

BALASTO ELECTRONICO PARA LAMPARAS FLUORESCENTES CONTROLADO POR MICROPROCESADOR

Fabio Vincitorio - Ariel Zehnder

VZ-Ingeniería – Alem 34 oficina 3 Planta Alta – Paraná (3100) Entre Ríos – Argentina. Tel/Fax 0054 – 343 – 4218213. E-mail : vzingeneria@arnet.com.ar

Resumen.

Los balastos electrónicos para tubos fluorescentes que apenas comienzan a ser introducidos como tecnología alternativa, tiene su origen en la década del 70. Problemas de confiabilidad y costos mantuvieron a estos dispositivos en un área limitada de aplicaciones.

Es solo a partir de la aparición de nuevos circuitos integrados que se abre la posibilidad de evitar los problemas que limitaron su evolución.

Los microcontroladores como así también los circuitos dedicados permiten obtener mediante su utilización, toda una serie de funciones que a partir de componentes discretos resultan imposibles.

Sobre la base de la aplicación de microcontroladores hemos conseguido funciones específicas como el reconocimiento automático de la potencia y tipo de lámpara, el control activo de temperatura del balasto, seis niveles de protección, encendido programado y dimmerización.

Los objetivos planteados para este desarrollo fijaban como parámetros de diseño un costo acotado y competitivo, una gran flexibilidad de uso, un máximo de confiabilidad, alto rendimiento energético y el cumplimiento irrestricto de las normas internacionales.

El resultado final fue un balasto de altas prestaciones, de costo acotado y competitivo con los dispositivos fabricados por las más importantes empresas en el mundo.

Summary.

The electronic ballast for fluorescent lamps that hardly begin to be introduced as alternative technology, has its origin in the decade of 70. Reliability and cost problems maintained to these devices in a limited area of applications.

Only after appearance of new integrated circuits that is opened the possibility of avoiding the problems that limited its evolution.

The microcontrollers as well as the dedicated circuits permit to obtain through its utilization, all a series of functions which of discrete components result impossible.

On the base of the application of microcontrollers, we obtained specific functions as, the automatic recognition of the power and type of lamp, the active control of temperature of the ballast, six protection levels, programmed ignition and dimming.

The objectives outlined for this development were fixing as design parameters an limited and competitive cost, a great flexibility of use, a maximum reliability, energetic saving and fulfillment of international standard and procedures.

The final result was a high performance electronic ballast, competitive in cost and performances with the devices manufactured by the most important companies in the world.

Introducción

Los balastos electrónicos cuyo origen se remonta a la década del 70, han permanecido en un estado tecnológico de letargo por casi 20 años. Es solo a partir de fines de los 80 y principio de los 90, debido al surgimiento de nuevos circuitos electrónicos dedicados que las prestaciones de estos comienzan a cambiar.

Tal vez la razón más contundente a la hora de frenar estos desarrollos es el costo del balasto electromagnético convencional, que además resulta confiable y fácil de fabricar. El aumento del costo del cobre y la necesidad de optimizar los recursos naturales no renovables, hacen que esta antigua tecnología tienda a ser dejada de lado, demandando contemporáneamente un avance en el desarrollo tecnológico de la electrónica para la iluminación.

Hoy se avizoran dos caminos posibles para el desarrollo de estos dispositivos, por un lado la integración de componentes discretos, fabricados por los proveedores de circuitos integrados, a pedido de las grandes empresas internacionales fabricantes de equipos auxiliares para iluminación y por el otro un nivel de tecnología similar basado en microcontroladores capaces de permitir mediante la programación un sin número de prestaciones antes inimaginables con tecnología de componentes discretos, pero a disposición de producciones de menor escala.

El presente trabajo fue realizado durante los años 1998 – 2000, por los autores, a pedido de la empresa Italavia SACIF, con el fin de realizar estudios de factibilidad de desarrollo de esta tecnología.

Objetivos Fijados Para El Desarrollo.

El desarrollo del balasto electrónico para lámparas fluorescentes controlado por microprocesador, al que damos lugar en esta presentación fue enmarcado bajo los siguiente objetivos.

- Desarrollar un balasto electrónico para lámparas fluorescentes capaz de operar con al menos tres potencias diferentes de lámpara 36 [W] – 30 [W] – 18 [W], con una o dos lámparas.
- Desarrollar un balasto electrónico de alta confiabilidad, implementando protecciones sobre cada uno de los puntos de riesgo.
- Desarrollar un balasto electrónico con factor de potencia compensado ($PF > 0.9$) y distorsión armónica total menor al 15 %.

Configuración General Del Dispositivo.

En la figura 1 se puede observar un esquema de diagramas en bloques de la estructura del balasto desarrollado. Este muestra cinco bloques principales y dos bloques secundarios, correspondientes a cada una de las etapas de desarrollo. Como todo dispositivo de potencia el diseño debe ser encarado desde la carga hacia la alimentación por lo que en orden de prioridad se debe partir desde la lámpara, en este caso el proceso de diseño presenta un grado mayor de complejidad debido a la necesidad de implementar una configuración de salida capaz de operar con tres modelos diferentes de lámparas e indistintamente con una o dos de cada una de ellas en las diferentes potencias, por lo tanto las situaciones a resolver presentan seis casos diferentes. El bloque siguiente denominado inversor incluye la configuración de potencia necesaria para el manejo del circuito de salida así como también el circuito de excitación de esta etapa de potencia. El microcontrolador, núcleo del sistema determina las condiciones de funcionamiento de las etapas precedentes así como también el control de las protecciones. El bloque indicado como PFC, es el que denominamos bloque compensador de factor de potencia, basado en circuito integrado dedicado para tal fin. De este se desprende el bloque de alimentación ya que la tensión de

16 [V] y 5 [V] necesaria para alimentar los respectivos circuitos integrados se obtiene de una derivación inductiva localizada en el inductor elevador de dicha configuración.

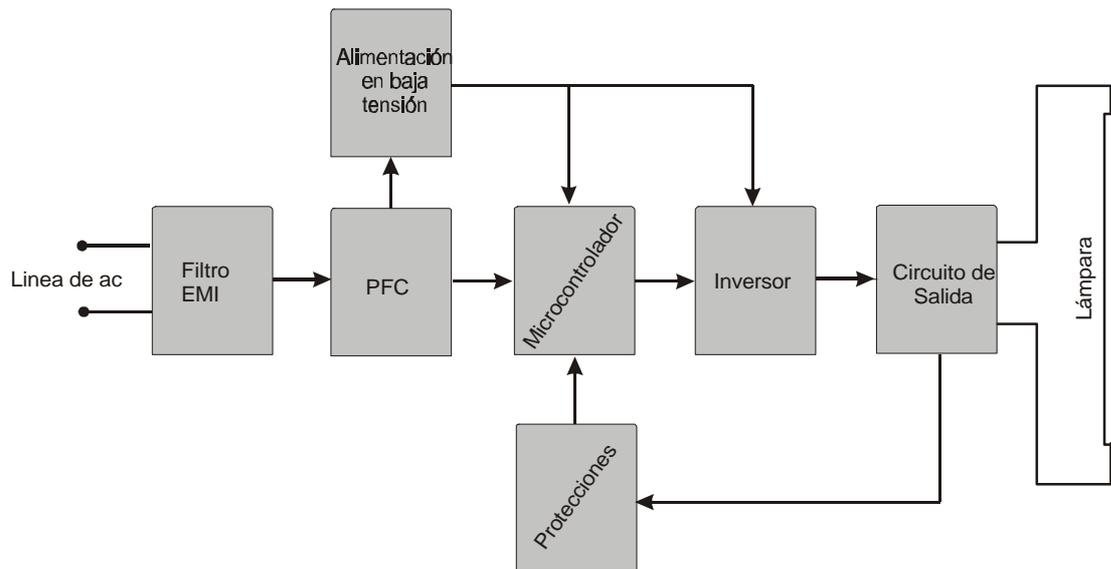


Figura 1; diagrama en bloques correspondiente al desarrollo presentado.

El último bloque no es más que un filtro EMI de alta frecuencia destinado a filtrar las señales parásitas generadas por el PFC y el inversor.

Circuito De Salida.

Obviamos en esta presentación los pormenores relacionados con las lámparas que de una u otra manera son conocidos, para centrarnos directamente en la explicación del funcionamiento del circuito de salida. Debido a las especificaciones de diseño, en este caso de tipo multipotencia y compatible con simple o múltiple lámpara, se define como circuito de salida un circuito resonante serie, con capacitor de arranque en paralelo en una configuración que evita la circulación de la corriente de encendido por los filamentos. Si bien esta configuración resulta de mayor riesgo, la utilización de los sistemas de protección y el encendido programado permiten adoptarla sin sacrificar confiabilidad. En la figura 2 es posible observar la configuración correspondiente a una sola lámpara y del modelo clasificado como instant start, en el caso de la configuración con dos lámparas la segunda se conecta en serie a la primera, existiendo un pequeño capacitor de compensación.

El análisis de esta configuración debe ser realizado en dos condiciones diferentes durante el encendido de la lámpara y en régimen permanente. El análisis del transitorio de arranque fija la frecuencia de encendido o frecuencia del transitorio muy cercana a la frecuencia de resonancia natural de la rama $L_1C_2R_2$, mientras que el de régimen permanente debe definir las condiciones de frecuencia en las que operará con cada una de las lámparas.

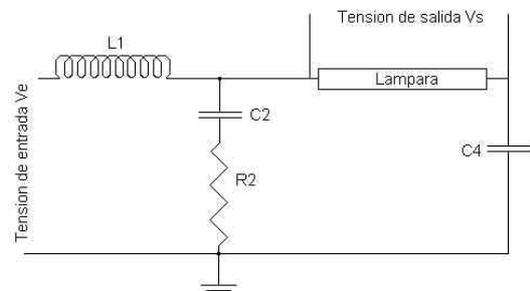


Figura 2, circuito de salida.

En la figura 3 puede observarse la curva de resonancia adoptada para este diseño, seleccionada entre 20 curvas diferentes, simuladas por medios informáticos. En la figura 4 la curva de respuesta en frecuencia dentro de la configuración correspondiente a una lámpara de 36 [W].

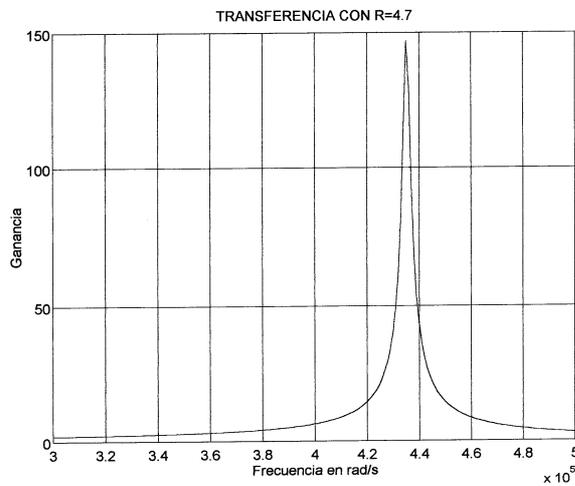


Figura 3, transferencia de encendido.

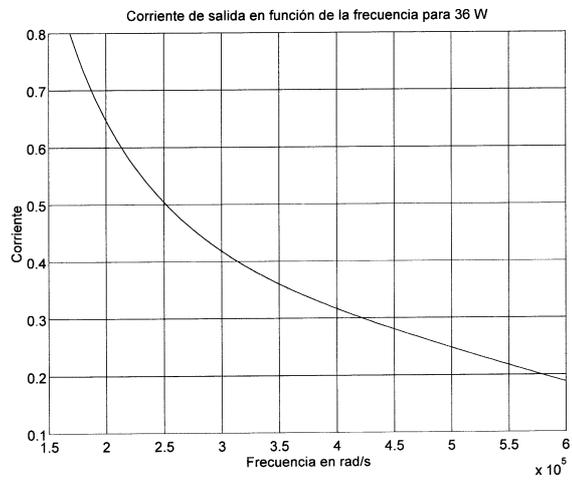


Figura 4, transferencia en régimen permanente.

A partir de un método matemático – gráfico se pudieron determinar las condiciones de funcionamiento para cada una de las potencias de lámpara requeridas, habiendo fijado previamente los valores del inductor y el capacitor serie de esta configuración de salida.

Inversor.

El circuito inversor, constituido por los elementos de potencia y el driver de excitación, responde a una configuración básica, fijada por el fabricante del circuito driver. Para el caso de los balastos controlados por microprocesador, se recurrió a la implementación mediante el IR2104 de International Rectifier, el cual permite la fijación de la frecuencia en forma externa con un nivel de tensión TTL, lo que facilita el acoplamiento directo al microprocesador. En este caso el diseño de la configuración se limitó a la determinación de las especificaciones del “bootstrap diode” y el “bootstrap capacitor”, así como también la determinación de los valores de las resistencias de excitación de los hexafet. En la figura 5 se muestra la configuración adoptada.

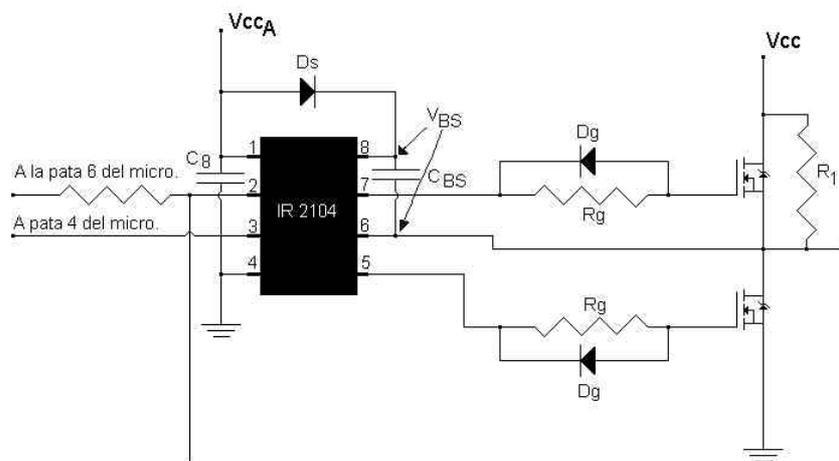


Figura 5, configuración del inversor

Microprocesador

La selección del microcontrolador o microprocesador, se definió a partir de determinados requisitos indispensables para su implementación en un balasto electrónico, esto es; dimensiones reducidas del encapsulado DIP 20, manejo simple de los temporizadores internos, estabilidad de funcionamiento, alta inmunidad al ruido y modulación por ancho de pulso o PWM. El dispositivo seleccionado para esta serie de desarrollos fue el ST 62T60, el cual puede verse en la figura 6.

El desarrollo de la programación de este dispositivo fue realizado íntegramente sobre la base del lenguaje ensamblador correspondiente. El proceso de grabado fue realizado sobre el Starter KIT proveído por el fabricante.

El circuito correspondiente al microcontrolador, fue diseñado para mantener un contacto permanente con el resto de los bloques del balasto, siendo el encargado de sincronizar el funcionamiento de cada uno de estos, fijar la frecuencia de funcionamiento del inversor, seleccionar el tipo de lámpara, controlar la secuencia del encendido programado y controlar el estado de los circuitos de protección.

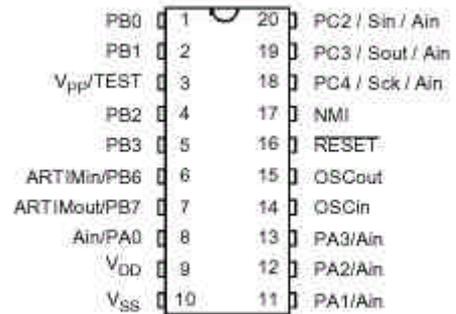


Figura 6; Distribución de Pines.

PFC – Circuito Controlador Del Factor De Potencia.

Los dos principales inconvenientes de un balasto electrónico de baja tecnología, en lo referente a su conexión con la línea de alimentación, están relacionados con el funcionamiento del mismo. Por un lado un bajo factor de potencia y por el otro un alto valor de distorsión armónica total hacen de estos componentes un verdadero problema para las compañías distribuidoras de energía, si estos son conectados a gran escala. Valores de factor de potencia de 0,45 y distorsión armónica superior al 180 % son normales de ser medidos. Las normas IEC 555 e IEC 1000 hacen referencia a los valores mínimos tolerables para estos dos parámetros.

Existen, como ya lo mencionamos anteriormente, circuitos integrados dedicados para corregir estos parámetros, en particular para ser aplicados en este tipo de balastos. El diseño de esta etapa tuvo como base la configuración sugerida por el fabricante para el circuito L6560A de ST. Este se realizó siguiendo los pasos indicados para el desarrollo de esta etapa, pero variando las especificaciones de manera de conseguir una solución de compromiso, debido a que estos circuitos fueron concebidos para realizar la compensación a un nivel de potencia fijo, mientras que este desarrollo debía cubrir un rango de potencia que iba desde los 18 [W] hasta los 74 [W].

Alimentación

La alimentación de este tipo de configuraciones se realiza directamente desde la tensión de suministro, lo que lleva a un problema directo a la hora de proveer los niveles de tensión necesarios para los circuitos integrados, tales como el driver o el microcontrolador. Habitualmente se hace uso de resistencias de alto nivel de disipación térmica lo que reduce notablemente la eficiencia energética del balasto. Siendo la eficiencia energética uno de los puntos a mantener, la alimentación de 3 circuitos integrados demandó el diseño e implementación de una configuración destinada a satisfacer las necesidades de suministro. El acoplamiento inductivo realizado al inductor del PFC, permite la obtención de una señal de tensión de bajo nivel, que posteriormente pueda ser rectificadas y reguladas a los diferentes niveles de alimentación, tal como se muestra en la figura 7.

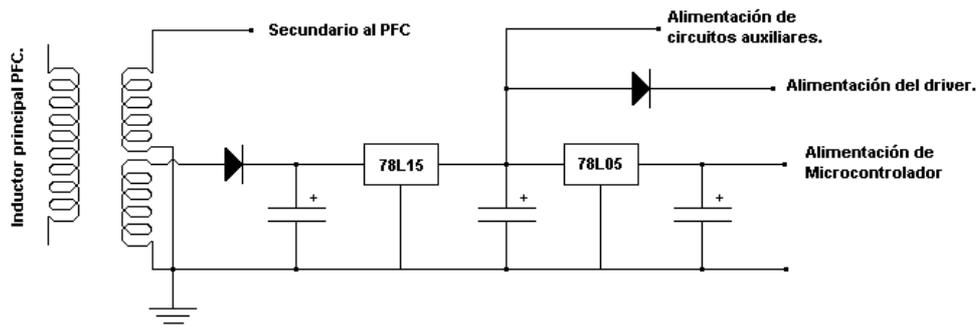


Figura 7; Bloque de alimentación.

Protecciones.

El desarrollo de las protecciones representa uno de los puntos clave para obtener un nivel de confiabilidad alto. Es por esto que se procedió a implementar diferentes niveles de protección, un total de 6.

Los fallos que se presentan habitualmente en los balastos son debidos a tres causas principales, problemas en el circuito de salida, transitorios de línea y desequilibrio térmico. La primera de estas causas, es asociada a dos factores principales, errores en la conexión por parte de instaladores no capacitados y agotamiento del tubo. A partir de esto se dotó al balasto de dos niveles de protección principales, protección contra corto circuito y protección de circuito abierto o lámpara agotada, Ambos niveles son administrados por el microcontrolador que a partir de redes de adaptación detectan cualquiera de estas dos condiciones evitando daños en el 100 % de los ensayos realizados.

La segunda causa, es inicialmente evitada con un buen diseño del filtro de entrada, además el circuito controlador de potencia presenta una protección denominada OVP (over voltage protection) que protege al balasto de transitorios de hasta 2000 [V] que puedan existir en la línea de alimentación. Además de esta protección se configuró un nuevo nivel de, también administrado por el microcontrolador con el fin de detectar sobre tensión o baja tensión, evitando el funcionamiento del balasto ante cualquier situación de riesgo que pudiera poner en peligro el funcionamiento del mismo.

La tercera causa de fallo en los balastos electrónicos o tal vez la mas común, tiene que ver con problemas asociados a un diseño térmicamente inestable de los inductores usados en estas configuraciones, si bien en nuestro desarrollo se dedicó una etapa entera a la optimización de estos componentes, ante la posibilidad de funcionamiento en condiciones térmicamente adversas se procedió con la implementación de una protección activa de temperatura, en esta el microcontrolador a partir de sus posibilidades de conversión analógica a digital y a través del uso de sensores específicos, se procedía a intervalos de tiempo prefijados dentro de la rutina programada a la toma sistemática de este parámetro y posteriormente a su comparación con los valores límites, suspendiendo el funcionamiento del equipo en el caso de sobrepasar los niveles admisibles. En la figura 8 se observa la ubicación de los sensores de temperatura dentro de la placa de circuito impreso.

El último elemento o nivel de protección tiene que ver con la rutina programada dentro del microcontrolador, siendo la principal causa de daño de estas configuraciones el encendido de la lámpara, el programa para tal operación resulta de fundamental importancia, esta función la denominamos encendido programado.



Figura 8; puntos de toma de temperatura en el balasto.

Encendido Programado.

Denominamos encendido programado a la rutina programada dentro del microcontrolador que permite al balasto el mas alto nivel de seguridad durante este proceso. Básicamente esta parte del programa se encarga de sincronizar la entrada en funcionamiento de cada una de las etapas o bloques descritos anteriormente, cuando cada uno de estos indican al microcontrolador que sus parámetros se encuentran normalizados.

Este proceso según el desarrollo asociado puede llevar de uno a cinco segundos, dependiendo si el balasto es de encendido instantáneo o con precaldeo de filamentos.

Una vez que se supera la rutina de preparación, recién en ese instante se procede a la ignición de la lámpara, instante a partir del cual entran en funcionamiento todos los niveles de protección asociados a la salida del balasto.

El oscilograma mostrado en la figura 9, presenta el ejemplo de evolución de las tensiones de alimentación sobre los reguladores, donde la señal en trazo verde corresponde a la evolución de la tensión sobre el regulador correspondiente a la alimentación del microcontrolador, mientras que en rojo la correspondiente a la alimentación del driver y circuitos auxiliares. Nótese que la alimentación del controlador llega antes a su nivel que el del resto de los circuitos por lo que el microcontrolador arranca primero y espera la normalización del resto de los circuitos.

Si el microcontrolador diera la señal de arranque al driver cuando este esta normalizado, el inversor fallaría por falta de tensión de excitación dañando los transistores de potencia, para realizar una secuencia de encendido correcta el controlador debe esperar al menos 10 [mS].

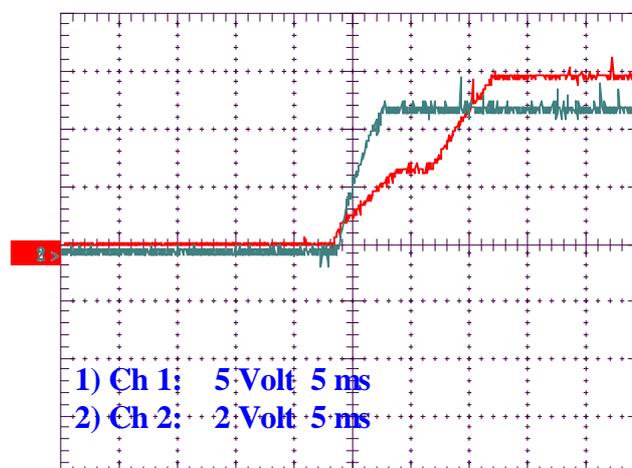


Figura 9; oscilograma de evolución de las tensiones de alimentación.

Estabilización De La Lámpara.

Denominamos período de estabilización de la lámpara al período de tiempo necesario para que esta alcance condiciones de estabilidad que permitan operar sobre la misma. En este período de tiempo, hemos detectado a partir de mediciones y del análisis del comportamiento de cada una de las lámparas utilizadas comportamientos inestables, debidos, presumiblemente a la necesidad por parte de estas de llegar a un umbral de temperatura de trabajo. Dentro de este período resulta incierto poder realizar procesos asociados con estas, tales como la selección de la potencia de salida o la dimerización.

En la figura 10, correspondiente a la medición de corriente de entrada sobre una configuración de 2X36 [W], se puede observar el período de estabilización dentro de los primeros 10 minutos.

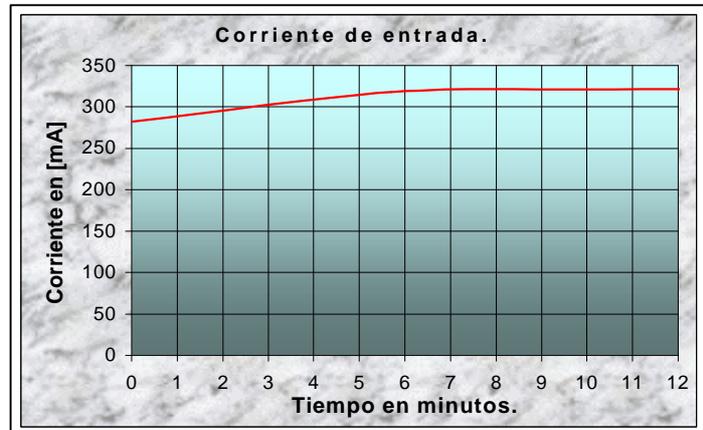


Figura 10; curva de estabilización.

Selección Automática De Potencia De Lámpara.

Denominamos selección automática de lámpara al proceso por el cual el microcontrolador, en base a valores de referencia programados y mediciones realizadas por este sobre las lámparas conectadas en bornes, en condiciones de selección particulares, es capaz de determinar el tipo y potencia de estas.

Sobre las diferentes versiones programadas en los diferentes prototipos se determinaron familias de potencias, con las cuales puede operar. Así el balasto es capaz de distinguir entre lámparas de 36 / 40 [W] – 26 [W] – 18 / 20 [W] o 30 [W] – 22 [W] - 15 [W]. Si se desea que un solo balasto opere con ambas familias, estas pueden ser seleccionadas a través de un jumper interno que indica al microcontrolador de cual de estas se trata.

Dimerización.

Sobre la base de aplicación de esta tecnología, fue posible desarrollar un balasto capaz de operar con la opción de dimerización. Para esto solo fue necesario modificar el circuito resonante introduciendo secundarios en la bobina de salida que permitieran mantener una tensión de caldeo de filamentos, con el fin de ayudar a mantener la estabilidad de las lámparas. Se debe recalcar que no fue necesario la introducción de ningún componente discreto para evitar la desestabilización de estas en el proceso de atenuación, consiguiéndose variaciones de intensidad lumínica relativa entre el 110 % y el 1 %.

La clave para lograr este comportamiento radica en la combinación de las técnicas de PWM y variación de frecuencias, las cuales no pueden operar en forma independiente bajo una configuración de circuito resonante con dos lámparas en serie, de acuerdo con las experiencias realizadas por nosotros. En todos los casos de aplicación de estas técnicas por separado se produce un salto abrupto en la intensidad luminosa que va del 30 % o 40 % al 10 %, existiendo un intervalo de incerteza del 20 % donde es imposible controlarlas.

Resultados.

Un total de 10 prototipos fueron construido y evaluados en sus diferentes versiones, a continuación se muestran los resultados obtenidos a partir de un resumen gráfico de los parámetros de funcionamiento, correspondientes a la versión instan start.

Clasificación del balasto: Prototipo N° 2.

Programa: M28 –B

Condiciones de prueba: Ciclado de encendido / apagado; 5790 operaciones.

Tabla 1: Medición sobre prototipo N° 2.

Tiempo	V_{lin} [V]	I_{lin} [mA]	P_{act} [W]	PF	P_{ap} [VA]	THD %	V_{lam} [V]	I_{lam} [mA]	I_{pl} [mA]	Fci
0	222	254	55,6	0,99	56,8	7	108	278	352	1,26
5	220	321	70	0,99	70,5	8	105	328	432	1,31
10	223	315	69,7	0,99	70,1	9	105	328	428	1,3
15	222	316	69,7	0,99	70,1	9	105	328	428	1,3
20	223	314	69,7	0,99	70,2	8,84	105	328	428	1,3
30	223	314	69,7	0,99	70	8,73	105	328	428	1,3
40	223	314	69,7	0,99	70	9,18	105	328	428	1,3
50	223	313	69,7	0,99	70	9,12	105	328	428	1,3
60	222	315	69,6	0,99	70,3	8,42	105	328	428	1,3
70	221	316	69,7	0,99	70,2	8,79	107	328	428	1,3
80	222	307	67,2	0,99	67,7	8,64	106	310	400	1,29
90	222	307	67,5	0,99	68,2	9,1	106	310	400	1,29
Promedio	222,17	308,83	68,15	0,99	68,675	8,6517	105,58	320,83	417,33	1,2958
Desv.est.	0,8975	16,925	3,8856	0	3,6759	0,5923	0,9538	14,525	22,351	0,0119

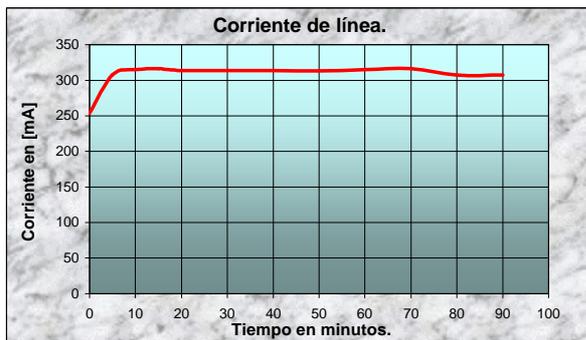


Figura 11; Gráfica de corriente de línea



Figura 12; Gráfica de potencia consumida.



Figura 13; Gráfica de corriente sobre lámpara.

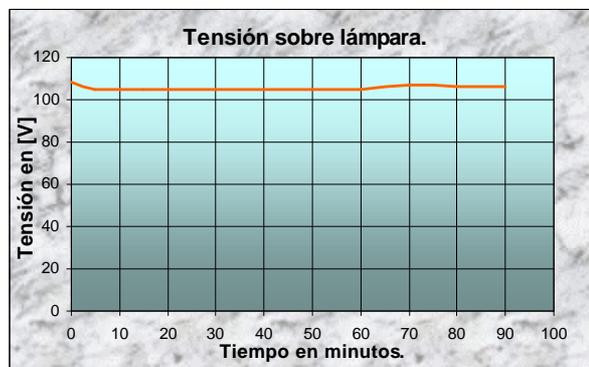


Figura 14; Gráfica de tensión sobre lámpara.

Conclusiones.

Del trabajo realizado podemos concluir que la implementación de microcontroladores en balastos electrónicos permite avizorar un amplio campo de desarrollo, tal vez no para una aplicación masiva de estos ya que su costo comparativo respecto de los balastos electrónicos de bajas prestaciones puede ser varias veces superior. Pero dado el actual estado de la tecnología, la necesidad de contar con sistemas energéticos mas eficientes, la aplicación de sistemas de control domótico en edificios y la necesidad de remplazar el viejo balasto convencional hacen de este tipo de sistema el de mayor futuro inmediato.

Desde un punto de vista técnico, la aplicación de microcontroladores permitió alcanzar, según la experiencia llevada a cabo por nosotros, niveles de seguridad inéditos para este tipo de tecnología, convirtiendo a estos balastos en dispositivos de altísima confiabilidad.

La selección automática de lampara permite, según los conceptos puestos en practica por nosotros, obtener solamente dos dispositivos para cubrir las necesidades de uso en función de las lámparas existentes en el mercado, esto es un balasto para alta potencia desde 1X58[W] hasta 2X105[W] y un balasto para baja potencia desde 15 [W] hasta 2X40[W].

Por último, la implementación sobre la misma topología de la dimerización pone en evidencia el alto grado de flexibilidad de esta tecnología.