

BALASTRA CON RETROALIMENTACION CAPACITIVA

```

.PARAM RL=280           ;RESISTENCIA DE LA LÁMPARA
.PARAM LL=1m           ;INDUCTANCIA DE RESONANCIA
.PARAM CL=20n          ;CAPACITANCIA DE RESONANCIA
.PARAM V=180           ;VOLTAJE PICO DE ALIMENTACION
.PARAM CFBK=100n       ;CAPACITANCIA RETROALIMENTACION
.PARAM LR1=1m

*
VIN 16 19 SIN(0 {V} 60 0 0) ; VOLTAJE DE ENTRADA
LI1 16 25 1m             ;FILTRO EMI
CI1 25 19 1u
LI2 25 24 3.6m
X1 24 19 MOV

*
DR1 0 24 D1N4007         ;RECTIFICACION
DR2 24 21 D1N4007
DR3 0 19 D1N4007
DR4 19 21 D1N4007
CR2 1 0 47U
DR5 21 22 D1N4007       ;FEED BACK
DR6 22 1 D1N4007
CBK1 22 26 {CFBK}
CBK2 26 0 {CFBK/5}
LR1 26 3 {LR1}

*
RD 1 11 330K            ;RED DE DISPARO
CD 11 0 22n
D5 11 3 D1N4007
X2 11 6 DIAC

*
R2 4 5 6                ;ETAPA DE INVERSION
R3 6 7 6
Q1 1 4 3 QMJE13005
Q2 3 6 0 QMJE13005
DA1 0 3 D1N4937
DA2 3 1 D1N4937
Cs 3 0 100p
L21 3 8 120u            ;TOROIDE DE OSCILACION
L22 0 7 120u
L23 5 3 120u
K1 L21 L22 L23 0.9

*
Ccd 8 9 1u             ;ACOPLAMIENTO
L1 9 10 {LL}           ;CARGA
CL 10 0 {CL}
RL 10 0 {RL}

*
.LIB TESIS.LIB         ; LLAMA A LIBRERIA
.PROBE
.OPT NOPAGE RELTOL=.01 ABSTOL=1E-9 VNTOL=1E-9 NOMOD ITL5=0 ITL4=100
.TRAN 1us 100ms 0m 1us
.FOUR 60 51 I(VIN)     ; ANALISIS DE FOURIER, CORRIENTE DE ENTRADA
.END                   ; FINAL DEL CIRCUITO

```

PS #10. Balastira prototipo con retroalimentación capacitiva-inductiva

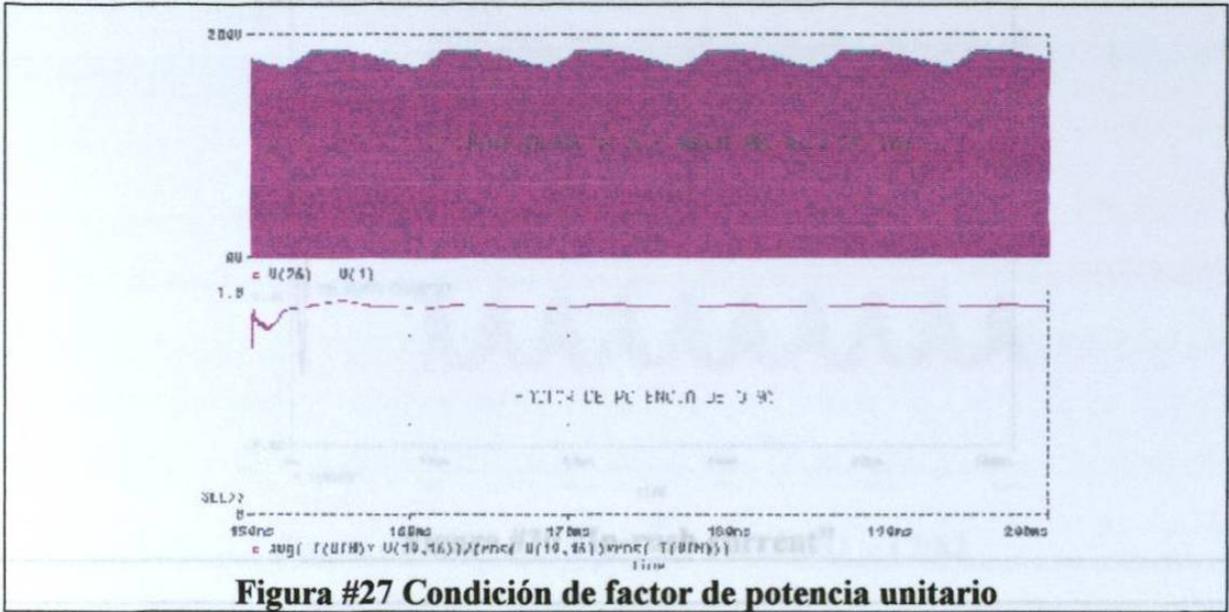


Figura #27 Condición de factor de potencia unitario

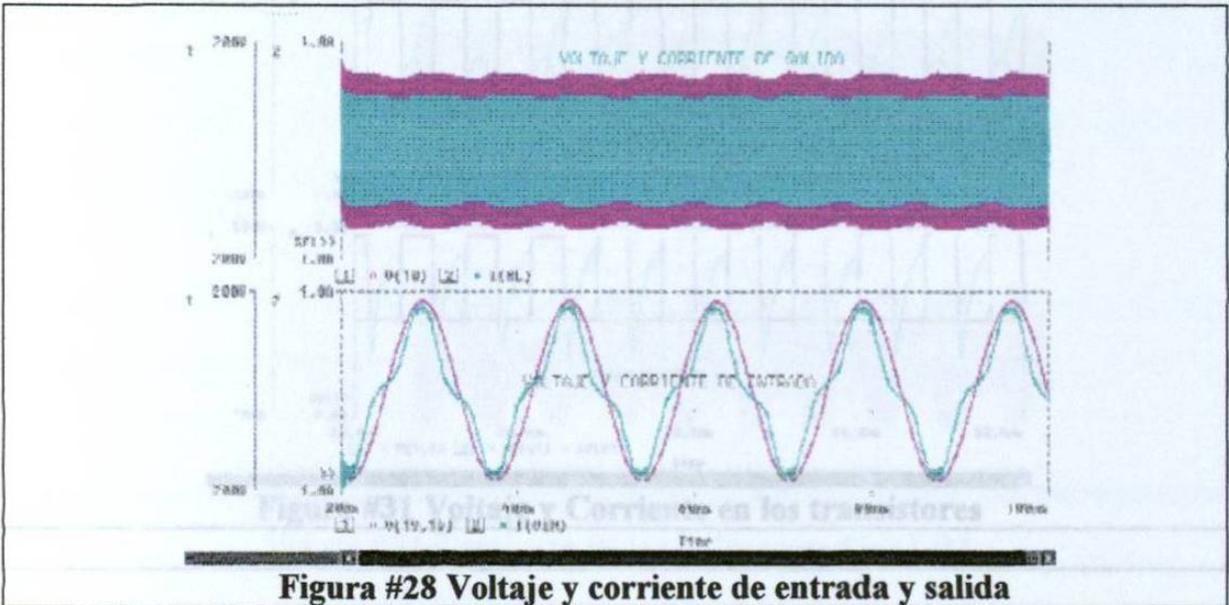


Figura #28 Voltaje y corriente de entrada y salida

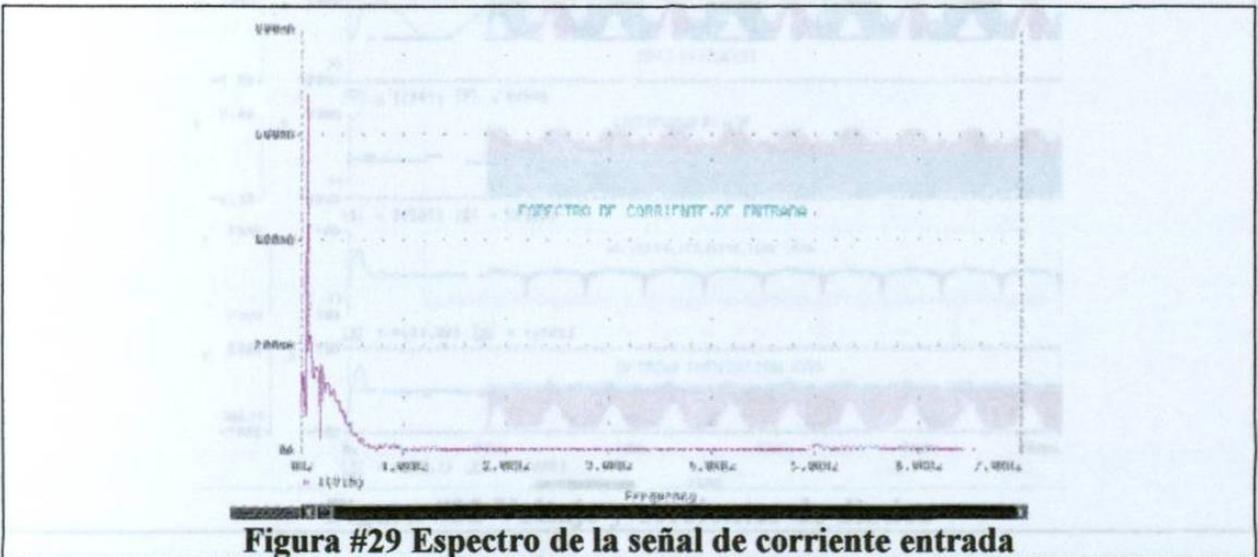


Figura #29 Espectro de la señal de corriente entrada

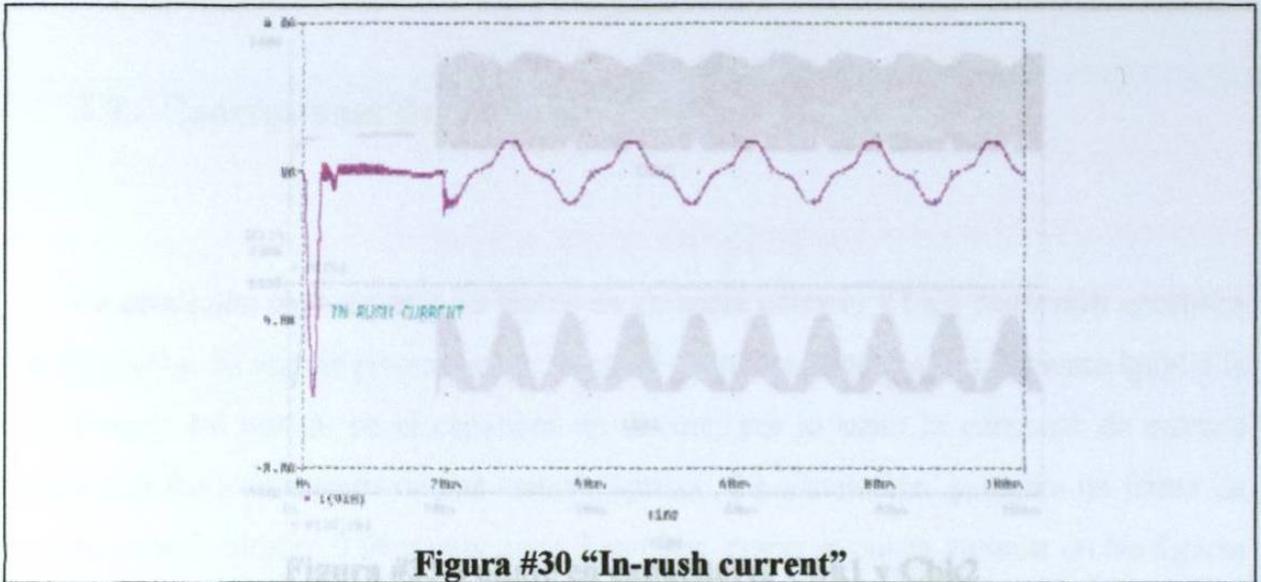


Figura #30 "In-rush current"

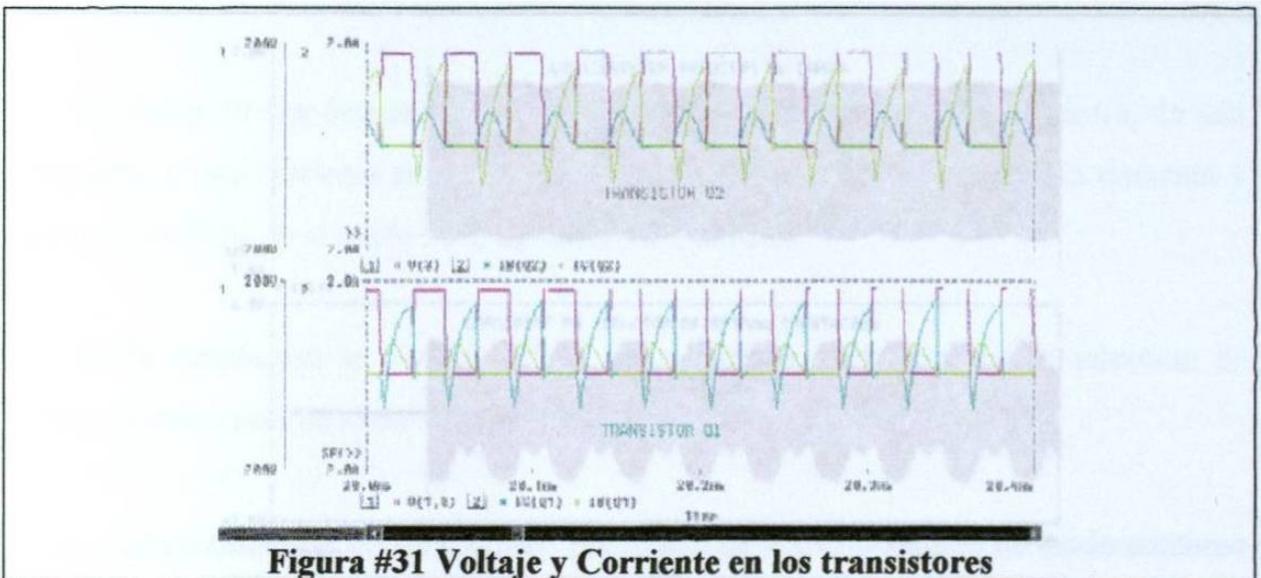


Figura #31 Voltaje y Corriente en los transistores

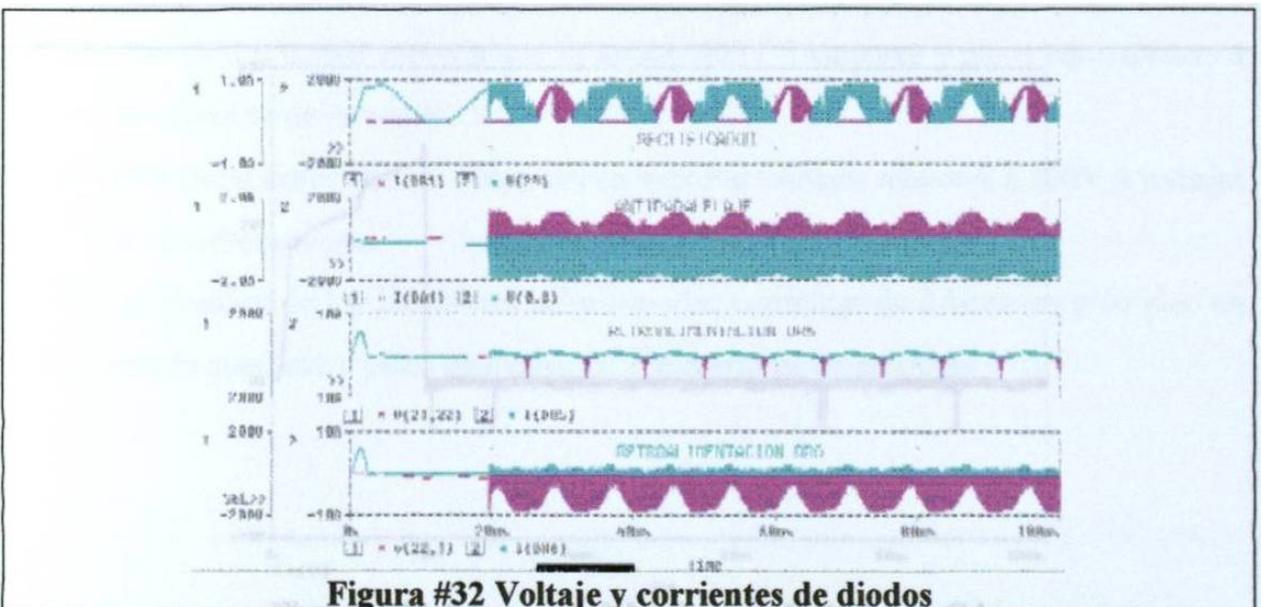
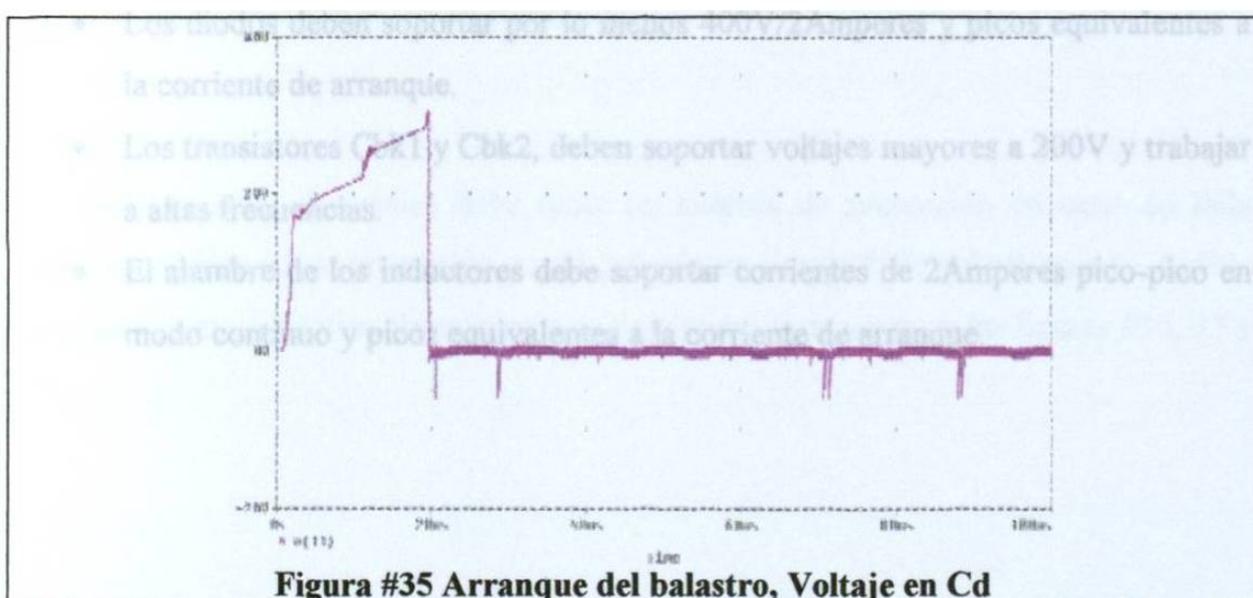
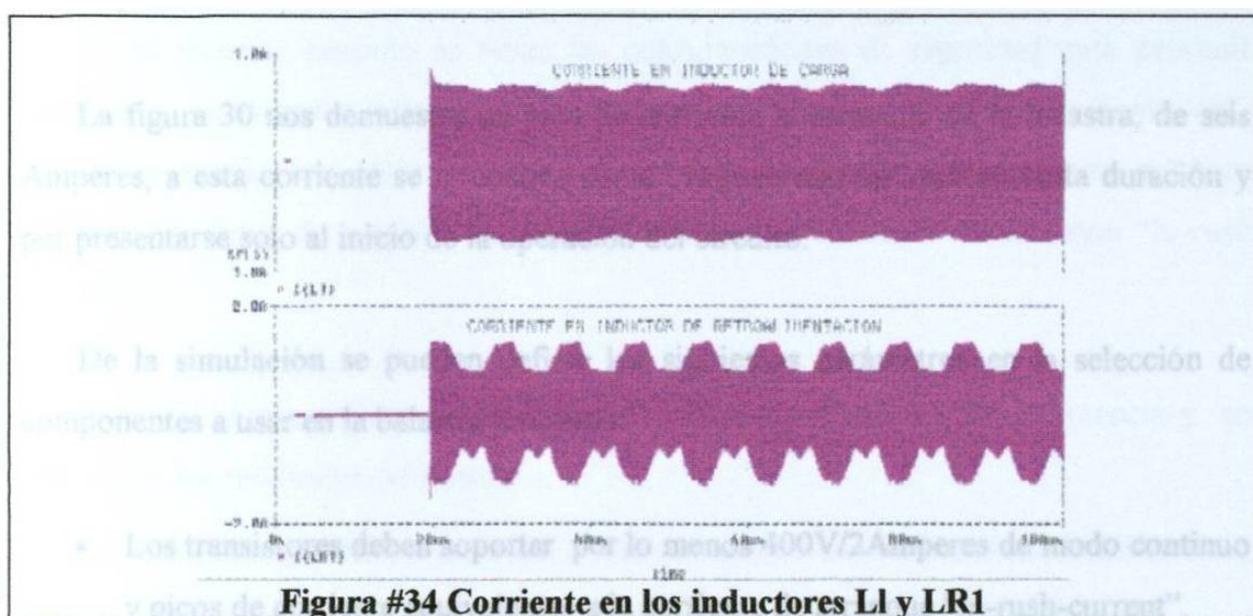
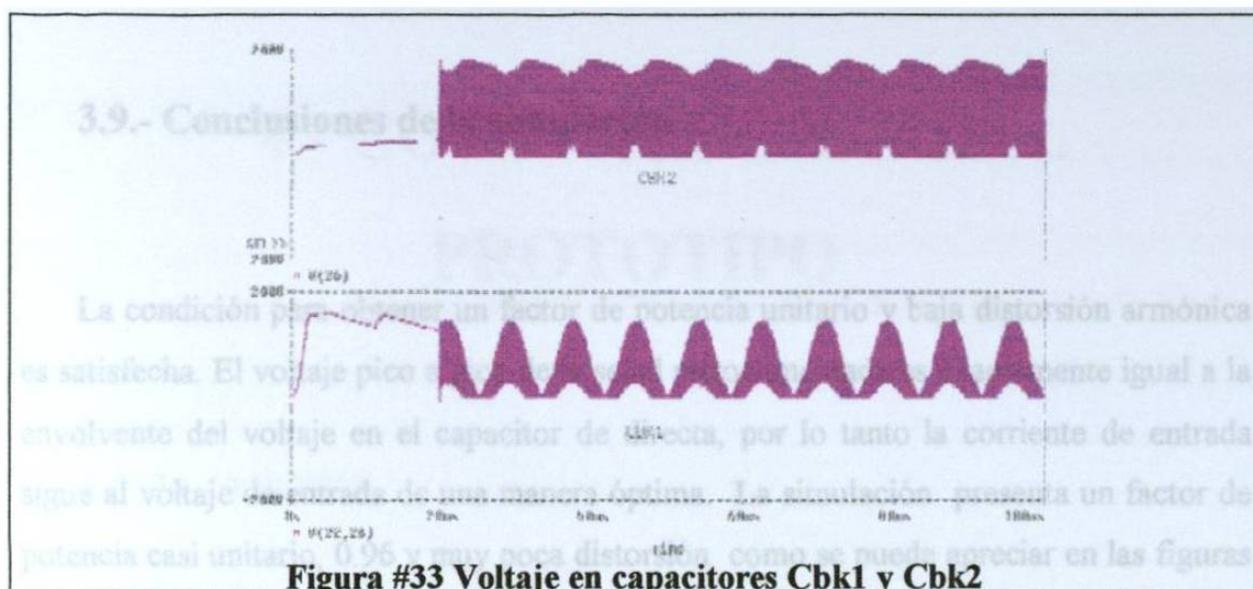


Figura #32 Voltaje y corrientes de diodos



3.9.- Conclusiones de la simulación.

La condición para obtener un factor de potencia unitario y baja distorsión armónica es satisfecha. El voltaje pico a pico de la señal retroalimentada es exactamente igual a la envolvente del voltaje en el capacitor de directa, por lo tanto la corriente de entrada sigue al voltaje de entrada de una manera óptima. La simulación presenta un factor de potencia casi unitario, 0.96 y muy poca distorsión como se puede apreciar en las figuras 27, 28 y 29.

La figura 30 nos demuestra un pico de corriente al arranque de la balastra, de seis Amperes, a esta corriente se le conoce como “in-rush-current” por su corta duración y por presentarse solo al inicio de la operación del circuito.

De la simulación se pueden definir los siguientes parámetros en la selección de componentes a usar en la balastra prototipo:

- Los transistores deben soportar por lo menos 400V/2Amperes de modo continuo y picos de corriente equivalentes a la corriente de arranque “in-rush-current”.
- Los diodos deben soportar por lo menos 400V/2Amperes y picos equivalentes a la corriente de arranque.
- Los transistores Cbk1 y Cbk2, deben soportar voltajes mayores a 200V y trabajar a altas frecuencias.
- El alambre de los inductores debe soportar corrientes de 2Amperes pico-pico en modo continuo y picos equivalentes a la corriente de arranque.

4.- CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

4.1- Introducción.

En el presente capítulo se verán las consideraciones de seguridad para prevenir daños en el balastro por fallas en la lámpara: sobre-voltajes, excesos de corriente, etc., al igual se mencionaran algunos sistemas de protección ante picos de voltaje en la fuente de alimentación y de algunas técnicas para limitar la corriente de arranque “In-rush current”.

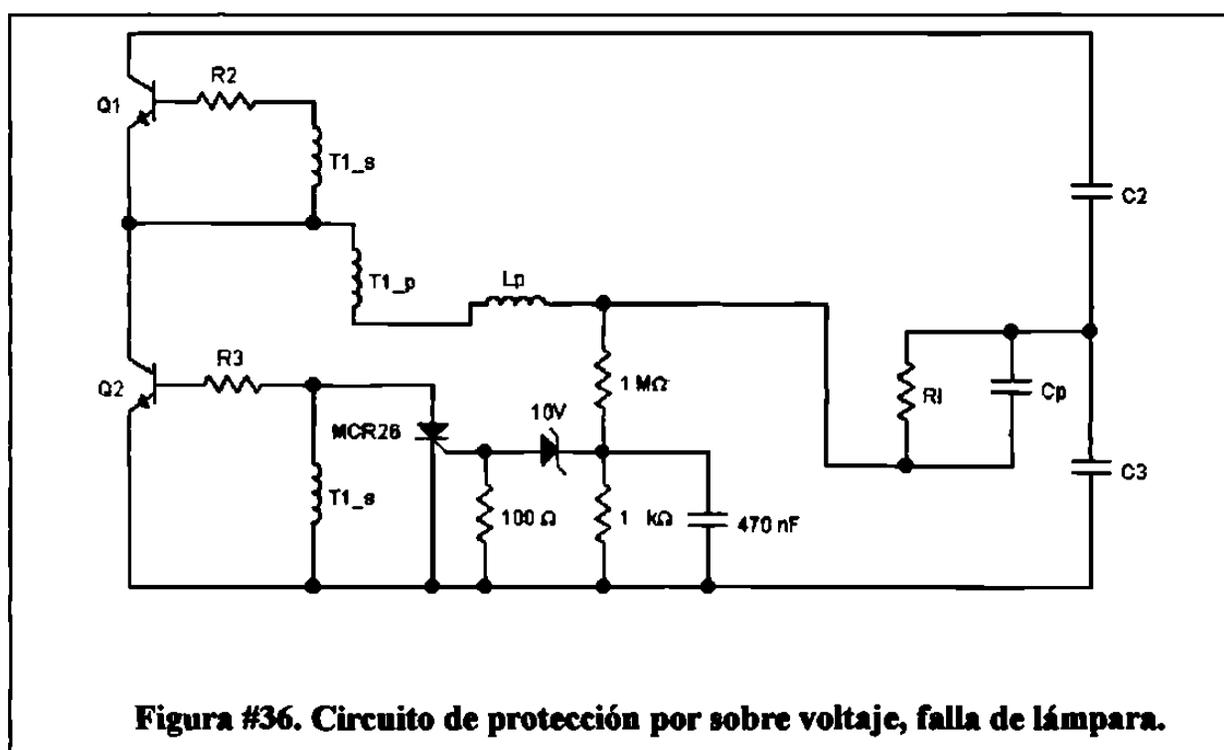
También se desarrollara un prototipo de balastro con alto factor de potencia y se explicaran los resultados del mismo.

4.2.- Consideraciones de seguridad.

Toda balastro electrónica debe tener un sistema de protección en caso de falla eléctrica. El sistema de protección puede ir desde un simple fusible de filamento, fusible térmico o bien un sistema electrónico complejo como se muestra en las figuras #36, 37 y 38.

4.3.- Protección por falla de la lámpara. [4] [26] [30]

Básicamente se puede suprimir el funcionamiento de la balastro electrónica aterrizando la corriente de base en el transistor Q2. Los componentes resaltados forman el circuito de diagnóstico, al momento de fallar la lámpara por efectos de añejamiento.



Otra forma de suprimir el funcionamiento de la balastro y memorizar el modo de fallo, es decir restablecer el circuito al suprimir/restablecer la energía eléctrica se muestra en la figura #37, donde los transistores "Q1" y "Q2" son apagados al ser conectados a tierra por medio de un devanado extra en "T1".

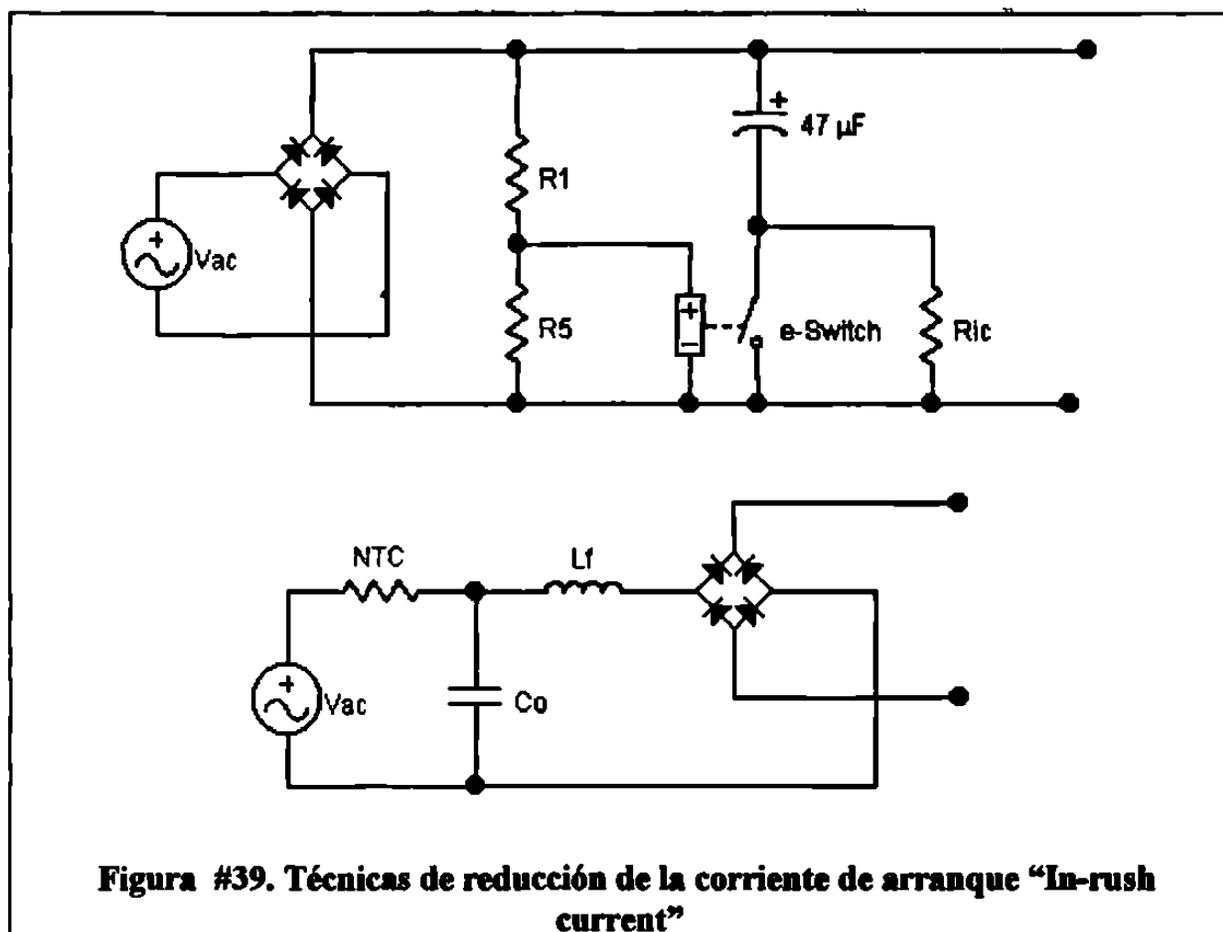
4.4.- Circuito de protección para corrientes de arranque “In-Rush Current”.

Al momento de encender cualquier dispositivo electrónico que cuente con un capacitor electrolítico dentro de la etapa de rectificación, producirá una corriente muy grande en el periodo de carga de dicho capacitor, ecuación 69, figura #30. A este fenómeno se le asocian daños en los sistemas de distribución como fusibles y cableado, cuando los equipos a operar son varios.

$$I \approx C \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (69)$$

Una manera de prevenir daños en los sistemas de distribución de energía eléctrica es prendiendo un aparato a la vez, o bien limitando la corriente de carga en el capacitor por medio de una resistencia de valor elevado durante su carga y un valor de resistencia muy pequeño cuando este se encuentra cargado, figura #39, el e-switch puede ser un cualquier tipo de switch mecánico, relevador o bien una electrónico como BJT, Mosfet, SCR, Triac, etc.

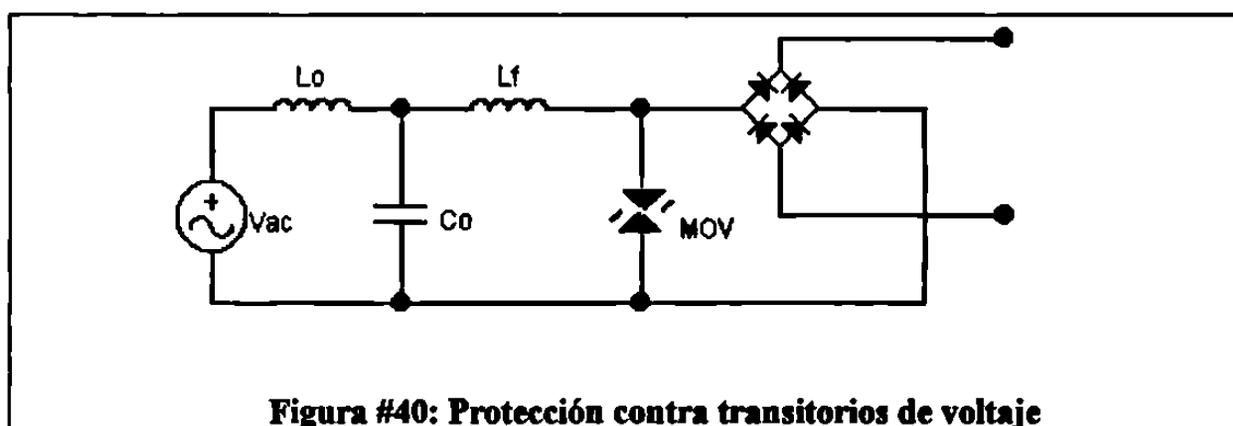
Una manera económica de disminuir esta corriente es colocando una resistencia del tipo NTC “Negative Thermal Coeficient” en serie con la entrada, figura #39b, Dicha resistencia tiene un valor alto a temperatura ambiente y un valor muy pequeño cuando es calentada por la corriente que circula a través ella.



4.5.- Protección contra transitorios de voltaje.

En la practica es bien sabido la existencia de picos de voltaje sobrepuestos en las líneas de alimentación, debido a factores externos como transitorios, cargas inductivas, condiciones meteorológicas, etc., por lo cual se recomienda proteger todo circuito electrónico conectado a la línea de alimentación con un MOV, "Metal Oxide Varistor" el cual se puede modelar como dos diodos zener encontrados, esto con el fin de limitar picos de voltaje a la entrada del sistema en un rango aceptable por los componentes.

Figura #40.



4.6.- Desarrollo del prototipo.

Debido a que el objetivo de esta tesis busca diseñar de una balastro económica con alto factor de potencia y bajo THD, no se incluirán sistemas de protección por fallo de lámpara, protección térmica, fusible electrónico, protección de “in-rush current” en el diseño a nivel prototipo. Solo se incluirá protección a transitorios de voltaje y un fusible de filamento. Ver programa PS10.

El prototipo se basara en una lámpara T8-30W la cual tiene como datos $V_{on}=101V$, $I_{on}=0.36A$, $R_{on}=280$, frecuencia de operación de 35khz.

4.7.- Calculo de Q, Ll, y Cl.

<p>De las ecuaciones 41-44. Oscilación por medio del toroide T1.</p> $Ll=101(180-101)/(30*3.14*2*35k)$ $=1.2mH$ $Cl= 1/((2*3.14*35k)^2*1.2m)=17n$ $Cl'=1/((2*3.14*70k)^2*1.2m)=4.3n$ <p>Q= de 0.5 a 1.05</p> <p>Como se puede jugar con el valor de Cl cuando el toroide T1 nos da la frecuencia de oscilación, el capacitor en paralelo con la lámpara puede variar de 4.3n a 17n. Valores comerciales dentro de ese rango: 4.7n, 6.8n y 10n.</p>	<p>De las ecuaciones 49-51. Oscilación por medio de la resonancia de la carga RLC.</p> $Q=(3.14*101)/(2*127)=1.25$ $Ll=280/(2*3.14*35K*1.25)= 1mH$ $Cl=1/((2*3.14*35k)^2*1m)= 20n$ <p>Se debe verificar que el toroide T1 se encuentre por debajo de saturación.</p>
--	--

Tabla #2. Calculo de parámetros del circuito resonante.

Un buen comienzo es hacer un prototipo con un valor bajo de inductancia por decir 1mH y variar el capacitor entre 10n y 20n. En este punto se puede usar el Pspice como herramienta de simulación usando el programa PS10 y variando los valores de capacitor e inductor. Como no se cuenta con un modelo del comportamiento del toroide T1, solo se podrá tener una idea del comportamiento del balastro.

Este análisis se facilita agregando en el programa PS10 las siguientes líneas.

```
. STEP función modelo- valor inicial - valor final- incremento
.STEP PARAM Cl 10n 20n 5n
.STEP PARAM Ll 0.8m 1.2m 0.1m
```

4.8.- Calculo de Cbk1, Cbk2 y Lr1.

Evaluando las ecuaciones 48 y 56 en términos de Cbk1 y Lr1 se obtiene la frecuencia de retroalimentación:

$$f_{fbk} = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lr1Cbk1}} \quad (70)$$

Por medio de varias simulaciones, manteniendo la frecuencia de resonancia LR1, Cbk1 constante y variando la frecuencia de switcheo se obtuvo como resultado que la mejor corrección de factor de potencia se da cuando se da cuando la frecuencia natural de resonancia del circuito de retroalimentación es menor a la frecuencia de switcheo, ecuación (71):

$$f_{fbk} \approx \frac{2}{\pi} f_s \quad (71)$$

Donde:

f_{fbk} = Frecuencia de resonancia de la retroalimentación

f_s = frecuencia de switcheo

De las ecuaciones (68, 70 y 71) se obtiene que:

$$Cbk1 = 2 \cdot 30 / (35K \cdot 180^2) = 52n$$

$$Cbk2 = \text{de 5 a 10\% del valor de Cbk1 [23]}$$

$$Lr1 = 800\mu H$$

Cbk1 valor comercial cercanos de 56 y 68n

Cbk2 valor comercial entre 4.7 y 6.8n

Lr1 se puede ajustar entre 800u y 1mH

4.9.- Diseño del transformador de oscilación.

De las ecuaciones 33-36

$$I_p = 1.41 * 30 / 101 = 0.42$$

$$N_p = 1.6 * 0.4 / 0.21 = 3$$

$$N_s = 3 / 1.25 = 2.4 \text{ (redondeando a 2)}$$

4.10.- Componentes balastro figura #26.

Parte	Valor	Comentario	Parte	Valor	Comentario
L11	1mH	Baja frecuencia	Cd	22n	>50V
L12	3.6mH	Alta frecuencia	Cr2	47u	>250V
Cl1	.1 a 1u	>250V	Diac	DB3	32V
MOV	-----	-----	Q1-2	XXX13005	-----
DR1-6, D5	1N4007	1A 1000V	R2-3	5	1/2W
DA1-2	1N3907	Fast recovery	T1	3:2	-----
Cbk1	100n	>250V	Ccd	.1 a 1u	>250V
Cbk2	10n	>250V	L1	1 a 1.2mH	-----
Lr1	800u	-----	Cl	10 a 20 nF	>400V
Rd	330K	½ W	R1	T8-30W	-----

Tabla #3 Componentes usados en la balastro de la figura #26.

4.11. - Tabla de componentes balastro figura #45.

Parte	Valor	Comentario	Parte	Valor	Comentario
L11	1mH	Baja frecuencia	Cr2	47u	>250V
L12	3.6mH	Alta frecuencia	Q1-2	MXX4N50	4A/500V
Cl1	.1 a 1u	>250V	R2-3	85	½ W
MOV	-----	-----	T1	10:2	-----
DR1-6	1N4007	1A 1000V	Ccd	.1 a 1u	>250V
Cbk1	100n	>250V	L1	.9 a 1.2mH	-----
Rd	220K	½ W	Cl	10 a 20 nF	>400V
Cd	100p	>250V	R1	T8-30W	-----
DZ1-4	3.6V	1 W			

Tabla #4 Componentes usados en la balastro de la figura #45.

4.12. - Descripción del software a utilizar en el diseño del PCB

El paquete a utilizar es el OrCAD de versión estudiantil, el cual cuenta con algunas limitantes de componentes y diseño. El OrCAD es uno de los paquetes más completos para la captura de circuitos de manera esquemática y el diseño del circuito impreso PCB de este mismo paquete se han desarrollado un gran número de variantes y versiones para sistemas operativos según sean las necesidades del diseñador, en las nuevas versión el Orcad incluye al PSPICE como paquete de apoyo en las simulaciones.

4.13. - Procedimiento para realizar un PCB en casa.

Teniendo las plantillas del circuito impreso, es necesario imprimirlas en un papel especial para PCB por medio de una impresora láser o bien fotocopiarlas en un acetato.

La impresión en el papel especial para PCB o en el acetato se debe planchar en una placa virgen de cobre, hasta que la tinta quede pegada en el cobre, como si fuese una calcomanía.

Posteriormente se introduce la placa de cobre en una solución ácida de cloruro férrico, para eliminar el cobre expuesto.

Por medio de un martillo y un clavo fino se golpean los puntos de inserción de los componentes, esto servirá de guía al momento de usar el taladro.

Posteriormente se taladran los puntos marcados con el clavo, y se procede a lijar con una lija suave de agua, con la idea de remover el sobrante de tinta, o bien usar algún solvente.

De este punto en adelante solo resta colocar los componentes, soldar y probar el circuito final.

5 ETAPA DE PRUEBAS

5.1. - Equipo a usar.

En este capítulo se estudiara y definirá el equipo a usar en las pruebas a balastros electrónicos como lo son señales de entrada y salida.

XITRON Technologies 2503AH: Analizador de Potencia, con capacidad de análisis de THD, Factor de Potencia, corrientes, Voltajes, Potencia en tres canales.

KIKISUI PCR SOOL: Fuente de poder AC regulada con frecuencia y voltaje ajustable.

Tektronix AM503: Amplificador de corriente.

Fluke 8921A: Multímetro con TRUE-RMS, voltajes y corrientes.

Pearson 411: Sensor de corriente 0.1Volts/Ampere

Wavetek 27XT: Multímetro, Resistencia, Capacitancia, Inductancia, Frecuencia.

5.2. - Medición de prototipos

Parámetro	Balastro 1	Balastro2	Balastro 2'
Vin	126.9V	126.9V	126.9V
Iin	515mA	316.0mA	347.5mA
Pin	35.5W	39.75W	43.78W
THD	82.65%	4.81%	3.58%
PF	54.3%	99.1%	99.3%
VI	93.58V	85.96V	70.30V
II	336.0mA	309.0mA	252.6mA
Freq	32.277Khz	25.08Khz	22.0Khz
PI	31.3W	26.37W	17.63W
Eff	88.2%	66.3%	40.28%

Tabla #5.- Medición de parámetros en el prototipo de la figura #26

- Vin:= Voltaje de entrada ACrms
 Iin:= Corriente de entrada ACrms
 Pin:= Potencia de entrada
 THD:= distorsión Total de armónicos
 PF:= Factor de Potencia
 VI:= Voltaje en la lámpara ACrms
 II:= Corriente en la lámpara ACrms
 Freq:= Frecuencia de operación en lámpara
 PI:= Potencia en entregada a la lámpara
 Eff:= Eficiencia relación de Potencia entregada entre Potencia consumida.

Balastro 1: Balastro sin retroalimentación

Balastro 2: Balastro con retroalimentación (BJT)

Balastro 2': Mismo balastro, tiempo antes de efecto avalancha. (Ver comentarios.)

5.3. - Análisis de entrada.

Menor demanda de corriente (515 vs. 316mA).

Reducción de armónicos en la corriente de entrada (82.65 vs. 4.81%)

Mejor factor de potencia. (54.3 vs. 99.1%)

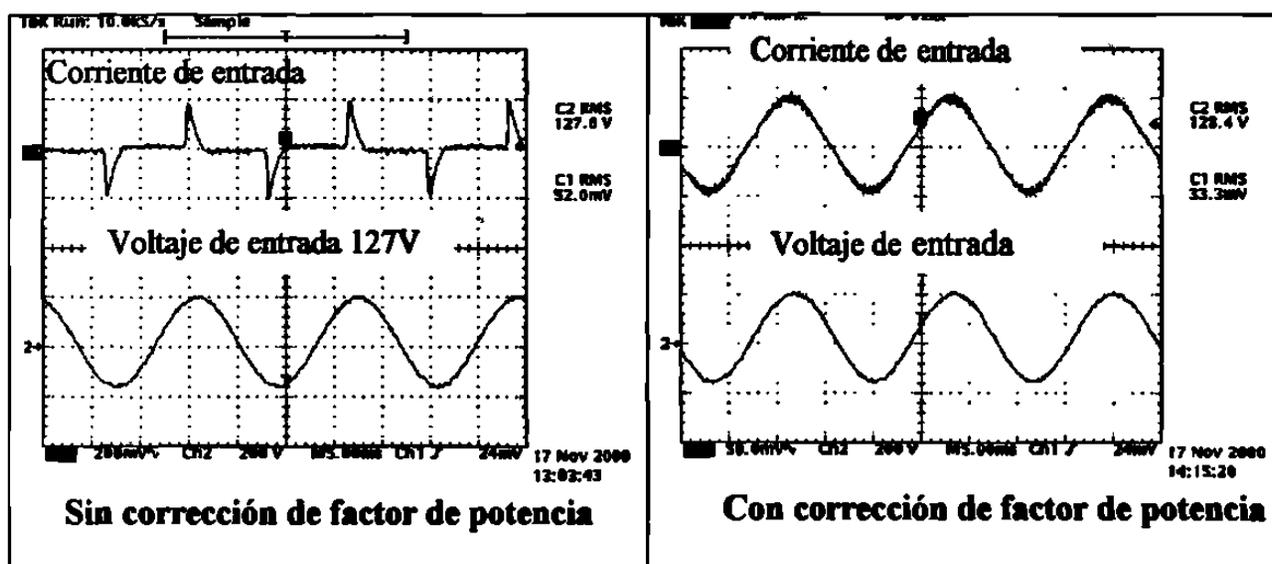


Figura #41 Comparación entre la señal de corriente de entrada de un balastro sin Corrección del factor de potencia y con corrección del factor de potencia (propuesta de tesis)

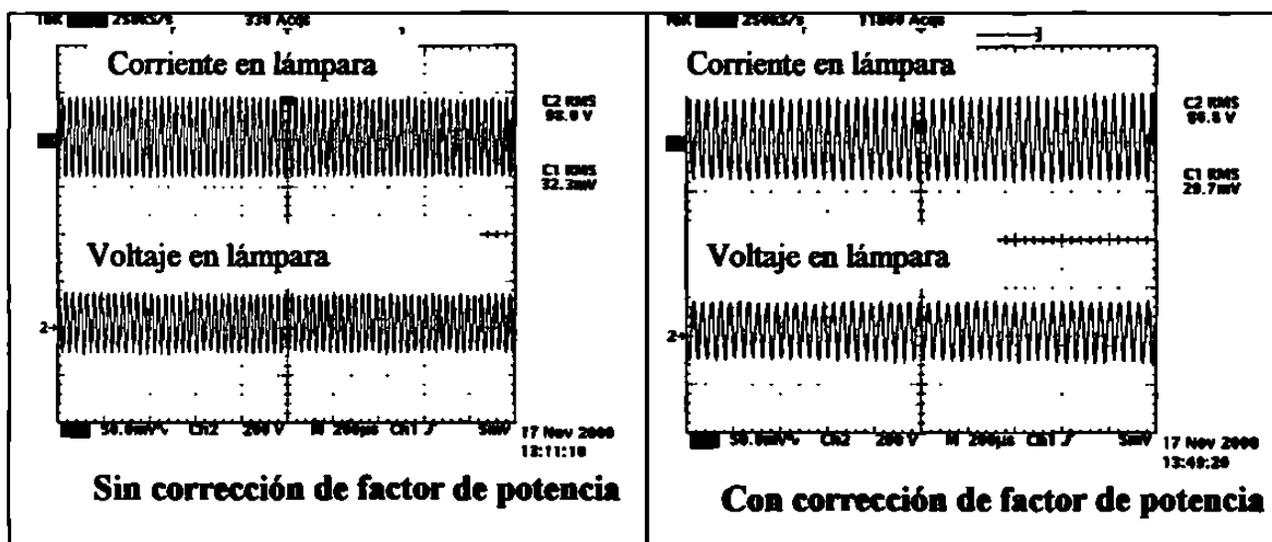


Figura #42 Comparación entre la señal de salida de un balastro sin Corrección del factor de potencia y con corrección del factor de potencia (propuesta de tesis)

Obsérvese como disminuye la frecuencia de oscilación al conectar la retroalimentación la cual trae algunos problemas, los cuales se discutirán a continuación.

5.4. - Análisis de salida.

La potencia del balastro propuesto disminuye al igual que la eficiencia, esto se debe a 2 efectos relacionados entre sí, reducción de la frecuencia de switcheo y el fenómeno “active switching”, el cual provoca un mal funcionamiento de los transistores. Dichos efectos se discuten a continuación:

El circuito de retroalimentación (segundo circuito resonante) disminuye la frecuencia de oscilación del sistema de salida entregando menos potencia a la lámpara.

A continuación se analizará con más detalle la función de transferencia de la carga RLC y la impedancia así como su comportamiento en el dominio de la frecuencia, sin considerar el circuito de retroalimentación.

El capacitor C está en paralelo con R y estos a su vez en serie con el inductor L. De una división de Voltaje se obtiene que:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{Z_c R}{Z_c + R}}{\frac{Z_c R}{Z_c + R} + Z_l} \quad (72)$$

Donde:

$$Z_c = \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z_l = j\omega L$$

R = Resistencia lámpara

Agrupando términos tenemos que:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1 - \omega^2 LC) + \frac{j\omega L}{R}} \quad (73)$$

Sacando la magnitud y sustituyendo de las ecuaciones 42 y 44 en la ecuación 73 se obtiene. (recordemos que $\omega = 2\pi f$)

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\omega S}{\omega Q}\right)^2 + \left(1 - \left(\frac{\omega S}{\omega}\right)^2\right)^2}} \quad (74)$$

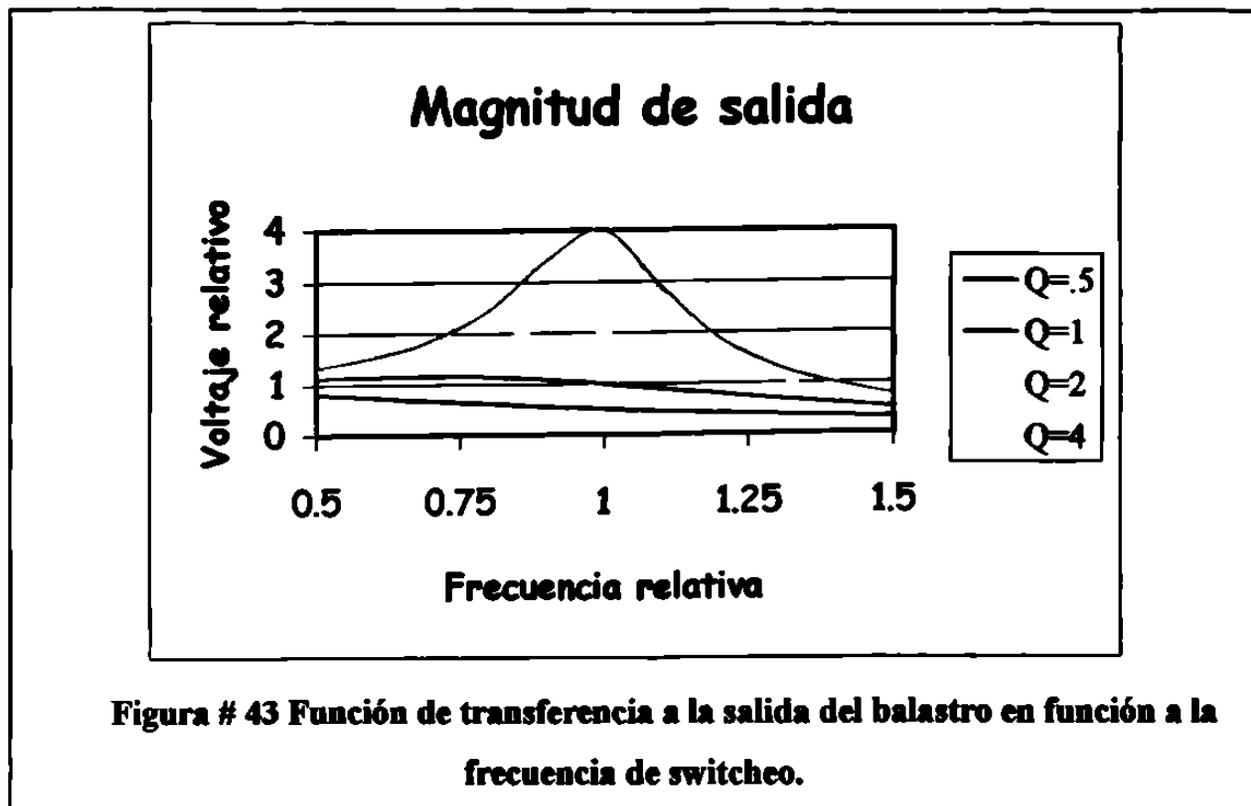
Donde:

ω_s = frecuencia de switcheo

ω = frecuencia natural de oscilación

Q = Factor de calidad

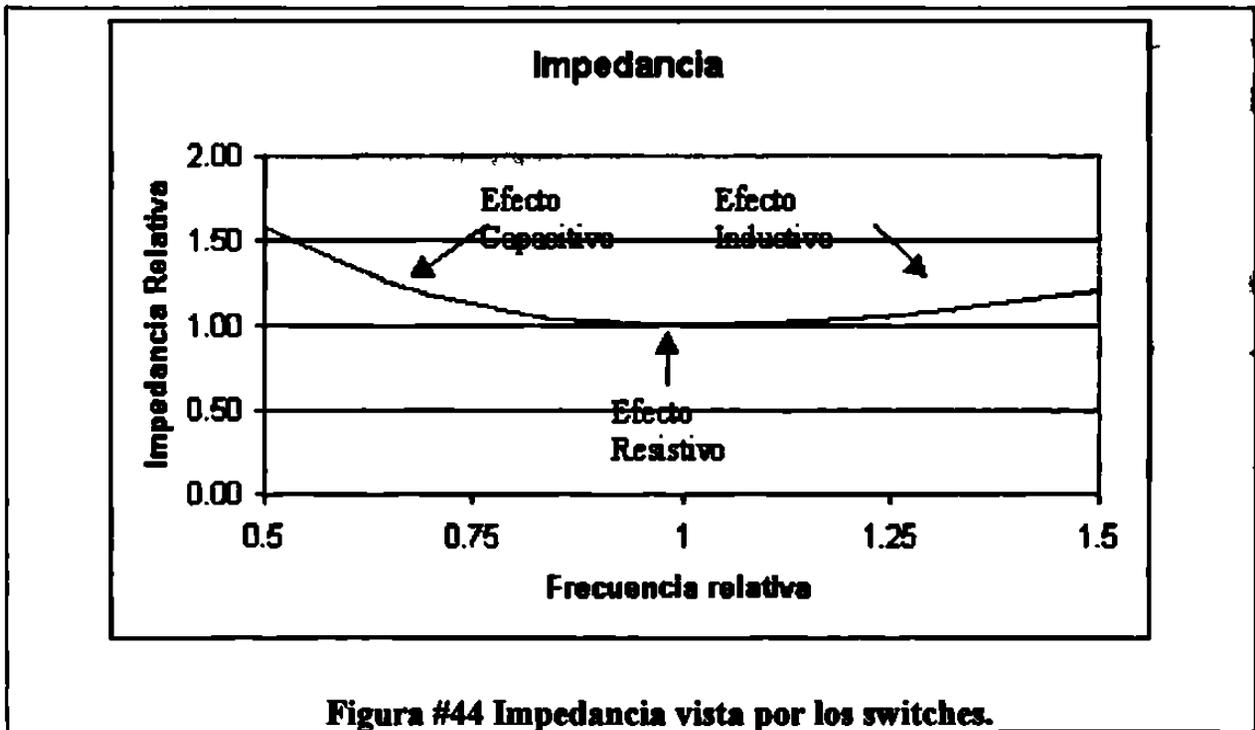
Graficando la ecuación (74) en la figura # 43 nos damos que cuenta la salida depende de Q y de la frecuencia de switcheo siendo esta máxima a la frecuencia de resonancia e incrementándose al incrementar el valor de Q. Como se puede observar una disminución de frecuencia de switcheo disminuye el voltaje entregado a la lámpara y por consecuente baja la potencia.



Para entender el efecto “active switching” es conveniente analizar la impedancia vista por los switches. La impedancia es la relación de Voltaje “V” a Corriente “I” y esta dada por la siguiente expresión:

$$\frac{V}{I} = Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \quad (75)$$

De la ecuación 75, se aprecia que a la frecuencia de resonancia la impedancia vista por los switches, es puramente resistiva. Conforme la frecuencia de switcheo aumenta predomina el efecto Inductivo y si la frecuencia de switcheo disminuye predomina el efecto Capacitivo, Figura #44.



Si la frecuencia de switcheo, w_s , es menor a la frecuencia natural, w , se aprecia de la figura # 44 que predomina el efecto capacitivo, la corriente adelanta al voltaje, con V positivo, I se hace negativa antes que el voltaje cambie de estado. En condiciones de encendido los transistores tienen un voltaje y corriente finita provocando pérdidas de switcheo en los transistores [7], "active switching". Estas pérdidas se transforman en calor forzando al transistor a conducir más corriente hasta entrar en modo de avalancha, provocando la falla del componente.

Nota: El efecto avalancha se refiere a un incremento de corriente de colector aun manteniendo la misma corriente de base.

En caso contrario si la frecuencia de switcheo, w_s , es mayor a la frecuencia natural, w , se aprecia de la figura #44 que predomina el efecto inductivo, la corriente I atrasa al voltaje V . Bajo este esquema de operación se reducen las pérdidas asociadas al switcheo ya que los transistores prenden y apagan bajo condiciones de cero voltaje antes de que I cambie de estado [7].

Para asegurar que la frecuencia de switcheo sea mayor a la frecuencia natural y evitar este problema se puede fijar la frecuencia de oscilación del balastro por medio del toroide T1 o bien un circuito integrado.

Para aumentar la frecuencia de operación por medio de T1 es necesario disminuir el numero de vueltas del primario, (actualmente, 3:2) para asegurar la saturación de la ferrita. Por otra parte la corriente de base se incrementaría con respecto a la corriente del colector; provocando el efecto avalancha con mayor facilidad, ya que la corriente de base debe ser menor a la corriente del colector.

Para evitar lo anterior se pueden usar MOSFET, ya que la corriente a través de él no depende de la corriente en la compuerta (analogía de corriente de base), sino más bien del voltaje en ella. Por lo que la relación de vueltas se puede manejar con mayor facilidad. Aumentando de este modo la frecuencia de operación y evitando el modo de operación "Active Switching".

Por otra parte y con el fin de mantener el voltaje en los transistores lo más constante posible se puede eliminar el inductor del segundo circuito resonante (L_{r1}) y aumentar el valor de la capacitancia (C_{bk1}) retroalimentado corriente en ves de voltaje, figura #45.

Nota: los Mosfets son más sensibles al voltaje que a la corriente, por lo que es necesario mantener el voltaje lo mas constante posible dentro de los limites de operación.

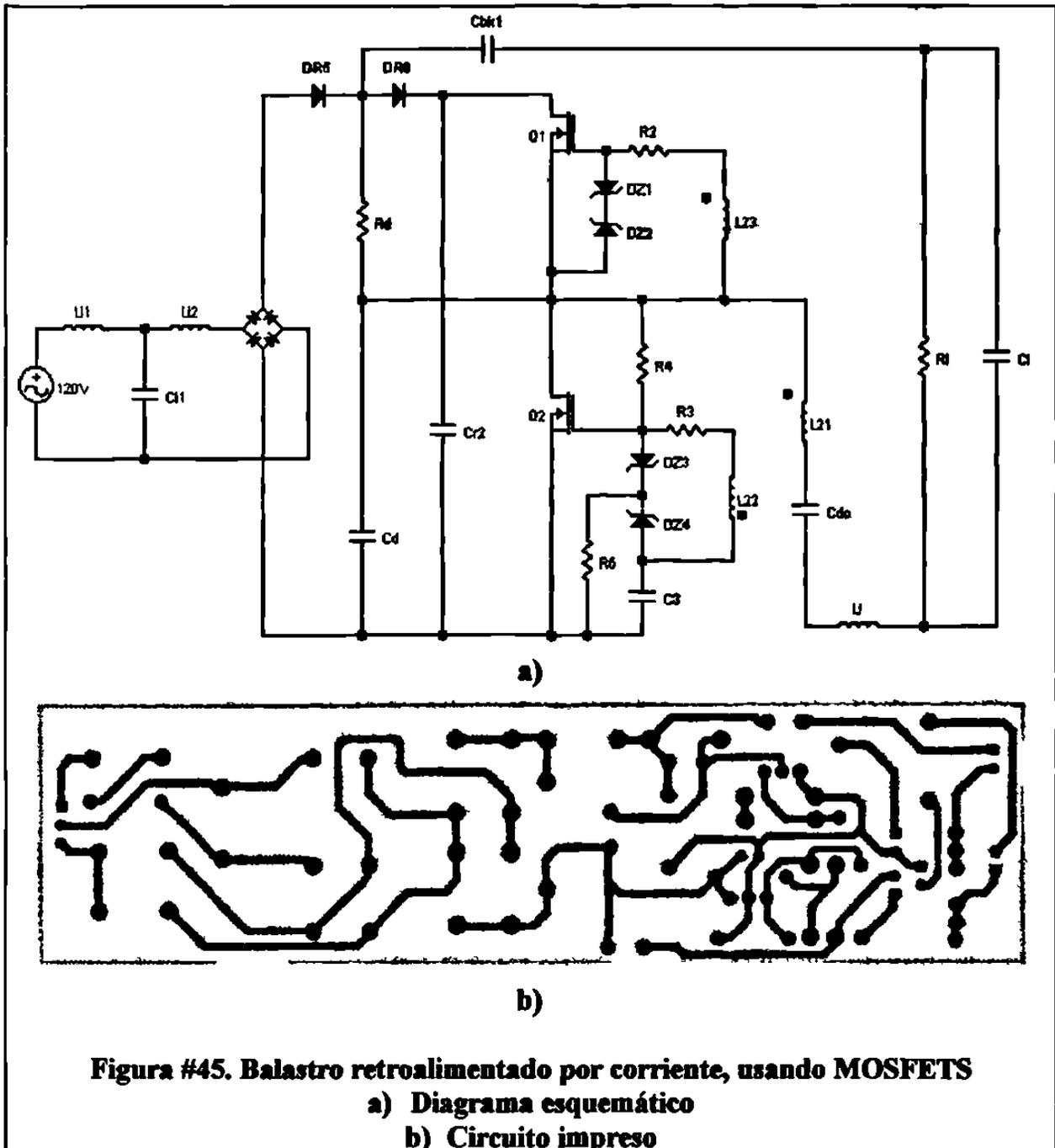


Figura #45. Balastro retroalimentado por corriente, usando MOSFETS

a) Diagrama esquemático

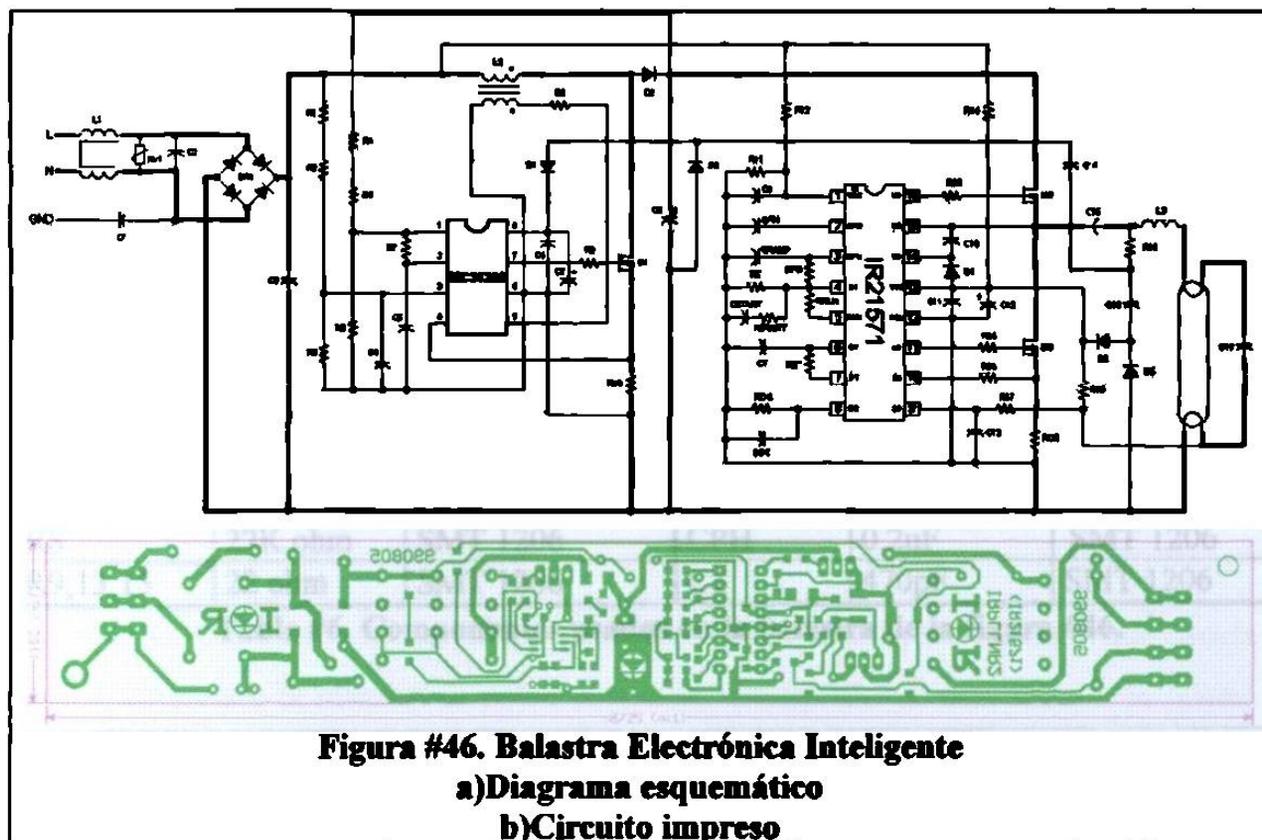
b) Circuito impreso

El calculo de los componentes es idéntico al usado en el balastro propuesta con transistores bipolares, BJT, figura #26.

No se puede usar el DIAC para arrancar este balastro dado que se requiere de voltaje en la compuerta para comenzar la oscilación. El capacitor C3 se carga hasta alcanzar el voltaje de regulación del Zener, en este momento el capacitor se descarga abruptamente a través de R4 y DZ4 produciendo un voltaje en la compuerta igual al voltaje del zener. Comenzando de esta manera la oscilación.

Otra de las funciones de los diodos zener es proteger la compuerta de los MOSFETS manteniendo un voltaje en la compuerta no mayor a 3.6V.

Para saber si este trabajo fue exitoso es necesario comparar el circuito prototipo de las figuras #26 y 45 con su equivalente, usado típicamente en balastras electrónicas inteligentes figura #46 y las tablas #3 ,4 y 6 respectivamente.



Notas:

Véase el uso de componentes de montaje superficial y los circuitos especializados MC34267 e IR21571, corrección de factor de potencia y manejo del “Half-Bridge” respectivamente.

El diagrama esquemático, Circuito impreso de la figura #46 y los componentes a utilizar, se obtuvieron por medio del software “Ballast Design Assistance” BDA de la compañía IR [26]. En la figura #47 se muestra la bienvenida a dicho software.

Parte	Valor	Comentario	Parte	Valor	Comentario
BR1	1A 1000V	Puente diodos	R12	2.2Meg ohm	¼ Watt
C1	2.2nF	275V, Y Cap	R14	390K ohm	¼ Watt
C2	0.33uF	275V	R16	1K ohm	SMT 1206
C3	0.01uF	400V	6R18	2.2Meg ohm	SMT 1206
C4	0.01uF	SMT 1206	R19	100K ohm	¼ Watt
C5,13	0.47uF	SMT 1206	RV1	MOV	
C6,9,OC1,10,11	0.1uF	SMT 1206	CC8	0.2uF	450V
C7	4.7uF	50V	R11,RPH	130K ohm	SMT 1206
C12	1uF	50V	M1,2,3	MOSFET	
C12,14	1.5nF	1KV, SMT 1812	R10	0.39 ohm	½ Watt
C15	0.1uF	400V	R6	8.2K ohm	SMT 1206
C16	1nF	1KV, SMT 1812	L2	1.1mH	Inductor de Boost
D1,3,5,6	1N4148	SMT DL35	L3	2.3mH	
D2,4	SMT SMB		C17	0.01uF	1.6KV
IC1	MC34262	PFC IC	CSTART	3.9nF	SMT 1206
IC2	IR27571	Balastro IC	CRAMP	0.075uF	SMT 1206
L1	10mH	Inductor EMI	RDT	3K ohm	SMT 1206
R1,2,4,5,17	680K ohm	SMT 1206	RT,ROC	27K ohm	SMT 1206
R3	10K ohm	SMT 1206	RCS	0.68 ohm	½ Watt
R7	100K ohm	SMT 1206	RRUN	160K ohm	SMT 1206
R8	22K ohm	SMT 1206	CPH	0.2uF	SMT 1206
R9,13,15	22 ohm	SMT 1206	CT	470pF	SMT 1206

Tabla #6. Componentes usados en la balastra de la figura #46.

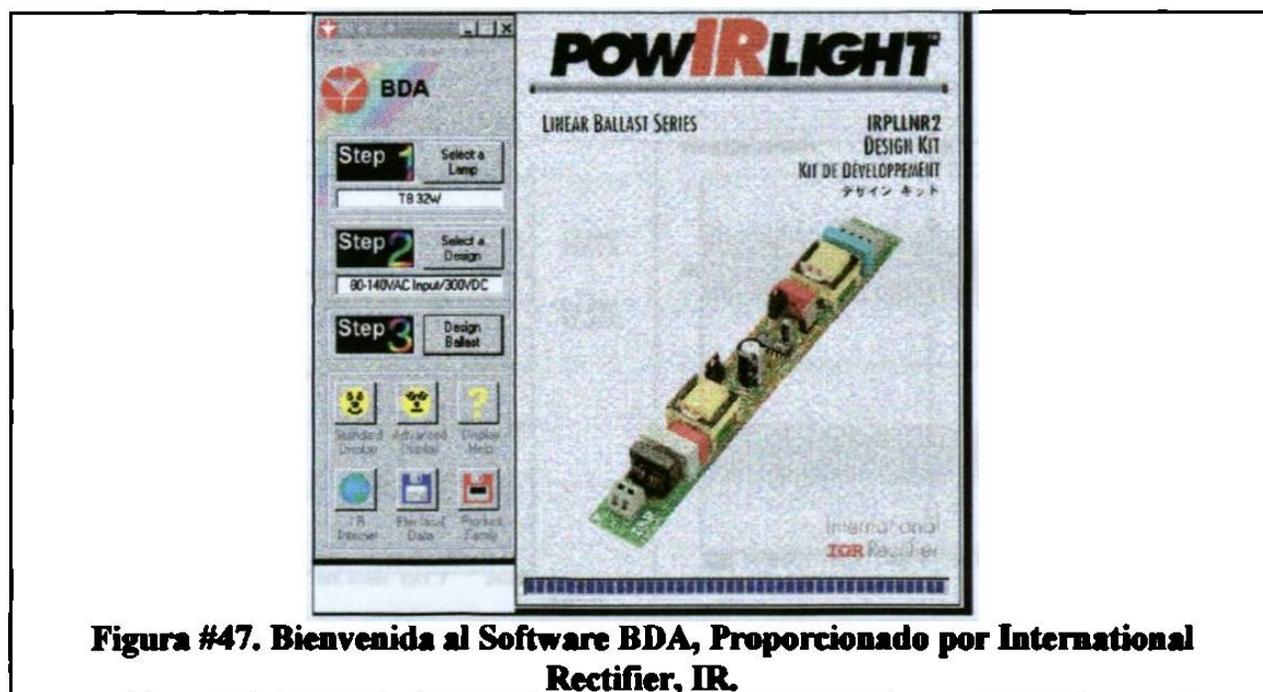


Figura #47. Bienvenida al Software BDA, Proporcionado por International Rectifier, IR.

5.5. - Resultados y Comentarios.

La tabla 7, presenta los resultados de los diferentes balastos "Half-Bridge" mostrados en las figuras #8, 26 y 45.

Parámetro	Balastro 1 (Figura #8)	Balastro 2 (Fig. #26)	Balastro 3 (Fig. #45)
Vin [V]	126.9	126.9	126.97
Iin [mA]	515	316.0	280.7
Pin [W]	35.5	39.75	34.86
THD [%]	82.65	4.81	14.73
PF [%]	54.3	99.1	97.78
Vl [V]	93.58	85.96	154.90
Il [mA]	336.0	309.0	191.40
Freq [KHz]	32.27	25.08	47.98
Pl [W]	31.3	26.37	29.40
Eff [%]	88.2	66.3	84.34

Tabla #7 Medición de parámetros en el prototipo de la figura #8, 26 y 45.

Nota: Para reducir el costo de los MOSFETS a usar se redujo la corriente que circula por la lámpara a la mitad y se doblo el voltaje, entregando de esta manera la misma potencia a la lámpara.

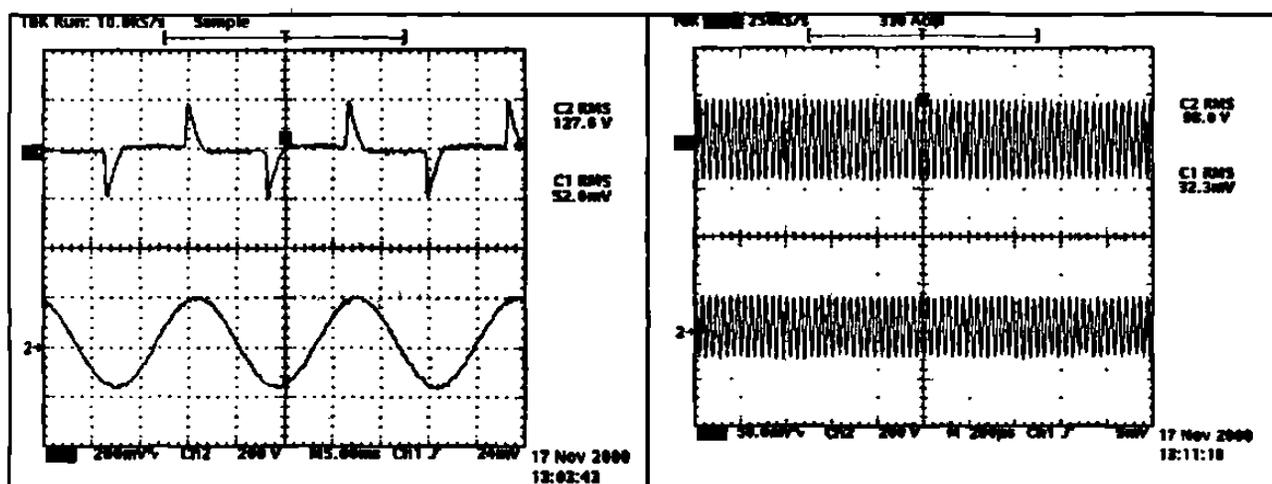
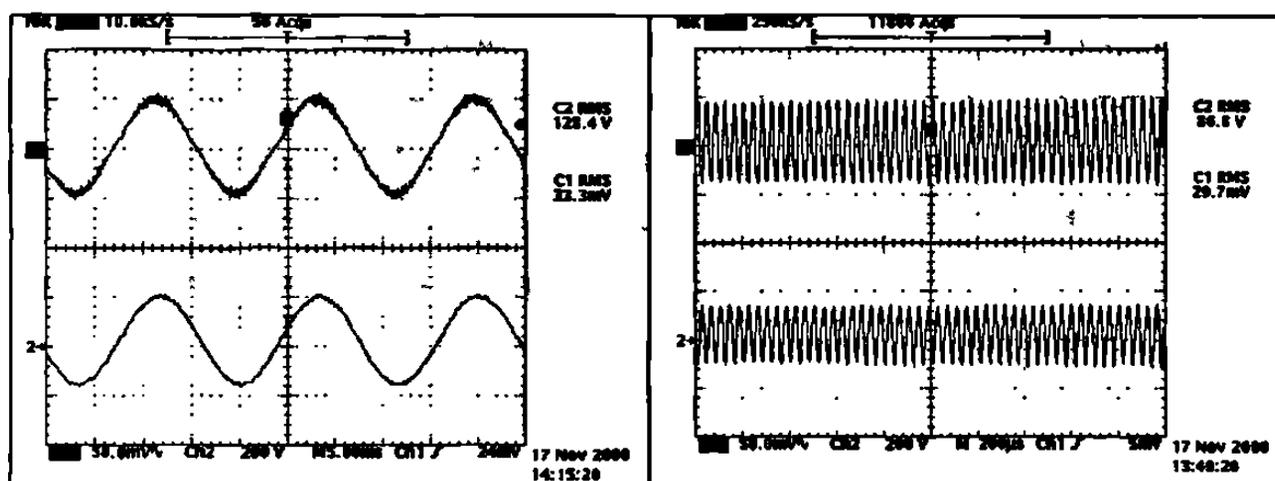
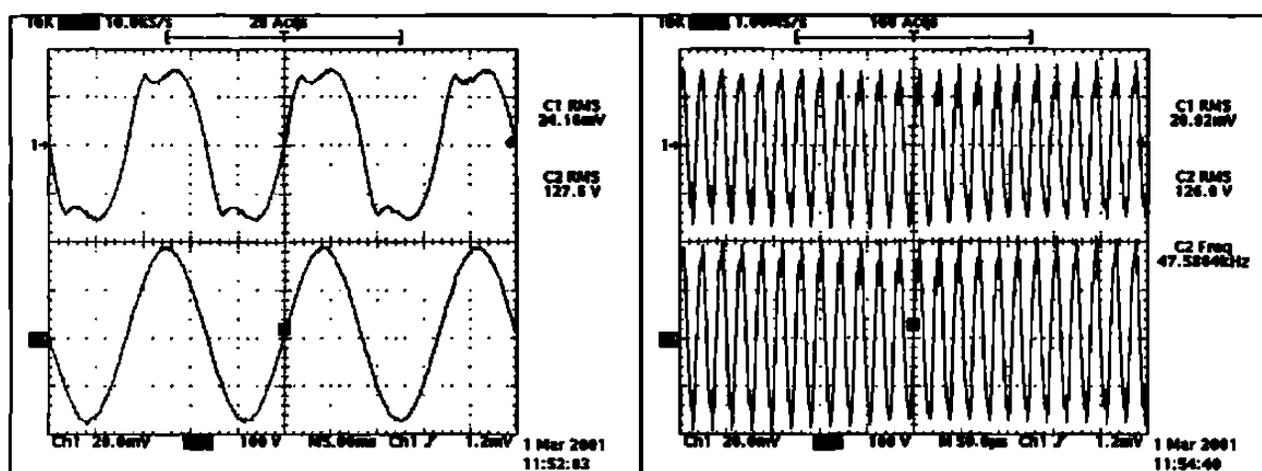


Figura #48. Formas de onda de entrada y salida de la balastro de la figura #8. Bajo Factor de Potencia.



**Figura #49. Formas de onda de entrada y salida de la balastra de la figura #26.
Alto Factor de Potencia.**



**Figura #50. Formas de onda de entrada y salida del balastro de la figura #47.
Alto Factor de Potencia.**

De la tabla #7 se concluye que el objetivo de diseñar una balastra de alto factor de potencia ($>90\%$) y bajo THD ($<20\%$) fue satisfecho.

El circuito de la figura #8 presenta una señal de corriente de entrada muy abrupta, además no está en fase con el voltaje de entrada, teniendo un bajo factor de potencia y alta distorsión armónica. El circuito de la figura #26, presenta una corriente de entrada senoidal en fase con el voltaje de entrada; mientras que el circuito de la figura #47, presenta una señal casi-senoidal en fase con el voltaje de entrada. En ambos casos se obtuvo un alto factor de potencia, $>90\%$, y un bajo contenido de armónicos, $<20\%$.

Como se observo en los diferentes prototipos, es recomendable trabajar bajo condiciones de saturación de T1 a trabajar bajo la frecuencia natural de resonancia dada por la carga, evitando así el "Active Switching", el cual también se presenta en el uso de Mosfets. Por esta razón se aumento la frecuencia de 32 a 47Khz cambiando la relación de vueltas en el toroide de oscilación.

6. - PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DEL PRODUCTO

6.1. -Objetivos.

Definir y priorizar las características funcionales del producto.

- **Parámetros de la lámpara(s)**
- **Tipo de lámpara**
- **Frecuencia de operación**
- **Consumo de Energía**
- **Factor de potencia**
- **Luminosidad**
- **Costo**
- **Tiempo de vida y garantía**
- **Dimensiones**

Identificar los requerimientos de operación.

- **Medio ambiente (temperatura, vibración, ventilación).**
- **Características de seguridad.**
- **Características de voltaje de alimentación.**

Realizar investigación y análisis comparativo de productos similares, verificando:

- **Productos existentes en el mercado**
- **Publicaciones recientes para conocer el estado del arte del producto**
- **Exposiciones y conferencias**
- **Patentes relacionadas con el producto**

Evaluar el comportamiento, costo y complejidad de diferentes esquemas o diagramas utilizando modelos computacionales para simular el funcionamiento del producto o de sus diferentes etapas.

Analizar diferentes alternativas de adquisición de insumos, tanto de componentes como de materiales:

- **Desarrollando una lista de proveedores que manejen los componentes y el material requerido.**
- **Analizando el costo de partes y materiales y la capacidad de los proveedores, tanto en cantidad, como en tiempos de entrega y facilidades de pago.**

Desarrollar una base de datos con las características técnicas y especificaciones de cada parte a utilizar y de posibles sustitutos.

Determinar las pruebas funcionales de seguridad y de certificación requeridas, a partir de:

- **Publicaciones sobre el producto.**
- **Manuales**
- **Normas o estándares nacionales a internacionales.**

Evaluación preliminar de los modelos propuestos, verificando el cumplimiento de las especificaciones para el desarrollo a implementación de prototipos.

Obtener las características funcionales de los prototipos realizando mediciones de señales eléctricas, de luminosidad y de temperatura de operación.

Analizar los resultados experimentales para proponer un prototipo a manufactura.

Documentar las características del producto y definir los requerimientos de manufactura, determinando:

- **El diagrama eléctrico y el esquemático para ensamble.**
- **La lista de componentes con valores nominales, tolerancias y sustitutos.**
- **La secuencia de ensamble de partes y componentes.**
- **El tipo de pruebas en línea y los criterios de aceptación.**
- **El procedimiento de reparación.**

Realizar una corrida piloto de pre-producción evaluando el desempeño del prototipo en producción y documentando los principales problemas.

Definir componentes críticos y los que por su funcionamiento necesitan ser apareados.

Establecer un sistema de retroalimentación de los resultados de la preproducción a diseño y a ingeniería de manufactura.

7.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE ENTRADA Y LIBERACIÓN DEL MATERIAL

7.1.- Objetivo.

Asegurar la calidad y las características del material de entrada utilizando técnicas estadísticas de muestreo y clasificación de componentes, además de involucrar y retroalimentar al proveedor.

7.2.- Inspección de entrada.

Una vez definida la lista de partes y materiales, es importante identificar los componentes más críticos de la balastra electrónica que necesiten ser inspeccionados.

El producto que requiera pruebas de inspección de entrada o sorteo para clasificación debe estar previamente identificado.

Cada una de estas partes debe contar con una hoja de especificación donde se establezca el procedimiento de inspección para dicho material o componente en particular.

En dicha hoja se debe incluir:

- Tipo de inspección o prueba de entrada requerida (eléctrica, estética, dimensional, etc.)
- Procedimiento de prueba a inspección
- Parámetro(s) a evaluar
- Equipos o instrumentos de medición requeridos, su procedimiento de operación y rutina de calibración
- Tamaño de muestra que se inspeccionará, de acuerdo con los antecedentes del producto
- Criterios de aceptación y de rechazo del producto
- Valores nominales y variación permitida de variables observadas
- Disposición del producto en caso de no cumplir satisfactoriamente la inspección

Las pruebas de inspección de entrada se deben llevar a cabo en una área que evite la mezcla o confusión de componentes detenidos para inspección o destinados a producción.

7.3.- Liberación de Material

Se debe llevar registro de la información y fecha de producción del lote a inspeccionar, además se detendrá el lote del producto en inspección hasta que ésta halla sido terminada, y solo se liberará el lote si se cumplieron satisfactoriamente las pruebas.

Si los resultados de la inspección cumplen satisfactoriamente con los criterios de aceptación, el lote se destinará a la línea o al almacén de producción con la identificación correspondiente de producto aceptado.

Si los resultados de la inspección no cumplen satisfactoriamente con los criterios de aceptación, el material deberá separarse. En este caso se recomienda identificar el lote como rechazado tomar alguna de las siguientes acciones para su disposición:

- Re-inspeccionar el lote completo para separar el producto aceptable del rechazado.
- Regresar el producto al proveedor.
- Enviar el lote al rechazo no recuperable.

El material rechazado en inspección de entrada se deberá mantener fuera del área de producción.

Aún cuando el volumen de consumo de un componente crítico no sea significativo, es muy importante:

- Documentar y revisar el análisis estadístico de los parámetros medidos
- Relacionarlo con el funcionamiento del producto final
- Involucrar al proveedor en el desempeño de su producto, implementando un sistema de retroalimentación mediante un reporte periódico de calidad, representando el comportamiento y la tendencia del material recibido.

Se incluye una forma de captura de información y un diagrama de flujo para el procedimiento de inspección de entrada. Ver anexos.

8.- PROCEDIMIENTO DE MANUFACTURA Y ENSAMBLE

8.1.- Objetivo.

Desarrollar un sistema de control de procesos que permita establecer el flujo adecuado de material a información en el proceso productivo para asegurar la calidad de los productos manufacturados.

8.2.- Ensamble.

Definir el diagrama de proceso.

Cada estación de ensamble debe contar con un diagrama de los componentes que se ensamblan en ella.

Los componentes con polaridad o los que por su posición de ensamble son críticos deberán ser identificados (realzados) en los diagramas y apoyos visuales.

Elaborar las hojas de operación y secuencia de ensamble en cada estación,

Desarrollar el procedimiento para componentes preformados y sub-ensambles.

El material para ensamble disponible en la línea deberá estar en contenedores identificados.

Desarrollar el procedimiento de identificación de modelo y lote embarcado, código de fecha de manufactura y revisión.

Los componentes apareados deberán estar identificados con sus valores nominales. Para iniciar el proceso de ensamble del producto se deberá contar con la siguiente información en la línea:

- **Diagrama eléctrico del modelo.**
- **Lista de materiales.**
- **Diagrama esquemático.**
- **Diagrama de colocación de componentes y secuencia de ensamble.**
- **Prototipo para manufactura validado por pruebas eléctricas y de luminosidad.**
- **Desarrollo de pruebas eléctricas y funcionales.**
- **Apoyos visuales de ensamble y de polaridad de componentes.**
- **Identificación de contenedores.**

Es muy importante definir un sistema de documentación de fallas para generar un banco de información para retroalimentar a las áreas de ingeniería de proceso y diseño,

8.3.- Soldadura.

Determinar la relación soldadura/flux óptima para el proceso de soldado.

Definir los parámetros óptimos de tiempo y temperatura de inmersión de las tablillas en la soldadura.

**Establecer el procedimiento de monitoreo de los parámetros tiempo de inmersión
Temperatura de la soldadura en el pozo.**

**Establecer un muestreo de circuitos para inspección y análisis de la calidad de las
uniones de soldadura de puntos críticos.**

**Revisar las operaciones de corte y retoque de terminales de soldadura
periódicamente,**

**Asimismo, la información sobre rechazos deberá ser adecuadamente documentada
para análisis posteriores.**

9.-PROCEDIMIENTO PARA EL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD, INSPECCIÓN Y PRUEBA DEL PRODUCTO

9.1.- Objetivo.

Minimizar los problemas de manufactura mediante la verificación de las características del lote, obteniendo un muestreo de producción para documentación y análisis, detectando y deteniendo todos aquellos productos que puedan llegar a fallar en operación.

9.2.- Inspección visual

El 100% del producto se debe inspeccionar para detectar problemas de inserción de componentes, componentes fracturados o dañados y la calidad de la soldadura. Esta inspección se realizará visualmente y cada tablilla aceptada será identificada con una marca de aceptada.

En las hojas de inspección por modelo en donde se especifican las características de los componentes correspondientes, y en caso necesario, la polaridad y el apareamiento de los mismos, se debe.

- Verificar que no haya componentes faltantes o mal ensamblados.
- Verificar que los componentes no presenten daño físico.
- Verificar que los componentes con polaridad estén colocados correctamente (diodos, capacitores electrolíticos y transistores).
- Verificar que los componentes apareados sean del mismo valor nominal.
- Verificar que no existan daños en las pistas de los circuitos impresos como pistas rotas, fracturas, etc.
- Verificar que los componentes y los cables estén bien asentados y no estén haciendo corto entre ellos mismos.

Si la tablilla presenta algunos de los problemas antes listados se enviará a la estación de re-trabajo con previa identificación de la falla. Una vez reparada la falla el producto retornará a la etapa de inspección con la identificación de re-trabajo y el tipo de re-trabajo al que fue sometido.

Si el tipo de falla es crítica o la razón de rechazos sobrepasa la especificación, se deberá retroalimentar a la etapa del proceso responsable de la falla o la etapa donde pueda solucionarse antes de la estación de inspección. Se deberá asegurar que los productos previamente ensamblados, del mismo lote, estén libres de esta falla.

Apoyo visual de defectos de ensamble y de soldadura.

9.3.- Pruebas eléctricas.

Establecer procedimiento y especificaciones de pruebas eléctricas.

Establecer un sistema de captura y análisis de información de defectos eléctricos.

Las pruebas eléctricas de encendido en línea, se deben realizar mediante un interruptor de On/Off (con el fin de detectar efectos estroboscópicos). Estas pruebas se llevarán a cabo al 100% de los productos ensamblados. El tipo de pruebas y sus valores nominales están establecidos en las especificaciones de cada modelo.

Todo producto probado y aceptado se marcará para identificarlo como aceptado. Si el producto es rechazado se retirará de la estación de prueba y se pasará a la estación de re-trabajo para su análisis, previa documentación del tipo de falla.

Si el tipo de falla es crítica se deberá retroalimentar a la etapa del proceso responsable de la falla o la etapa donde la falla pueda solucionarse antes de la estación de prueba. Se deberá asegurar que el producto previamente ensamblado, del mismo lote, esté libre de fallas.

Todas las especificaciones sobre pruebas en línea deben estar documentadas y disponibles en un lugar visible de la estación de prueba.

Establecer procedimiento para determinar causa raíz de los defectos eléctricos,

Ajustar la salida a una lámpara estándar para que la corriente de la lámpara se encuentre dentro de los límites.

Las lámparas de prueba deben ser cambiadas periódicamente para evitar errores de baja luminosidad por efectos del envejecimiento.

Analizar las fallas y reportarlas, en caso de que se defina como defecto crítico por falla de un componente.

Las pruebas eléctricas funcionales por lote se deben llevar a cabo en una muestra de cada lote producido, Estas pruebas están establecidas en las especificaciones de cada modelo

- **Emisión de armónicos**
- **Factor de potencia**
- **Intensidad luminosa**
- **Corriente de consumo**
- **Potencia real**
- **Potencia aparente**
- **Señal de entrada/salida**
- **Frecuencia de operación.**

El lote del producto en pruebas se detendrá hasta que estas hayan concluido, Solo se liberará el lote si cumplió satisfactoriamente con las pruebas.

Todo producto probado y aceptado se deberá identificar como lote aceptado por el área de calidad.

Sí no se presentan fallas, el lote será liberado al almacén de producto terminado con previa documentación de las características del lote.

Sí la muestra presenta rechazos, todo el lote se detendrá para realizar una prueba más representativa.

Si se presentan rechazos todo el lote se detendrá para análisis, actividad en la cual deberá participar tanto el área de diseño como la de producción.

Todas las pruebas efectuadas a cada uno de los lotes deberán ser adecuadamente documentadas para futuros análisis y revisiones de calidad del producto.

10.-PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE FALLA DE RECHAZOS EN EL CLIENTE

10.1.- Objetivo.

Determinar a través del análisis de fallas la causa raíz de los problemas y establecer las acciones preventivas y correctivas necesarias.

Establecer procedimientos de análisis de falla para determinar la causa raíz de los defectos.

Establecer procedimientos para retroalimentación a las áreas de diseño y manufactura.

10.2.- Recepción y análisis del producto rechazado.

El producto recibido del cliente por fallas en el campo deberá ser adecuadamente documentado en las hojas de reporte de recepción de producto fallado, y se deberá proceder a un análisis exhaustivo de producto.

En el anexo se presenta un formato para la recepción de material con fallas del cliente.

Para llevar a cabo el análisis se deberá:

- **Determinar el modo de falla del producto.**
- **Investigar las condiciones de operación al que fue sometido el producto,**
- **Investigar si el lote con fallas presentó problemas durante la etapa de producción.**
- **Analizar las condiciones eléctricas actuales del producto.**
- **Realizar las pruebas eléctricas requeridas para determinar las causas potenciales de falla.**
- **Evaluar las posibles causas de la falla.**
- **Determinar el mecanismo de falla,**

Una vez establecido el mecanismo de falla del producto, se procederá a retroalimentar, a las diferentes áreas involucradas con el problema, informando sobre los resultados obtenidos y las conclusiones del análisis.

Si la falla esta directamente relacionada con la aplicación del cliente, se deberá revisar las especificaciones del producto para establecer si éste producto tiene la capacidad de trabajar bajo las condiciones del cliente.

Si la falla se debe a consideraciones de diseño, éste deberá someterse a revisión. El producto que se este manufacturando con el diseño sin revisar deberá pasar por pruebas de aseguramiento de calidad antes de ser enviado al mercado.

Si la falla tuvo su origen en el proceso de manufactura, se deberán establecer mecanismos que prevengan y eviten la recurrencia de este problema.

11.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1.- Conclusiones

Existen diferentes técnicas de corrección de factor de potencia, cada una de ellas tiene sus propias características, ventajas y desventajas. Las cuales pueden ser estudiadas por medio de simuladores.

Los simuladores son de gran ayuda para predecir condiciones de operación ideales y sobre la base a ello construir un prototipo analizando a detalle el funcionamiento real del sistema final.

El simulador usado en este trabajo pertenece a una versión estudiantil con muchas limitantes por ejemplo: los modelos usados en el desarrollo de los programas presentados en la presente, son validos únicamente bajo condiciones de funcionamiento ideales, es por ello que no se incluye las condiciones del efecto avalancha en los transistores y no proporciona un modelo de núcleo magnético saturable. Dadas la limitantes del software usado se creo el modelo de un DIAC muy usado en el disparo de balastras electrónicas de bajo costo.

Por medio de la experimentación y el análisis de resultados se pueden detectar áreas de oportunidad así como la causa raíz de un efecto no contemplado en la simulación y proponer una solución realizable. Por ejemplo cambio de BJT a Mosfet, buscando aumentar la frecuencia de operación por medio del toroide de oscilación, evitando así el "active switching".

Los resultados obtenidos a manera de simulación y en forma experimental demuestran que la Hipótesis planteada al principio de la tesis es satisfecha.

Si se puede obtener un alto factor de potencia, $>90\%$, y un bajo contenido de armónicos, $<20\%$, usando elementos pasivos a bajo costo; para lo cual se puede comparar los diferentes circuitos de las figuras #8, 26 y 45 así como su respectiva tabla de componentes #3, 4 y 6 con el circuito de la figura # 46 y su tabla de componentes # 6.

Se puede apreciar del circuito de la figura #46 y tabla #6, que existen un gran número de componentes pasivos y activos, siendo la mayoría de montaje superficial, SMD, lo que hace a este circuito difícil de producir a baja y mediana escala.

Los circuitos mostrados en las figuras #8,26 y 45 son de fácil producción a baja y mediana escala, ya que usan componentes normales, que pueden ser manejados por un operador (a) en una línea de producción no automatizada.

Basándose en la construcción del prototipo se desarrollaron a manera de complemento, diversos procedimientos mostrados en los capítulos 6 a 10, enfocados a la producción de balastos electrónicos se facilita la tarea de crear una micro empresa dedicada a este ramo con una baja inversión de capital.

11.2.-Recomendaciones

Se recomienda ensamblar los prototipos con las siguientes técnicas de factor de potencia, analizar y comparar los resultados con los obtenidos por medio del simulador:

Circuito llenador de valles "Valley Filled", inyección de señales "Dither Signals"; así como ensamblar algunos prototipos usando diferentes tecnologías de switches electrónicos como BJT, Mosfet, IGBT entre otros.

Los IGBT usan una tecnología híbrida entre el BJT y Mosfet resaltando las bondades de cada uno de ellos en un mismo encapsulado. Por otra parte Motorola ha creado una serie de BJT "D2" especiales para balastos electrónicos mejorando el tiempo de almacenamiento y haciendo los transistores más robustos al efecto avalancha.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Luciano; M. Savatsano; F. Avallone. "Characterization of a New Device for Fluorescent Lamps Supplying", Conference Record of the 1993 IEEE Industry Applications Conference twenty-eight IAS Annual Meeting. Napoles, Italia 1993
- [2] Acevedo, Salvador, "Simulación en Pspice", ITESM-DIE, México, 1993
- [3] Alling, William, "Preserving Lamp Life Using a Low cost Electronic Ballast with Compact Fluorescent Lamps, A new Approach", Conference Record of the 1993 IEEE Industry Applications Conference Twenty-Eight IAS Annual Meeting. Diablo Scientific Laboratories, LTD. IEEE, USA, 1993
- [4] Bairanzade, Michael, "AN1543, Electronic Lamp Ballast Design" y "AN1601, Efficient Safety Circuit for Electronic Ballast", Motorola, USA, N/A
- [5] Biswas, Sujit; Dhanuka, R.P., "Design consideration for economical Electronic Ballast", Proceedings of the 1995 International Conference on Power Electronic and Drive Systems, IEEE, INDIA, 1995
- [6] Biswas, Sujit, Dhanuka, R.P., "Reliability of Electronic Ballast In Industrial Fluorescent Lighting Applications", Conference record of the 1993 IEEE Industry Applications Conference 28th IAS Meeting, Dep. Of electrical Engg. Jadavpur University, India, 1993
- [7] Cosby Melvin, Nelms R.M., "A Resonant Inverter for Electronic Ballast Applications", IEEE Transactions on Industrial Electronics, USA, 1994

- [8] Dae Bong, Kim, "The new Generation Electronic Ballast, AN4005" Fairchild, Semiconductors, USA, 1999
- [9] Dal Santo, "AN991, L6569-L6561 Lighting Applications with PFC", SGS-Thomson, Microelectronics, USA, N/A
- [10] G. Calabrese, "A new High Voltage IC driver for Electronic Lamp Ballast", SGS-Thomson, Microelectronics, USA, N/A
- [11] Goldwasser, Samuel, "Inverters to power Fluorescent Lamps from Low Voltage V1.13 DC", <http://www.misty.com/~don/flvdc.html>, Internet , 1997 & "Various Schematics and Diagrams V1.61", <http://www.repairfaq.org/sam/samschem.htm>, Internet, 1998
- [12] Haver R.J., "The Veredict Is In: Solid State Fluorescent Ballasts Are Here", EDN Magazine, 1976.
- [13] International Rectifier, "IRPLLNR1Powirlight, Reference Design: Linear Ballast", International Rectifier, USA, 1997
- [14] International Rectifier, "IRPLCFL1Powirlight, Reference Design: Compact Ballast", International Rectifier, USA, 1997
- [15] K, Ghanem, "A New Single Phase Buck-Boost Converter with Unity Power Factor", Groupe de recherche en electronique de puissance et commande de technologie superieure, IEEE, USA, 1993
- [16] Kloss, Albert, "A basic guide to power electronics", Chichester, Wiley, 1984

- [17] L. Malesani; L. Rosseto; G. Spiazzi "High Efficiency Electronic Lamp Ballast with Unity Power Factor", Industry Applications Society, Annual meeting, USA, 1992
- [18] Lee, Chul H., "A Unity Power Factor High Frequency Parallel Resonant Electronic Ballast", Dep. Of Electrical Engineer Korea Advance Institute of Science and Technology, IEEE, Korea, 1990
- [19] Lenk, John, "Manuel simplificado para el proyecto de circuitos de estado sólido", Diana, México, 1977
- [20] Licitra C.; Malesani L.; Spiazzi G., "Single-Ended Soft-Switching Electronic Ballast with Unity Power Factor", Departamento de Eléctrica y Electrónica y Sistemas de Ingeniería, Universidad de Catania, IEEE, Italia, 1991
- [21] Lio, Jan-Bin, "Single Switch Unity-Power-Factor Dimmable Fluorescent Lamp Ballast Circuit", Electronics Letters. IEE, USA, 1996Vol.32 N°3
- [22] Klipstein, Don "Some bits of Discharge Lamp Theory and Other Technical Information", <http://www.misty.com/~don/dschtech.html>, Internet, 1999.
- [23] Ludovicus Oostvogels Franciscus; Gavas Angelo; Vos Lucas; Sotelo Enrique, "Improvements in a Ballast Circuit" Patentes con numero de serie 09/441945 & 09/543335.
- [24] Qiang, Jinrong, "Advanced Singled-State Power Factor Correction Techniques", Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 1997
- [25] Ribarich, Thomas, "A New Procedure for High-Frequency Electronic Ballast Design", IEEE Industry Application Society, USA, 1997

- [26] Ribarich, Thomas, "A Systems Approach to Ballast IC Design", International Rectifier Lighting team, USA, 1999
- [27] Saber Electrónica, "Protección Electrónica para Circuitos", Televisa, México, Año 7, N°1
- [28] Samsung Electronics, "Conventional Ballast and Electronic Ballast", Samsung Electronics, 1995 data book, USA, 1995
- [29] SGS Thomson, "SF4517, Compass Chapter 2-Lighting", "Electronic light ballast", "Bipolar transistors for electronic Lighting", SGS-Thomson, Microelectronics, USA, N/A
- [30] Sierra Jorge; Kaiser Walter, "Comparison of Fluorescent Lamp Stabilization Methods in the Current-Fed Push-Pull Inverter", IEEE, Brasil, 2000, Vol.36 N°1
- [31] Sotelo Enrique; Millán Horman; Takeda Miyuki, Fuentes Armando, "Proyecto de Análisis del Diseño y del Proceso de Manufactura de Balastras Electrónicas, Industrial Solmex," ITESM-CSIM-LIDIME, México, 1996
- [32] Yu T. H.; Huang H; Wu T. F., "Self Excited Half-Bridge Series Resonant Parallel Loaded Fluorescent Lamp Electronic Ballast", Tenth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition. Conference Proceedings. Power Electronics Applied Research Laboratory, National Chung Cheng University, China, 1995
- [33] Takahashi, Isao, "Power Factor Improvement of a Diode Rectifier Circuit by Dither Signals", Nagaoka University of Technology, Japan, 1990
- [34] Wood, Peter, "Fluorescent Ballast Design Using Passive P.F.C. and Crest Factor Control", International Rectifier Corporation, USA, N/A.

LISTADO DE TABLAS

Tabla #1. Comparación de diferentes esquemas de corrección de factor de potencia.....	80
Tabla #2. Calculo de parámetros del circuito resonante.....	95
Tabla #3 Componentes usados en la balastra de la figura #26.....	97
Tabla #4 Componentes usados en la balastra de la figura #45.....	98
Tabla #5.- Medición de parámetros en el prototipo de la figura #26.....	101
Tabla #6. Componentes usados en la balastra de la figura #46.....	110
Tabla #7 Medición de parámetros en el prototipo de la figura #8, 26 y 45.....	111.

LISTADO DE PROGRAMAS

Programa PS #1 Modelo simplificado de una balastra “Half-bridge”	71
Programa PS #2 Rectificador convencional	74
Programa PS #3 Circuito llenador de valles	76
Programa PS #4 Corrección de factor de potencia por inyección de señal “dither” ..	77
Programa PS #5 Corrección de factor de potencia “Charge-Pump”	78
Programa PS #6. Modelación de un DIAC.....	81
Programa PS #7. Modelación de un MOV	81
Programa PS #8. Modelación de diodos	82
Programa PS #9. Modelación de transistores	82
Programa PS #10. Balastra prototipo con retroalimentación capacitiva-inductiva ..	84

LISTADO DE FIGURAS

Figura #1 Balastro Magnético.....	22
Figura #2 Balastro “Push-Pull” baja potencia.....	27
Figura #3. Balastro “Push-Pull” Mediana y alta potencia	28
Figura #4 Esquemas de arranque para balastro “Push-Pull”	30
Figura #5 Balastro “Push-Pull” Típico	31
Figura #6 Circuito equivalente de etapa de filtrado y salida de un balastro “Push-Pull”	32
Figura #7 Circuito equivalente etapa de potencia y oscilación, Balastro “Push-Pull”	33
Figura #8 Circuito Típico “Half-Bridge”	44
Figura #9 Esquema simplificado de un Balastro Inteligente	53
Figura #10 Balastro, “Singed-Ended Soft-Switching”	55
Figura #11. Balastro “Single-switch dimmable”	57
Figura #12 Comparación entre rectificadores y Corrección de factor de potencia, técnica “Valley Filled”	60
Figura #13 Corrección de factor de potencia por inyección de señales “Dither signal”	61
Figura #14 Corrección de factor de potencia “Boost-Converter”	63
Figura #15 Retroalimentación de corriente, circuito equivalente	64
Figura #16 Corrección de factor de potencia usando técnicas de retroalimentación inductiva o capacitiva.	65
Figura #17. Esquema básico de Corrección de factor de potencia de modo activo.....	68
Figura #18. Modelo simplificado de un balastro “Half Bridge”	71
Figura #19, Simulación de PS1 con diodos de antiparalelaje	72
Figura #20, Simulación de PS1 sin diodos de antiparalelaje	72
Figura #21, Simulación de PS1 cambiando el factor de calidad “Q”	73
Figura #22 Comportamiento típico de un rectificador convencional	75
Figura #23 Comportamiento típico de un rectificador llenador de valles	76
Figura #24 Comportamiento típico de un rectificador con inyección de señal.....	77

Figura #25 Comportamiento típico de un rectificador “Charge Pump”	79
Figura #26 Balastro con corrección de factor de potencia, usando el esquema “Charge-Pump” retroalimentado por voltaje.....	83
Figura #27 Condición de factor de potencia unitario	85
Figura #28 Voltaje y corriente de entrada y salida	85
Figura #29 Espectro de la señal de corriente entrada	85
Figura #30 “In-rush current”	86
Figura #31 Voltaje y Corriente en los transistores	86
Figura #32 Voltaje y corrientes de diodos	86
Figura #33 Voltaje en capacitores Cbk1 y Cbk2.....	87
Figura #34 Corriente en los inductores Ll y LR1	87
Figura #35 Arranque del balastro, Voltaje en Cd	87
Figura #36. Circuito de protección por sobre voltaje, falla de lámpara.	90
Figura #37 Circuito de protección por sobre voltaje, con memoria de falla.....	91
Figura #38 Circuito de protección por sobre corriente. Fusible electrónico.....	91
Figura #39. Técnicas de reducción de la corriente de arranque “In-rush current”	93
Figura #40: Protección contra transitorios de voltaje.....	94
Figura #41 Comparación entre la señal de corriente de entrada de un balastro sin Corrección del factor de potencia y con corrección del factor de potencia	102
Figura #42 Comparación entre la señal de salida de un balastro sin Corrección del factor de potencia y con corrección del factor de potencia.....	102
Figura # 43 Función de transferencia a la salida del balastro en función a la frecuencia de switcheo.....	105
Figura #44 Fase de corriente vs. Voltaje en función de la frecuencia de switcheo.....	106
Figura #45. Balastro retroalimentado por corriente, usando MOSFETS	108
Figura #46. Balastra Electrónica Inteligente.....	109
Figura #47. Bienvenida al Software BDA. Proporcionado por International Rectifier, IR.	110
Figura #48. Formas de onda de entrada y salida de la balastra, figura #8	111
Figura #49. Formas DE onda de entrada y salida de la balastra, figura #26.....	112
Figura #50. Formas de onda de entrada y salida de la balastra, figura #47	112

APENDICE

Glosario.

AC, Corriente Alterna	Señal eléctrica que cambia de una dirección a otra de manera alternada. Eg 127V, 60Hz
“Active Switching”	Fenómeno que provoca el consumo de energía en los elementos de switcheo.
Alto factor de potencia	Factor de potencia arriba del 90%.
Amperes (A)	Medida de a corriente
Arco eléctrico	Descarga de luminosa formada por el paso de corriente eléctrica entre el espacio que existe entre electrodos, en este caso una lámpara fluorescente.
Armónicos	Múltiplo entero de la frecuencia fundamental de corriente AC, los cuales forman parte de la corriente misma. Eg. Frecuencia fundamental 60Hz, armónicos 120Hz, 180Hz, 240Hz, etc. Véase “Distorsión Armónica.”
Átomo	Elemento primario de la composición química de los elementos
Auto-Oscilación	Véase oscilación
Auto-Excitable	Fenómeno de operación de un circuito oscilante al serle conectado una fuente de energía externa.
Avalancha	El efecto avalancha se refiere a un incremento de corriente de colector aun manteniendo la misma corriente de base.
Balastro Magnética	Balastro que usa un inductor como su principal fuente de regulación de corriente y arco eléctrico.
Balastro (a)	Elemento de encendido y regulación de corriente usado en lámparas de gases, eg. Lámparas fluorescentes.
Balastro Inteligente	Balastro Electrónico donde se controlan todos los parámetros por medio de circuitos especializados.
Boost Converter	Técnica de corrección de factor de potencia, basada en el almacenamiento de corriente en un Inductor.
Campo Magnético	Campo generado por inducción de una corriente eléctrica a través de un material con propiedades magnéticas, por ejemplo un imán.
Capacitor	Elemento que almacena energía eléctrica en forma de voltaje.
Carga	Elemento al cual se le transfiere energía, eg. La carga para una balastro es una lámpara fluorescente
Charge Pump	Técnica de corrección de factor de potencia, basada en la

	cancelación del voltaje en el capacitor de filtrado por medio de retroalimentación, ya sea capacitiva o inductiva.
Circuito	Conjunto de elementos pasivos y/o activos los cuales se unen para realizar una tarea específica.
Circuito Activo	Circuito con elementos que consumen energía externa para una tarea específica. Opams, compuertas lógicas, etc.
Circuito Impreso	Tablilla impresa que sirve de guía para colocar los elementos de un circuito.
Circuito Pasivo	Circuito con elementos que no requieren de energía externa para realizar su función, eg. Resistencias, Capacitores, Inductores, etc.
Convertidor AC-DC	Sistema que transforma la energía AC a niveles de DC. Generalmente por diodos y un capacitor.
Corrección de Factor de Potencia, PFC	Técnicas usadas para incrementar el factor de potencia a un valor mayor o igual al 90%
Corriente	Medida del paso de electrones por un conductor. Cuya unidad son los Amperes. Por convención la corriente fluye de una terminal positiva a una negativa.
Corriente de arranque	Corriente generada por diferencias entre elementos en una balastra.
Corto Circuito	Condición de cero voltaje y corriente casi infinita.
DC, Corriente Directa	Señal eléctrica que mantiene un nivel constante.
Densidad de Corriente	Relación entre la corriente circulate en un conductor y su área transversal. A/mm ²
"DIAC"	Elemento semiconductor, con impedancia muy alta hasta que se le aplica un voltaje de umbral, en este momento se comporta como corto circuito.
"Dimmer"	Efecto de disminuir o intensificar el nivel de luz en una lámpara.
Diodo	Elemento semiconductor permite el paso de corriente en una sola dirección.
Diodo de Antiparalelaje	Véase "Free Wheelling Diode"
Distorsión Armónicos	Distorsión en la señal de AC causada por múltiplos de la frecuencia fundamental (armónicos). Los armónicos impares múltiplos de 3 (3, 9, 15, etc) pueden resultar en grandes corrientes en el neutro de un sistema de distribución de potencia.
Distorsión Total de Armónicos. THD	Efecto combinado de distorsión armónica en la señal de AC producido por un elemento, expresado como porcentaje de la señal fundamental. Valores grandes de THD pueden resultar en grandes corrientes en el neutro de un sistema de distribución de potencia.
Dither Signals	Técnica de corrección del factor de potencia, basada en la linearización de un sistema no lineal por medio de la inyección de una señal de muy alta frecuencia.
Eficiencia	Relación entre potencia entregada y potencia consumida.
Electrodo	Filamentos de metal que emiten electrones en una lámpara

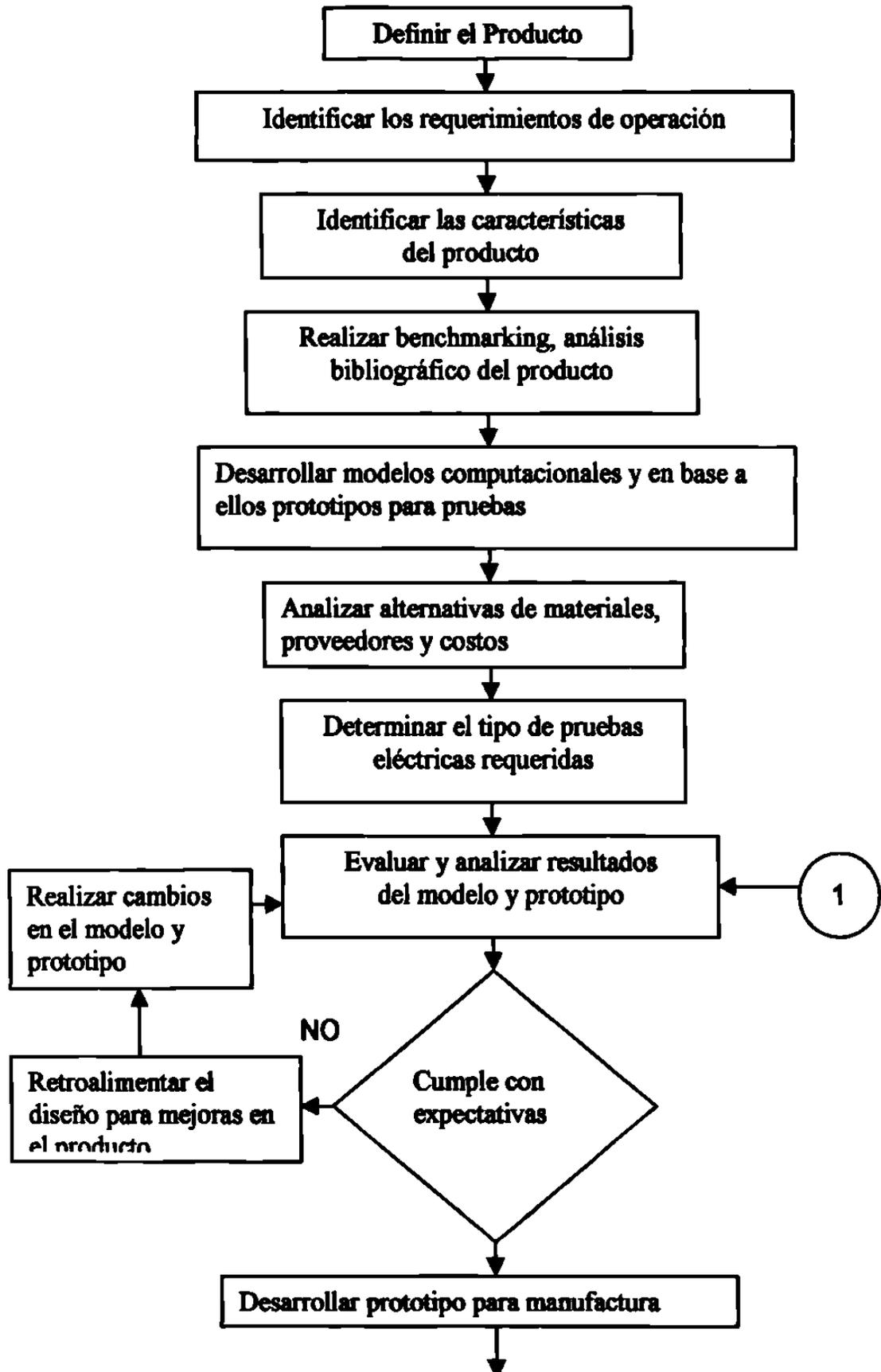
	fluorescente. Los electrones libres cargados negativamente por un electrodo son atraídos al electrodo positivo creando una corriente eléctrica y un arco eléctrico entre electrodos.
EMI Interferencia Electro-Magnética	Interferencia eléctrica (ruido) generado por elementos eléctricos y electrónicos. Este parámetro esta regulado para evitar interferencia con otros elementos.
Factor de Calidad, Q	Relación entre componentes pasivos en un sistema oscilante. A la frecuencia de resonancia el voltaje de salida es Q veces el voltaje de entrada.
Factor de Potencia, PF	Medida de la relación existente entre la potencia real y la potencia aparente. En otras palabras es la relación entre el promedio del voltaje de entrada por la corriente de entrada entre el producto de los valores RMS de voltaje y corriente de entrada.
Farad (F)	Medida de capacitancia en un capacitor
"Fast Recovery"	Terminología usada en diodos cuya respuesta a corrientes inductivas es rápida.
Filamento	Alambre de Tungsteno cubierto con Oxido de Bario, el cual emite electrones cuando se le aplica un voltaje.
"Flicker"	Fenómeno de parpadeo. Al cual se le relacionan efectos de cansancio de vista y dolor de cabeza.
Flujo Magnético	Fenómeno generado por el un cambio en el flujo de corriente en un inductor.
Frecuencia	Relación de alternancia en Corriente Alterna, AC. Expresada en ciclos por segundo.
"Free Wheling Diode"	Diodo que se coloca en paralelo con elementos de switcheo, generando una camino para la corriente inductiva, evitando así sobre-picos de voltaje.
Fusible	Elemento de protección en condiciones de corto circuito.
"Half-Bridge"	Configuración típica de un inversor electrónico.
Henrys (H)	Medida de inductancia en un Inductor.
Hertz (Hz)	Unidad usada para medir la frecuencia de alternancia de voltaje o corriente; ciclos por segundo.
Hfe	Relación entre corrientes de colector (I_c) y corriente de base (I_b) en un Transistor BJT
Impedancia	Relación entre voltaje y corriente.
Inductor.	Elemento que almacena energía eléctrica en forma de corriente.
In-rush Current"	Efecto donde un pico de corriente momentáneo es producido por la carga de un capacitor al ser energizado.
Inversor	Sistema electrónico que cambia una señal de baja frecuencia, DC, a una señal de alta frecuencia AC.
Iones	Partículas dotadas de una carga eléctrica formada por átomos que han ganado o perdido electrones,
Ionizar	Fenómeno de crear iones.
Lámpara Fluorescente	Lámpara llenada con gases en la cual se produce luz por la interacción de electrones con fósforos que recubren el vidrio de la lámpara.

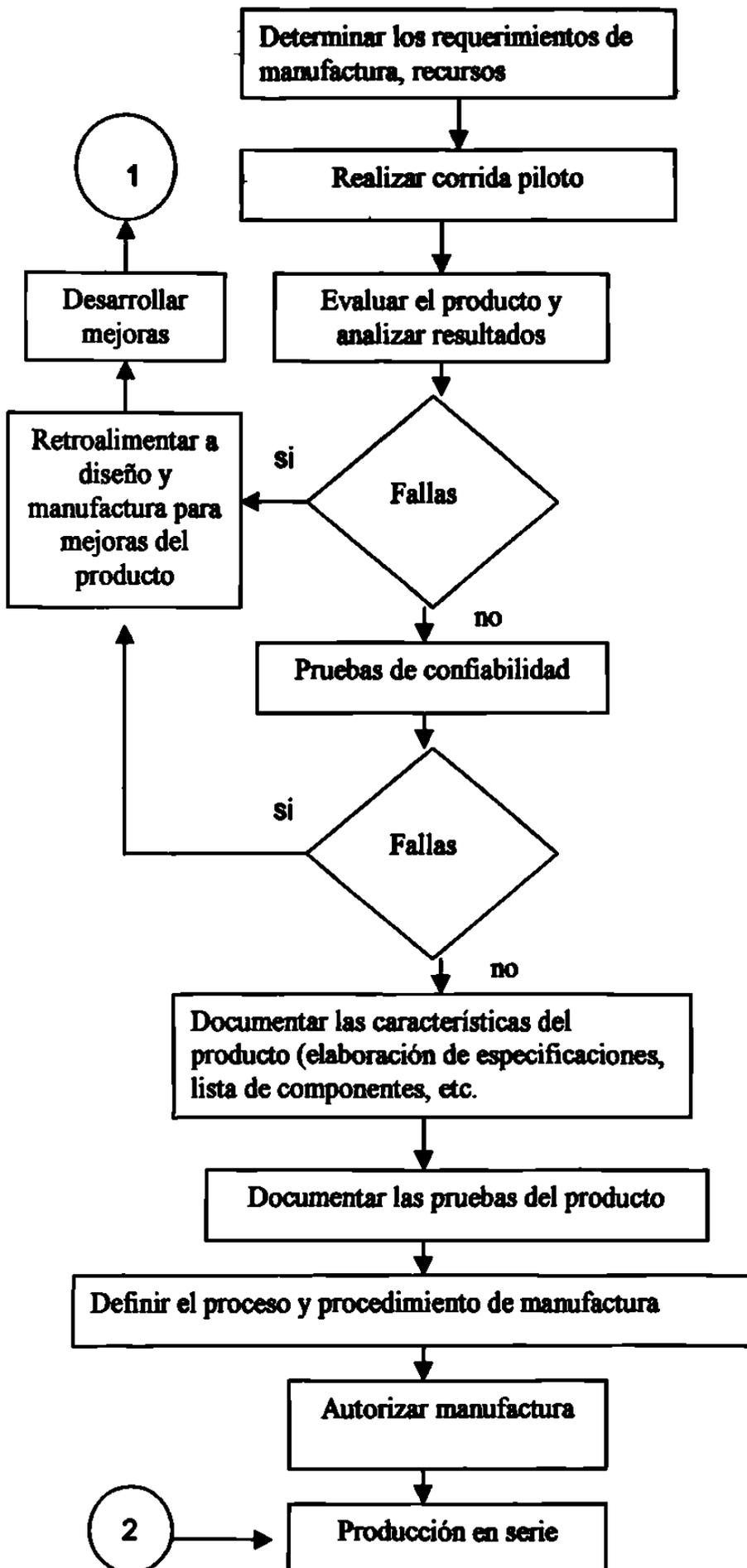
Lámpara incandescente	Lámpara donde se produce luz por el calentamiento de un filamento al suministrar una corriente eléctrica.
Llenador de Valles "Valley Filled"	Técnica de corrección de factor de potencia, basada en el cambio en el valor del capacitor de filtrado.
MOV	Elemento semiconductor que limita los transitorios de voltaje a niveles no perjudiciales para un circuito.
Orcad	Programa de computo usado para la captura de circuitos y diseño de circuitos impresos, PCB.
Oscilación	Fenómeno de no-estabilidad, donde una señal cambia de un nivel a otro a una frecuencia determinada por componentes inductivos y capacitivos. En una balastra este fenómeno es aprovechado para entregar energía AC proveniente de una señal DC.
PCB	Véase circuito impreso.
Polaridad	Dirección en la cual fluye la corriente.
Potencia de entrada	Potencia total consumida. En nuestro caso incluye la potencia de la lámpara, potencia de la balastra y las pérdidas por disipación.
Potencia de salida	Potencia entregada a la lámpara para su funcionamiento.
Pre calentamiento (electrodos)	En una lámpara fluorescente es común precalentar los electrodos para incrementar los electrones libres y facilitar el encendido de la misma.
Prototipo	Elemento diseñado en bases teóricas.
Pspice	Programa de computo usado en la simulación de circuitos eléctricos y electrónicos.
"Push-Pull"	Configuración típica de un inversor electrónico.
Resistencia	Elemento que se resiste al paso de electrones, usado para limitar el paso de corriente de un lugar a otro en un circuito eléctrico o electrónico.
Resistencia negativa	Fenómeno de reducción de Voltaje en presencia de un incremento de Corriente
Resistencia Térmica	Fenómeno de transferencia de calor de un elemento hacia el medio ambiente.
Resonancia	Condición necesaria en un circuito oscilante donde, el efecto inductivo y capacitivo se cancela. Bajo esta condición la transferencia de energía es máxima dado que el circuito ve una carga puramente resistiva.
Retroalimentación	Técnica usada en la corrección de Factor de Potencia, donde una porción de energía de salida es usada para alimentar la entrada de un sistema.
Rizo	Señal de AC montada en un nivel de DC.
Saturación	Condición en la cual flujo magnético se ve limitado por un cambio de corriente.
"Switch"	Elemento que abre y cierra dos contactos eléctricos.
Transformador	Elemento pasivo que transforma, cambia, niveles de voltaje y corriente manteniendo un mismo nivel de potencia. Por medio de un Campo Magnético.
Transistor BJT	Elemento semiconductor que manipula grandes corrientes (

	corriente de colector, I_c) por medio de señales pequeñas de corriente (corriente de base I_b).
Transistor MOSFET	Elemento semiconductor que manipula grandes corrientes (corriente de fuente, I_s) por medio de señales pequeñas de voltaje (voltaje de compuerta, V_g).
Transistores de Conmutación	Transistores usados como "switches" donde uno esta prendido mientras el otro se encuentra apagado por un intervalo de tiempo. Pasando dicho intervalo el que se encontraba prendido se apaga y el que se encontraba apagado se enciende.
"Ultra Fast Recovery Diode"	Véase "Fast Recovery Diode"
Valor Efectivo RMS	Nivel de DC que entrega la misma energía proveniente de una señal AC. Eg. El valor RMS para una señal senoidal es 1.41 veces el valor máximo alcanzado por la senoidal.
Voltaje	Trabajo generado por un flujo de electrones al pasar por un elemento. Voltaje = Corriente por Resistencia
Voltaje de entrada	Fuente de alimentación requerida para el funcionamiento apropiado de sistemas eléctricos y electrónicos. En México típicamente 127V 60Hz
Voltaje de Ruptura	Voltaje al cual un elemento semiconductor queda permanentemente dañado
Voltaje de Umbral	Voltaje al cual un elemento semiconductor pasa de estado no-conductor a conductor.
Voltaje Inducido	Voltaje generado por un cambio de corriente proveniente de un Campo Magnético.
Volts (V)	Medida de Voltaje
Watts (W)	Medición de la habilidad eléctrica para llevar un trabajo.

FORMATO: HOJA DE PRUEBAS DE CARACTERIZACION			
<i>Tipo de Balastra</i>		<i>N° de muestra</i>	
<i>Tipo de lámpara</i>			
Descripción de la prueba	Resultados		Observaciones
PRUEBAS DE ENTRADA			
Voltaje			
Frecuencia			
V rms			
Nombre de archivo			
Corriente			
Irms			
Nombre de archivo			
Potencia			
Potencia aparente			
Potencia real			
Factor de potencia			
PRUEBAS DE SALIDA			
Lámpara	1	2	
Voltaje			
Frecuencia			
Vrms			
Nombre de archivo			
Corriente			
Irms			
Nombre del archivo			
Potencia			
Pout			
OBSERVACIONES GENERALES:			

*Nombre del archivo en caso de contar con osciloscopio digital con capacidad de exportación de datos a una computadora.

Diagrama de flujo para el diseño



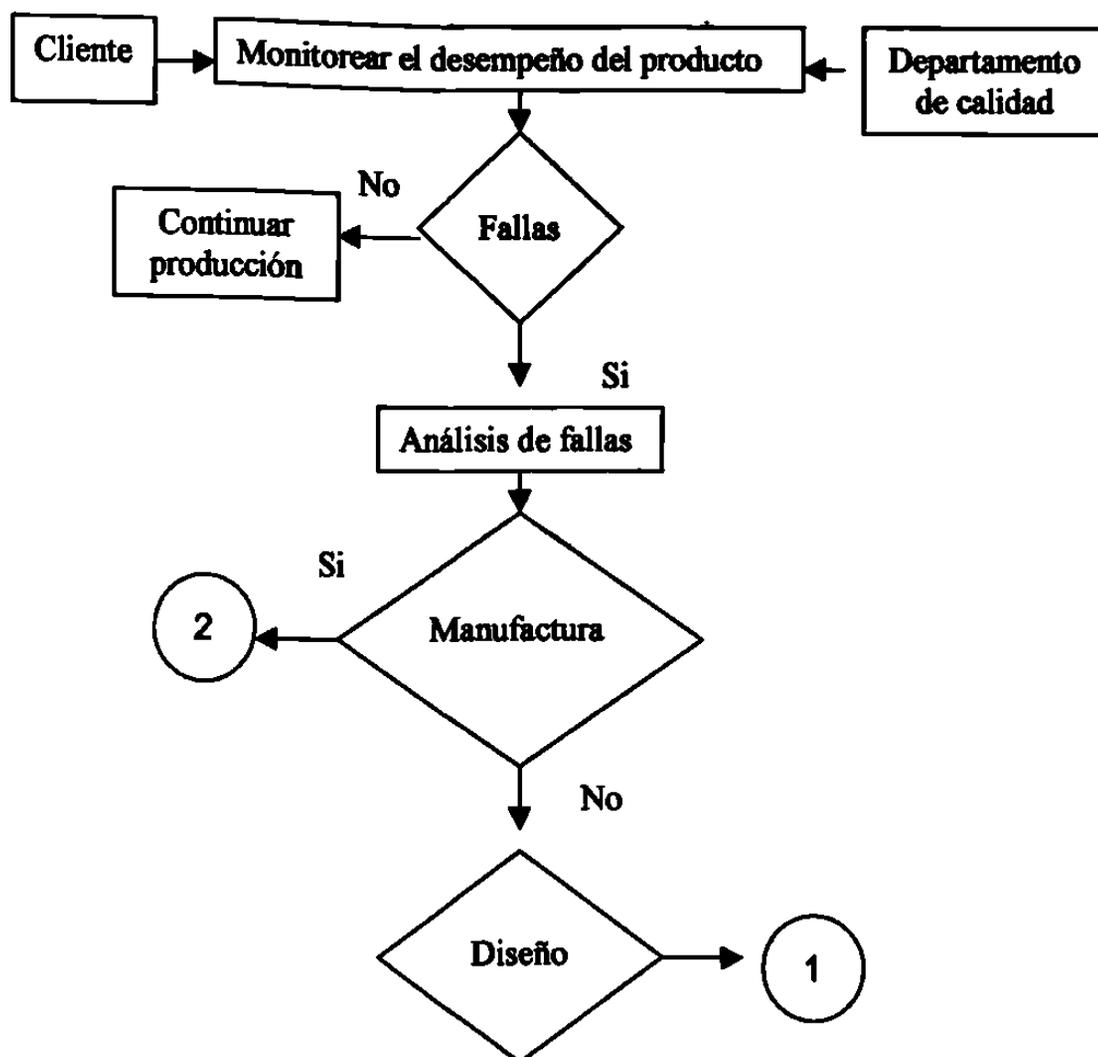
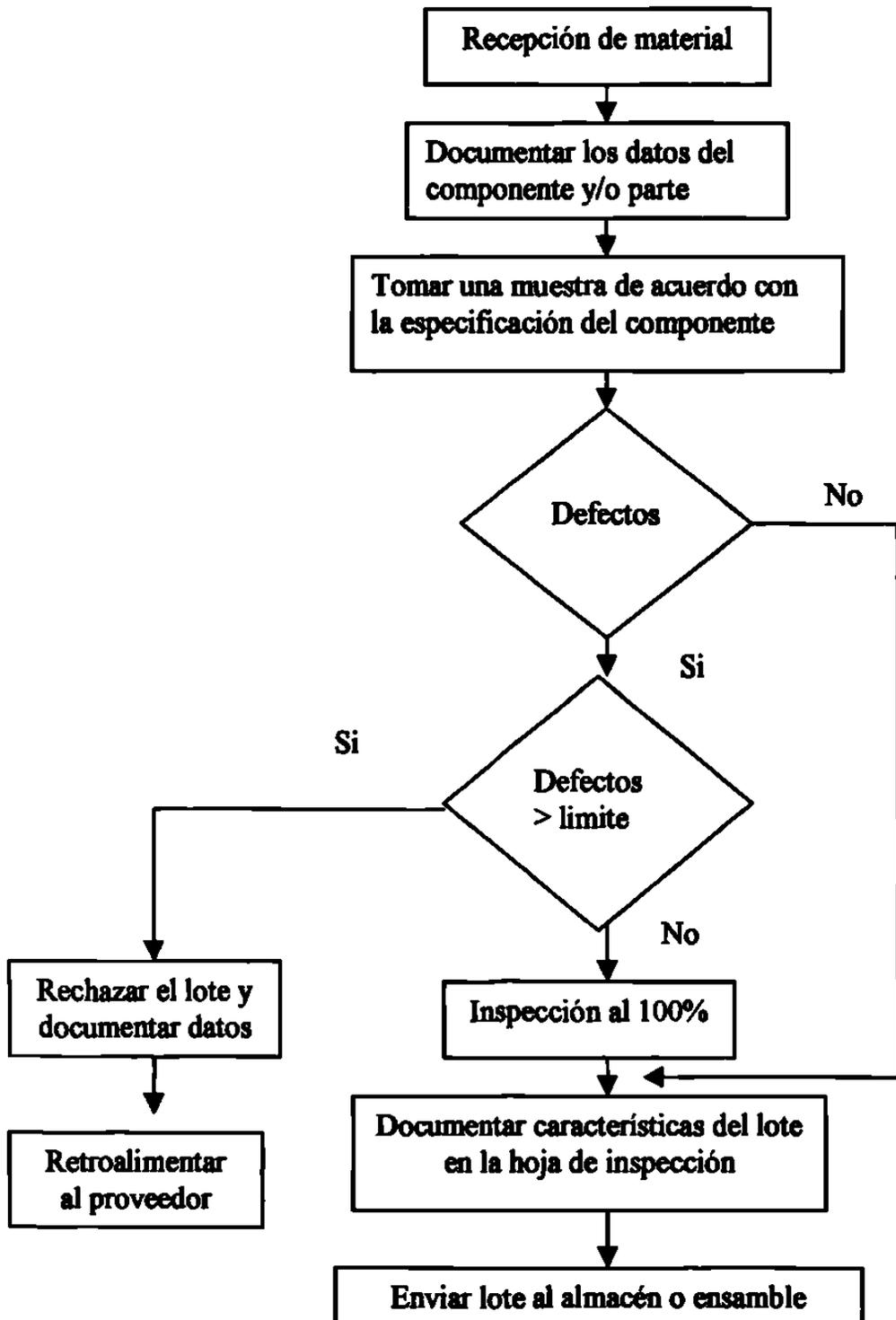


Diagrama de flujo para la inspección de componentes y partes

Parámetros de Lámparas, Toroides y Alambres.

PARÁMETROS TÍPICOS DE LÁMPARAS FLUORESCENTES T12 y T8 [4]				
Diámetro-Potencia	Von	Corriente	Resistencia	Largo (mm)
*T12-125	152	0.94	160	2400
*T12-100	128	0.89	145	2400
*T12-85	123	0.77	160	1800
*T12-75	131	0.64	205	1800
*T12-65	113	0.64	180	1500
**T12-40	104	0.42	250	1200
**T12-20	58	0.38	155	600
*T8-70	128	0.70	185	1800
*T8-58	113	0.63	180	1500
**T8-36	104	0.42	250	1200
**T8-30	101	0.36	280	900
**T8-18	58	0.38	155	600

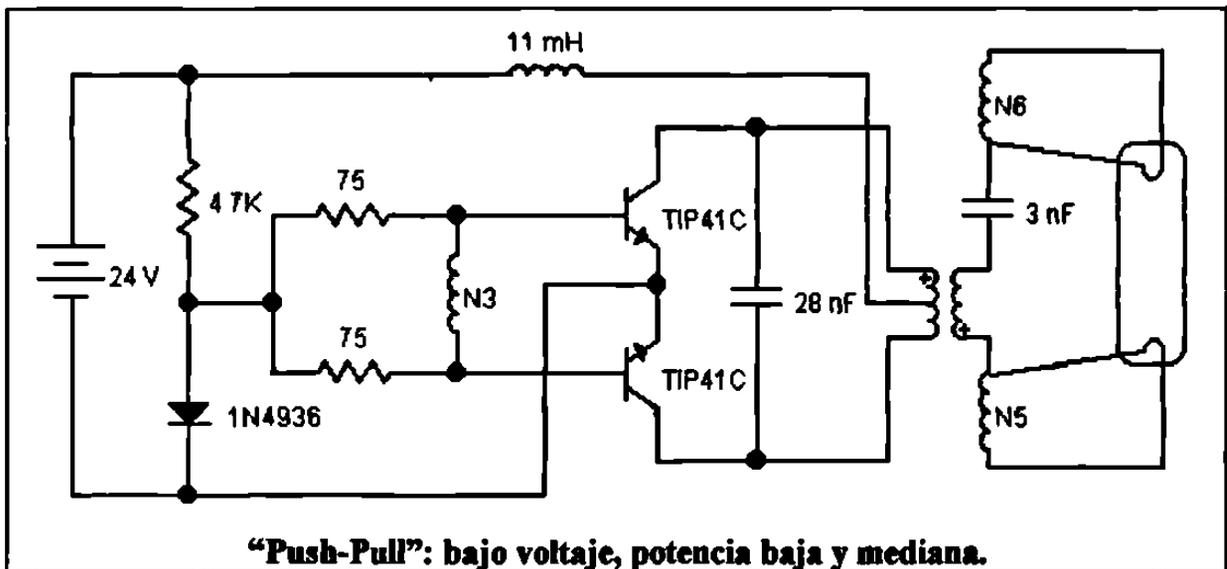
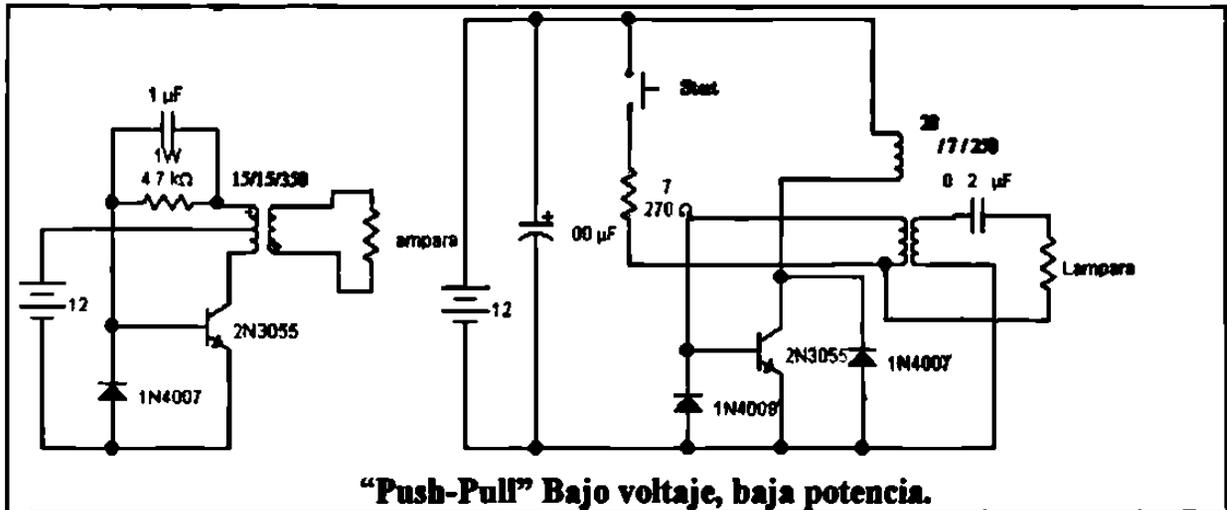
*Uso en oficinas e industria.

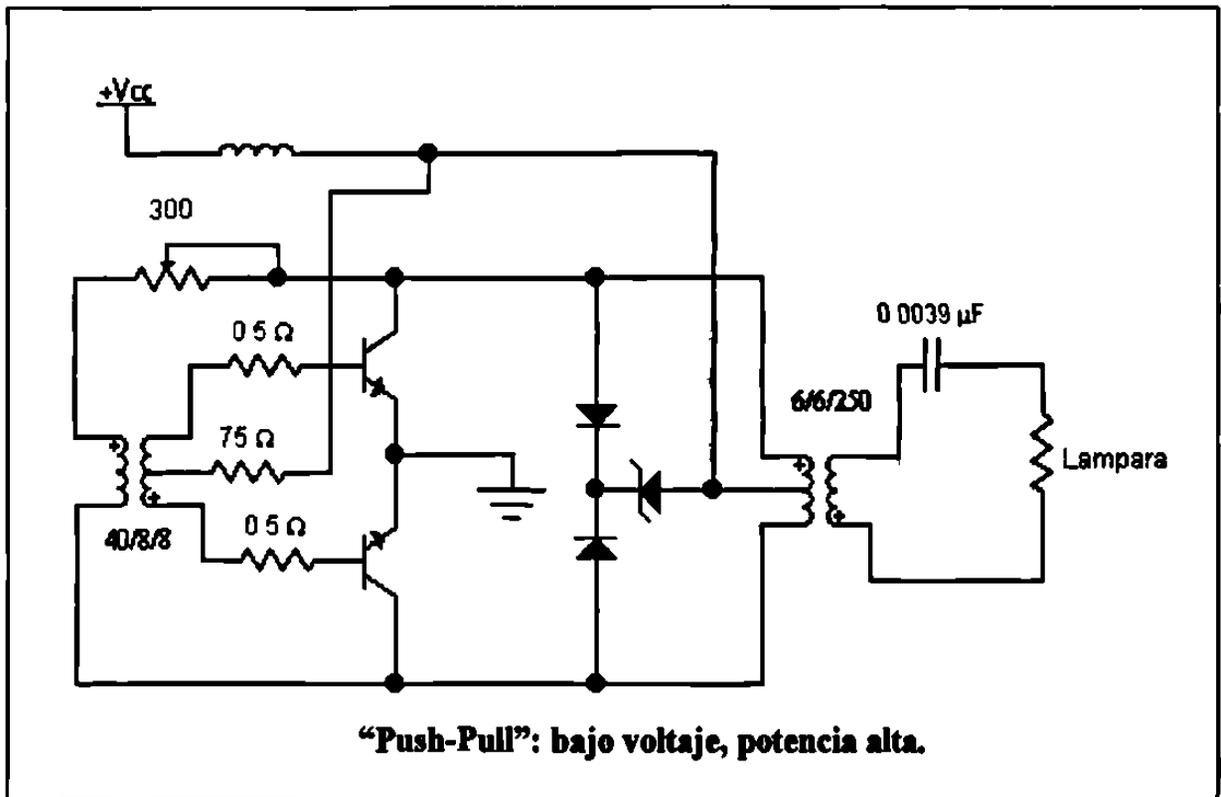
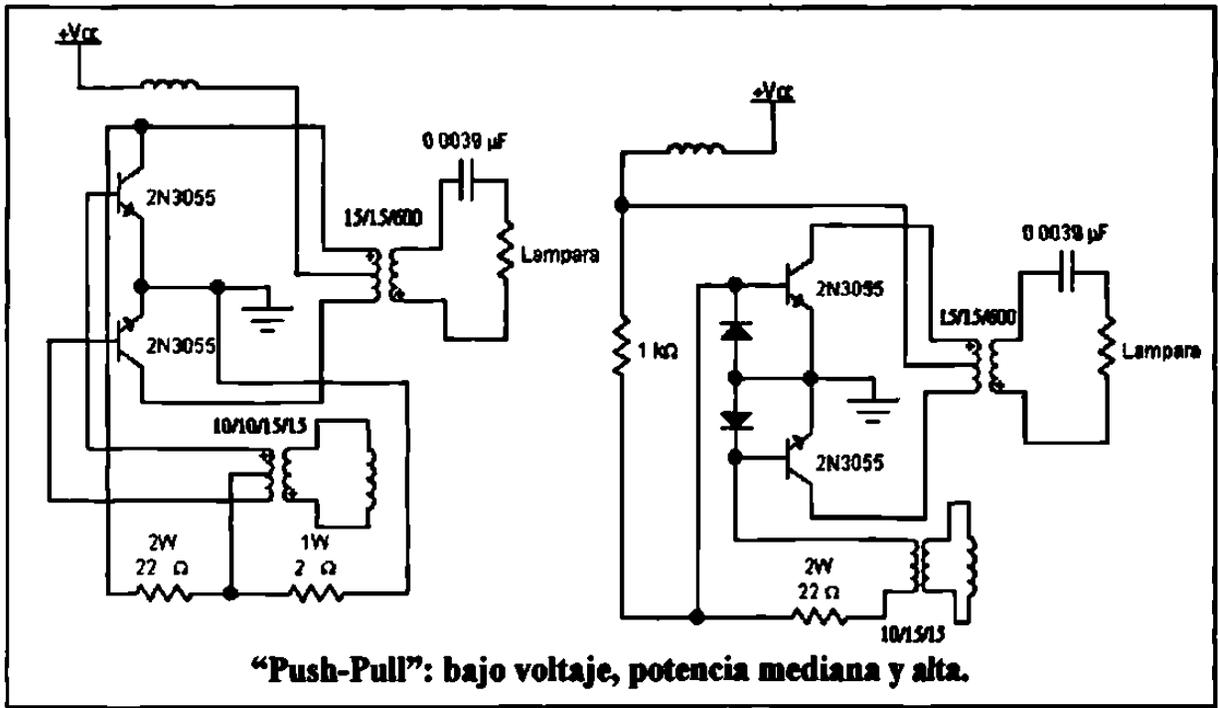
**Uso en hogar y oficinas.

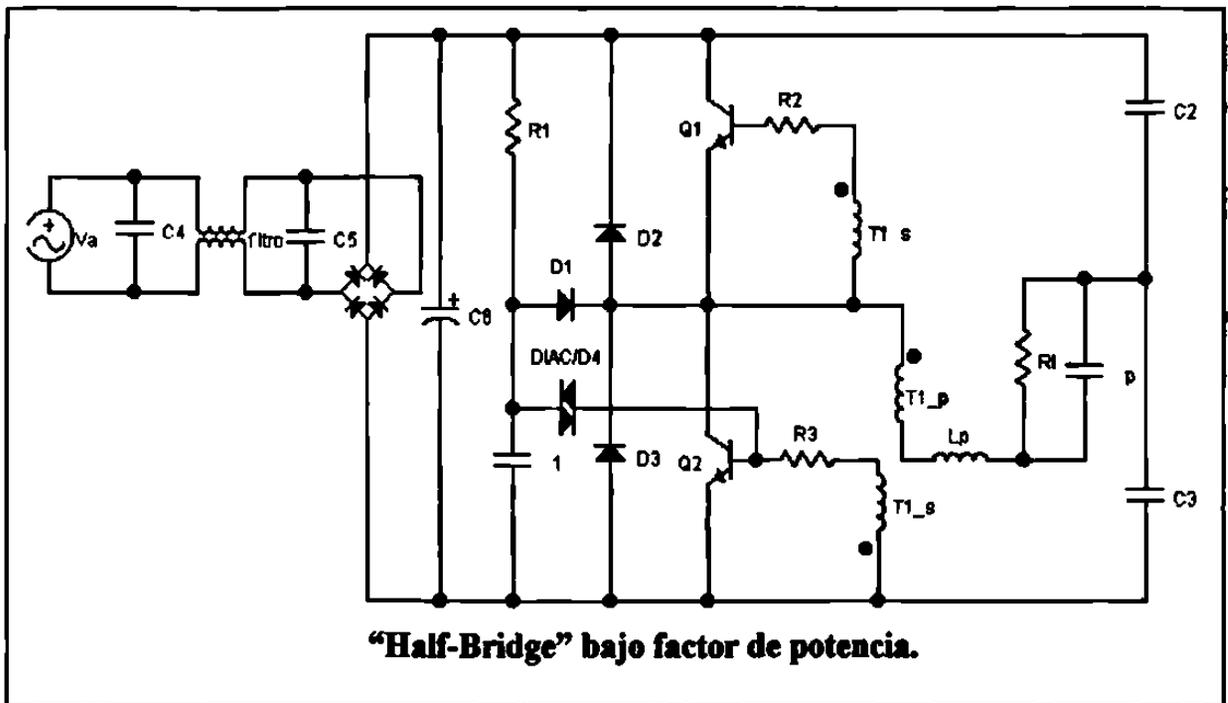
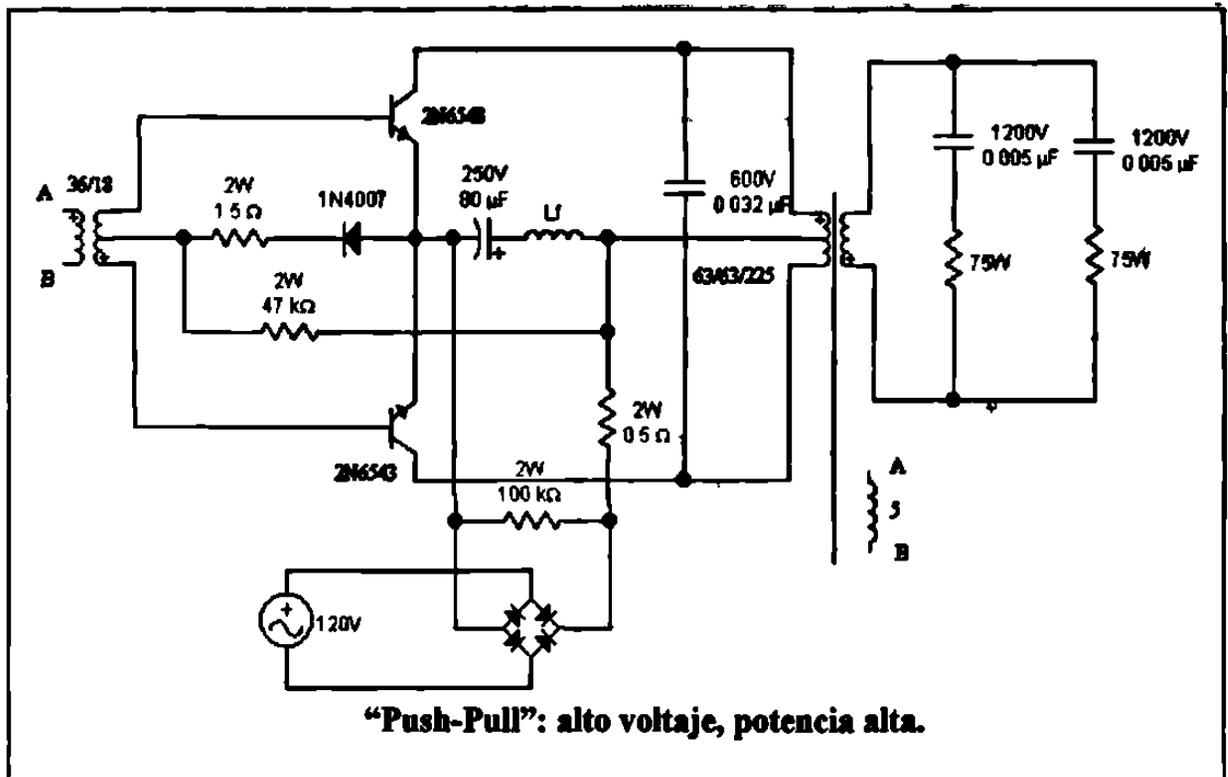
TOROIDES PARA BALASTROS COMERCIALES [4]				
Toroide	Diámetro Exterior	Perímetro (l)	Área cm²	
FT6.3	6.3	1.6	0.032	
FT10	10	2.5	0.08	
FT16	16	4.0	0.20	

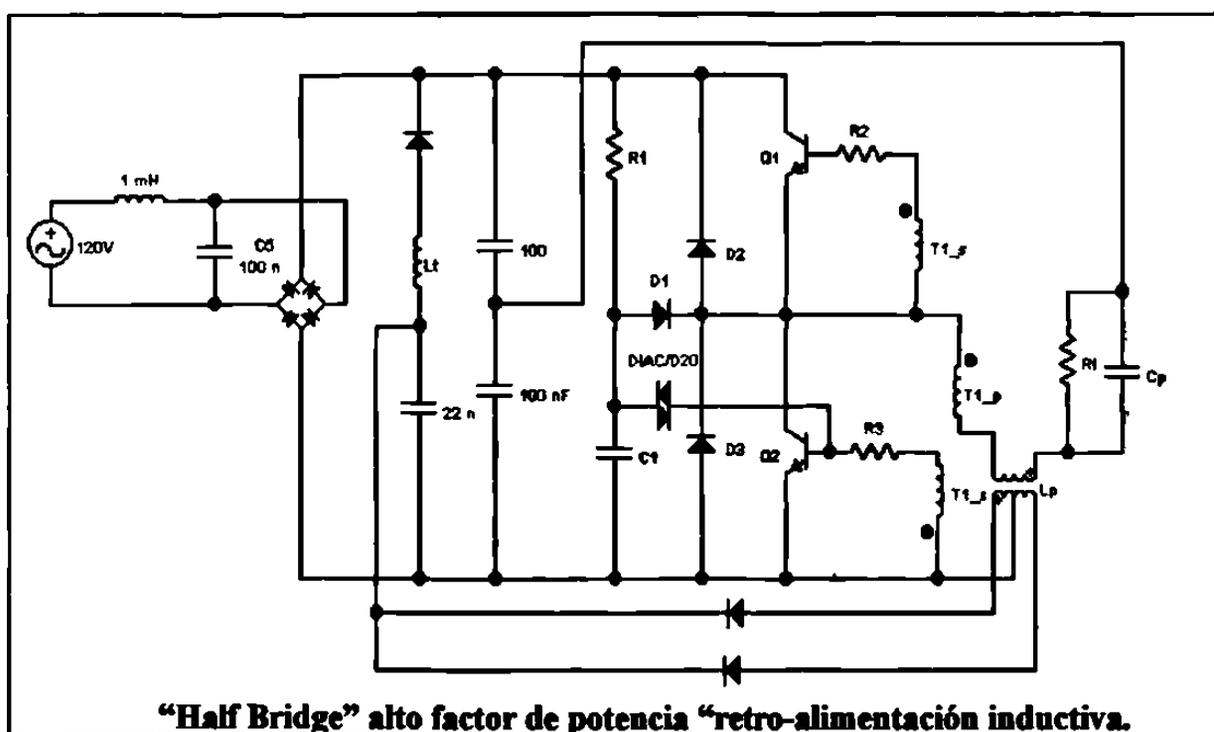
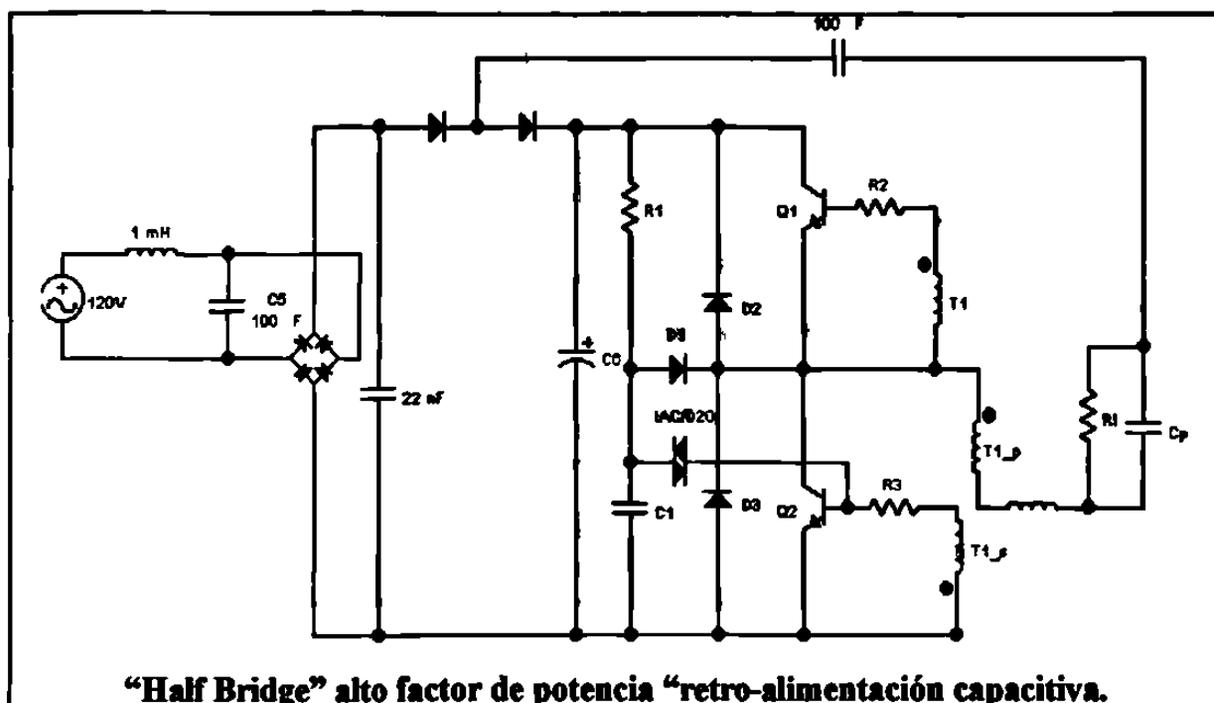
TABLA DE CALIBRES VS CORRIENTES [4]				
AWG	Diámetro (mm)	$\Omega/m @ 20^\circ C$	$\Omega/m @ 100^\circ C$	Corriente @ 4.5 A/mm² (Amperes)
10	2.59	0.0033	0.0044	23.68
11	2.31	0.0041	0.0055	18.78
12	2.05	0.0052	0.0070	14.90
13	1.83	0.0066	0.0088	11.81
14	1.63	0.0083	0.0111	9.365
15	1.45	0.0104	0.0140	7.43
16	1.29	0.0132	0.0176	5.90
17	1.15	0.0166	0.0176	4.67
18	1.02	0.0209	0.0280	3.70
19	0.91	0.0264	0.0353	2.94
20	0.81	0.0333	0.0445	2.33
21	0.72	0.0420	0.0561	1.85
22	0.64	0.0530	0.0708	1.46
23	0.57	0.0668	0.0892	1.16
24	0.51	0.0842	0.1125	0.92
25	0.45	0.1062	0.1419	0.73
26	0.40	0.1339	0.1789	0.58
27	0.36	0.1689	0.2256	0.46
28	0.32	0.2129	0.2845	0.36
29	0.29	0.2685	0.3587	0.29
30	0.25	0.3386	0.4523	0.23
31	0.23	0.4269	0.5704	0.18
32	0.20	0.5384	0.7192	0.14
33	0.18	0.6789	0.9070	0.11
34	0.16	0.8560	1.1437	0.091
35	0.14	1.0795	1.4422	0.072
36	0.13	1.3612	1.8186	0.057
37	0.11	1.7165	2.2932	0.045
38	0.10	2.1644	2.8917	0.036
39	0.09	2.7293	3.6464	0.028
40	0.08	3.4417	4.5981	0.023
41	0.07	4.3399	5.7982	0.018

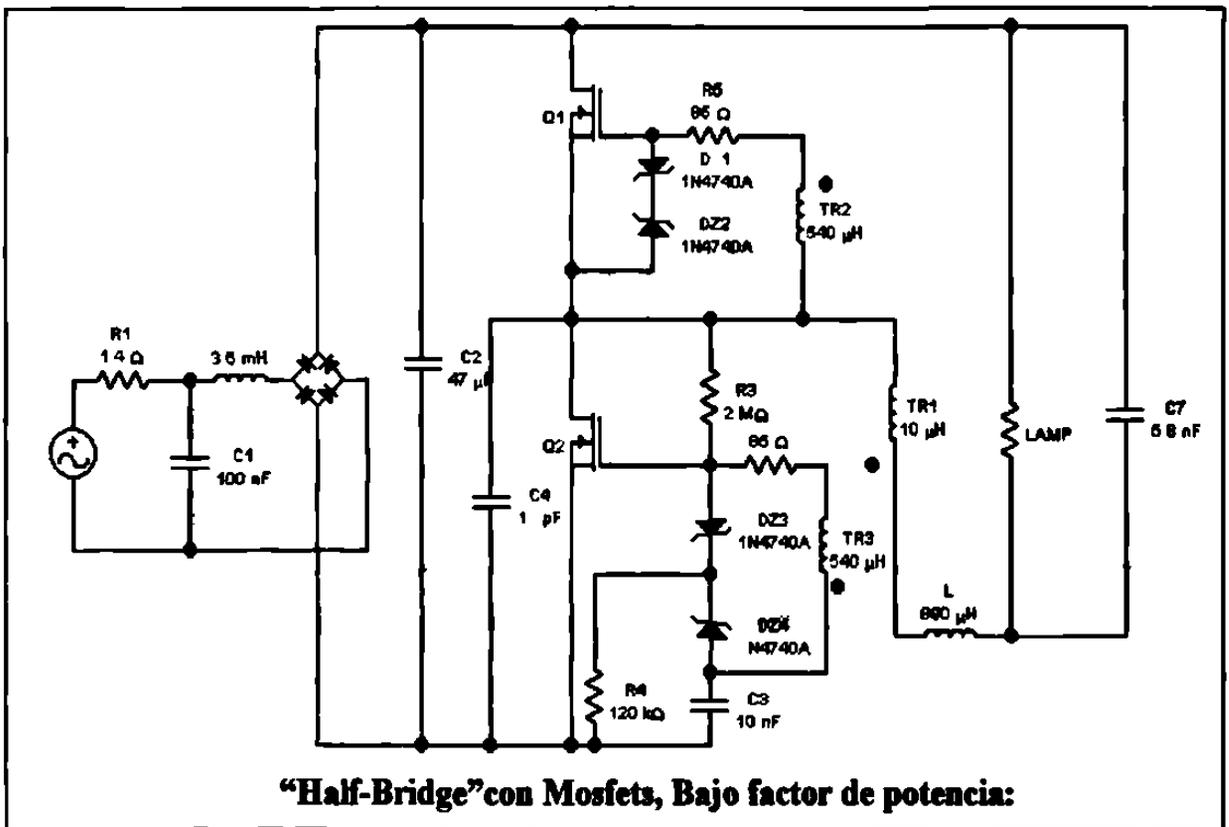
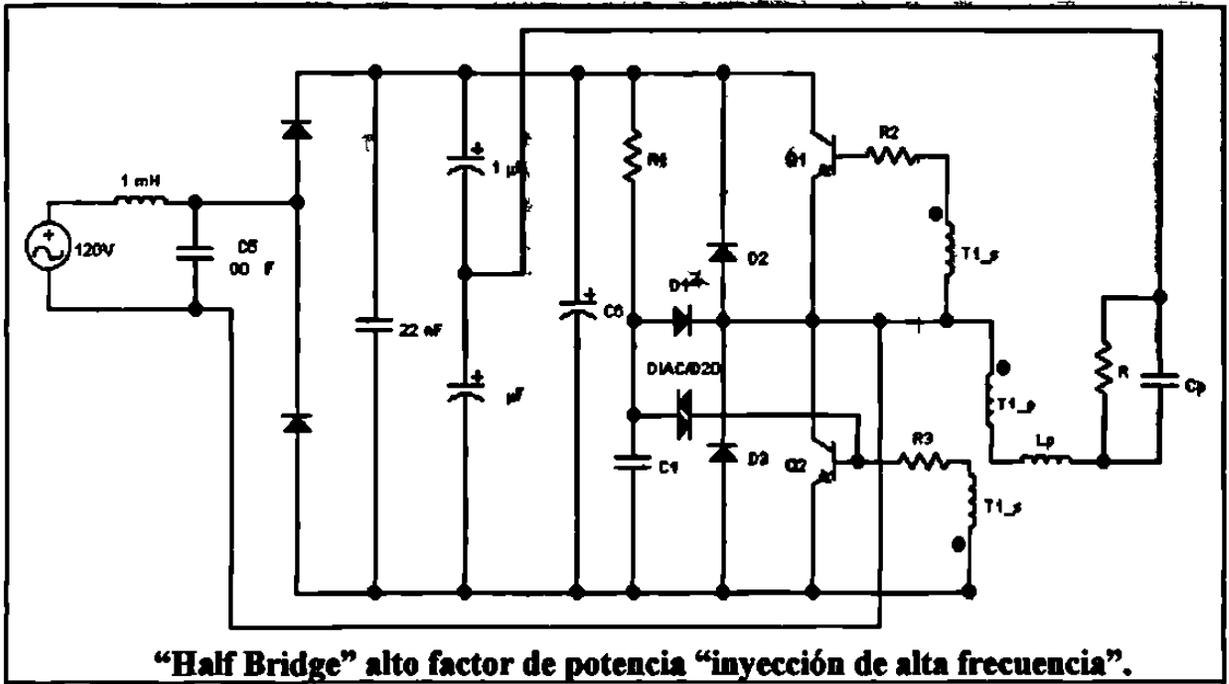
Circuitos Típicos.











Resumen Autobiográfico

Enrique Sotelo Gallardo nació el 5 de Septiembre de 1974, en la México DF. Teniendo como padres al Dr. Rumaldo Sotelo Burruel y Maria Eugenia Gallardo Ávila, originarios de Sonora y Aguascalientes respectivamente.

Él ha recibido el título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ITESM, México, Diciembre de 1995. En Febrero de 1999 comenzó sus estudios Maestría optando por el título de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Electrónica en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, FIME, en la Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL, México.

De Junio 1995 a Febrero del 1998, Enrique Sotelo laboró el en Laboratorio de Investigación para apoyar el Desarrollo de la Industria de Manufactura Electrónica, LIDIME, en el Centro de Sistemas Integrales de Manufactura, CSIM, en el ITESM. Donde se desempeño como Coordinador de Proyectos, en diferentes arreas de consultoria de Procesos de Manufactura, Análisis de Falla, Acciones Correctivas, Diseño Electrónico, etc. a diversas compañías de la industria electrónica tales como: DENSO, KODAK, LUCENT, M&S, NORTEL, SMART FLEX, THOMAS & BETTS, IBM, MOTOROLA, SCI, HELVEX, SOLMEX, PANASONIC, RCA.

Durante este periodo, Marzo 1997, dio una conferencia en el Primer Congreso de Ingenieros Mecánicos en el Instituto Tecnológico de Puebla, ITP, México, titulada “Análisis de Componentes Electrónicos en la Industria de Manufactura Electrónica ”

En 1996 junto con sus compañeros de trabajo, Horman Millán, Miyuki Taketa y Armando Fuentes, realizaron un proyecto para Industrial SOLMEX, una empresa Mexicana dedicada al ramo de la iluminación. Dicho proyecto se titula “ Proyecto de Análisis del Diseño y del Proceso de Manufactura de Balastras Electrónicas, Industrial Solmex”, de donde nace su inquietud por las Balastras Electrónicas.

Durante este periodo y a la fecha, Enrique Sotelo, brinda soporte en diseño electrónico en diferentes áreas de investigación enfocadas a la localización y rastreo de objetos móviles, en Praxis Tecnología, una empresa Mexicana.

De Marzo 1998 a Enero de 1999, Enrique Sotelo, laboró como ingeniero de atención al cliente en Kemet, una compañía de fabricación de capacitores cerámicos.

De Enero de 1999 a Febrero del 2000, Enrique Sotelo, laboro en el Departamento de Desarrollo en Philips Ligthing. Donde desempeño el puesto de líder de proyectos en áreas de Investigación y Desarrollo de Balastros Eléctricos en Lámparas Compactas Integradas, CFL-i. Donde contribuyo en las patentes “Improvement in a Ballast Circuit”, 09/441945 & 09/543335, para el circuito de lámpara dimmeable.

De Febrero del 2000 a Octubre del Mismo Año, Enrique Sotelo, se dedico a brindar soporte a Industrial Solmex.

De Octubre 00 a la fecha, Enrique Sotelo, se encuentra laborando en el Departamento de Tecnología de Magnetek, enfocado al Diseño de Balastras Electrónicas, en Huntsville Alabama, USA y brindando a la vez soporte en la producción en la Ciudad de Matamoros Tamaulipas, México.

Dada su experiencia en el desarrollo de balastros electrónicos con empresas internacionales como Philips y Magnetek y a su vez con micro-empresa como Industrial Solmex, se dio cuenta de la necesidad de las pequeñas empresas de competir en el

mercado de balastros electrónicos con alto factor de potencia a un bajo costo, usando componentes pasivos de fácil acceso y manejo para su manufactura.

Es por ello que opto como requisito para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Electrónica en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, FIME, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL, México, desarrollar la tesis “ Diseño de Balastras Electrónicas con Alto Factor de Potencia”



