



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Esparza González, Mario Salvador; Guisar, Héctor Manuel; Martínez Silva, José Isabel; Ibarra Medina, Iván Illich

Diseño y Construcción de una Balastra Prototipo para Lámparas VSAP 150W

Conciencia Tecnológica, núm. 27-30, 2005

Instituto Tecnológico de Aguascalientes

Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Diseño y Construcción de una Balastra Prototipo para Lámparas VSAP 150W (Reporte de proyecto)

M.C. Mario Salvador Esparza González, Ing. Héctor Manuel Guisar, Ing. José Isabel Martínez Silva, Ing. Iván Ilich Ibarra Medina

Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica. Av. López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Balcones de Ojocaliente. Aguascalientes, Ags. Tel: (014)-9-10-50-02, Fax (014)-9-70-04-23
msepa71@yahoo.com.mx

Resumen.

Este artículo presenta el diseño de un prototipo experimental para una balastra electrónica capaz de arrancar y regular la intensidad luminosa en una lámpara de vapor de sodio en alta presión (VSAP) de 150W, construida con transistores bipolares aislados por compuerta (IGBT), un circuito de control para operar en una frecuencia de 45KHz, un filtro tipo LC y una fuente de CA/CD.

Palabras clave: Balastra, VSAP, filtro, factor de potencia.

Introducción.

Este trabajo se desarrolló en el Instituto Tecnológico de Aguascalientes, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. En el diseño de balastras electrónicas existen dos topologías principalmente para la construcción del inversor resonante, el de medio puente y el de puente completo. En este trabajo se consideró este último para el desarrollo de la balastra por la facilidad que presenta en la obtención de una señal simétrica y la potencia a manejar [1]. Este inversor alimenta un circuito LCC (inductor, capacitor, capacitor) ó LC donde la lámpara se conecta en paralelo al capacitor. La estructura general de una balastra se ilustró en [2]. En este diseño no se presenta la etapa de CFP (Corrección de factor de potencia) por lo que se tendrá un valor bajo de este parámetro. Un diseño en alta frecuencia por su parte disminuye el tamaño de los componentes, el peso y el efecto de reencendido en cada ciclo de 60Hz al operar en baja frecuencia. El objetivo de este artículo es mostrar en forma experimental a partir de un prototipo, las ventajas de las balastras electrónicas en el control de la corriente en la lámpara así como la posibilidad del control de intensidad luminosa en el tubo de descarga. El prototipo construido consta de una etapa de rectificación a partir de un puente de diodos, la etapa del inversor y la etapa del filtro resonante. Esta última es la que permite realizar las funciones de arranque y operación de la lámpara [2] en forma óptima, ya que durante el arranque se requiere una tensión cercana a 1KV mientras que durante la operación se necesitan

50V y el control de la corriente en el circuito. El procedimiento de diseño del prototipo consistió en la evaluación de los diferentes tipos de filtros LC y LCC a través de simulaciones (no presentadas en este artículo), el diseño del inversor a modulación constante (45%) y un rectificador simple como fuente de alimentación de corriente directa.

Desarrollo.

a) El filtro LC se diseñó considerando 50V en la lámpara, una fuente de CD 100V y una frecuencia de operación de 45 KHz.

Para la balastra es necesario diseñar un circuito tanque o resonante. Los circuitos resonantes LC y LCC son los circuitos más simples y más utilizados para el arranque y estabilización de las lámparas de descarga. [3]

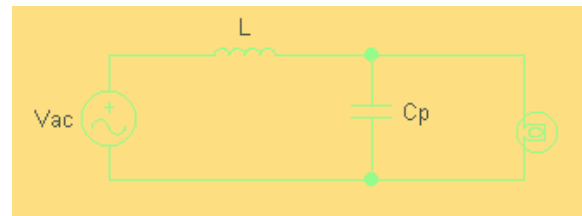


Figura 1. Filtro LC

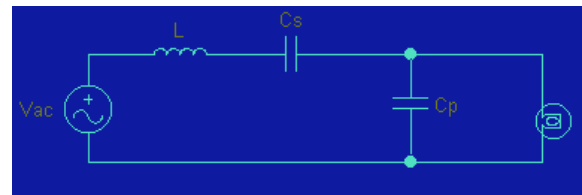


Figura 2. Filtro LCC

Las figuras 1 y 2 muestran la topología de los filtros, en ellas la única diferencia es el capacitor que está en serie con la bobina. Este capacitor sirve para eliminar posibles componentes de cd que puedan existir a la entrada (alimentación) del filtro. La frecuencia utilizada en el inversor para la ignición de la lámpara y durante la operación pueden ser las mismas, aunque puede usarse una frecuencia para la ignición y otra

diferente para la operación, lo que presente la desventaja de perder la conmutación suave en el encendido ó apagado. [1] Si la frecuencia de conmutación del inversor es igual a la frecuencia natural de resonancia del filtro, durante la etapa de ignición se obtendrá un alto voltaje en las terminales del capacitor Cp. Esto significa que el máximo voltaje que el filtro pueda producir será aplicado directamente a la lámpara. El comportamiento de la lámpara en la etapa de ignición es de una resistencia muy grande (circuito abierto) [1]; durante el estado de operación estable de la lámpara, esta se comporta como una resistencia. Para el cálculo del filtro LCC se utilizó el procedimiento indicado en la ref. [2].

Para conocer el valor de la resistencia que tiene la lámpara durante la operación estable, se utilizan los parámetros de la lámpara (tensión de operación y potencia de la lámpara), considerándola como una resistencia pura.

$$R_L = \frac{V_L^2}{P_L} = R_{eq} \quad (3)$$

donde:

- V_L = Tensión de operación de la lámpara
- P_L = Potencia de la lámpara
- R_L = Resistencia equivalente de la lámpara

En nuestro caso: $R_{eq} = \frac{50^2}{150} = 16.666 \Omega$

Calculamos ahora la reactancia capacitiva total:

$$X_{cp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_L V_a}{P_L} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{50 \cdot 127.32}{150} = 30.01 \Omega \quad (4)$$

donde:

V_a = Valor máximo de la armónica fundamental de la señal de voltaje aplicada al filtro.

El factor de calidad es un parámetro que sirve para obtener una forma de onda senoidal de corriente en la lámpara. Este parámetro se calcula mediante:

$$Q = \frac{2V_L^2 + V_a^2}{\sqrt{2}V_L V_a} \quad (5)$$

El valor del factor de calidad obtenido en base a la fórmula anterior es el mínimo necesario para que el filtro ofrezca la máxima ganancia de voltaje y para que el capacitor Cs tenga un valor diferente de cero. [2]

$$Q = \frac{2(50)^2 + (127)^2}{\sqrt{2}(50)(127)} = 2.356$$

A partir de este valor calculamos la reactancia inductiva del filtro:

$$X_L = Q R_{eq} = (2.356)(16.66) = 39.266 \Omega \quad (6)$$

Para obtener el circuito resonante es necesario que:

$$\begin{aligned} X_{cs} &= X_L - X_{cp} \quad (7) \\ X_{cs} &= 39.26 - 30.01 = 9.25 \Omega \end{aligned}$$

Conociendo las reactancias y la frecuencia de diseño de 45KHz se calculan los componentes inductivo y capacitivo.

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{39.266}{2\pi(45000)} = 138.8mH$$

$$X_{cp} = \frac{1}{\omega C} \therefore C_p = \frac{1}{\omega X_{cp}} = \frac{1}{2\pi * 45k * 30.011} = 0.11785\mu F$$

$$X_{cs} = \frac{1}{\omega C} \therefore C_s = \frac{1}{\omega X_{cs}} = \frac{1}{2\pi * 45k * 9.257} = 0.38211\mu F$$

Considerando el filtro LC obtenemos la capacitancia total .

$$C_p = \frac{C_s C_p}{C_s + C_p} = \frac{(0.1178)(0.38211)}{0.1178 + 0.38211} = 0.090\mu F$$

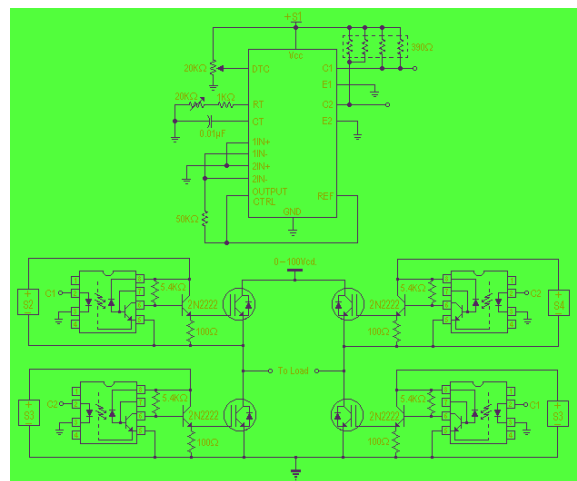


Figura 3. Diagrama esquemático del inversor

b) Diseño del inversor:

Se empleó un inversor monofásico de puente completo con una modulación convencional de un solo pulso (PWM) al 95% [4] y una frecuencia de 45Khz. El PWM quedó construido con un integrado TL494, optoacopladores de alta frecuencia fairchild 501, los conmutadores empleados son tipo IGBT (transistor bipolar aislado por compuerta) modelo FGL60N100D. La figura 3 muestra el diagrama esquemático del inversor. El circuito TL494 es configurado de forma que se generan las señales para los 4 transistores, el uso de optoacopladores permite contar con una referencia flotante los transistores superiores como se observa en la misma figura.

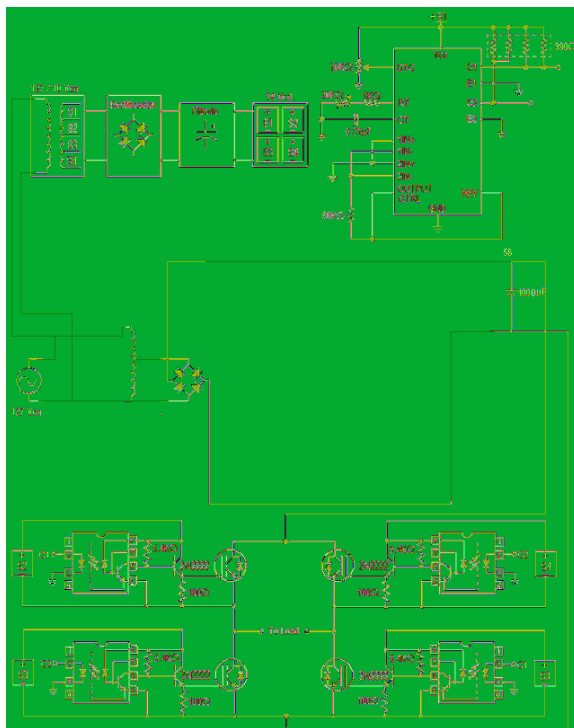


Figura 4. Diagrama esquemático de la balastro electrónica.

La figura 4 muestra el circuito esquemático completo de la balastro prototipo completa, la fuente de alimentación empleada en CA es rectificadora mediante un puente de diodos y un filtro capacitivo de 470uF; se utilizó un variador de tensión para obtener 100V de CD empleados en la ecuación 5, el transformador con 4 secundarios que

aparece fue empleado para proporcionar los potenciales aislados necesarios para el disparo de los transistores.

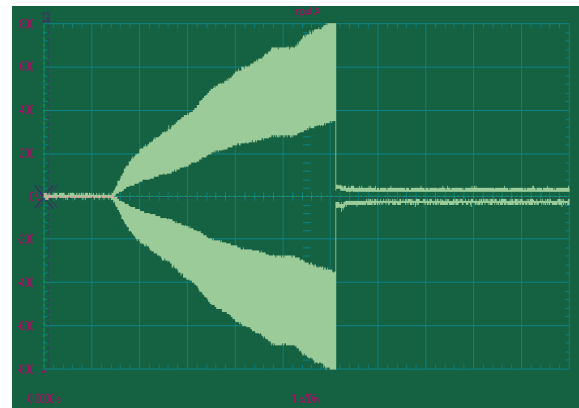


Figura 5. Tensión en capacitor C_p

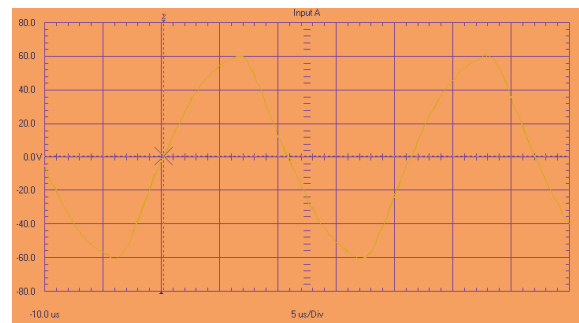


Figura 6. Forma de onda de la tensión en la lámpara durante su operación normal

Resultados.

La figura 5 muestra la tensión aplicada en la lámpara durante el encendido, en este caso el circuito diseñado opera en resonancia y la corriente se incrementa, la tensión en el capacitor C_p también se incrementa al alcanzar poco más de 800V, este valor produce un arco eléctrico en el interior de la lámpara sacando de resonancia el circuito y cayendo la tensión a un valor de 50V que es el voltaje de operación de la lámpara; obteniendo un periodo de encendido de 4.6s. Una vez que transcurre el proceso de arranque (aproximadamente 10min) se estabiliza la tensión en la lámpara en 60 Vpico con una forma de onda casi senoidal y una alta frecuencia (figura 6), en este momento la corriente en la lámpara tiene un valor rms de 3.84 A con una forma de onda casi cuadrada (figura 7). Esta última se tomó utilizando una resistencia serie de 0.1 ohm. La corriente que circula por todo el filtro (balastro) durante la operación normal de la lámpara

tiene un valor de 4.95 A aproximadamente, presentando una forma de onda casi cuadrada (figura 8). Esto demuestra que el filtro LC diseñado cumple los requerimientos para la lámpara VSAP de 150W, durante el arranque y la operación a parámetros nominales. En este punto también fue evaluada la calidad del prototipo obteniendo los consumos de potencia en la línea de alimentación así como los armónicos, al respecto observamos que al no utilizar la etapa CFP en estos dispositivos la onda de corriente es discontinua como se observa en la figura 9, comportamiento típico de un rectificador y un simple filtro; el espectro de armónico de esta señal se presenta en la figura 10 indicando la presencia de una 3ª la cual alcanzan un 65% respecto a la fundamental y un 32% del la 5ª armónica, generando con esto un alto valor de distorsión armónica de 60.5%.

La potencia consumida por la balastra es de 157 w, con un factor de potencia (PF) de 0.78 (figura 11). Considerando que el consumo en la lámpara es de 150w tenemos un total de pérdidas de 7w, teniendo una eficiencia de 95%. El problema del bajo factor de potencia es provocado por los armónicos, ya que el factor de desplazamiento (DPF) de la señal de corriente con respecto a la de tensión es prácticamente igual a la unidad.

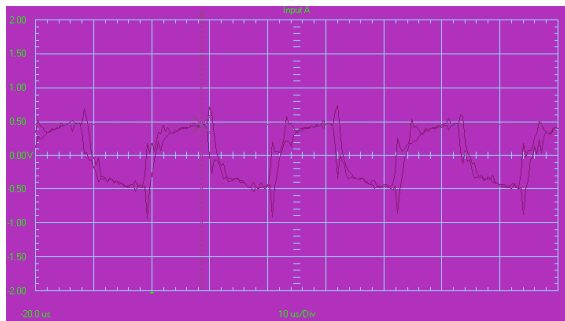


Figura 7. Forma de onda de la corriente en la lámpara durante su operación normal

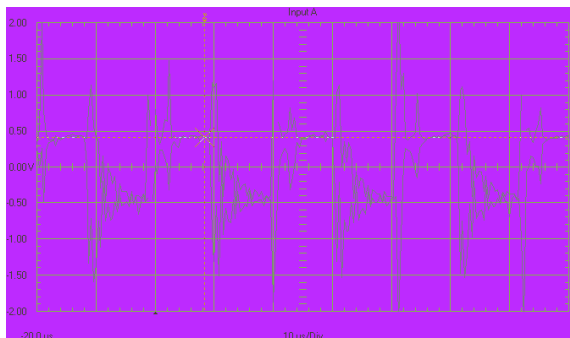


Figura 8. Forma de onda de la corriente en el filtro durante la operación normal

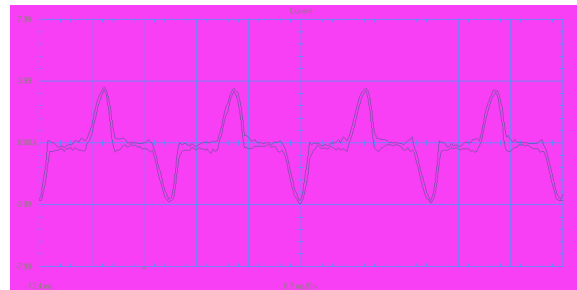


Figura 9. Forma de onda de la corriente en la entrada de CA

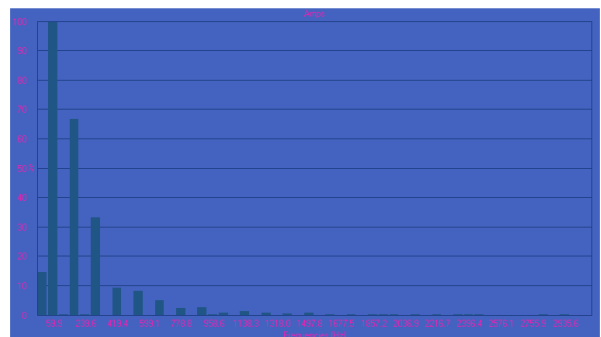


Figura 10. Espectro de armónicos producidos por la balastra electrónica en la entrada de CA



Figura 11. Potencia consumida por la balastra

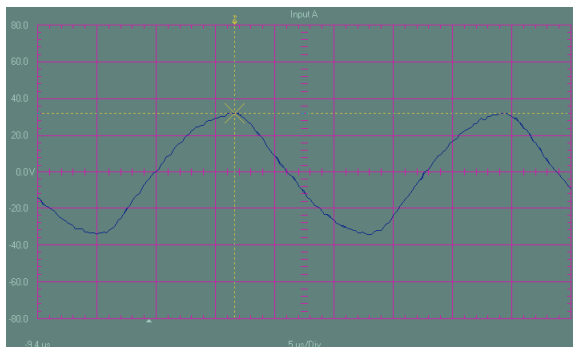


Figura 12. Forma de onda de la tensión en la lámpara con 50V cd a la entrada

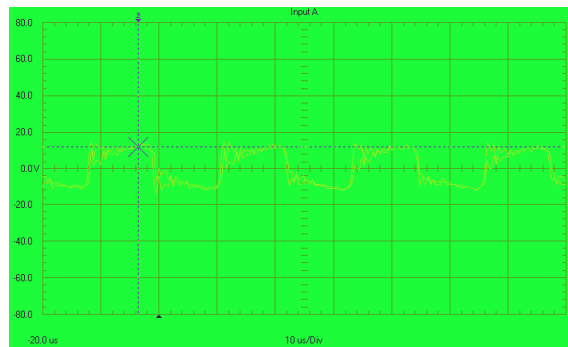


Figura 14. Forma de onda de la tensión en la lámpara con 30 v cd a la entrada

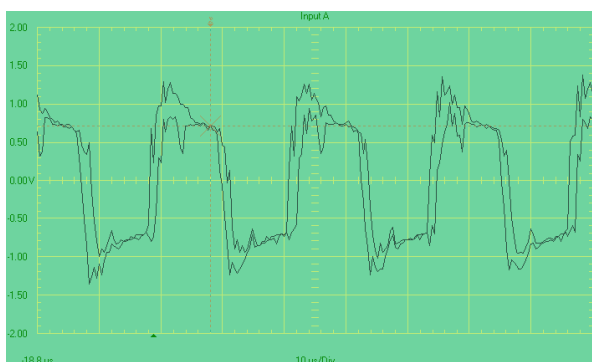


Figura 13. Forma de onda de la corriente en la lámpara con 50V cd a la entrada

Si la tensión de alimentación se reduce hasta 30V las formas de onda tanto de la tensión como la de la corriente en la lámpara se deforman; si evaluamos la expresión (5) y (6) podemos encontrar que para el voltaje mostrado en la figura 14 con 30V de alimentación los requerimientos de L son mayores por tanto a una baja tensión en la entrada la tensión se deformará, presentando una forma de onda casi cuadrada (figura 14), el nivel de corriente presenta un par de picos en cada semiciclo (figura 15), presentando picos que alcanzan casi los 1 A.

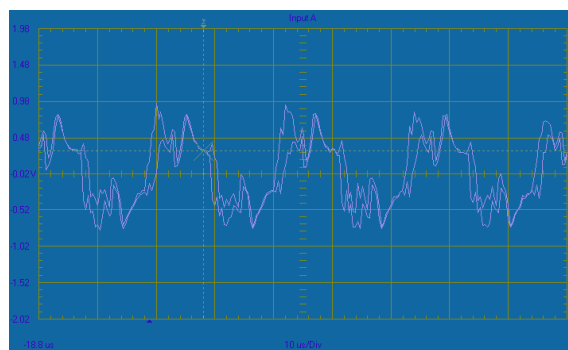


Figura 15 Forma de onda de la corriente en la lámpara con 30 v cd a la entrada

Los resultados de la balastro reduciendo el valor de tensión en la alimentación del circuito rectificador para evaluar el efecto en la intensidad luminosa proporcionada por la lámpara lo cual en una balastro de frecuencia nominal queda limitado a un rango muy pequeño ya que la lámpara se apaga [5]. Otra ventaja a demostrar en este artículo es la facilidad para controlar el nivel luminoso de la lámpara, este fue probado desde los 100V de alimentación hasta los 20V, aquí presentamos los resultados obtenidos para la tensión y la corriente en la lámpara en los puntos de operación de los 50V y después a 30V. La tensión en la lámpara si se alimenta con 50V (al 50% de la tensión nominal) a la entrada (figura 12) se tiene un valor de 23Vrms aproximadamente en la lámpara, comparando esta curva de tensión con la figura 6 podemos notar que sigue conservando su forma casi sinusoidal, lo mismo sucede con la forma de la corriente; aquí el valor de amplitud es muy similar.

Conclusiones.

El consumo de potencia de la balastro electrónica es muy bajo debido a que en ésta no existe la reactancia en serie que limita la corriente en las balastros convencionales en baja frecuencia. Dicho consumo de potencia es aproximadamente un 5 % de la potencia de la lámpara, mientras que en las balastros convencionales fluctúa entre 15 y 25 % de la potencia de la lámpara. El manejo de alta frecuencia y la topología del filtro resonante permiten que la tensión de alimentación se pueda reducir hasta valores muy pequeños como los 30 volts mostrados, en el

laboratorio se redujo la tensión hasta los 8 volts punto en el cual la lámpara se apagó.

El operar la lámpara en alta frecuencia permite un extenso control del flujo luminoso emitido por la misma, sin que esta se apague, una reducción de tensión similar en una balastro convencional apagaría la lámpara alrededor del 40 ó 50% [5] de su valor de tensión además de mostrar un efecto de ligero parpadeo y reducir la vida útil de los electrodos del foco.

Es posible construir balastras en alta frecuencia para lámparas VSAP.

En el prototipo actual se requieren algunas protecciones para las condiciones en que se funda el foco o bien no esté conectado ya que si se mantiene la alta corriente en el periodo de arranque se daña el inversor.

Es necesario acoplar una etapa de corrección del factor de potencia para tener mejores resultados en este punto. En el diseño de inductores es muy importante considerar los efectos térmicos del flujo al pasar por el núcleo de la bobina y también los valores de saturación del mismo. La reducción de tensión en la lámpara operando en la misma frecuencia para los parámetros de diseño originales produce ondas distorsionadas en valores bajos de tensión de alimentación.

Referencias

- [1] Tadesse, D.; Dawson, F.P.; Dewan, S.B.; *Industry Applications Society Annual Meeting, 1993.*, Conference Record of the 1993 IEEE 2-8 Oct. 1993 Page(s):2341 - 2347 vol.3
- [2] Muhammad H. Rashid, (2001), *Power Electronics Handbook*, Academic Press.
- [3] Correa, J.; Ponce, M.; López, A.; Arau, J; Alonso, J.M.; A Comparison of LCC and LC Filtres for its Application in Electronic Ballas for Metal Halide Lamps. *Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual, Volume.*
- [4] Muhammad H. Rashid, (1990), *Electrónica de potencia*, Pearson Education.
- [5] Esparza González, M.S. “Pruebas experimentales a una lámpara de VSAP- 150W” en *Revista Conciencia Tecnológica No. 22*, Abril 2003, pag 48-54.