este tipo de colisión es el incremento de la temperatura del gas. En este caso, la energía eléctrica consumida es para producir la disipación de dicho calor. Sin embargo, es un proceso importante porque la descarga tiene que fijarse a su temperatura de funcionamiento óptima.

2. Excitación atómica del gas:

Algunos electrones pueden tener una alta energía cinética, dicha energía será transferida en la colisión logrando enviar a un electrón del átomo del gas a una órbita superior. Esta situación es inestable y el electrón tiende a recuperar su nivel original, entonces emitirá la energía absorbida en forma de radiación electromagnética. Esta radiación es usada directamente para generar luz visible. En otros casos, la radiación ultravioleta es generada primero y luego se transforma en radiación visible por medio de un fosfato que cubre la pared interior del tubo de descarga.

3. Ionización atómica del gas:

En algunos casos los electrones han ganado una tan alta energía cinética, dicha energía durante la colisión con un átomo del gas, logra liberar un electrón que pertenece al átomo, este electrón liberado puede desempeñar el mismo papel del que lo liberó. Este proceso es especialmente importante durante la ignición de la descarga y la

operación normal, porque los átomos ionizados y los electrones libres son necesarios para mantener la corriente eléctrica a través de la lámpara.

El número de electrones libres dentro de la descarga puede aumentar rápidamente debido a la continua ionización, produciendo un número ilimitado de electrones libres y finalmente un corto circuito; esto se ilustra en Fig. 3.5, que muestra cómo la característica del voltaje y corriente de una descarga de un gas exhibe una resistencia negativa por lo tanto, para limitar la corriente liberada será obligatorio emplear un circuito auxiliar para la fuente de alimentación, este circuito es llamado balasto.

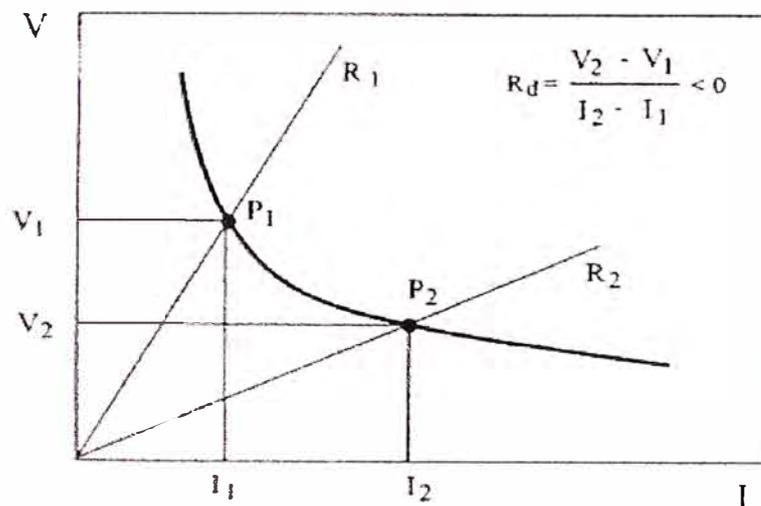


Fig. 3.5 Curva característica Voltaje-Corriente de una descarga eléctrica

3.2.2 Procesos de estabilización

Centrándose en las lámparas de descarga, el proceso completo de estabilización consiste de dos fases principales:

1. Fase de interrupción:

La mayoría de los gases son muy buenos aisladores, y la descarga eléctrica solo es posible si una suficiente concentración de partículas cargadas está presente. Normalmente, un alto nivel de voltaje es empleado para proporcionar los portadores de electricidad e iniciar la descarga. El mínimo nivel de voltaje aplicado para iniciar la descarga es llamado *voltaje de encendido*. El *voltaje de encendido* depende principalmente del tipo de gas que se emplee, la presión del gas, y la distancia de los electrodos de la lámpara. La Fig. 3.6a representa el voltaje de encendido como una función del producto de la presión del gas multiplicada por la distancia entre electrodos, para diferentes tipos de gas. Estas funciones son conocidas como las curvas Paschen.

Usualmente, se emplean gases inertes auxiliares para reducir el nivel del voltaje de encendido. Existen algunas mezclas especiales de gases inertes que presentan un bajo voltaje de encendido, los cuales son llamados Mezclas Compuestas. Las mezclas compuestas son a menudo usadas para dar inicio al encendido de los gases. La Fig. 3.6a muestra una típica mezcla compuesta consistente de neón con 0.10% de argón.

2. Fase de calentamiento:

Una vez que se encienda la lámpara, las colisiones entre los electrones y los átomos libres generan calor y la temperatura de la descarga aumenta hasta que se alcanzan las condiciones de funcionamiento normales. Durante esta fase el calor es usado para

evaporar los átomos de metal existentes en el tubo de descarga, y la radiación electromagnética emitida asume la condición de una descarga del vapor del metal en vez del de una descarga del gas inerte. Desde el punto de vista eléctrico, la fase del calentamiento de la descarga, muestra inicialmente un bajo voltaje de descarga y una alta corriente liberada. Mientras más y más átomos del metal se evaporan, el voltaje de la descarga se incrementa y la corriente liberada se reduce.

Finalmente, se logra un equilibrio durante este proceso de estado estacionario con los valores normales de voltaje y corriente constante. El tiempo de la fase de calentamiento depende fuertemente del tipo de la lámpara. Varía a partir de los segundos para las lámparas fluorescentes, a los minutos para las lámparas de descarga de alta intensidad.

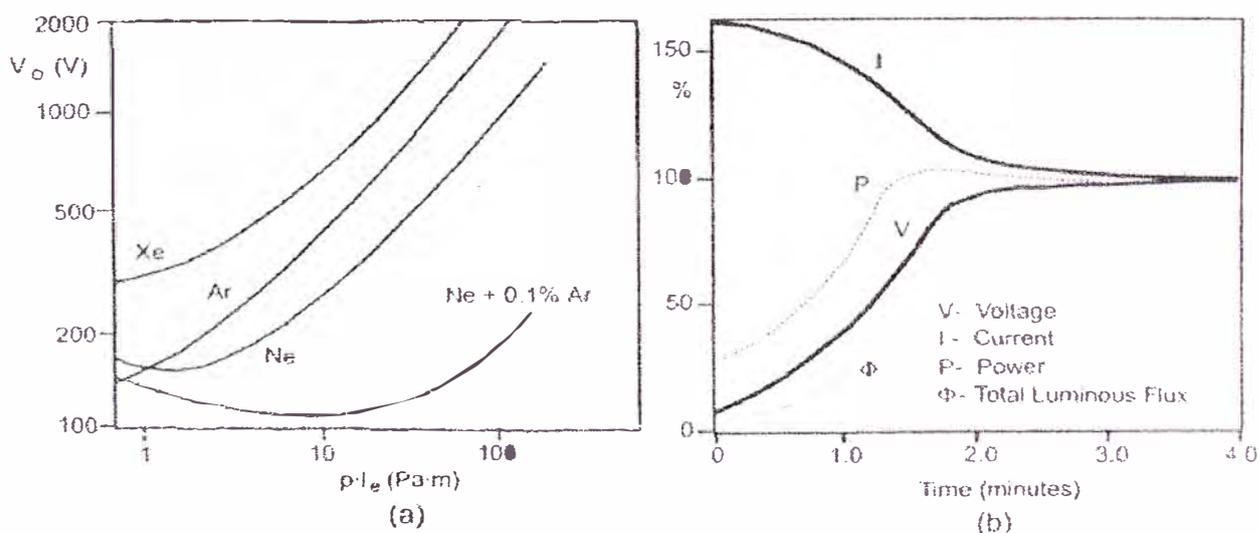


Fig. 3.6 (a) Curvas Paschen para diferentes gases inertes; y
(b) Curvas de estabilidad de una lámpara de descarga

3.3 Características importantes de la luz obtenida

Para caracterizar la luz producida por una lámpara de descarga es necesario entender dos conceptos importantes: la temperatura del color correlacionada (CCT) y el índice de reproducción de color (CRI).

3.3.1 Temperatura de Color Correlacionada (CCT)

La temperatura de color correlacionada de una fuente de luz está asociada al color parecido de una fuente de luz provista por un cuerpo negro o radiador total a esa misma temperatura, la misma que se mide en Kelvin.

Un cuerpo negro o radiador total puede equipararse a un horno que posee una abertura muy pequeña respecto de su tamaño y la radiación que genera está determinada por la ley de Plank. Así como un hierro que, cuando se calienta genera calor (acercándosele con la mano se puede sentir la radiación infrarroja). A medida que se calienta el hierro, llega a un punto en que empieza a verse rojizo y al aumentar la temperatura aun más, se torna naranja hasta casi amarillento. En esos momentos el hierro ha aumentado su irradiación electromagnética, emitiendo no solo radiación infrarroja sino también luz visible.

Lo que se asocia es el color de la luz emitida por ese cuerpo o ese horno teórico y no la distribución espectral de la radiación emitida, como así tampoco la temperatura.

El hablar de temperatura es solo una forma de expresión. Póngase el caso de un tubo fluorescente común tipo luz día. Su temperatura de color correlacionada puede ser en el orden de los 6000 K, eso no quiere decir que

el tubo esté a esa temperatura (normalmente no estará a más de 50°C ó 60°C, equivalente aproximadamente a 320° K ó 330° K), ni que la distribución espectral de su luz sea parecida a la de un cuerpo incandescente o un radiador total a esa temperatura. Por el contrario, esta será muy diferente. Solo se quiere indicar que los colores de ambas luces son parecidos y nada más.

3.3.2 Índice de reproducción cromática (CRI)

La capacidad de una fuente de luz de reproducir los colores se mide con el concepto de índice de reproducción cromática. Este concepto se define por el aspecto que presentan los cuerpos iluminados en comparación con el que presentan bajo una luz de referencia. Como fuente de luz de referencia se utiliza una fuente de luz comparable con espectro continuo, ya sea un proyector térmico con temperatura de color comparable a la luz diurna.

Los valores que puede obtener dicho índice son menores o iguales a 100, es decir si una lámpara posee un índice de reproducción cromática igual a 100, significa que posee una mejor reproducción cromática, apreciándose los colores correctamente.

Para determinar la reproducción cromática de una fuente de luz, se calculan los efectos cromáticos de una escala de ocho colores propios, bajo el tipo de iluminación que debe ser calificado, así como bajo la iluminación de referencia, y se establece su relación mutua.

La calidad así averiguada de la reproducción cromática es expresada en índices de reproducción cromática, que se pueden referir tanto a la

reproducción cromática general como valor medio, o a la reproducción de ciertos colores individuales.

Los espectros luminosos continuos originan una buena reproducción cromática, los espectros de rayas generalmente en una menos buena y los espectros de rayas múltiples compuestos por diferentes espectros de rayas, mejoran la reproducción cromática.

3.4 Tipos de lámparas de descarga

Los elementos básicos empleados en las lámparas para la generación de radiación dentro del espectro de luz visible son el sodio y el mercurio. El anterior genera la radiación directamente dentro de la parte visible del espectro, y el segundo genera la radiación principalmente en la región ultravioleta, pero esta radiación se puede transformar fácilmente en la radiación visible por medio de una capa de fósforo que cubre la pared interna del tubo de descarga.

Un parámetro muy importante relacionado con la eficacia y la riqueza de la radiación emitida por la descarga es la presión del gas. Para los elementos sodio y mercurio, existen dos valores de la presión alrededor de los cuales la eficacia luminosa de la descarga sea más alta, la primera se obtiene en las presiones absolutamente bajas, sobre 1 Pa, y el segundo en presiones más altas. alrededor de 10^5 Pa (una atmósfera). Esta es la razón por la cual existen dos tipos de lámparas de descarga, según la presión del gas encerrado dentro del tubo de descarga, de baja presión y de alta presión:

1. Lámparas de descarga de baja presión:

Este tipo de lámpara opera a presiones alrededor de 1 Pa y con características de baja densidad de corriente dentro de la descarga y baja potencia por unidad de la longitud de descarga. Por lo tanto, estas lámparas normalmente presentan un volumen absolutamente grande para la descarga con un bajo grado de potencia. El ejemplo más representativo son las lámparas de mercurio de baja presión, también conocidas como lámparas fluorescentes.

2. Lámparas de descarga de alta presión:

La presión de operación en este tipo de lámparas está alrededor de los 10^5 Pa y más arriba para alcanzar un aumento considerable en la eficacia luminosa de la descarga. Estas lámparas presentan una alta densidad de corriente en la descarga y una alta potencia por unidad de longitud de descarga, así mostrando volúmenes mucho más pequeños para la descarga. Como ejemplos tenemos a las lámparas de sodio de alta presión, las de mercurio de alta presión, y las de halogenuro metálico.

3.4.1 Lámparas fluorescentes:

Estas lámparas pertenecen a la categoría de lámparas de descarga de vapor de mercurio de baja presión. La descarga genera dos líneas principales, la 185 y la 253.7 nm y otras líneas débiles, dentro del rango espectro visible. Un residuo fluorescente en la pared interior del tubo de descarga convierte la radiación ultravioleta en la radiación visible, dando por

resultado una distribución espectral de banda ancha y una buena interpretación del color. En estas lámparas la presión óptima del vapor del mercurio (que da la eficacia luminosa máxima) es 0,8 Pa para los diámetros del tubo usados normalmente, esta presión alcanza una temperatura alrededor de 40° C, no mucho más arriba que la típica temperatura de la pared del ambiente que el calor generado dentro de la descarga es suficiente lograr la temperatura requerida de funcionamiento sin el uso de un bulbo externo. Sin embargo, esta estructura causa una gran variación en la salida de los lúmenes de la lámpara respecto a la temperatura, que es una desventaja importante para lámparas fluorescentes. Una solución a este problema es la adición de las amalgamas para estabilizar la inconstante salida, esto se utiliza especialmente en lámparas fluorescentes compactas.

3.4.2 Lámparas de sodio de baja presión:

La mayoría de estas lámparas son eficientes fuentes de luz. La razón es que casi la radiación monocromática que ellos generan, con dos líneas principales de 589 y 589.6 nm, muy cerca de la máxima sensibilidad de la vista humana. Por lo tanto, la reproducción del color a estas lámparas son muy pobres; sin embargo, los contrastes son mejor apreciados bajo esta luz. Esto es porque estas lámparas son empleadas en situaciones donde el reconocimiento de objetos y el contorno son esenciales para seguridad. La presión óptima para la descarga del sodio a baja presión es alrededor de 0.4Pa, logrado en tubos normales la descarga a una temperatura de 260 °C. Un bulbo externo se utiliza para alcanzar y mantener esta temperatura

3.4.3 Lámparas de vapor de mercurio de alta presión:

El incremento de la presión en el vapor de mercurio, produce una rica radiación en líneas espectrales, algunas de ellas en la parte visible del espectro luminoso (405, 436, 546 y 577/579 nm). Esto conduce a un aumento en la eficacia luminosa, alcanzando valores de 40 a 60 lm/W a presiones de 10^5 a 10^7 Pa (1-100 atm). Estas lámparas operan con vapor de mercurio no saturado, lo que significa que todo el mercurio dentro del volumen de descarga fue evaporado y el número de átomos de mercurio por unidad de volumen permanece constante. Así, la operación de este tipo de lámparas es más independiente de la temperatura que de la mayoría de las lámparas de descarga. Una desventaja de estas lámparas es la carencia de líneas espectrales a lo largo de las longitudes de onda del espectro, así originan un bajo índice de reproducción cromática. Un incremento en la reproducción cromática puede ser obtenido agregando un compuesto de halogenuro metálico en el volumen de descarga, para generar la radiación sobre todo el espectro del visible. Estas lámparas son conocidas como lámparas de halogenuro metálico.

3.4.4 Lámparas de sodio de alta presión:

Estas fuentes de luz son muy populares debido a la alta eficiencia y largo periodo de vida. El incremento de presión en el vapor de sodio produce una gama muy amplia, con alta reproducción de color comparado con las lámparas de sodio de baja presión. Esto conduce a obtener una eficiencia luminosa más baja, la cual continúa siendo más alta comparada con otras

lámparas de descarga de alta intensidad. Algunas lámparas también incorporan mercurio en forma de amalgama de sodio para incrementar el campo de fuerza, así decrece la corriente de descarga. Una baja corriente y una alta tensión en la lámpara permiten reducir el tamaño y el costo de los balastos. Sin embargo, la adición de la solución de amalgama reduce grandemente la vida de la lámpara.

CAPÍTULO IV

BALASTOS ELECTRÓNICOS

Como señalamos en 3.2, durante los procesos de funcionamiento, las lámparas de descarga necesitarán obligatoriamente un circuito auxiliar que logre limitar la corriente liberada y conseguir el equilibrio entre los valores normales de voltaje y corriente constante durante el proceso de descarga, consiguiendo finalmente un óptimo proceso de descarga.

4.1 El balasto electromagnético convencional

Los balastos electromagnéticos son comúnmente empleados para estabilizar el punto de funcionamiento requerido por lámpara, limitando la corriente de descarga. El punto de operación de la lámpara es dado por la intersección de las curvas características de la lámpara y del balasto, como se muestran en la Fig. 4.1. La línea del balasto es la característica que muestra la variación de la potencia de la lámpara versus el voltaje de la lámpara para un voltaje de línea constante; esto puede ser medido durante la fase de calentamiento de la lámpara. La línea de la lámpara es la

característica que da la variación de la potencia de la lámpara como función del voltaje de la lámpara para diferente línea de voltaje y puede ser medido variando la línea de voltaje. Algunas lámparas, tales como la del sodio a alta presión. Exhiben una gran variación de voltaje de lámparas con cambios de vatiaje de la lámpara. Debido a este comportamiento, se han establecido los trapecoides que definen el vatiaje máximo permitido de la lámpara contra el voltaje de la lámpara para los propósitos del diseño del balasto, como se muestra en la Fig. 4.1.

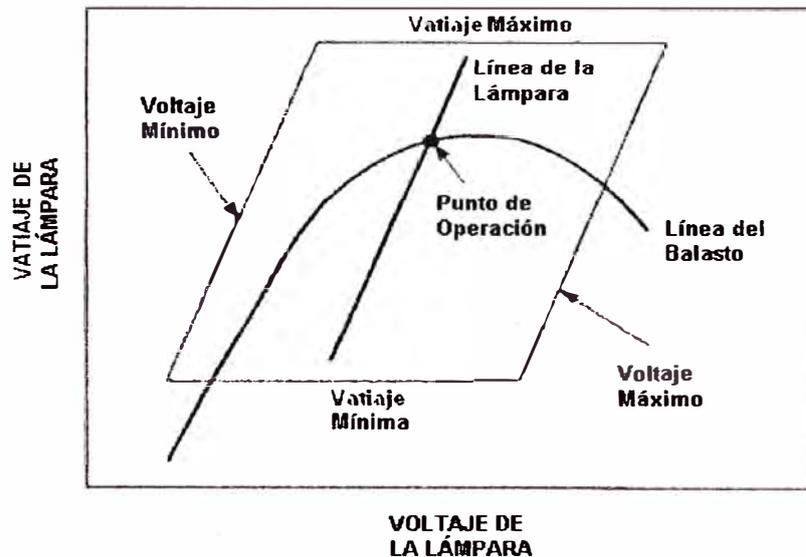


Fig. 4.1 Característica de la lámpara y Balasto

La Fig. 4.2 muestra el balasto electromagnético usado para fuente de lámparas de baja y alta presión, con líneas de frecuencias (50 a 60 Hz). La Fig. 4.2(a) ilustra el circuito típico utilizado para fuentes de lámparas fluorescentes con electrodos precalentados, los cuales básicamente utilizan un inductor en serie para limitar la corriente por la descarga. Inicialmente la llave de encendido es cerrada y una corriente de corto circuito fluye a través

del circuito, calentando los electrodos. En una fracción de segundos después, la llave de encendido es abierto y la energía almacenada en el inductor del balasto causa un punto de voltaje entre los electrodos de la lámpara (a cerca de 800 V), lo que finalmente produce la interrupción de la descarga. La lámpara también es encendida, este voltaje está por debajo de la línea de voltaje, y el interruptor de encendido permanece abierto durante la operación normal de la lámpara. Típicamente los interruptores de encendido se basan en dos tiras bimetálicas dentro de un tubo pequeño llenó de un gas inerte. Un condensador externo de cerca de 10 nF es utilizado para que acentúe la operación del interruptor de encendido y también para reducir la interferencia radial durante el arranque de la lámpara. Finalmente, dentro del balasto tipo inductivo es conveniente adaptar en la entrada de la línea un condensador, para mejorar valor del factor de potencia.

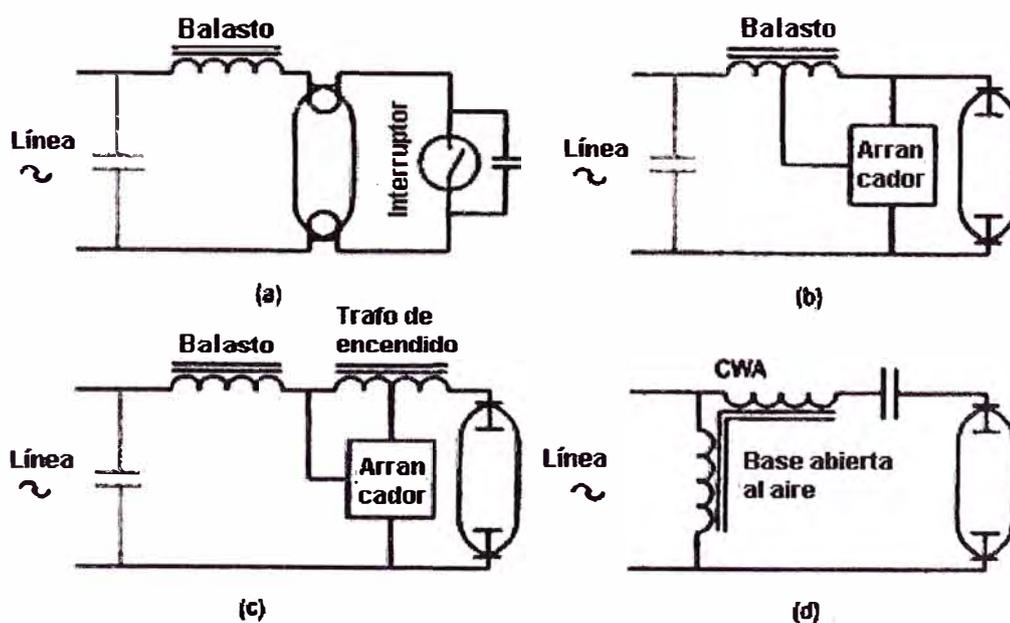


Fig. 4.2 Balastos electromagnéticos típicos empleados para alimentar lámparas de descarga en baja frecuencia.

Los voltajes de encendido de las lámparas de descarga de alta presión, son generalmente altos que las lámparas de descarga de baja presión y pueden ir desde 2500 V para una lámpara en la temperatura de ambiente, hasta 30 kV a 40 kV para el reencendido de una lámpara caliente. Así, el sistema de ignición simple basado en el interruptor de encendido no es más aplicable para estas lámparas. La Fig. 4.2(b) y 4.2(c) muestran dos arreglos típicos para proveer a las lámparas de descarga de alta intensidad. Un inductor en serie es también empleado para limitar la corriente de la lámpara en operación de estado constante, pero los autotransformadores son usados para lograr puntos de voltaje más altos para la ignición de la lámpara. Para la línea alta de voltaje y distancias cortas entre el arrancador y la lámpara, el balasto inductor puede ser usado como transformador de ignición como se muestra en la Fig. 4.2(b). En otros casos, un transformador de ignición independiente es necesario para proporcionar puntos de voltaje más altos y evitar el efecto de capacitancia parásita en los cables de conexión, Fig. 4.2(c).

El balasto inductivo proporciona baja regulación a la potencia de la lámpara contra la variación del voltaje en la línea, y por lo tanto esto es solo recomendable en esas instalaciones con bajas fluctuaciones de voltaje. Cuando es necesaria una buena regulación de potencia para la lámpara, se emplea generalmente el circuito mostrado en la Fig. 4.2(d). Este circuito es comúnmente llamado autotransformador de potencia constante (APC) e incorpora un condensador en serie con la lámpara para limitar la corriente de descarga. Comparado con el normal balasto inductivo, el APC también

exhibe un alto factor de potencia en la entrada, bajo voltaje de extinción en la línea, y baja corrientes de iniciación en la línea.

La principal ventaja de los balastos electromagnéticos es su simplicidad, lo cuál proporciona bajo costo y una confiabilidad más alta. Sin embargo, puesto que funcionan en líneas de frecuencias, típicamente de 50Hz a 60Hz, hacen que posean tamaños y pesos grandes.

Otras importantes desventajas de los balastos electromagnéticos convencionales son las siguientes:

Baja eficiencia, especialmente para esos balastos que ofrecen buena acción de regulación contra la variación de voltaje de la línea.

Baja confiabilidad para el encendido y el reencendido, si el punto de voltaje no está situado en conformidad con el período de la línea, la ignición de la lámpara puede fallar.

Dificultad en controlar el flujo luminoso de la lámpara (oscurecimiento).

Los cambios del punto de operación de la lámpara debido al proceso de envejecimiento de la lámpara, reducen la vida útil de la lámpara.

Bajo factor de potencia y alta distorsión armónica a la entrada.

Grandes condensadores son necesarios acondicionar en la entrada de la línea para incrementar el factor de potencia.

Riesgo de sobre intensidad de corriente debido a la saturación del balasto, causada por el efecto de rectificación de algunas lámparas de descarga, especialmente en el final de su vida.

Oscilación y efecto estroboscópico debido a una fuente de baja frecuencia. La energía irradiada por la lámpara está en función de la entrada de potencia instantánea. Por lo tanto, cuando una lámpara es alimentada desde una línea alterna, ocurre una instantánea variación en la salida de luz, el cual es llamado oscilación. Para una línea de frecuencia de 60 Hz la frecuencia de la luz resultante es 120 Hz. Esta variación es muy rápida para el ojo humano, pero al moverse rápidamente los objetos ubicados debajo de estas lámparas, los objetos parecen moverse lentamente o detenidas. Esto es llamado efecto estroboscópico y pueden ser muy peligrosos en ambientes industriales. Un índice de oscilación es definido con valores desde 0 hasta 1.0. A mayor valor del índice de oscilación, mayor es la posibilidad de un efecto estroboscópico sensible.

Estas importantes desventajas, hacen que dejemos de apostar por el empleo de este tipo de balastos electromagnéticos, por ello es necesario el empleo de balastos que puedan suplir estas desventajas, y garantizar un óptimo funcionamiento dentro del periodo de vida de la lámpara. Estos balastos son los del tipo electrónico, sustituye a todos y cada uno de los componentes convencionales asociados a la lámpara: arrancador, reactancia y condensador para la corrección de potencia. Incorpora además todos los elementos necesarios para la conmutación automática a nivel reducido de potencia sin necesidad de una línea auxiliar de mando.

4.2 Balasto Electrónico

Los balastos electrónicos, son los que a partir de una operación a alta frecuencia, logran hacer frente a las desventajas existentes en los balastos electromagnéticos.

A continuación presentaremos la constitución básica del balasto electrónico y las diferentes topologías que puede adoptar.

4.2.1 Topología del los balastos electrónicos

En la Fig. 4.3 presentamos el diagrama de bloques básico de un típico balasto electrónico. Las etapas que constituyen al balasto electrónico son las siguientes:

1. Filtro para la Interferencia Electromagnética:

Este filtro es obligatorio para los balastos electrónicos comerciales. Usualmente consiste de la unión de una inductancia y un condensador. La salida del filtro es empleada para atenuar la interferencia electromagnética generada por el estado de alta frecuencia del balasto electrónico. También protege al balasto contra posibles transitorios en la línea.

2. Convertidor ac – dc:

Esta etapa es utilizada para generar un nivel de voltaje dc desde la línea ac. Normalmente es empleado un rectificador de diodo de puente completo seguido de un condensador. Sin embargo, este rectificador simple proporciona un bajo factor de potencia y una baja regulación de voltaje a la entrada. Para obtener un alto factor de

potencia y una regulación del voltaje, se pueden emplear convertidores activos.

3. Inversor dc – ac y balasto de alta frecuencia:

Esta etapa sirve para alimentar a la lámpara de descarga a alta frecuencia. El inversor genera una forma de onda de alta frecuencia, y el balasto es empleado para limitar la corriente originada por la descarga. Ambos, inductancia y condensador pueden ser utilizados para realizar esta función, con la ventaja de lograr un bajo peso y tamaño, gracias a que operan a altas frecuencias.

4. Circuito de encendido:

En la mayoría de los balastos electrónicos, especialmente para las lámparas de descarga de baja presión, el balasto de alta frecuencia es empleado para encender la lámpara y limitar la corriente de la lámpara en estado constante. Por lo tanto, no es necesario un circuito de encendido adicional. Sin embargo, cuando alimentamos a lámparas de descarga de alta presión, el voltaje de encendido está mucho más alto, entonces es necesario un circuito de encendido separado, especialmente si apremia un reencendido en caliente.

5. Circuito de control y protección:

Esta etapa incluye el oscilador principal, amplificadores de error para regular la corriente o potencia de la lámpara, salida protección de sobretensión de salida, temporizadores para el control del tiempo

de encendido, protección de sobrecorriente, protección contra falla de la lámpara, etc. Esta etapa puede ir desde circuitos muy simples hasta los muy complicados, que a veces incluye un circuito de control por microprocesador.

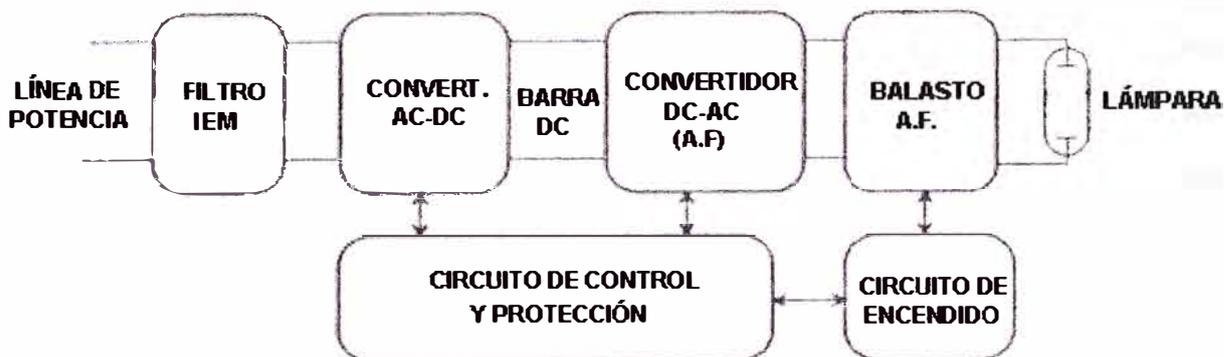


Fig. 4.3 Diagrama de bloque de un balasto electrónico típico.

4.3 Grupos principales de balastos electrónicos

Las topologías típicas usadas para alimentación en alta frecuencia a las lámparas de descarga, pueden ser clasificados en dos grupos principales: los balastos no resonantes y los balastos resonantes:

1. Balastos no resonante:

Estas topologías son obtenidas usualmente para retirar el diodo de la salida de los convertidores dc a dc, para proveer de corriente alterna a la lámpara. Actualmente el control se emplea para limitar la corriente de la lámpara de descarga. La lámpara es alimentada por una corriente de forma de onda cuadrada, el cual puede presentar un nivel dc en algunos casos. Un condensador pequeño es utilizado para encender la lámpara inicialmente, pero su efecto en la operación de estado estacionario puede ser desfavorable.

En la Fig. 4.4 mostramos algunos ejemplos de esta topología, en la Fig. 4.4(a) y 4.4(b) se ilustra un balasto basado en ganancia y en el tiempo de retorno, respectivamente. Otras topologías, las cuales pueden alimentar de corriente alterna simétrica a través de la lámpara, son mostradas en la Fig. 4.4(c) y 4.4(d).

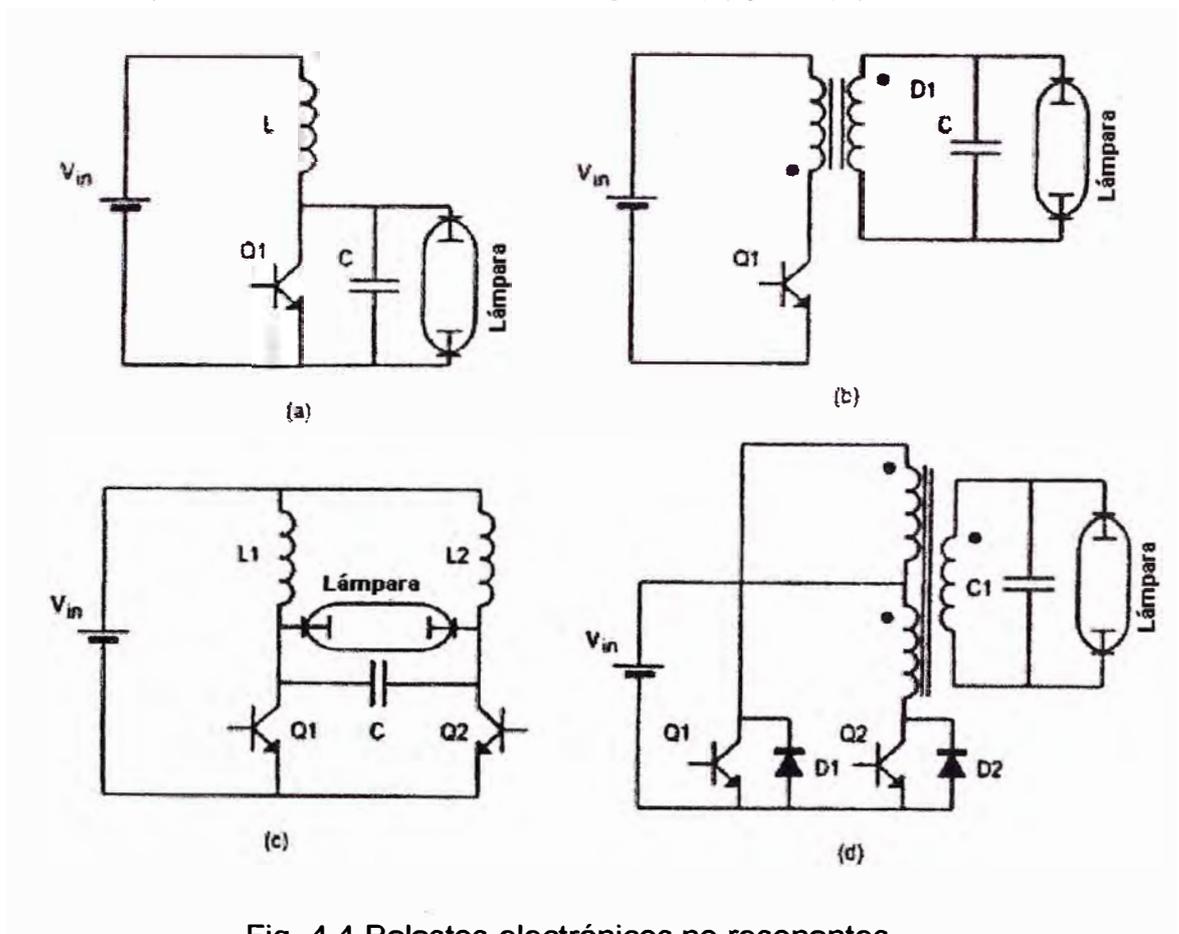


Fig. 4.4 Balastos electrónicos no resonantes.

Estas topologías presentan algunas desventajas, tales como altos picos de voltaje a través del interruptor, el cual origina una baja eficiencia, especialmente por potencias altas. A demás, porque la condición ideal de la lámpara es que sea alimentado por una forma de onda sinusoidal, estos circuitos producen el envejecimiento prematuro de la lámpara. En conclusión, aplicaciones típicas de

estas topologías son los equipos portables y de emergencia, donde la potencia es baja y el número de encendidos nos es muy alta.

2. Balastos resonantes.

Estos balastos usan un circuito tanque resonante para alimentar la lámpara. El tanque resonante filtra los armónicos de alto orden, así obtiene una forma de onda sinusoidal a través de la lámpara. Los balastos resonantes pueden ser clasificados en dos categorías: fuentes de corriente y fuentes de tensión.

Dada las ventajas de los balastos resonantes fuente de tensión sobre los resonantes fuente de corriente, nos dedicaremos a continuación a exponer los balastos resonantes fuente de tensión.

4.4 Balastos resonantes fuente de voltaje

Este tipo de balastos es uno de los más usados mayormente por los fabricantes de balastos electrónicos en la actualidad, especialmente para aplicaciones provistas principalmente de ac. El circuito es alimentado desde una fuente de voltaje dc, obtenida normalmente por la rectificación del voltaje de línea. Una forma de onda cuadrada de voltaje es obtenida entonces operando a los transistores con un ciclo útil del 50%, y que es utilizado para alimentar un circuito resonante en serie. Este tanque resonante filtra los armónicos de alto orden y alimenta a la lámpara con una corriente de forma de onda sinusoidal. Una ventaja del circuito resonante fuente de voltaje, es que el voltaje de encendido puede ser obtenido fácilmente sin emplear condensadores de encendido extras, gracias a la operación cerca a la

frecuencia de resonancia del circuito tanque. La Fig. 4.5 muestra los diagramas eléctricos típicos del balasto resonante fuente de tensión.

La versión de la fuente de voltaje del inversor simétrico es ilustrado en la Fig. 4.5(a). Este inversor incluye un transformador, que se puede utilizar para desplazar el voltaje de entrada hacia arriba o abajo, a fin de obtener un voltaje de salida de onda cuadrada con un adecuado valor rms. Esto proporciona una gran flexibilidad al diseño pero también incrementa el costo. Una desventaja es que el voltaje a través del transistor es dos veces el voltaje de entrada, que puede ser sumamente alto para aplicaciones en la línea. Por lo tanto, este inversor es usado normalmente para aplicaciones de bajo voltaje. Otra importante desventaja está en la asimetría de las dos bobinas primarias (diferentes números de vueltas) o en los tiempos de conmutación de los transistores de potencia que proporcionarían un nivel indeseable de dc en el flujo magnético del transformador, que alternadamente podría saturar la base o disminuir la eficiencia debido a la circulación de las corrientes dc.

Las Fig.s 4.5(b) y 4.5(c) ilustran dos posibles arreglos para el inversor resonante, fuente de tensión de puente medio. Lo anterior se refiere que el puente medio asimétrico utiliza normalmente uno de los condensadores del tanque resonante (C1 en la Fig.) para el bloque el nivel de voltaje dc de la onda cuadrada generada por el puente. Esto significa que el condensador C1, exhibirá un nivel de dc igual a la mitad de dc del voltaje de entrada, sobrepuesto a su voltaje normal alterno. Un transformador también puede ser usado en este inversor para incrementar o reducir el nivel de voltaje

requerido para cada aplicación. En este caso el uso de los condensadores C1 en serie, evita que cualquier corriente de la dc circule por el primario de la bobina, evitando así la saturación del transformador. Esta topología es a menudo empleada por los fabricantes de balastos para fuente de las lámparas fluorescentes, especialmente la versión auto oscilante, lo cual permite reducciones drásticas en el costo. Al proveer las lámparas fluorescentes del cátodo caliente, el condensador paralelo C2 se coloca normalmente a través de dos electrodos, según lo mostrado en la Fig. 4.5(b), para proporcionar una corriente de precalentamiento para los electrodos y alcanzar una ignición suave. La Fig. 4.5(c) muestra otra versión de la topología puente medio, que usa más de dos condensadores para proporcionar un nivel de voltaje flotante igual a la mitad del voltaje de entrada. En este caso, el condensador C1 no es muy utilizado para bloquear el voltaje dc, así demostrando un bajo esfuerzo.

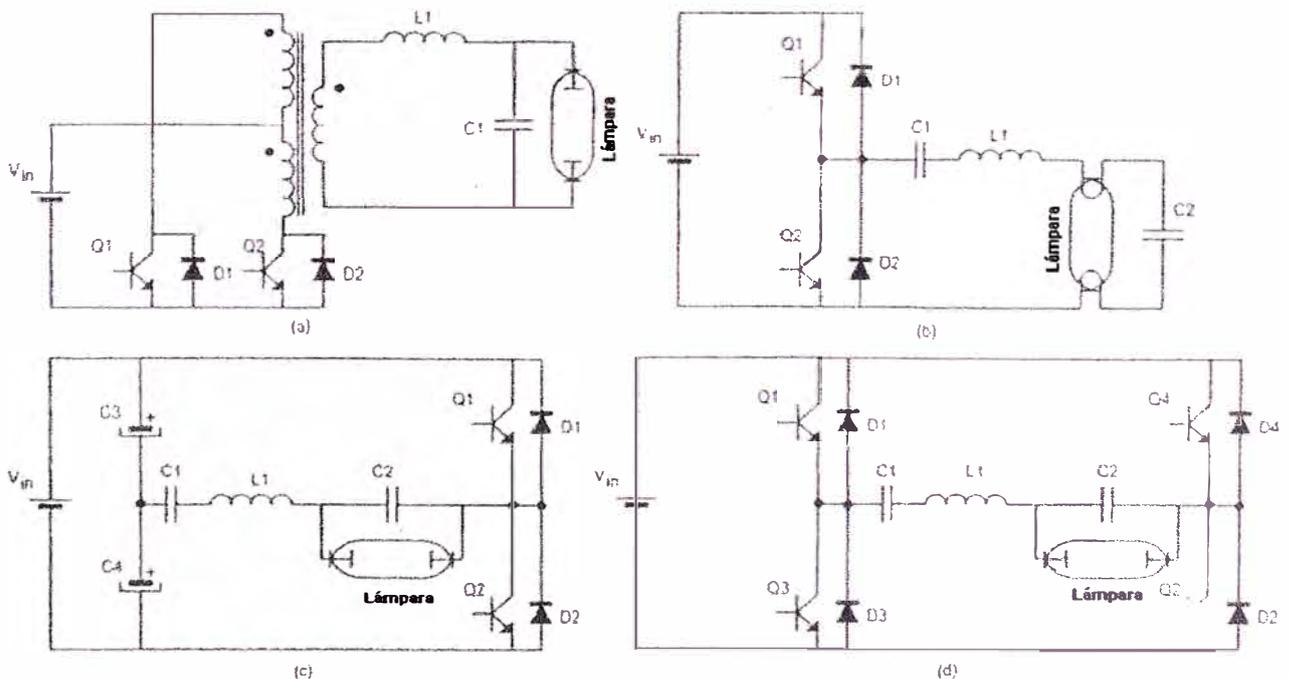


Fig. 4.5 Típicos inversores resonantes fuente de voltaje.

Finalmente, para rangos de alta potencia (mayores a 200 W), la topología de puente completo mostrado en la Fig. 4.5(d) normalmente se usa. Los transistores de cada puente medio son operados en un 50% del ciclo de servicio y las señales de conmutación están desfasadas en 180° . Así cuando los interruptores Q1 y Q2 son activados, el voltaje V_{in} es aplicado directamente sobre el tanque resonante, y cuando los interruptores Q3 y Q4 son activados el voltaje inverso $-V_{in}$ es aplicada a través del circuito resonante. Una de las ventajas de este circuito es que las señales de control de la conmutación de las dos ramas pueden ser desfasados por ángulos de fase entre 0° y 180° , controlando así el valor rms del voltaje aplicado al tanque resonante dentro del intervalo de la 0 a V_{in} . Esto proporciona un parámetro adicional para controlar la potencia de la salida a frecuencia constante, que es útil en la implementación de balastos.

4.5 Inversores resonantes para Balastos Electrónicos

Los balastos electrónicos domésticos e industriales más modernos utilizan los inversores resonantes para alimentar a las lámparas de descarga. Ellos pueden ser implementados en dos maneras básicas: inversores resonantes fuente de corriente e inversores resonantes fuente de voltaje.

4.5.1 Inversor resonante fuente de voltaje

Algunos inversores resonantes fuente de voltaje utilizados para alimentar lámparas de descarga fueron mostrados previamente en la Fig. 4.5. Básicamente, ellos utilizan dos o más interruptores para generar un voltaje

de forma de onda cuadrada. Las diferentes topologías son principalmente dadas por el tipo de tanque resonante empleado para filtrar esta forma de onda del voltaje. Existen tres tanques resonantes típicos, cuyos circuitos equivalentes son mostrados en la Fig. 4.6. Estos circuitos son los tanques resonantes cargados en serie, Fig. 4.6(a), el tanque resonante cargado en paralelo, Fig. 4.6(b), y el tanque resonante cargado en serie y paralelo, Fig. 4.6(c). Las formas de onda del funcionamiento típico son mostradas en la Fig. 4.6(d).

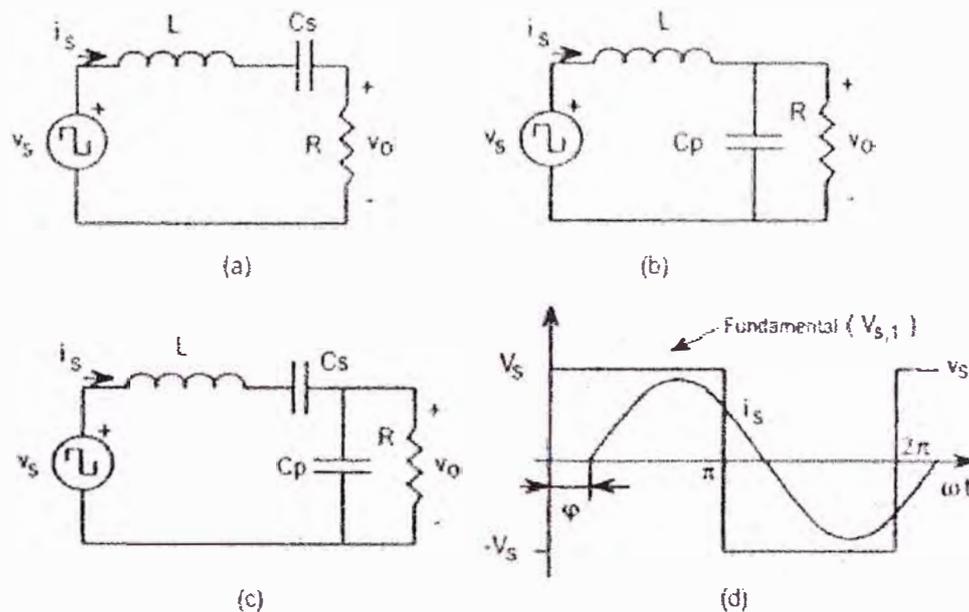


Fig. 4.6 (a)-(c) Circuitos equivalentes de inversores resonantes como fuente de voltaje; y (d) formas de onda en operación típica

Similarmente para el inversor resonante como fuente de corriente, el voltaje de entrada puede ser expresado como una serie de Fourier de la siguiente manera:

$$v_s(t) = \sum_{n=1,3,5} V_{s,n} \text{Sin}(n\omega t) = \sum_{n=1,3,5} \frac{4V_s}{n\pi} \text{Sin}(n\omega t) \quad (4.1)$$

Donde: $V_{S,n}$ es el valor pico de cada armónico de voltaje, y V_S es la componente dc del voltaje a la entrada del inversor. Iniciaremos el estudio de cada uno de los tres tipos de inversores resonantes como fuente de tensión señalados.

4.5.1.1 Circuito serie resonante

La salida de voltaje correspondiente para el n-ésimo armónico es fácilmente obtenida como sigue:

$$V_{o,n} = V_{S,n} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{Q_s^2} \left(n\Omega - \frac{1}{n\Omega} \right)^2}} \quad (4.2)$$

Donde Q_s y Ω son la carga y frecuencia de conmutación normalizada y están dadas por las siguientes expresiones:

$$Q_s = R/Z_B = R(L/C_s)^{-1/2} \quad \Omega = \omega/\omega_0 = \omega\sqrt{LC_s} \quad (4.3)$$

La Fig. 4.7(a) muestra el THD del circuito cargado en serie y la Fig. 4.7(b) muestra la salida del voltaje fundamental, el cual es normalmente considerado para propósitos de diseño.

En este circuito la salida y entrada de corriente son igual y pueden ser calculados por la división del voltaje de salida entre la impedancia de la carga. Esta corriente también está circulando por los interruptores del inversor y por lo tanto representan un importante parámetro para el diseño. Otro importante parámetro es el ángulo de fase de la corriente de salida, el cual define el tipo de conmutación en los interruptores del inversor. Para el

armónico fundamental, el ángulo de fase de la corriente circulante por el tanque resonante puede ser calculado como sigue:

$$\varphi = -\tan^{-1} \frac{\Omega - 1/\Omega}{Q_s} \quad (4.4)$$

En la frecuencia natural (ω_0) el voltaje de salida y la corriente estarán en fase, lo cuál significa que no se maneja ninguna energía reactiva por el circuito y toda la energía de entrada se transfiere a la carga en la operación de estado estacionario. Para las frecuencias mayores que ω_0 , la corriente se retrasa y cierta energía reactiva será manejada. En este caso los interruptores del inversor presentarán conmutación a voltaje cero (ZVS). Para frecuencias menores que ω_0 , la corriente se adelanta y también cierta energía reactiva es manejada. En este caso los interruptores del inversor presentarán conmutación a corriente cero (ZCS).

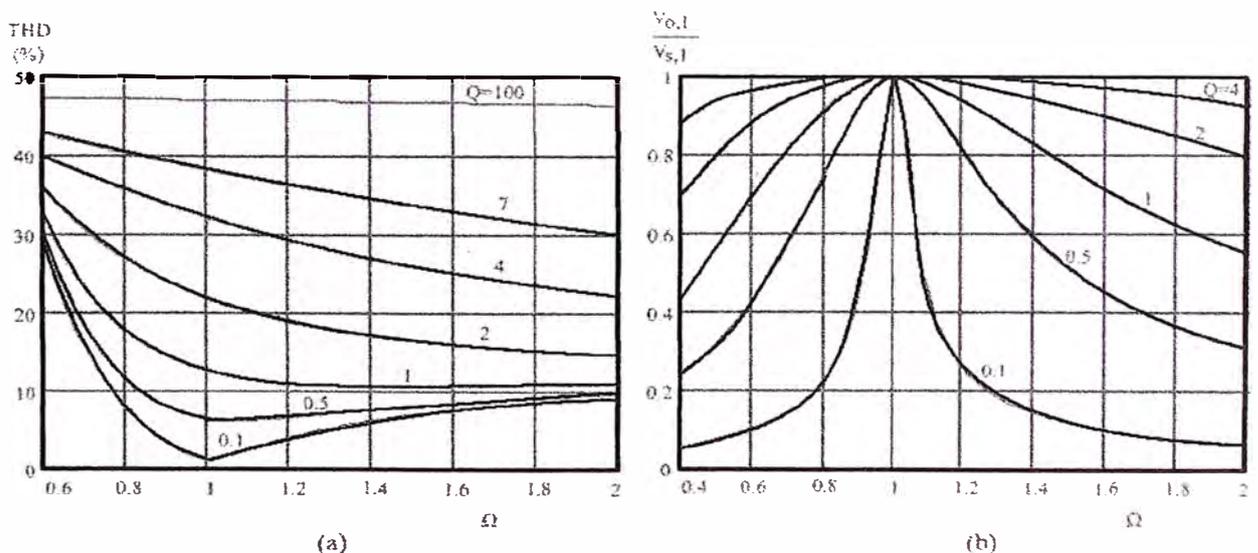


Fig. 4.7 Características del inversor serie resonante: (a) THD; y
(b) Voltaje fundamental de salida

Como se puede observar en la Fig. 4.7(a), el THD es bajo para valores bajos de la carga normalizada y frecuencias cercanas a la frecuencia natural del tanque resonante. Para valores altos de Q_s , el THD tiende a los valores correspondientes a una onda cuadrada. El voltaje de salida es siempre más bajo que el voltaje de entrada, y para frecuencias alrededor de la frecuencia natural el circuito se comporta como una fuente de voltaje, especialmente para valores altos de Q_s . Esto significa que la lámpara no se puede encender y alimentar en modo de descarga mientras que se mantenga constante la interrupción de la frecuencia. Este comportamiento es similar a lo encontrado en el inversor resonante como fuente de corriente. El uso de transformadores elevadores es obligatorio para alcanzar el encendido de la lámpara, especialmente para bajos voltajes de salida. Para mantener una frecuencia de funcionamiento constante, un elemento de la serie será necesario para limitar la corriente de la lámpara en operación normal de descarga. Un condensador puede ser utilizado. En resumen, este circuito es principalmente usado en alto voltaje de entrada, aplicaciones de baja corriente, y no es a menudo utilizado para la implementación de los balastos electrónicos.

4.5.1.2 Circuito paralelo resonante

En este circuito, el voltaje de salida correspondiente al n -ésimo armónico está dado por la siguiente expresión:

$$V_{o,n} = V_{s,n} \frac{1}{\sqrt{\frac{n^2 \Omega^2}{Q_p^2} + (n^2 \Omega^2 - 1)^2}} \quad (4.5)$$

Donde:

$$Q_p = R/Z_B = R(L/C_p)^{-1/2}, \quad \Omega = \omega/\omega_0 = \omega\sqrt{LC_p} \quad (4.6)$$

El THD y la salida del voltaje fundamental son mostrados en la Fig. 4.8. Este circuito presenta características que son mucho más útiles en la implementación de los balastos electrónicos que los circuitos resonantes cargados en serie. Primero, el THD del voltaje de salida alrededor de la frecuencia natural es en general mucho más bajo que los del circuito en serie. Para valores bajos de Q_p , el THD tiende a un valor del 12%, lo cual corresponde para el THD de una onda triangular. Como un resultado, la forma de ondas del voltaje y corriente de la lámpara serán muy similares a ondas sinusoidales, que es la forma de onda para alimentar a la lámpara. Segundo, la respuesta de frecuencia del voltaje de salida, Fig. 4.8(b), permite encender y limitar la corriente de la lámpara en el estado constante mientras mantiene un funcionamiento a frecuencia constante. Durante el encendido, la lámpara se comporta como una alta impedancia, originando así un alto valor de Q_p . Bajo estas condiciones el circuito paralelo puede generar un valor altísimo de voltaje de salida, con la condición de que la frecuencia funcione cerca a la frecuencia natural. Una vez que la lámpara esté encendida, la carga normalizada Q_p decrece y el circuito puede limitar la corriente de la lámpara sin cambiar la operación de la frecuencia. En realidad, el circuito paralelo opera cerca a la frecuencia natural comportándose como una fuente de corriente para la carga, como será visto después. El comportamiento es muy adecuado para alimentar lámparas de

descarga porque asegura una buena descarga estable, protegiendo a la lámpara de ser extinguido fácilmente por fluctuaciones transitorias de potencia.

El valor máximo del incremento de voltaje mostrado en la Fig. 4.8 puede ser calculado para ser igualado a $Q_p/\sqrt{1-1/4Q_p^2}$, y aparece en una frecuencia $\Omega_m = \sqrt{1-1/2Q_p^2}$. Esto significa que un máximo está solo presente si Q_p es mucho mayor que $1/\sqrt{2} \approx 0.71$. Para los valores altísimos de Q_p , el aumento máximo se puede aproximar por Q_p y la frecuencia máximo generada se puede aproximar a la frecuencia natural ω_0 .

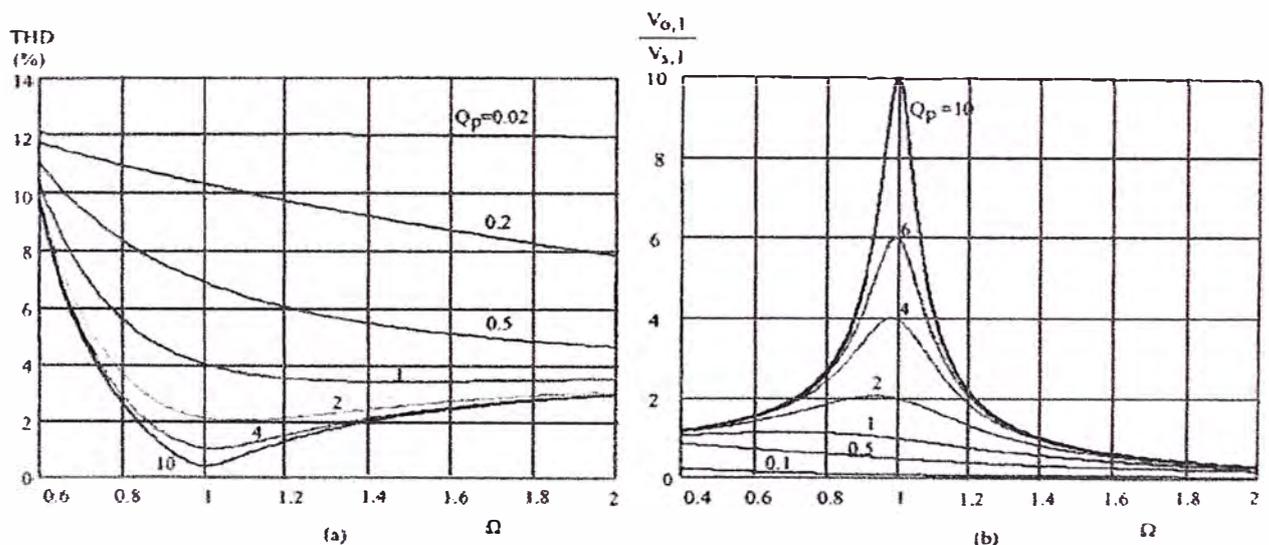


Fig. 4.8 Características del inversor paralelo resonante: (a) THD; y
(b) Voltaje fundamental de salida

La corriente a la entrada del circuito resonante paralelo, es otro parámetro importante para calcular la corriente manejada por los interruptores del inversor. Puesto que la frecuencia de funcionamiento está normalmente

alrededor de resonancia, solo la componente fundamental es considerada.

El valor de la corriente fundamental y el ángulo de fase puede ser obtenida como:

$$I_{S,1} = \frac{V_{S,1}}{Z_B} \sqrt{\frac{1 + Q_P^2 \Omega^2}{\Omega^2 + Q_P^2 (\Omega^2 - 1)^2}} \quad (4.7)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{-1}{\Omega Q_P} - \tan^{-1} Q_P \left(\Omega - \frac{1}{\Omega} \right) \quad (4.8)$$

La condición para que la entrada de voltaje esté en fase con la entrada de corriente puede ser obtenida igualando (4.8) a cero. Esto da un valor de la frecuencia normalizada: $\Omega_{\varphi=0} = \sqrt{1 - 1/Q_P^2}$. Para una frecuencia mayor a este valor, la corriente de entrada se retrasará al voltaje de entrada y los interruptores del inversor presentarán la conmutación a voltaje cero. Para frecuencias menores a este valor, la corriente de entrada se adelantará al voltaje de entrada y los interruptores del inversor presentarán la conmutación a corriente cero. El aumento del voltaje de la salida a esa frecuencia es igual a Q_P .

Finalmente, es muy interesante para estudiar el comportamiento de este circuito, puesto que ésta es la región seleccionada para la operación y aplicaciones de los balastos. En esta frecuencia, el aumento de voltaje de salida es igual a Q_P y luego la corriente de salida será $V_{S,1}/Z_B$. Esto significa que cuando operan a la frecuencia natural, el circuito paralelo se comporta como una fuente de corriente, cuyo valor depende únicamente del voltaje de entrada. A la frecuencia natural la corriente de entrada es igual a

$V_{S,1} \sqrt{1+Q_P^2}/Z_B$ y el ángulo de fase es igual a $\tan^{-1}(-1/Q_P)$. El comportamiento del circuito es siempre inductivo, con interrupción de voltaje cero. Y el ángulo de fase disminuye con el aumento de Q_P , lo que significa que poca energía reactiva es manejada por el circuito.

4.5.1.3 Circuito serie-paralelo resonante

Este circuito es a menudo utilizado para implementar balastos electrónicos. El voltaje fundamental de salida está dado por la siguiente expresión:

$$V_{o,1} = V_{S,1} \frac{1}{\sqrt{Q_{SP}^2 \left(\Omega - \frac{1-\alpha}{\Omega} \right)^2 + \frac{1}{\alpha^2} (\Omega^2 - 1)^2}} \quad (4.9)$$

Donde:

$$Q_{SP} = R/Z_B = R(L/C_E)^{-1/2} \quad \Omega = \omega/\omega_0 = \omega\sqrt{LC_E} \quad (4.10)$$

$$\alpha = C_E/C_P = 1 - C_E/C_S$$

y $C_E = C_S C_P / (C_S + C_P)$ es la equivalente en serie de los dos condensadores presentes en el circuito resonante.

La corriente fundamental de salida y la fase del ángulo son mostradas a continuación:

$$I_{S,1} = \frac{V_{S,1}}{Z_B} \left[\frac{1 + \frac{\Omega^2 Q_{SP}^2}{\alpha^2}}{\left(\Omega - \frac{1-\alpha}{\Omega} \right)^2 + \frac{Q_{SP}^2}{\alpha^2} (\Omega^2 - 1)^2} \right]^{1/2} \quad (4.11)$$

$$\varphi = \begin{cases} \tan^{-1} \frac{-\alpha}{Q_{SP}\Omega} - \tan^{-1} \left(\frac{Q_{SP}}{\alpha} \frac{\Omega^2 - 1}{\Omega - \frac{1-\alpha}{\Omega}} \right) + 180^\circ; & \text{if } \Omega < \Omega_c = \sqrt{1-\alpha} \\ \tan^{-1} \frac{-\alpha}{Q_{SP}\Omega} - \tan^{-1} \left(\frac{Q_{SP}}{\alpha} \frac{\Omega^2 - 1}{\Omega - \frac{1-\alpha}{\Omega}} \right); & \text{if } \Omega \geq \Omega_c = \sqrt{1-\alpha} \end{cases} \quad (4.12)$$

La Fig. 4.9 muestra las características correspondientes al THD del voltaje de salida y el voltaje fundamental de salida para $\alpha = 0.5$. Como puede ser visto, el THD es también muy bajo alrededor de la frecuencia natural, especialmente para altísimos valores de la carga normalizada Q_{SP} . En relación al voltaje de salida, el circuito se comporta como un circuito paralelo alrededor de la frecuencia natural ω_0 , con un máximo incremento del voltaje alrededor de $\frac{Q_{SP}}{\alpha}$. Alrededor de la frecuencia de resonancia en el circuito serie dado por L y C_s , $\omega_{0s} = \omega_0 \sqrt{1-\alpha}$, el circuito se comporta como un circuito cargado en serie con un máximo incremento de voltaje igual a la unidad.

El circuito se puede utilizar también para encender y alimentar la lámpara a frecuencia constante, puesto que también se comporta como fuente de corriente a la frecuencia natural. Además, este circuito permite limitar al voltaje de encendido por medio del factor α , evitando así el estallido y daño de los electrodos de la lámpara. También, el condensador en serie puede utilizarse para bloquear cualquier componente dc del voltaje cuadrado de salida del inversor, el cual existe en el puente medio asimétrico. En

resumen, el circuito serie paralelo combina las mejores características del circuito cargado en serie y el circuito cargado en paralelo, y esta es la razón por la cual se utilizan a menudo para la implementación de los balastos electrónicos.

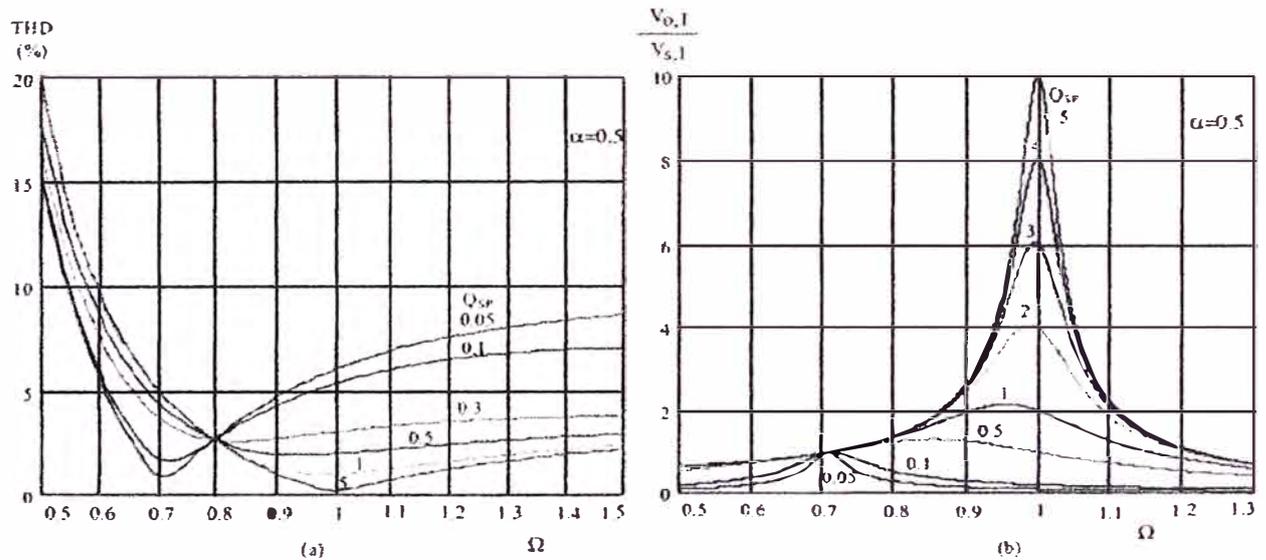


Fig. 4.9 Características del inversor serie-paralelo: (a) THD; y
(b) Voltaje fundamental de salida

Cuando operan a la frecuencia natural ω_0 . El aumento del voltaje de salida es igual a Q_{SP}/α , y entonces el circuito se comporta como una fuente de corriente igual a $V_{S,1}/\alpha Z_B$, el cual es independiente a la carga. Según lo indicado previamente, esto es muy adecuado para alimentar a las lámparas de descarga. El ángulo de fase de la corriente de entrada en esta frecuencia es igual a $\tan^{-1}(-\alpha/Q_{SP})$, y la corriente de entrada se retrasa siempre al voltaje de entrada, mostrando así conmutación a voltaje cero.

Finalmente, la condición para tener la corriente de entrada en fase con el voltaje de entrada puede ser obtenida por la fórmula (4.12) igualándola a

cero, esto da el siguiente valor:

$$Q_{SP,\varphi} = \frac{\alpha \sqrt{\Omega^2 - (1-\alpha)}}{\Omega \sqrt{1-\Omega^2}} = 0 \quad (4.13)$$

La ecuación (4.13) define la frontera entre los modos de conmutación a voltaje cero y corriente cero. El incremento de la salida de voltaje en esta frontera puede ser obtenida empleando (4.13) en (4.9), y esto es igual a $\alpha/\sqrt{\alpha(1-\Omega^2)}$.

4.6 Balastos Electrónicos de alto Factor de Potencia

Según lo mencionado en la sección anterior, cuando los balastos electrónicos se alimentan de una línea ac, una etapa ac-dc es necesaria para proporcionar un voltaje dc a la entrada del inversor resonante (véase la Fig. 4.3). Dada la introducción a las normatividades armónicas, tales como la IEC 1000-3-2, el uso de un rectificador de diodos puente completo seguido por un filtro condensador no es muy aplicable para esta etapa debido al alto contenido armónico de la corriente de entrada, por lo tanto, el uso de una etapa ac-dc que presenta un alto factor de potencia de entrada (PF) y una baja distorsión total armónica (THD) de la corriente de entrada es obligatorio. La inclusión de esta etapa puede aumentar grandemente el costo del balasto completo, y por lo tanto la búsqueda del balasto barato, de alto factor de potencia es un campo de la investigación actualmente importante.

La Fig. 4.10(a) muestra una primera posibilidad para incrementar el factor de potencia a la entrada del balasto es retirando el condensador de filtro del rectificador a diodos. Sin embargo, puesto que no hay elementos de

almacenamiento de baja frecuencia dentro del inversor resonante, la energía de salida sigue instantáneamente a la energía de entrada, produciendo así un parpadeo ligero molesto. Además, el factor de cresta de corriente de la lámpara resultante es muy alto, que disminuye considerablemente la vida útil de la lámpara.

Para evitar el parpadeo y el incremento del factor de cresta de la corriente de la lámpara, se deberá entregar potencia continua a la lámpara. Esto puede ser logrado solamente usando una etapa denominada Corrector de Factor de Potencia (CFP) con un elemento de almacenaje de baja frecuencia. Esta solución se muestra en la Fig. 4.10(b), donde el condensador C_0 se utiliza como elemento del almacenaje de energía. La desventaja principal de esta solución es que la potencia de entrada es manejada por dos etapas, que reduce la eficiencia del balasto electrónico completo.

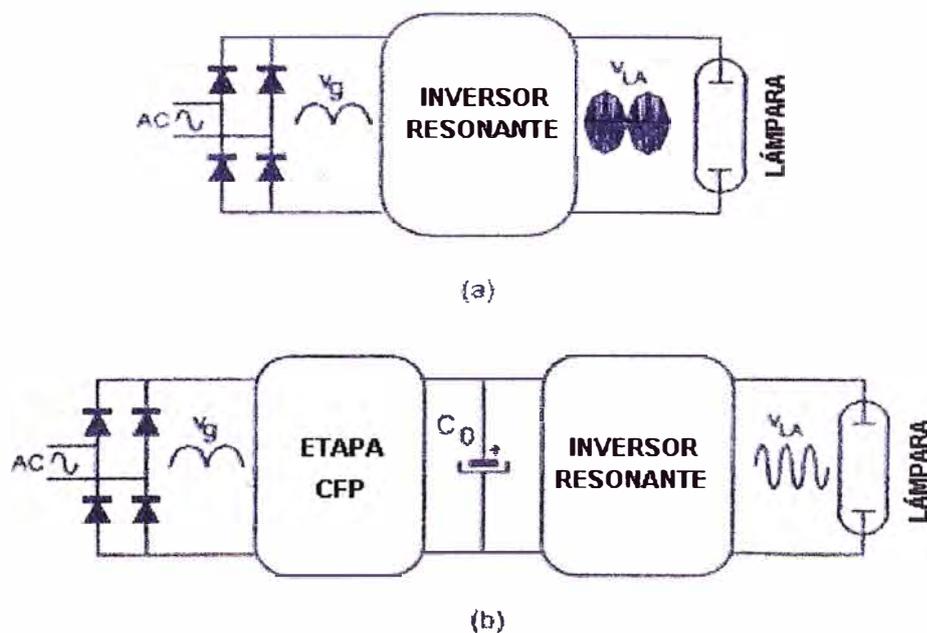


Fig. 4.10 Balasto de de alto factor de potencia.

4.6.1 Limitaciones estándar para los armónicos

Los estándares IEC 1000-3-2 y EN 61000-3-2 son las normatividades más populares con respecto a la contaminación armónica producida por lo general por la conexión de equipos electrónicos. Estos estándares son una nueva versión de la anterior normativa IEC 55-2 y son aplicables al equipo con menos de 16A por fase y alimentando en baja tensión en niveles de 220/380V, 230/400V, y 240/415V en 50/60HZ. Los límites para el equipo provisto de voltajes más bajo que 220V todavía no se han establecido. Esta normatividad divide el equipo eléctrico en varias clases, desde la clase A hasta la clase D. La clase C es especialmente para equipos de iluminación, incluyendo dispositivos amortiguadores; los límites armónicos para esta clase se muestran en la Tabla 4.1. Según lo mostrado en la tabla, esta normatividad establece una máxima amplitud para cada armónico de entrada como porcentaje del componente armónico fundamental. El contenido armónico establecido en la Tabla 4.1 es absolutamente restrictivo, lo que significa que la onda de la corriente de entrada debe ser absolutamente similar a una onda sinusoidal pura. Por ejemplo, para un típico factor de potencia de entrada igual a 0,9 la distorsión armónica total calculada de la Tabla 4.1 es el solamente 32%.

N-ésimo Armónico	Armónico de corriente máximo permisible, expresado como porcentaje de la corriente de entrada a la frecuencia fundamental
2	2
3	30 λ^a
5	
7	10
9	7
11 $\leq n \leq$ 39	5
	3

λ^a Es el factor de potencia del circuito

Tabla 4.1 IEC 1000-3-2: limite de armónico para equipamiento clase C

4.6.2 Soluciones Pasivas

Una primera posibilidad para incrementar el factor de potencia del balasto y disminuir el contenido armónico de la corriente de entrada, es el uso de soluciones pasivas. La Fig. 4.11 muestra dos soluciones pasivas típicas, las cuales pueden ser usadas para mejorar la entrada del factor de potencia del balasto electrónico.

La Fig. 4.11(a) muestra la solución pasiva más común basada en el filtro inductor L . Usando una inductancia grande L , se puede obtener una corriente cuadrada a la entrada, con un factor de potencia de entrada de 0.9 y un THD de cerca al 48%. Una entrada de forma de onda cuadrada no satisface los requerimientos IEC 1000-3-2 por lo que no es la solución conveniente. La adición del condensador C a través de los terminales ac puede incrementar el factor de potencia a 0.95, pero los requisitos estándares siguen siendo difíciles de satisfacer.

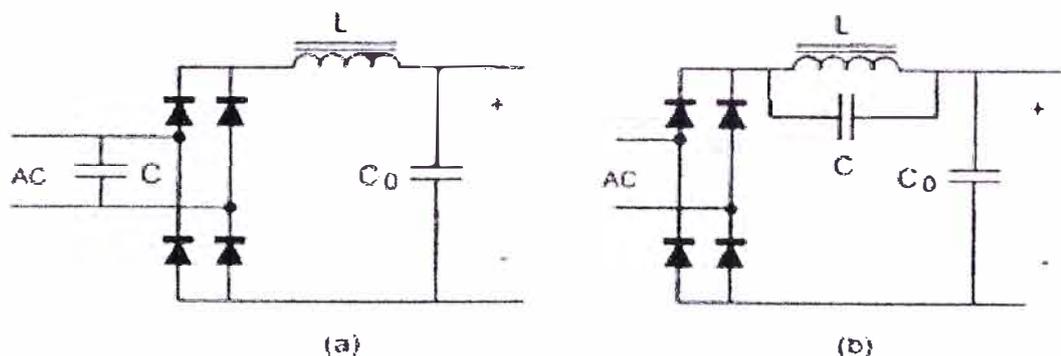


Fig. 4.11 Circuitos pasivos para mejorar la entrada del factor de potencia:

(a) Filtro LC; y (b) Filtro sintonizado LC

Una variación simple de este circuito es mostrado en la Fig. 4.11(b), donde un circuito paralelo sintonizado para el tercer armónico de frecuencia de la

línea es usada para mejorar la forma de la corriente de la línea. El factor de potencia de entrada obtenida con este circuito puede ser cercano a la unidad.

Una tercera posible solución, conocido como el circuito de canal lleno, es mostrado en la Fig. 4.12(a). El típico filtro condensador seguido de un diodo rectificador parte a dos condensadores diferentes que se carga alternativamente usando tres diodos adicionales. La adición de una pequeña resistencia en serie mejora el factor de potencia alrededor de dos puntos, manteniendo el bajo costo del circuito. Una inductancia en el lugar de la resistencia puede también ser utilizada para mejorar el factor de potencia, pero con un alto costo. La Fig. 4.12(b) muestra el voltaje de salida y la corriente de entrada del circuito del voltaje de salida. La principal desventaja de este circuito es la alta ondulación de la salida de voltaje, el cual produce fluctuaciones en la potencia y el flujo luminoso de la lámpara y un alto factor de cresta de corriente.

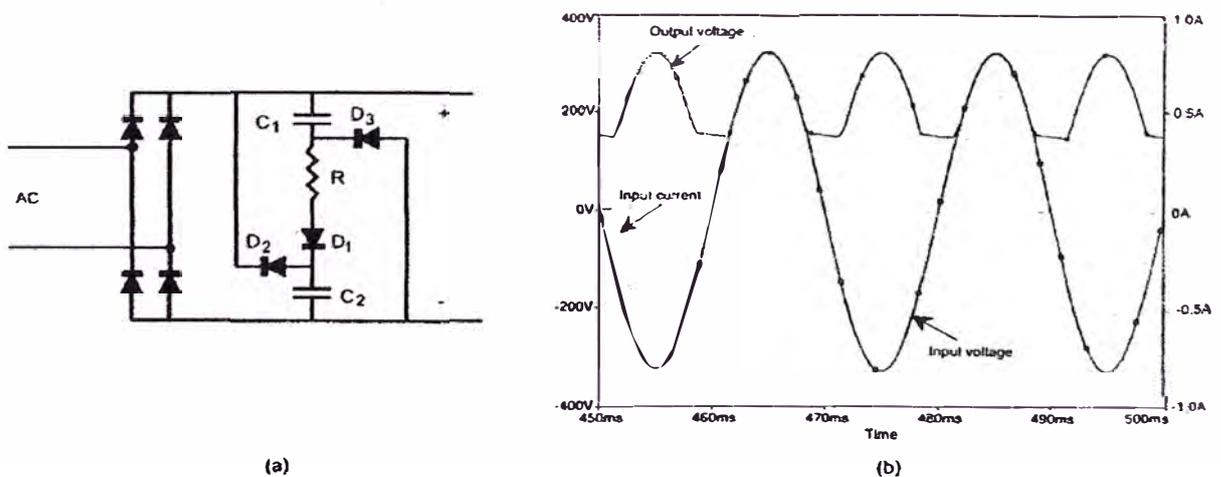


Fig. 4.12 Circuito de canal lleno: (a) Diagrama del circuito; y
(b) Formas de onda

Las soluciones pasivas son confiables, fuertes y baratos. No obstante, el tamaño y el peso de estas soluciones son altas y su diseño para satisfacer los requerimientos de la normatividad IEC 1000-3-2 es normalmente dificultoso. Por tanto, ellos son generalmente aplicados en los rangos de baja potencia.

4.6.3 Soluciones Activas

Los circuitos activos son la solución más popular para la implementación de balastos electrónicos de alto factor de potencia. Utilizan los interruptores controlados para corregir el factor de potencia a la entrada y en algunos casos para incluir el aislamiento galvánico vía transformadores de alta frecuencia. Los circuitos activos son normalmente utilizados en la operación de balastos electrónicos, operan a una frecuencia de conmutación mucho mayor que la frecuencia de la línea y sobre la gama audible.

Algunos circuitos activos típicos usados en balastos electrónicos son mostrados en la Fig. 4.13. Los convertidores del tipo reductor-elevador y flyback, se aprecian en la Fig. 4.13(a) y Fig. 4.13(b), respectivamente, pueden ser operados en modo de conducción discontinua (DCM) con frecuencia y ciclo útil constantes de acuerdo para obtener un factor de potencia de entrada cercana a la unidad.

La Fig. 4.13(c) muestra el convertidor tipo elevador (boost), el cual es uno de los más populares circuitos activos utilizados para corregir el factor de potencia de entrada de los balastos electrónicos. El convertidor tipo elevador es operado en DCM, obteniéndose una factor de potencia de entrada cerca

a la unidad; téngase en consideración que el voltaje de la salida este alrededor del doble del pico del voltaje de entrada. La principal desventaja de la operación DCM, cuando es comparado con el modo continuo de operación (CCM), es la alta distorsión de la corriente de entrada (debido a la corriente de alta frecuencia discontinua) y alto estrés de corriente y voltaje en los interruptores. Por tanto, la operación DCM es solo empleado para rangos de baja potencia.

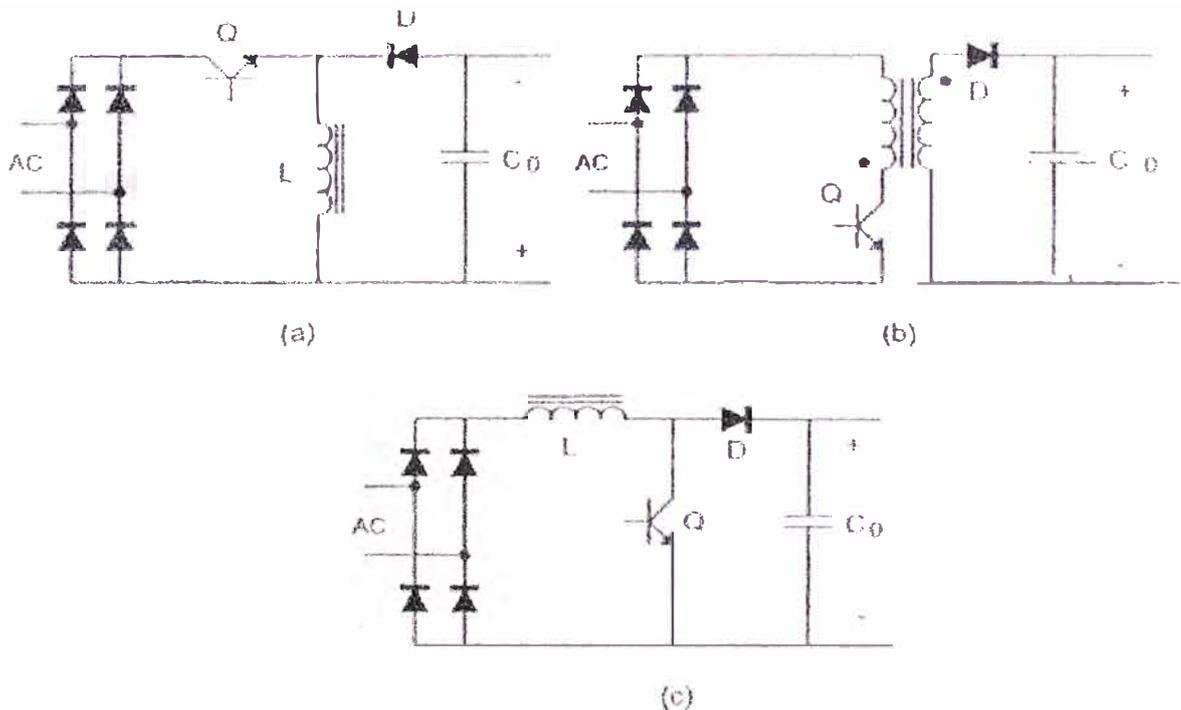


Fig. 4.13 Circuito corrector del factor de potencia para los balastos:

(a) Reductora; (b) Transformador de línea; y (c) Incremento

Para rangos de media potencia, la operación del convertidor del tipo elevador es preferido en la frontera entre DCM-CCM. En esta solución el tiempo de encendido del interruptor controlado es mantenido constante durante el período completo de la línea, y la frecuencia de conmutación se

ajusta para permitir que la corriente de entrada valga cero al final del período de la conmutación. El circuito de control típico usado y la forma de onda de la corriente de entrada, son mostrados en las Fig.s 4.14(a) y 4.14(b), respectivamente. La corriente del inductor es censada usando una resistencia en serie con el interruptor, y la corriente máxima del inductor es programada para seguir una onda del sinusoidal usando un multiplicador. Un comparador se emplea para detectar los cruces por ceros de la corriente del inductor para activar el interruptor. La mayoría de los fabricantes de Circuito Integrados, proporcionan una versión comercial de este circuito para ser usados en aplicaciones de balastos electrónicos.

El circuito del tipo elevador opera con control de frontera, proporciona una corriente de entrada continua, el cual es fácil para filtrar. También presenta un interruptor con bajas pérdidas de encendido y bajas pérdidas de recuperación del diodo de salida. La principal desventaja son la frecuencia variable de operación y el alto voltaje de salida, cuál puede ser más alto que el pico del voltaje de línea.

Para rangos de alta potencia, el convertidor elevador puede ser operado en modo de conducción continua (CCM) para corregir el factor de potencia de entrada. La corriente de entrada en este esquema es continua con muy poca distorsión y de fácil filtrado. El estrés de corriente en el interruptor es también bajo, lo que significa que se puede manejar más potencia, manteniendo buena eficiencia. La eficiencia obtenida normalmente con el circuito elevador, que funciona en la frontera entre DCM-CCM o en CCM puede ser tan alto como 95%.

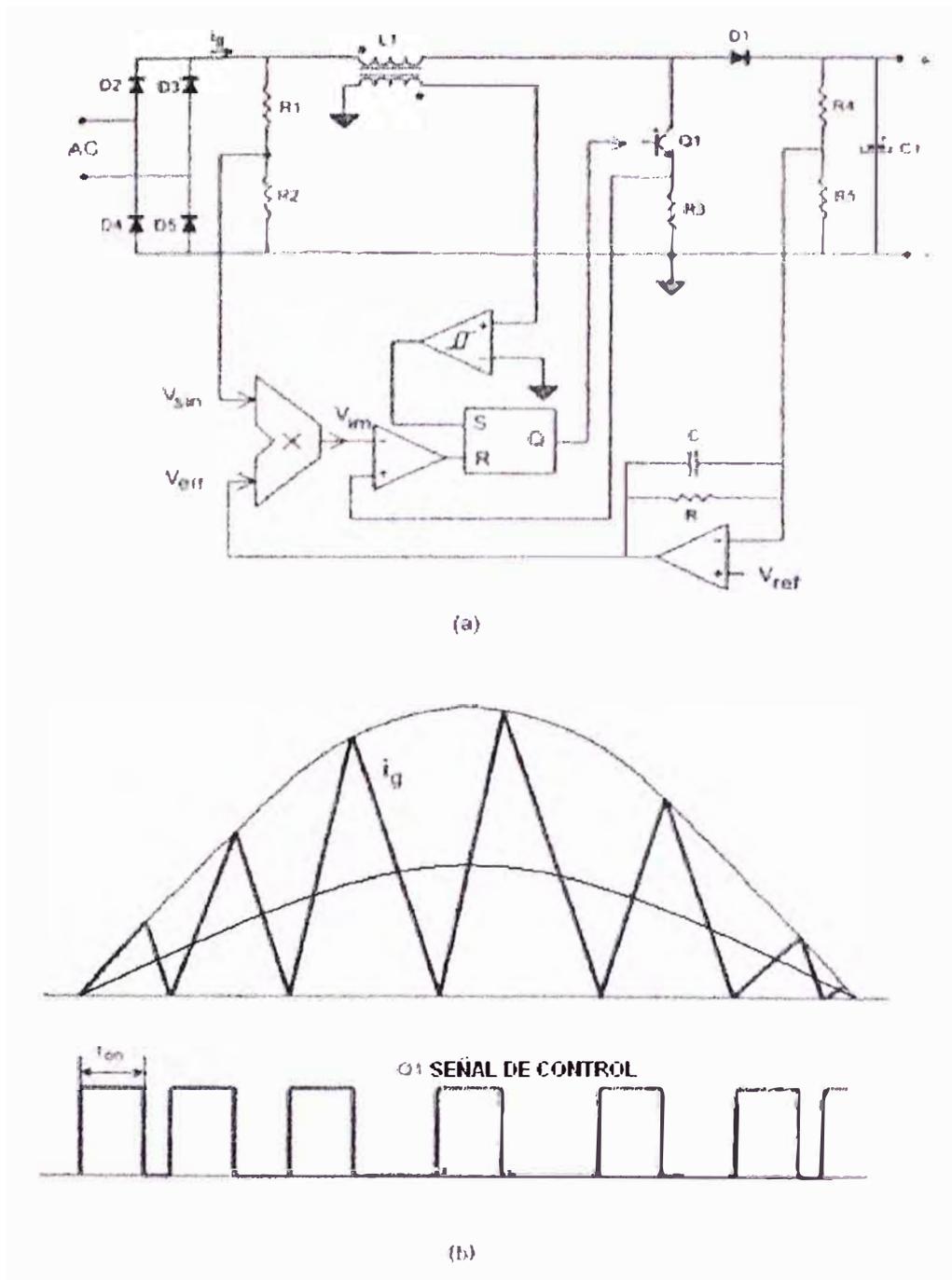


Fig. 4.14 (a) Corrección del incremento del factor de potencia con control de frontera; y

(b) Forma de onda de la corriente de entrada

CAPÍTULO V

APLICACIONES EN ILUMINACIÓN

5.1 Aplicaciones de los balastos electrónicos

Los balastos electrónicos son utilizados extensamente en aplicaciones de iluminación, por ejemplo en iluminación portátil, iluminación de emergencia, aplicaciones en la industria automotriz, en la industria de la iluminación, etc. Ellos proporcionan bajo volumen y tamaño, haciendo posible la reducción del tamaño de la luminaria, con resultados interesantes para nuevas tendencias en el diseño de la iluminación.

5.2 Aplicaciones de uso específico

A continuación comentaremos los usos de los balastos electrónicos de acuerdo al objetivo del equipo de iluminación:

1. Iluminación Portátil

En esta aplicación una batería es empleada como fuente de alimentación y por lo que un voltaje de baja tensión es obtenida para alimentar la lámpara. Ejemplos de estas son las linternas de

mano y para la iluminación de las computadoras portátiles. Los voltajes típicos en estas aplicaciones están desde 1.5 V hasta 48 V. Por tanto, un convertidor elevador es necesario para alimentar la lámpara de descarga, y entonces los balastos electrónicos son la única solución conveniente. Desde que el convertidor es alimentado por una batería, la eficiencia del balasto deberá ser la más alta posible para optimizar el uso de la energía de la batería, incrementando así el tiempo de operación de la lámpara portátil. Las topologías típicas usadas son el inversor de clase E y el inversor resonante simétrica, proporcionando eficacias hasta el 95%

2. Iluminación de Emergencia

La iluminación de emergencia es utilizada para proporcionar un nivel mínimo de iluminación en caso de existir un corte en la fuente principal. Las baterías son empleadas para almacenar energía desde la línea principal y para luego proveer de energía a la lámpara en caso de que la fuente principal faltase. Un típico diagrama de bloques es mostrado en la Fig. 5.1. Un convertidor ac-dc es utilizado como cargador de batería para almacenar energía durante la operación normal de la línea principal. Un circuito de control mide continuamente el voltaje de la línea y activa el inversor en caso de una falla en la línea principal. Normalmente, un tiempo mínimo de operación de 1 hora es requerido para que el sistema esté en estado de emergencia; así el uso de alta eficiencia de balastos electrónicos es obligatorio para reducir el tamaño y el costo

de las baterías. Topologías típicas usadas incluyen inversores clase E, inversores resonantes simétricos, e inversores resonantes de medio puente. Las lámparas fluorescentes son principalmente usadas con balastos de emergencia, pero la alta intensidad de las lámparas de descarga, pero las lámparas de descarga de la alta intensidad, tales como lámparas de halogenuro metálico o lámparas de sodio a alta presión, también se utilizan en algunas aplicaciones especiales.

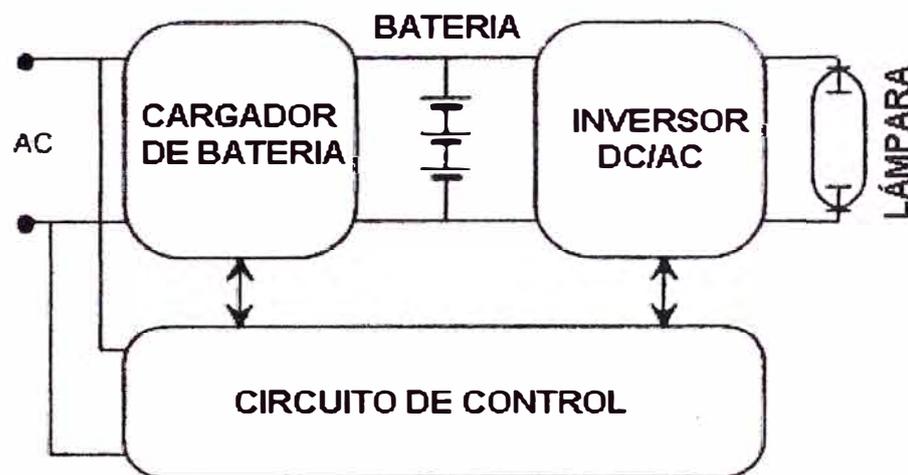


Fig. 5.1 Diagrama de bloques de un sistema de iluminación de emergencia

3. Iluminación en la industria automotriz

Los balastos electrónicos usados en aplicaciones de la industria automotriz, por ejemplo los automóviles, autobuses, trenes, y aviones. Normalmente un borne de bajo voltaje dc es disponible para alimentar a las lámparas, entonces estas aplicaciones son similares a la iluminación portátil y de emergencia, comentadas

previamente. En aviones modernos con sistemas trifásicos, de 120/208 V, 4000 Hz, están disponibles y pueden ser empleados para sistemas de iluminación. Las lámparas fluorescentes son típicamente utilizadas para iluminación interior de la industria automotriz, mientras que las lámparas de descarga de alta intensidad son preferidas para la iluminación exterior, por ejemplo, los faros de automóviles.

4. Iluminación residencial e industrial

Los balastos electrónicos, especialmente para las lámparas fluorescentes, son también a menudo usados en aplicaciones de iluminación en residenciales e industrias. La gran eficiencia de las lámparas fluorescentes alimentadas a alta frecuencia proporcionan un significativo ahorro de energía cuando son comparados con las lámparas incandescentes. Una aplicación típica es el uso de fluorescentes compactos con los balastos electrónicos instalados en la base de la lámpara, el cual puede ser directamente sustituido por una lámpara incandescente, reduciendo el consumo de energía por un factor de 4 o 5. Un inversor de puente medio auto oscilante es típicamente usado en estas lámparas ahorradoras, lo que reduce el tamaño y el costo. Las potencia de están normalmente por debajo de los 25W.

Otras aplicaciones para una energía más alta incluyen más balastos desarrollados, basados en una etapa de corrección de factor de potencia seguida por un inversor resonante. Las lámparas

fluorescentes de cátodo caliente son las que más utilizan los balastos electrónicos. También, con el empleo de modernas lámparas HID como las lámparas de halogenuro metálico y las lámparas de sodio de muy alta presión (ambos muestran muy buena reproducción de color), el uso de las lámparas de HID está llegando a ser más frecuente en la iluminación residencial, comercial, e industrial.

5. Iluminación con microprocesador

El uso de microprocesadores en combinación con los balastos electrónicos es muy interesante desde el punto de vista de ahorro de energía. La inclusión de un circuito microprocesador permite la incorporación de estrategias de control, como la programación de tareas. Usando estas estrategias, el ahorro de energía logrado puede ser alto como un 35% a un 40%. Otra ventaja del uso de microprocesadores es la posibilidad de detectar las fallas de la lámpara o con mala operación, incrementando así la confiabilidad y la reducción del costo por mantenimiento. La mayoría de los balastos electrónicos pueden incluir una etapa de comunicación para enviar y recibir información desde la misma lámpara o desde una unidad central de procesos. En algunos casos la comunicación puede ser realizada a través de la línea de energía, reduciendo así el costo de la instalación. La Fig. 5.2 muestra el diagrama de bloques de un balasto electrónico con microprocesador.

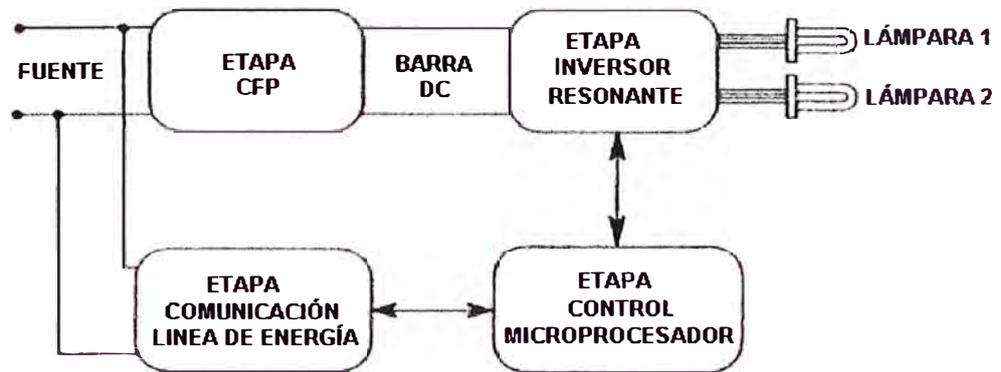


Fig. 5.2 Diagrama de bloques de un sistema de iluminación con microprocesador

5.3 Fabricantes a la vanguardia

Actualmente se cuenta a nivel mundial con empresas como: PHILIPS, ELT E.L., JOSFEL, GE LIGHTING, OSRAM, GAM, SILVANA, etc, quienes han apostados por el empleo de los balastos electrónicos, y día a día van desarrollando las mejoras tales como: mayor eficiencia, mejor redimiendo, larga vida útil, reducción de dimensiones. La nueva generación de balastos electrónicos sirven para el nacimiento de nuevos diseños de equipos de iluminación, con la inclusión de los aportes ya señalados.



5.4 Innovaciones tecnológicas

Una mejora tecnológica que sumada a un eficiente sistema de iluminación que emplea balastos electrónicos, hace que el sistema sea aun más eficiente e inteligente. Tal es el caso de los detectores de movimiento.

Los detectores de movimiento son fuentes de luz de seguridad que se caracterizan por su conveniencia y eficiencia. Para la mayoría de los propietarios de residencias, comercios o industrias, instalar un sistema de iluminación activada por el movimiento de los propios usuarios, es una opción moderna e inteligente para el logro de ahorro energético que esta representa. Un detector de movimiento integrado a la lámpara permite que ésta funcione automáticamente. Si un objeto se mueve en su cercanía, el detector de movimiento enciende la luz y la apaga automáticamente después de un tiempo prefijado.

Esta es solo una muestra de las innumerables innovaciones que se están logrando realizar gracias a los alcances logrados con el desarrollo de los balastos electrónicos eficientes.

5.5 Normatividades

Los balastos electrónicos de alta frecuencia que actualmente se fabrican, cumplen las normatividades vigentes emitidas por los laboratorios internacionales; por ejemplo, en la Tabla 5.1 mostramos las especificaciones técnicas de un balasto electrónico controlable, marca Philips modelo HID - Dyna Visión, para lámparas de 150 W de vapor de sodio a alta presión:

CONCORDANCIAS Y APROBACIONES	
RFI	< 30MHZ:EN 55015
Armónicos:	EN 61000-3-2
Inmunidad:	EN 61547
Seguridad:	EN 60926 EN 60928 / VDE - 0712/14.22
Rendimiento:	EN 60927 - EN 60929
Pruebas de impacto y vibraciones:	IEC 68-2-6 FC -IEC 68-2-29 Eb
Marcas de aprobación:	KEMA, VDE
Standard de calidad:	ISO 9001
Standard ambiental:	ISO 14001
Marcación	CE

**Tabla 5.1 Características técnicas del balasto electrónico
marca Philips modelo HID - Dyna Visión**

Para mayor detalles, revisar el Apéndice A al final del informe.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del presente trabajo desarrollado, en base a una problemática existente y a la del desarrollo de los principios de funcionamiento del balasto electrónico, puedo concluir en lo siguiente:

El balasto electrónico es actualmente, el dispositivo de vital importancia para la implementación de sistemas de iluminación de alta eficiencia, moderna y ahorrativa, lo que a su vez permiten mejorar la calidad del ambiente de trabajo de los usuarios finales.

El balasto electrónico de alta eficiencia, logra conseguir altos valores de factor de potencia, lo cual disminuye las pérdidas originadas en las redes eléctricas, evitando por consiguiente resolver problemas de compensación reactiva en la red eléctrica.

Los balastos electrónicos para uso profesional tienen circuitos dedicados a la corrección de la forma de onda de la corriente de entrada, reduciendo el contenido armónico a menos del 15 % del total, de modo de obtener un alto factor de potencia mayor a 0,96.

El empleo de los balastos electrónicos, en los sistemas de iluminación pueden lograr ahorros bien significantes, por ejemplo hasta un 50% de energía comparando con los sistemas tradicionales.

Las recomendaciones que a continuación presento son basadas en la problemática existente en nuestro país, el cual viene sufriendo a igual que el resto de naciones, una gradual reducción en la generación de energía eléctrica:

Los sistemas de iluminación, al representar un alto porcentaje del consumo eléctrico en las edificaciones públicas, cercanas al 30% del consumo total, hace que debemos tomar una serie de medidas, como los estudios e implementación de sistemas de iluminación modernos e inteligentes, basados en tecnologías modernas.

Lo que respecta a las licitaciones estatales para la implementación de sistemas de iluminación, o a la adquisición de equipos de iluminación, éstas deberían estandarizarse, no me refiero a la marca, sino a los requisitos mínimos de eficiencia, calidad y certificación de fabricación y funcionamiento.

El ahorro energético, no debe basarse en la restricción del empleo de equipos eléctricos como muchos creen falsamente, si no más bien, buscar que aprendamos a utilizar los recursos de manera más eficientemente, es decir lograr en el caso de los usuarios una conciencia ahorrativa, y en el caso de los equipos, incrementar el grado de eficiencia e inteligencia durante su funcionamiento.

El empleo de balastos electrónicos en sistemas de iluminación, deberán evaluarse previamente con el estudio costo-beneficio, para luego fijar objetivos más concretos de ahorro energético.

Finalmente, al no apostar por el empleo de tecnologías modernas, como lo es el balasto electrónico, nos volverá a un más, un país rezagado dentro de un mundo globalizado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sociedad de Ingeniería de Iluminación de Norte América: IES Manual de Iluminación. Guía de referencias 1984, IESNA, New Cork, 1984.
- [2] Sociedad DE Ingeniería de Iluminación de Norte América: IES Manual de Iluminación. Guía de aplicaciones 1984, IESNA, New Cork, 1987.
- [3] Meyer, Chr., y Nienhuis, H.: Lámparas de Descarga. Librería Técnica de Philips, 1988.
- [4] De Groot, J., y Van Vliet, J.: La lámpara de Sodio de Alta Presión. Librería Técnica de Philips, Educación Macmillan, 1986.
- [5] Wyszecki, G., y Stiles, W. S.: Ciencia del Color: Conceptos y Métodos, Fórmulas y Datos Cuantitativos, 2da edición. John Wiley y Hermanos, 1982.
- [6] M. H. Rashid: Electrónica de Potencia. Dispositivos y Aplicaciones, 2da edición. Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- [7] Mader, U., y Horn, P.: Modelo Dinámico para las Características Eléctricas de Lámparas Fluorescentes, IEEE Reunión de la Sociedad de Aplicaciones Industriales, pp. 1928-1934, 1992.
- [8] Alling, W. R.: Parámetros importantes para el Diseño de Balastos de Estado Sólido, IEEE Transacciones en las Aplicaciones Industriales, Vol. 25, Nº 2, pp. 203-207, Marzo/Abril 1989
- [9] Koshimura, Y., Aoike, N., y Nomura, O.: Operación Estable de Alta Frecuencia de las Lámparas de Descarga de la Alta Intensidad y el Diseño de su Balasto. Proc. CIE 20th Sesión 1983, pp. E36/1-E36/2, 1983.
- [10] Laskai, L., Enjeti, P. N., y Pitel, I. J: Modulación de Lámparas de Descarga de de Alta Frecuencia y Alta Intensidad de Ruido Limpio, IEEE Transacciones en las Aplicaciones Industriales, Vol. 34, Nº 3, pp. 597-605, Mayo/Junio 1998.

- [11] Vasiljevic, D. M.: Diseño de Lámpara Fluorescente a Pilas, IEEE Transacciones en la Industria Electrónica, Vol 36, Nº. 4, pp.499-503, Noviembre 1989
- [12] Hernando, M., Blanco, C., Alonso, J. M., y Rico, M.: Lámparas Fluorescentes Alimentadas a Corriente DC y Controlada en Modo Corriente. Conferencia Europea de Electrónica de Potencia, pp. 1/499-1/503, Florencia, 1991.
- [13] Duarte, J. L., Wijntjens, J., y Rozenboom, J.: Consiguiendo más de las Lámparas Fluorescentes a través de los Convertidores Resonantes, Proc. IECON, San Diego, pp. 560-563, 1992.
- [14] Alonso, J. M., Blanco, C., López, E., Calleja, A. J. y Rico, M.: Análisis, Diseño y Optimización del Inversor Resonante LCC como Balasto de Alta Intensidad de la Lámpara de Descarga, IEEE Transacción en Electrónica de Potencia, Vol. 13, pp. 573-585, Mayo 1998.
- [15] IEC 1000-3-2, Sección 2: Límites para las Emisiones de Armónicos de Corriente. Comisión Electrotécnica Internacional, Ginebra, Suiza, Abril 1995.
- [16] Alonso, J. M., Callejea, A. J., López. E., Ribas, J., y Rico, M.: Una Sola Etapa Vatiage Constante y Alto Factor de Potencia para el Balasto Electrónico, IEEE Transacciones en la Industria Electrónica, Vol. 46, No. 6, pp. 1148-1158, Diciembre 1999.
- [17] Lai, J. S., D.: Consideración de Diseño del Convertidor para Corregir el Factor de Potencia Convertidor que opere en el Límite del modo continuo de la conducción y en el modo discontinuo de la conducción. Conferencia de Aplicaciones de la Electrónica de Potencia, pp. 267-273, 1993.
- [18] Blanco, C., Alonso, J. M., López, E., Calleja, A. J., y Rico, M.: Una Etapa para el Balasto de Lámpara Fluorescente con Alto Factor de Potencia. IEEE APEC 1996 Procedimientos, pp. 616-621, 1996.
- [19] Alling, W. R.: La Integración de Microcomputadores y Controladores a al Saida de los Balastos – Una Nueva Dimensión en el Control de la Iluminación. IEEE Transacciones en la Aplicación de la Industria, pp. 1198-1205, Setiembre/Octubre 1984.

APÉNDICE A

NORMATIVIDAD REFERENTE A LOS BALASTOS ELECTRÓNICOS

Uno de los factores esenciales y cruciales para el correcto funcionamiento de los equipos y/o dispositivos, cualesquiera sea su ingeniería de fabricación, será el cumplir con las normas vigentes, tanto Local como Internacional.

Existe una tendencia mundial por parte de los clientes, hacia requisitos más exigentes respecto a la calidad. Al mismo tiempo se esta produciendo una creciente toma de conciencia de que, para obtener de forma continuada unos buenos rendimientos económicos, es necesario, con frecuencia, mejorar la calidad de forma sistémica.

Finalmente, las normas no son un capricho, son una imperiosa necesidad para lograr una cierta estabilidad económica, social y del medio ambiente.

Normatividad referente a aparatos auxiliares para lámparas:

Los balastos electrónicos de alta frecuencia que actualmente se fabrican, cumplen las normatividades vigentes emitidas por los laboratorios internacionales, tales como la EN55015, EN61000-3-2, EN61547, EN60926, EN60927, EN60928, EN60929, VDE0712/14.22, IEC68-2-6FC, IEC68-2-29EB, ISO9001, ISO14001, CE, etc.

A continuación explicaremos rasgadamente algunas de dichas normas, comentando también ligeramente las pruebas que se realizan para ello.

Para más detalles recomendamos revisar las normas en su totalidad, las cuales pueden ser solicitadas con un costo a los laboratorios e instituciones correspondientes que emiten este tipo de información técnica normativa.

Norma EN-61000-3-2: “Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada ≤ 16 A por fase)”

Generalidades:

El objetivo de esta norma es la de fijar límites a la emisión de armónicos por equipos incluidos dentro de la aplicación de la norma, para lo cual, con la debida tolerancia de las emisiones de otros equipos, el cumplimiento de los límites asegure que los niveles de distorsión armónicos no excedan a los niveles de compatibilidad definidos en la Norma CEI 1000-2-2.

Alcance:

Esta norma se ocupa de las limitaciones de los armónicos de corrientes inyectadas a la red del suministro sistema eléctrico público. Es aplicable al equipo eléctrico y electrónico que tiene una corriente de entrada hasta 16A por fase y diseñado para ser conectado con sistemas de distribución públicos de baja tensión (por ejemplo fuentes de voltajes trifásicas de 230Vac nominal ó 415Vac).

El alcance incluye productos tales como equipo de la iluminación, herramientas portátiles, equipos electrónicos, productos de consumo y aplicaciones para el tipo industrial.

Esta Norma no cubre el equipo que tiene un voltaje de fuente nominal menor a 220Vac y no se ha especificado ningunos límites para el equipo profesional mayor de 1kW.

Pruebas y Medición:

Mientras el equipo bajo prueba está funcionando bajo condiciones especificadas, se mide el contenido armónico de la corriente. Actualmente existen cuatro sistemas que corresponden a la “clase del equipo” aplicados a los límites. Las clases son A, B, C o D, dependiendo del tipo del equipo bajo prueba, y en algunos casos, de la “forma de onda”:

- Clase A: Equipos con las tres fases balanceadas y otros equipos a excepción de los indicados en una de las clases siguientes.
- Clase B: Herramientas portátiles.
- Clase C: Equipos de iluminación, incluyendo los dispositivos de control.

Clase D: Equipos cuya entrada de corriente es una "forma de onda" especial, señalada en la norma y equipos con una potencia de entrada $P \leq 600W$, medidas en condiciones de ensayo.

Los criterios de la "forma de onda" no se aplican a los productos de la clase B o de la clase C. Para cada clase, se especifica un conjunto de límites armónicos.

Para más detalles revisar la norma en su totalidad

Tabla 1
Límites para equipos Clase A

Orden del Armónico (n)	Corriente armónica máxima admisible (A)
Armónicos Impares	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq n \leq 39$	$0,15 * 15/n$
Armónicos Pares	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 * 8/n$

Tabla 2
Límites para equipos Clase C

Orden del Armónico (n)	Corriente armónica máxima admisible expresada en porcentaje de la corriente de entrada a la frecuencia fundamental (%)
2	2
3	$30 * f.d.p.$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (solo armónicos impares)	3

Tabla 3
Límites para equipos Clase D

Orden del Armónico (n)	Corriente Armónico máximo admisible por potencia (mA/W)	Corriente Armónico máximo admisible (A)
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,33
13 (solo armónicos impares)	3,85/n	Véase Tabla 1

Para equipos de la Clase B, los límites de armónicos de la corriente de entrada no deberán exceder los valores absolutos dados en la Tabla 1 multiplicados por factor 1.5

Para más detalles revisar la norma en su totalidad.

Norma EN-55015: “Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares”

Generalidades:

Dicha norma contempla el límite y métodos de medición de las típicas interferencias radioeléctricas producidas por los balastos electrónicos de alta frecuencia y equipos similares

Alcance:

Esta norma es aplicable a la emisión (irradiada y conducida) e inmunidad de las interferencias de radiofrecuencia originada por:

- Todo equipo de iluminación con una función primaria, la generación y distribución de luz, fabricada para propósitos de iluminación y con la

posibilidad de ser alimentadas eléctricamente por fuentes de baja tensión ó por baterías.

- Componente vital del equipo de iluminación, que realiza múltiples funciones.
- Dispositivos auxiliares independientes para trabajar con el equipo de iluminación.
- Aplicaciones con radiación del tipo Ultravioleta e Infrarrojo.
- Anuncios luminosos de gas neón.
- Iluminación al aire libre.
- Iluminación en medios de transporte, tales como autobuses, trenes, etc.

Son excluidos del alcance de esta norma:

- Aparato para el cual los requisitos de la compatibilidad electromagnética en la gama de la radiofrecuencia se formulan explícitamente en otras normas del IEC o de CISPR.
- Nota:
Los ejemplos son: dispositivos incorporados en equipos, por ejemplo iluminación de la escaleras o indicadores de iluminación de neón; fotocopiadoras o proyectores de diapositivas.

Pruebas de medición:

En Irradiación: Requiere el uso de una antena denominada " antena de onda grande" para medir el nivel de energía de radiofrecuencia irradiado por el producto en el "espacio". El rango de frecuencia registrada deberá ser mayor a 9KHz y menor a 30MHz.

En Conducción: La radiofrecuencia conducida dentro de las tuberías de plomo medidas preferiblemente con una red de estabilización de la impedancia de la línea (LISN), o alternativamente con una punta de prueba de voltaje, (si un LISN no es conveniente). El rango de frecuencia registrada deberá ser mayor a 9KHz y menor a 30MHz.

Las señales de la antena, del LISN o de la punta de prueba del voltaje se analizan en un analizador (como por ejemplo el analizador CISPR16 EMC).

Tabla 1

Valores mínimos de las pérdidas de inserción

Bande de Frecuencias (kHz)	Valores mínimos dB (μ V)
150 a 160	28
160 a 1400	28 a 20
1400 a 1605	20

Tabla 2a

Límites de tensión perturbadora en bornes de alimentación

Bande de frecuencias	Valores mínimos dB (μ V)	
	Cuasi - Cresta	Valor Medio
9 kHz a 50 kHz	110	—
50 kHz a 150 kHz	90 a 80	—
150 kHz a 0,5 MHz	66 a 56	56 a 46
0,5 MHz a 5 MHz	56	46
5 MHz a 30 MHz	60	50

Tabla 2b

Límites de tensión perturbadora en bornes de control y de carga

Bande de Frecuencias (MHz)	Valores mínimos dB (μ V)	
	Cuasi - Cresta	Valor Medio
0,15 a 0,50	80	60
0,50 a 0,30	74	64

Tabla 3

Límites de perturbaciones electromagnéticas radiales

Banda de Frecuencia	Límites según diámetro de la Antena		
	dB (μ V)		
	2m	3m	4m
9 kHz a 70 kHz	88	81	75
70 kHz a 150 kHz	88 a 58	81 a 51	75 a 45
150 kHz a 2,2 MHz	58 a 26	51 a 22	45 a 16
2,2 MHz a 3 MHz	58	51	45
3 MHz a 30 MHz	22	15 a 16	9 a 12

Para más detalles revisar la norma en su totalidad

Norma EN-61547: “Equipos de Alumbrado de uso general. Requisitos de inmunidad - CEM”

Generalidades:

Esta norma internacional, asegura los requisitos de inmunidad electromagnética, se aplica a los equipos de alumbrado, que están dentro del campo de actuación del Comité Técnico 34 de CEI, como lámparas, elementos auxiliares y luminarias destinadas a ser conectadas, bien en la red eléctrica de baja tensión, o bien para funcionar con pilas. Se excluye de esta norma los equipos para qu los requisitos de inmunidad se formulan en otras normas CEI o CISPR tales como: equipos de alumbrado para transporte, equipos de control de alumbrado de espectáculos profesionales, dispositivos de alumbrado incorporados a otros equipos tales como: escalas de iluminación o indicadores, fotocopiadoras, retroproyectores y proyectores de diapositivas, y sistemas de visualización por video. Sin embargo, en equipos multifuncionales en los que la parte de alumbrado funciona independientemente a las otras partes, la parte de alumbrado deberá cumplir con los requisitos de esta norma.

Alcance:

La aplicación específica de los ensayos se realizan a las luminarias y materiales equivalentes, accesorios independientes y lámparas con balasto incorporados, contemplándose los ensayos de: descargas eléctricas, campos electromagnéticos a radiofrecuencia, campos magnéticos a frecuencia industrial, transitorios rápidos, corrientes inyectadas, ondas de choque, huecos e interrupciones de tensión y fluctuaciones de tensión. El requisito de inmunidad se aplica solo a lámparas con balasto incorporado, no a los auxiliares incorporados.

Mediciones y Pruebas:

Para las diferentes mediciones y pruebas a realizarse se tendrá presente los siguientes criterios, para la intensidad luminosa, dispositivos de control y funcionamiento del cebador (si los hay):

- **Criterio A:** Durante el ensayo, la intensidad luminosa deberá permanecer invariable en el tiempo, y el regulador deberá permanecer fijo a un valor.
- **Criterio B:** Durante el ensayo, la intensidad luminosa puede variar, pero después del ensayo deberá ser igual al valor inicial durante 1 minuto. El regulador no deberá funcionar durante el ensayo, permaneciendo con el valor inicial.
- **Criterio C:** Durante y después del ensayo, se permite la variación de la intensidad luminosa y las lámparas pueden apagarse. Después del ensayo, en 30 minutos, todas las funciones deberán volver al estado normal, si es necesario por interrupción temporal de los alimentadores y/o accionamiento del regulador. Para el caso de equipos con cebador, después del ensayo el equipo está apagado. Después de media hora se enciende de nuevo, el equipo deberá arrancar y funcionar como está previsto.

Para más detalles revisar la norma en su totalidad.

Norma EN-60926: “Aparatos auxiliares para lámparas. Aparatos arrancadores (excepto cebadores efluvios). Prescripciones generales de seguridad”

Generalidades:

Esta norma especifica las prescripciones de seguridad concernientes a los dispositivos de encendido (cebadores y arrancadores) para lámparas tubulares fluorescentes y otras lámparas de descarga, alimentadas en corriente alterna de 50 Hz o 60 Hz hasta los 1000 V, que producen impulsos de encendido que no sobrepasan los 100 kV utilizados junto con lámparas y balastos que son objetos de las normas CEI 181, CEI 188, CEI 192, CEI 662, CEI 920 y CEI 922.

Alcances:

Los aparatos arrancadores deben estar diseñados y fabricados de manera que cuando se usen y funcionen normalmente, no supongan peligro para el usuario ni para el entorno.

Prescripciones de seguridad:

Enumeramos las características de seguridad que se deberán tomar en cuenta:

- Protección contra el contacto accidental con partes activas.
- Protección de los bornes
- Disposición para la puesta a tierra
- Construcción
- Resistencia al polvo y humedad.
- Resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica
- Funcionamiento anormal en caso de fallo
- Calentamiento de los aparatos arrancadores independientes
- Tensión de impulso de los arrancadores.
- Tornillos y partes conductoras de corriente y conexión.
- Líneas de fuga y distancia en aire
- Resistencia Mecánica, al calor y a la corrosión

Para más detalles revisar la norma en su totalidad.

Norma EN-60927: “Aparatos auxiliares para lámparas. Aparatos arrancadores (excepto cebadores efluvios). Prescripciones de funcionamiento”

Generalidades:

Esta norma especifica las prescripciones de funcionamiento relativas a los aparatos arrancadores (cebadores y arrancadores) para lámparas fluorescentes tubulares y otras lámparas de descarga alimentadas por corriente alterna a 50 Hz o 60 Hz, hasta 1000 V y que producen impulsos de encendido que no superen los 5 kV.

Para más detalles revisar la norma en su totalidad.

Norma EN-60928: “Aparatos auxiliares para lámparas. Balastos electrónicos alimentados en corriente alterna para lámparas fluorescentes tubulares”

Generalidades:

Esta norma especifica las prescripciones generales y de seguridad concernientes a los balastos electrónicos a ser utilizados en corriente alterna hasta de 1000V a frecuencia de 50 Hz o 60 Hz, con frecuencia de funcionamiento diferente a la red de alimentación, asociados a las lámparas fluorescentes tubulares especificadas en la CEI 81 y otras lámparas tubulares de fluorescencia funcionando a alta frecuencia.

Para más detalles revisar la norma en su totalidad.

Norma EN-60929: “Lámparas tubulares, lámparas fluorescentes, balastos electrónicos, corriente alterna, especificaciones, ensayos de encendido, características de funcionamiento, marcado”

Generalidades:

Esta norma internacional especifica las prescripciones de funcionamiento APRA los balastos electrónicos alimentados en corriente alterna hasta 1000 V, a 50 Hz o 60 Hz, con frecuencias de trabajo que se diferencian notablemente de la frecuencia de alimentación y utilizados en asociación con

lámparas tubulares fluorescentes como se indica en las normas CEI 81 y CEI 901, o con otros tipos de lámparas fluorescentes para funcionamiento a alta frecuencia.

Para más detalles revisar la norma en su totalidad.

Norma ISO-9001: “Sistemas de Gestión de Calidad. Requisitos”.

Generalidades:

Esta norma establece los requisitos para un sistema de gestión de la calidad, cuando una organización:

- a) Necesita demostrar su capacidad para proporcionar de forma coherente productos que satisfagan los requisitos y los reglamentos aplicables.
- b) Aspira aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema incluidos procesos para la mejora continua del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del Cliente y los Reglamentos aplicables.

Los requisitos de esta norma son genéricos y se pretende que sean aplicables a todas las organizaciones sin importar su tipo, tamaño y producto suministrado.

Para más detalles revisar la norma en su totalidad.