

# INTRODUCCIÓN A LOS BALASTROS ELECTRÓNICOS

## 1.1 INTRODUCCIÓN

---

En la actualidad existe la necesidad de controlar la potencia eléctrica de los sistemas de iluminación, tracción y motores eléctricos debido a las diferentes actividades humanas que se realizan cotidianamente. Cabe destacar que la aplicación de dispositivos electrónicos en el control de la potencia eléctrica ha sido de relevante importancia, ya que, gracias a ellos se han logrado mejoras en el funcionamiento general de los sistemas antes mencionados, por lo cual, es imperativo entender las necesidades de ahorro de energía. En este capítulo así como a lo largo del trabajo, nos enfocaremos en los sistemas de iluminación fluorescentes para los cuales son necesarios los balastos. Asimismo se describirán los diferentes tipos de balastos, su operación básica de funcionamiento, estructura y parámetros de rendimiento. Los aspectos estructurales de los balastos electrónicos serán descritos en este capítulo y detallados posteriormente.

## 1.2 NECESIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA.

---

Las limitantes en los combustibles fósiles ha llevado a buscar la forma de ahorrar energía, es estimado que los sistemas de iluminación consumen alrededor de 25% de la energía del mundo [2]. Debido a esto los sistemas de iluminación fluorescentes son de gran popularidad debido a su gran eficiencia lumen por watt frente a la que se puede obtener en las lámparas incandescentes tradicionales, lo que se traduce en una considerable reducción de costo-operación. Los fabricantes de este tipo de sistemas hacen un esfuerzo constante para mejorar la calidad, eficiencia y costo de sus productos.

El sistema de alimentación de las lámparas fluorescentes es conocido como balastro, el cual se utiliza para obtener el encendido de la lámpara y limitar su corriente de operación. Los balastos de estado sólido (electrónicos) en altas frecuencias para fuentes de luz fluorescente ofrecen varias ventajas considerables sobre los balastos electromagnéticos. Por esta razón los balastos electrónicos son muy atractivos, ya que, permiten realizar un mayor ahorro de energía, en un promedio de 20-25% para los mismos niveles de salida de luz. Las mejoras de calidad, eficiencia y costo del producto dependen de dos factores: 1) El tubo fluorescente, con el fin de obtener un mejor rendimiento luminoso. 2) El sistema de alimentación conocido como balastro. En lo que a este trabajo respecta, el balastro es el objeto de estudio y análisis para lograr un mayor ahorro de energía teniendo como principal meta obtener un balastro electrónico eficiente y de bajo costo. A continuación abordaremos de manera general el funcionamiento de un balastro electrónico, su estructura y parámetros de rendimiento.

## 1.3 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.

---

Las dos grandes ramas de fuente de luz que existen actualmente son las de incandescencia (luz producida por termo-radiación) y la de descarga (luz producida por luminiscencia). Se define como termo-radiación a la emisión radiante que depende exclusivamente de la temperatura del material. A la parte de esta radiación, emitida dentro del espectro visible, se le denomina incandescencia. La incandescencia es la producción de luz por elevación de la temperatura de un cuerpo. En oposición con la incandescencia, la luminiscencia consiste en la emisión de una radiación electromagnética visible, cuya intensidad en determinadas longitudes de onda (características de cada material) es mucho mayor que la radiación térmica del mismo cuerpo a la misma temperatura. Esencialmente la luminiscencia es la radiación luminosa emitida por un cuerpo, por efecto de un agente exterior que excita los átomos de dicho cuerpo. En este caso el número de niveles de energía posibles es muy reducido y la luz se emite en un número limitado de longitudes de onda, lo que origina un espectro discontinuo [3].

### 1.3.1 DESCRIPCIÓN DE UNA LÁMPARA FLUORESCENTE.

Las lámparas fluorescentes son lámparas de descarga de vapor de mercurio a baja presión. La descarga genera radiación ultravioleta que es convertida en luz visible mediante sustancias fluorescentes que recubren la pared interior de la lámpara. La mayoría de las lámparas fluorescentes funcionan en serie con un dispositivo que limita la corriente.

Una lámpara fluorescente presenta una impedancia negativa en su región de operación. Conforme el gas interno de la lámpara se ioniza al paso del tiempo, la impedancia de la

lámpara se reduce. Si no existe control de flujo de corriente a través de la lámpara, ésta puede llegar a dañarse a causa de una corriente muy elevada. Por lo tanto, la mayoría de las lámparas fluorescentes funcionan en serie con un dispositivo que limita la corriente. Este circuito auxiliar llamado normalmente balastro limita la corriente a un valor determinado para cada lámpara. El balastro, en otras palabras, será el encargado de proporcionar la tensión de arranque y funcionamiento en régimen permanente de la lámpara.

### **1.3.2 COMPARACIÓN CON LÁMPARAS CONVENCIONALES.**

En el uso de lámparas fluorescentes no existen demasiadas pérdidas en forma de calor, en comparación con las lámparas incandescentes. Sin embargo, los componentes electrónicos empleados en los balastos si consumen energía que se pierde en forma de calor. Por ello es importante el estudio de topologías con el mínimo de componentes y etapas de conversión [4]. Por otra parte, el costo de las lámparas incandescentes es notablemente más bajo que el de una lámpara fluorescente, de tal forma, que es necesario buscar nuevos diseños para obtener competitividad en el mercado.

### **1.4 CLASIFICACIÓN DE BALASTROS.**

---

Debido a que los balastos son vitales para la operación de las lámparas fluorescentes, éstos han tenido un importante desarrollo tecnológico. A través de la historia la mayoría de los balastos han sido electromagnéticos, pero en la actualidad los que ofrecen mejor rendimiento y ahorro eléctrico son los balastos electrónicos.

### **1.4.1 BALASTRO ELECTROMAGNÉTICO.**

El balastro electromagnético consiste básicamente de un núcleo de láminas de acero rodeadas por dos bobinas de cobre o aluminio. Este arreglo transforma potencia eléctrica en una forma apropiada para arrancar y regular la corriente en la lámpara fluorescente. El tercer componente principal de la mayoría de los balastos electromagnéticos es el capacitor. El capacitor en dichos balastos optimiza el factor de potencia, de tal forma que puede utilizar la energía de manera más eficiente. Los balastos electromagnéticos que están equipados con el capacitor son considerados balastos de alto factor de potencia.

### **1.4.2 BALASTRO ELECTRÓNICO.**

La revolución electrónica ha dado lugar a mejoras drásticas en el funcionamiento de los balastos. El balastro electrónico está basado en una tecnología enteramente diferente a la del balastro electromagnético. Enciende y regula las lámparas fluorescentes en altas frecuencias, generalmente mayores a 20KHz., usando componentes electrónicos en vez del tradicional transformador.

Un aspecto muy importante en la evolución que han tenido los balastos electrónicos dentro de los sistemas de iluminación fluorescente, son las ventajas que presentan con respecto a los balastos electromagnéticos tradicionales, tales como la eliminación del parpadeo de la lámpara en el encendido, el ruido audible, la habilidad para ajustar la salida de luz de la lámpara a casi cualquier nivel cuando es usado un control de intensidad luminosa.

Aunque los balastros electromagnéticos presentan gran simplicidad y bajo costo, estos tienen que trabajar a frecuencia de red lo cual, trae como consecuencia un elevado peso y gran volumen así como bajo rendimiento. Por ello los balastros electrónicos de alta frecuencia son utilizados hoy en día para la alimentación de lámparas fluorescentes. Comparado el balastro tradicional electromagnético con el electrónico, este puede proporcionar mayor rendimiento, control de la potencia de salida, larga vida a la lámpara y reducido volumen.

## **1.5 FUNCIONAMIENTO DE UN BALASTRO ELECTRÓNICO.**

---

El desarrollo de nuevas topologías en la implementación de un factor de potencia alto y balastros de bajo costo se ha convertido en una importante rama de investigación en el área de la electrónica de potencia. Varias soluciones pueden ser obtenidas de la literatura. Una primera solución para implementar un alto factor de potencia en un balastro está basado en la integración de las dos etapas que lo constan, gracias a la reducción de elementos de control por medio de compartición de uno o más interruptores [6].

### **1.5.1 OPERACIÓN BÁSICA DE UN BALASTRO.**

Los balastros son diseñados para operar las lámparas fluorescentes y proveer el voltaje requerido apropiado para el arranque y operación de la lámpara. En todos los sistemas de iluminación fluorescente el balastro se encarga de tres principales tareas:

- Provee el voltaje adecuado para establecer un arco entre los dos electrodos que enciende la lámpara.
- Regula la corriente eléctrica que fluye a través de la lámpara para estabilizar la salida de luz.

- Proporciona el voltaje de operación correcto para proveer la corriente de operación específica de la lámpara. Los balastos también pueden compensar variaciones del voltaje de fuente.

### 1.5.2 ESTRUCTURA DEL BALASTRO ELECTRÓNICO.

Los balastos son dispositivos diseñados para operar las lámparas fluorescentes y proveer el voltaje requerido apropiado para el arranque y operación de la lámpara. Los balastos electrónicos están compuestos de grupos de componentes electrónicos que convierten voltaje CA a CD, pasando por un convertidor CD-CD el cual funciona como corrector de factor de potencia. Posteriormente la salida se conecta a un inversor de alta frecuencia que alimenta la lámpara. En la figura 1.1 se muestra en cascada las dos etapas que forman al balastro electrónico [5].

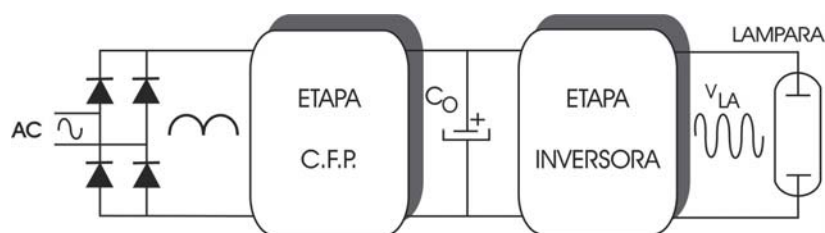


Fig. 1.1 Etapas del balastro electrónico

### 1.6 PARÁMETROS DE RENDIMIENTO.

Los factores de rendimiento de los balastos proporcionan medidas comparativas de los parámetros de eficiencia del funcionamiento de los sistemas de

iluminación y cómo estas afectan el comportamiento del balastro. Los siguientes parámetros son los que especifican el buen desempeño de un balastro.

### 1.6.1 FACTOR DE POTENCIA.

Es la razón entre potencia activa (W) y total (VA) que consume una carga eléctrica. Su valor puede variar entre 0 y 1. El FP es una característica de la carga eléctrica. En teoría mientras mayor sea un FP (cercano a 1) es mejor. Asimismo, también se define como una medida de la efectividad del dispositivo para convertir la potencia aparente  $S$ , el producto rms de la corriente y el voltaje de entrada, en potencia eléctrica útil ó potencia activa.

El factor de potencia se puede expresar matemáticamente de la siguiente forma:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T v i dt}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}} \quad (1.1)$$

La fórmula anterior describe el efecto combinado de la potencia reactiva que proviene del desplazamiento existente entre la corriente y el voltaje de entrada con el contenido armónico de la corriente de salida. Si la componente fundamental de la corriente esta en fase con el voltaje, es posible expresar el factor de potencia de la siguiente forma:

$$FP = \frac{V_{rms} I_{rms,1}}{V_{rms} I_{rms}} = 1 \quad (1.2)$$



Un factor de potencia alto significa que la mayor parte de la energía que recibe el dispositivo eléctrico es aprovechada para efectuar su función [1].

### **1.6.2 FACTOR DE CRESTA.**

Razón entre la corriente "pico" que demanda un equipo y su corriente "media". Es una medida de la no-linealidad de un consumo eléctrico. Mientras mayor sea el Factor de Cresta se puede soportar corrientes picos mayores demandadas por las cargas conectadas [11].

### **1.6.3 DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD).**

Como es sabido las ondas periódicas pueden descomponerse en una suma de ondas sinusoidales de diversas frecuencias, amplitudes y ángulos de fase por aplicación del análisis de Fourier. La componente cuya frecuencia coincide con la de la onda periódica original se llama fundamental, y todas las demás componentes se llaman ondas armónicas superiores, por ejemplo, cuando hacemos mención a la 5<sup>a</sup> armónica estamos hablando de una onda cuya frecuencia es 5 veces mayor a la frecuencia fundamental. Para caracterizar la presencia de las armónicas en una onda dada, se define como distorsión armónica total respecto a la onda fundamental (THD-F) al cociente entre el valor eficaz de la componente armónica y el valor eficaz de la fundamental, expresándose generalmente en valores porcentuales. Asimismo se define como distorsión armónica total respecto a la onda eficaz (THD-R) al cociente entre el valor eficaz de la componente armónica y el valor eficaz de la onda dada (fundamental + armónicos), expresándose también generalmente en valores porcentuales [1].

La distorsión de una senoidal, generalmente ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental. Así sobre un sistema de potencia de 60 Hz, la onda armónica tiene una frecuencia expresada por:

$$f_{\text{harmonics}} = n \times 60 \text{ Hz} \quad (1.3)$$

donde n es un entero.

La figura 1.2 ilustra la onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2do, 3ro, 4to, y 5to armónico.

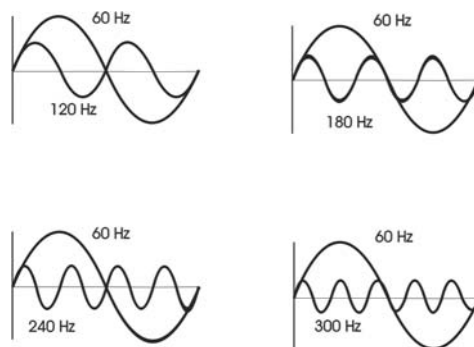


Figura 1.2 La Onda Senoidal a la Frecuencia Fundamental (60 Hz) y Armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz).

Si la forma de onda de corriente contiene armónicos y sus valores rms son conocidos es posible expresar el valor rms de la corriente de la siguiente manera:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_{n,rms}^2} \quad (1.4)$$

donde  $I_{n,rms}$  corresponde al valor de la corriente rms del n-ésimo armónico.

La distorsión armónica total (THD) se define como el cociente entre el valor rms de la onda formada por el conjunto de armónicos y el valor rms de la fundamental.

$$THD = \sqrt{\frac{I_{2,rms}^2 + I_{3,rms}^2 + \dots + I_{n,rms}^2}{I_{1,rms}^2}} \times 100 \quad (1.5)$$

Algunos equipos eléctricos que generan armónicos son las fuentes ininterrumpibles de potencia, computadoras, balastros electrónicos, etc. En general cualquier circuito que es no lineal, que use circuitos rectificadores, o que este basado en convertidores conmutados generará armónicos [2].

Además de estos tres parámetros antes mencionados, existen también, protección a transitorios de línea, corriente de arranque e interferencia de radio frecuencia ó interferencia electromagnética (RFI/EMI) [2].

## 1.7 ASPECTOS DE NORMATIVIDAD.

---

Para eliminar los armónicos de corriente en el balastro se toma como referencia la norma IEC-1000-3-2. Esta norma establece los valores máximos permisibles en los armónicos de línea de los equipos electrónicos, dentro de esta norma los balastros electrónicos quedan incluidos en la clase C. La aparición de esta normativa sobre la emisión de armónicos de corriente para equipos conectados a la red ha impuesto una norma sobre balastros electrónicos. Por ello es necesario implementar balastros electrónicos con alto factor de

potencia, típicamente por encima de 0.9 y baja distorsión armónica, por debajo del 30%. El límite de cada uno de los armónicos puede ser obtenido en [7].

## **1.8 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.**

---

En la actualidad las últimas tecnologías desarrolladas para la implementación de balastos electrónicos se han enfocado en buscar topologías simples que pueden cumplir con los requisitos exigidos. Dentro de los cuales se encuentra la reducción de la contaminación a la red eléctrica entre otros. Debido a dichas investigaciones y tratando de seguir en la misma dirección, esta tesis tiene como principal objetivo el desarrollo de un balastro electrónico con integración de etapas y unión de elementos de control. Se espera obtener como resultado un balastro electrónico eficiente, de bajo costo y volumen para el uso de lámparas de 15 Watts.