



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

elt
www.elt.es

PROYECTO FIN DE CARRERA

ALIMENTADOR DE CORRIENTE CONSTANTE PARA MÓDULOS DE LEDS

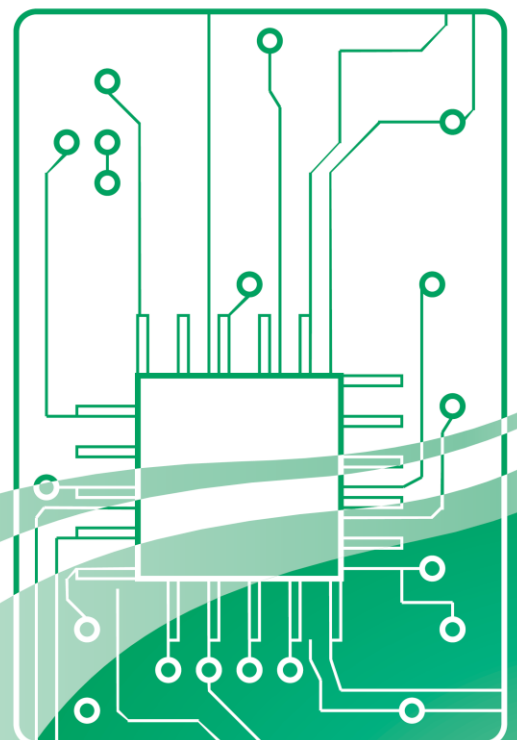
Autor: Sandra Solán Colazet

Director: Rafael Alloza

Coordinador: Carlos Bernal

Especialidad: Electrónica Industrial

Convocatoria: Marzo 2013



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	- 4 -
0 INTRODUCCIÓN: TECNOLOGÍA LED EN EL CAMPO DE LA ILUMINACIÓN.	- 6 -
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	- 10 -
1.1 Enunciado del proyecto.....	- 10 -
1.2 Requisitos de partida.....	- 10 -
1.3 Especificaciones técnicas generales del producto	- 12 -
2 PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO.	- 14 -
2.1 CRONOGRAMA.....	- 14 -
2.2 FASES Y RESPONSABLES	- 15 -
3 DESARROLLO DEL DISEÑO.	- 16 -
3.1 PLANTEAMIENTOS INICIALES PARA EL DISEÑO.....	- 16 -
3.2 ETAPAS DEL CIRCUITO	- 18 -
3.3 “DRIVER” FAN102: FUNCIONAMIENTO.....	- 23 -
3.4 CÁLCULOS.....	- 27 -
4 VERIFICACIÓN.....	- 33 -
4.1 DISEÑO DE PCB Y MONTAJE DEL PROTOTIPO.....	- 33 -
4.2 PUESTA EN MARCHA Y MEDIDAS EXPERIMENTALES.	- 37 -
5 INDUSTRIALIZACIÓN	- 41 -
5.1 EN 61347 REQUISITOS DE SEGURIDAD.	- 42 -
• 5.1.1. Generalidades sobre los ensayos	- 42 -
• 5.1.2 Clasificación del equipo.....	- 42 -
• 5.1.3 Marcado	- 43 -
• 5.1.4 Protección contra contactos accidentales con las partes activas	- 45 -
• 5.1.5 Rigidez dieléctrica.....	- 45 -
5.2 EN 62384 FUNCIONAMIENTO.	- 46 -
• 5.2.1 Clasificación	- 46 -
• 5.2.2 Tensión y corriente de salida	- 47 -
• 5.2.3 Operación en condiciones anormales.....	- 48 -
• 5.2.4 Endurancia.....	- 48 -
5.3 EN 55015 PERTURBACION RADIOELÉCTRICA DE LOS EQUIPOS DE ILUMINACIÓN.	

COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA.....	- 49 -
• 5.3.1 ¿Qué es la compatibilidad electromagnética?	- 49 -
• 5.3.2 Objeto y campo de aplicación	- 49 -
• 5.3.3 Tensiones perturbadoras en bornes de alimentación	- 50 -
5.4 EN 61000-3-2 ARMÓNICOS.	- 53 -
6 CONCLUSIONES Y LINEAS DE FUTURO.	- 56 -
6.1 Problemas identificados y soluciones propuestas.	- 56 -
6.2 Verificación y validación del diseño.	- 58 -
6.3 Líneas de futuro.	- 58 -
7 ANEXOS.....	- 59 -
7.1 PUESTO DE TRABAJO.....	- 59 -
7.2 INSTRUMENTACIÓN.	- 60 -
7.3 HERRAMIENTAS SOFTWARE.....	- 60 -
7.4 REFERENCIAS.....	- 60 -
7.6 HOJA TÉCNICA DEL PRODUCTO.....	- 61 -
7.7 LISTA DE MATERIALES	- 62 -
7.8 ESQUEMA ELÉCTRICO.....	- 64 -
7.9 ESPECIFICACIÓN DEL TRANSFORMADOR	- 65 -
7.10 ANAGRAMA DE MARCAJE	- 66 -
7.11 DISPOSICIÓN SMD Y SERIGRAFÍAS PCB	- 67 -
8 CONCLUSIÓN	- 68 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vida útil de las lámparas existentes en el mercado	- 7 -
Figura 2. Rendimiento LED frente a otras tecnologías (datos publicados CREE) .-	8 -
Figura 3. Cronograma.....	- 14 -
Figura 4. Diagrama de bloques de la fuente de alimentación para LED	- 17 -
Figura 5. Esquema filtro de entrada y etapa <i>Valley Fill</i>	- 18 -
Figura 6. Funcionamiento básico del convertidor <i>Flyback</i>	- 19 -
Figura 7. Esquema convertidor <i>Flyback</i> y circuito de control.....	- 21 -
Figura 8. Esquema red <i>Snubber</i>	- 22 -
Figura 9. Esquema limitador de corriente	- 23 -
Figura 10. Señales corriente por el drenador y señal gate MOSFET	- 24 -
Figura 11. Corrientes por el bobinado primario y secundario.....	- 25 -
Figura 12. Variación del ancho de pulso en la señal de <i>gate</i> del MOSFET	- 26 -
Figura 13. Tensión entre drenador y fuente del MOSFET.....	- 27 -
Figura 14. Corriente drenador del MOSFET y corriente diodo del secundario ...	- 29 -
Figura 15. Dimensiones carrete EF25/7.....	- 30 -
Figura 16. Dimensiones ferrita.....	- 31 -
Figura 17. <i>Layout</i> del circuito impreso.....	- 36 -
Figura 18. Medidas experimentales del prototipo	- 38 -
Figura 19. Gráfica <i>Vout</i> frente a <i>Iout</i>	- 39 -
Figura 20. Imágenes termográficas de la cara bottom y de la top	- 40 -
Figura 21. Señal en osciloscopio de corriente y tensión de salida.....	- 43 -
Figura 22. Ensayo de rigidez entre primario y secundario	- 46 -
Figura 23. Esquema del conexionado eléctrico.....	- 47 -
Figura 24. Ensayo EMC. <i>LISN</i> y analizador de espectros	- 51 -
Figura 26. Normativa para cumplimiento de armónicos	- 54 -
Figura 27. Señal de corriente y tensión de entrada.....	- 55 -
Figura 28. Imagen del puesto de trabajo	- 59 -

Quiero agradecer a mis profesores de la EUITIZ su excelente labor docente, porque gracias a ella, he acumulado los conocimientos necesarios para comenzar mi vida profesional como ingeniera electrónica en una labor de investigación y desarrollo dentro de mi empresa, ELT. Mención especial merecen mis profesores del departamento de electrónica, Carlos, Vicente y Arancha, que me han hecho más fuerte y que gracias a ellos, aprendí a buscar soluciones de problemas que parecían imposibles. ¡Hoy en día en mi puesto de trabajo me enfrento a un examen de analógica o potencia casi todos los días!

Agradecer a ELT, empresa en la que actualmente trabajo, la confianza y recursos puestos en mí. Y en especial a Enrique, director de I+D+i, y a Rafael, compañero de departamento, por confiar en mí y darme la oportunidad de trabajar en una empresa como ELB y por todo lo aprendido en estos tres años y medio trabajando junto a él.

Por último, agradecer a mi familia el apoyo incondicional que me han dado a lo largo de toda mi vida.

Muchísimas gracias a todos.

0 INTRODUCCIÓN: TECNOLOGÍA LED EN EL CAMPO DE LA ILUMINACIÓN.

En un primer momento, los LED fueron utilizados como testigos e indicadores luminosos en aparatos electrónicos. Más tarde los fabricantes desarrollaron diodos más precisos y potentes y estudiaron su instalación en semáforos, pantallas informativas y, más adelante, en faros de vehículos.

La evolución de la tecnología LED en el campo del LED blanco ha sido muy rápida, desde 2003 se han ido mejorando los parámetros básicos como el rendimiento lumínico, la reproducción cromática (CRI), mejor respuesta térmica y por lo tanto mayor vida útil, hasta el punto de que el LED ha pasado de utilizarse como señalización, a integrarlo en el mundo de la iluminación.

Desde el punto de vista luminotécnico, un LED, es una pequeña lámpara en estado sólido sin filamentos, ni gas, ni ampollas de vidrio, estos hechos hacen que no se fundan como lo hacen las tradicionales bombillas y por lo tanto se consigue un aumento de vida útil de la lámpara LED con respecto a otras tecnologías como las lámparas de descarga, las lámparas de sodio o mercurio.

En la siguiente figura se muestra una comparativa de la vida útil de los distintos tipos de lámparas que existen en el mercado.

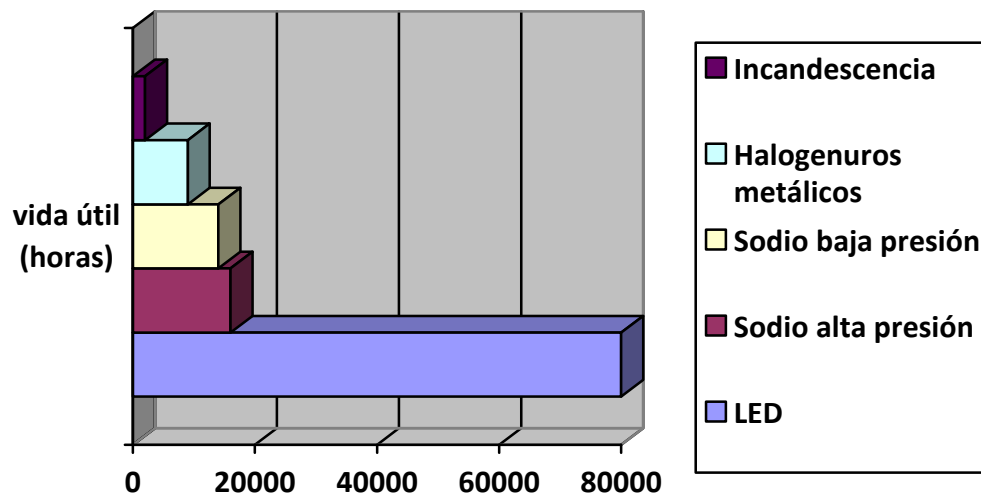


Figura 1. Vida útil de las lámparas existentes en el mercado

Además de la vida útil, el LED tiene otro gran beneficio frente a otras tecnologías, un reducido consumo y una alta eficiencia, es decir, muy buen rendimiento energético. Una bombilla emplea sólo un 10% de cada vatio para iluminar, mientras que el resto de consumo se convierte en calor. En la tecnología LED, es totalmente lo contrario, un 90% de luz frente a un 10% en calor.

En la siguiente figura se muestra la evolución del rendimiento lúmenes por vatio en la tecnología LED respecto a otras tecnologías de iluminación.

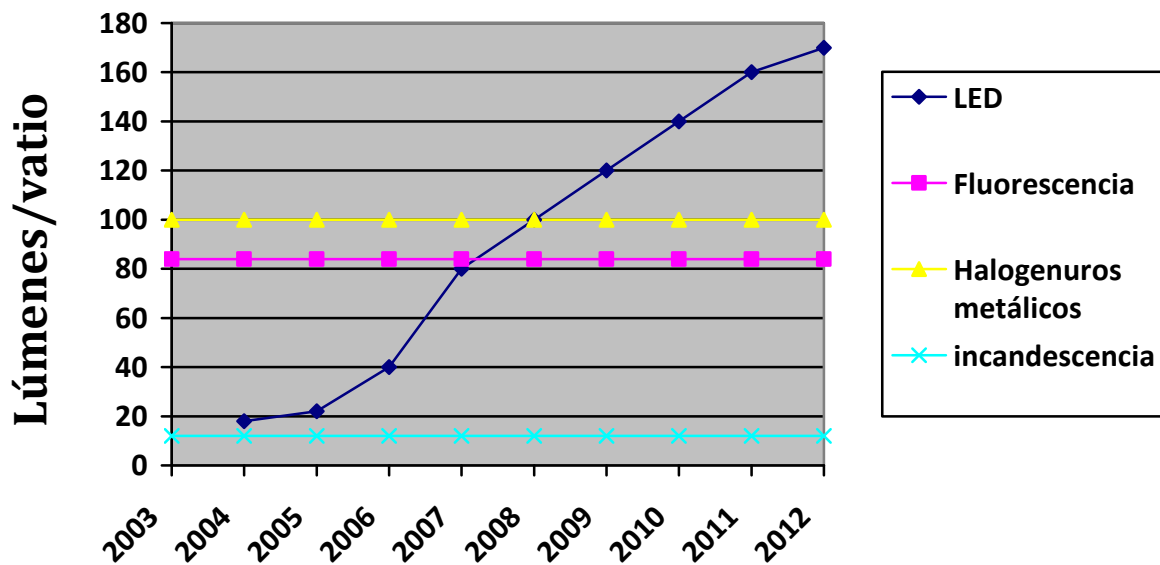


Figura 2. Rendimiento LED frente a otras tecnologías (datos publicados por CREE)

Otro beneficio es que no hay prácticamente pérdidas por reflexión, los sistemas como los dicroicos o la fluorescencia necesitan de reflectores para concentrar la luz en el punto que queremos iluminar, lo que supone perder hasta un 60% de rendimiento, el LED no precisa de pantallas reflectoras, por lo que se consigue hasta un 90% de rendimiento.

El impacto producido por esta tecnología en el mercado ha sido muy grande, pero como toda tecnología, hay que cumplir todos los requisitos de instalación para poder obtener todos sus beneficios.

El principal enemigo del LED es el calor. Si no aseguramos una temperatura de funcionamiento adecuada, la vida útil del LED se reduce drásticamente, por este motivo, es muy importante el conjunto disipador – alimentador LED en este tipo de lámparas.

El alimentador LED fija la corriente a la que van a ser “conducidos” los LED y por lo tanto la potencia en la lámpara. A más corriente, más potencia, más calor en el LED, aunque también más luz. Por eso, el disipador tiene que ser de materiales de calidad y del tamaño adecuado para la potencia de trabajo y el alimentador debe asegurar una vida útil al menos igual a la de la lámpara.

En la actualidad la tecnología está preparada para iluminar calles, tiendas, oficinas, hogares... el mayor obstáculo es el precio. Aun así, los fabricantes de LED anuncian familias cada vez más baratas y más eficientes por lo que la tecnología no tardará en inundar el mercado de la iluminación.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1 Enunciado del proyecto

Debido al incipiente y rápido cambio de tendencia en el mercado de la iluminación hacia la tecnología LED, surge la necesidad de diseñar una familia de alimentadores de corriente constante para módulos LED para cubrir las necesidades del mercado.

El primer diseño se basa en completar una gama de *drivers* de corriente constante de salida para cargas menores o iguales a 25W. Dicha gama tendrá 6 modelos con distintas potencias nominales de carga y diferentes corrientes de salida.

Denominación	Potencia máxima	Corriente de salida
LC 116/350-A	16W	350mA
LC 116/500-A	16W	500mA
LC 116/700-A	16W	700mA
LC 125/350-A	25W	350mA
LC 125/500-A	25W	500mA
LC 125/700-A	25W	700mA

En este proyecto se va a desarrollar el modelo base de la gama: LC 116/700-A, un canal en la salida, potencia máxima de carga 16W (P_{out}) y corriente de salida constante 700mA (I_{out}).

1.2 Requisitos de partida

Antes de comenzar el diseño, se deben aportar unos requisitos de partida, tanto técnicos como comerciales, que fijen las características físicas y técnicas que va a tener el producto, el mercado al que va dirigido, la necesidad de certificar el producto ENEC (certificado de calidad emitido por un organismo oficial)...

Por ello planteamos las siguientes cuestiones:

- **Clasificación del producto:**

Petición del Departamento comercial por demanda del mercado.

- **Características:**

- Eléctricas:

- *Tipo de lámparas:* LED o módulos de LED de potencia que soporten corriente de 700mA.
- *Potencia:* Regula potencia a la salida de 1W a 16W.
- *Tensión de alimentación:* 110-240V.
- *Frecuencia:* 0... 50/60 Hz.

- Físicas:

- *Dimensiones:* El equipo tendrá que encajarse en la envolvente ya existente de los transformadores electrónicos para lámparas halógenas.
- *Sistema de conexiones:* 2 polos en el borne de entrada (fase y neutro) y 2 polos en el borne de salida (conexión a los LED con polaridad + y -).

- Otras:

- *Vida del producto:* 50.000 horas.
- *Rango de temperatura de funcionamiento:* -20... 55°C.

- **Cliente al que va dirigido el producto:**

Fabricantes de luminarias con tecnología LED y distribuidores de material eléctrico.

- **Uso del producto:**

Lámparas o luminarias con tecnología LED de 1W a 25W para instalación *indoor*.

- **Requisitos legales y normativas a cumplir:**
Marcado CE y normativa para certificación ENEC.
- **Plazos orientativos:**
 - Desarrollo: 3 meses.
 - Fabricación: 3 meses.

1.3 Especificaciones técnicas generales del producto

Junto con los datos de partida se deben plantear otros aspectos técnicos a tener en cuenta en el diseño del producto.

Estos datos son aportados, previo estudio del mercado, por el departamento de I+D y el departamento de Calidad. Se busca el objetivo de tener en cuenta, por un lado, tener en cuenta todos los aspectos para el correcto cumplimiento de normativas y por el otro lado, conseguir un producto terminado con novedades respecto a la competencia y que resulte práctico y sencillo de instalar al cliente final.

En este caso, se plantean los siguientes aspectos generales técnicos a tener en cuenta durante el desarrollo:

PFC (Power Factor Correction): El equipo va a ser menor de 25W, por ello, la normativa no exige tener alto factor de potencia. Puesto que es una buena característica eléctrica y por lo tanto un buen argumento comercial, se va a diseñar una etapa de entrada para que el PFC esté entre 0.8 y 0.9.

- Aislamiento: La etapa de entrada y la etapa de salida estarán aisladas galvánicamente con el fin de que el cliente final no tenga que preocuparse de la seguridad en la instalación del módulo de LED.

- Limitación de corriente a la salida: A la salida del circuito hay un condensador de gran capacidad que en algunas situaciones se queda cargado. Debido a su rápida descarga se produce un pico de corriente de varios amperios. Se debe diseñar un limitador de corriente para evitar que esa descarga brusca del condensador pueda dañar el módulo de LED.

2 PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO.

La planificación del diseño consiste en realizar una programación de actividades y una gestión de los recursos necesarios para la realización del proyecto en un espacio de tiempo definido.

2.1 CRONOGRAMA

El siguiente cronograma muestra la duración de cada actividad y el orden de ejecución.

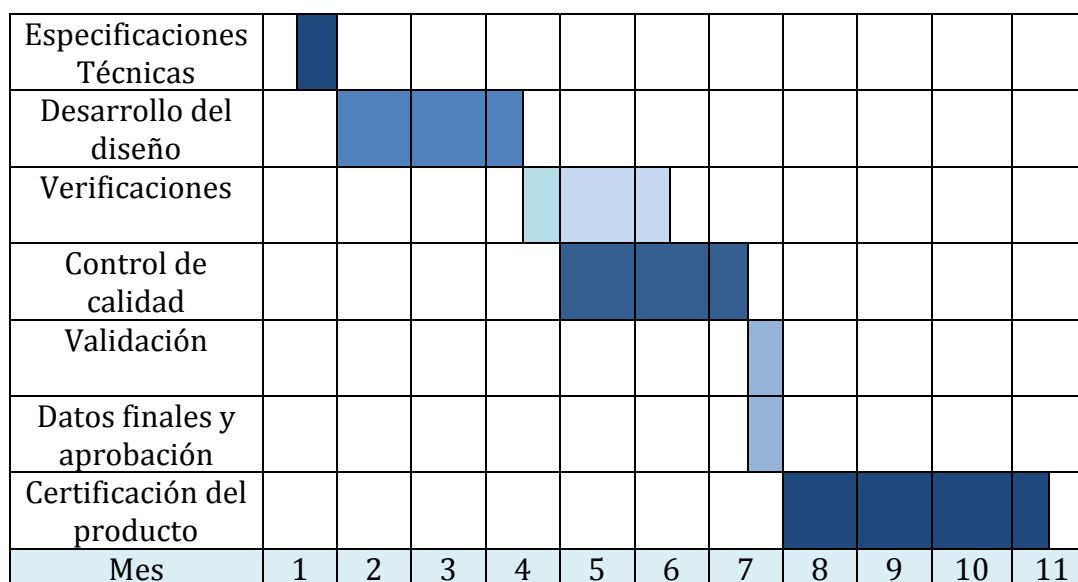


Figura 3. Cronograma

Como se muestra en la figura, las actividades son consecutivas y no se solapan en el tiempo ya que para seguir con la siguiente etapa debemos finalizar la anterior.

Cada celda horizontal representa un mes de tiempo, por lo que el proyecto se desarrolla en 11 meses. En el siguiente apartado se desarrollan de forma más específica todas las fases del proyecto y sus fechas de ejecución.

2.2 FASES Y RESPONSABLES

La programación de actividades debe aportar al director de proyecto un calendario de ejecución del proyecto donde se refleje la fecha de inicio y finalización de las distintas actividades en que se ha descompuesto el proyecto.

Fase	Responsables	Fecha inicio	Fecha finalización
1- Técnico responsable: Sandra Solán	Jefe Dpto.	26/03/10	26/03/10
2- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	Técnico de diseño	13/04/10	26/04/10
3- Revisión de datos de partida.	Jefe Dpto. y Técnico	3/5/10	3/5/10
4- DESARROLLO DEL DISEÑO. · Estudio de viabilidad · Planteamientos para el diseño · Especificación de la tecnología del diseño · Cálculos teóricos y esquema eléctrico · Diseño PCB y montaje del Prototipo	Técnico de diseño	3/5/10	13/7/10
5- VERIFICACIONES	Técnico de diseño	15/7/10	28/7/10
6- CONTROL DE CALIDAD	Técnico de calidad	28/7/10	17/9/10
7- Revisión de las verificaciones	Jefe Dpto. y Técnico	1/9/10	20/9/10
8- VALIDACIÓN	Comité de producto	18/10/10	18/10/10
9- DATOS FINALES · Revisión de los datos finales · Aprobación	Jefe Dpto. y Técnico Jefe Dpto.	19/10/10 19/10/10	19/10/10 19/10/10
10-CERTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	Técnico de diseño	5/11/10	14/2/11

3 DESARROLLO DEL DISEÑO.

3.1 PLANTEAMIENTOS INICIALES PARA EL DISEÑO.

Una vez se tienen los datos de partida y las especificaciones técnicas se busca una tecnología para diseñar el producto final cumpliendo con todas las especificaciones planteadas.

Para conseguir un factor de potencia mayor de 0.8 existe una etapa de entrada denominada *Valley Fill*. Esta etapa tiene una circuitería sencilla y mucho más económica que otros circuitos correctores de PFC. Puesto que el equipo va a tener una potencia en carga menor de 25W, la normativa no impone alto factor de potencia (> 0.95). Por tanto, la etapa de entrada *Valley Fill* es una buena solución para tener un PFC mayor de 0.85 a un coste relativamente pequeño. Para una total comprensión del funcionamiento de la etapa *Valley Fill* consultar el apartado II de la referencia de *International Rectifier, Fluorescent Ballast Design Using Passive P.F.C and Crest Factor Control* de Peter N. Wood.

Aislamiento entre primario y secundario: convertidor *Flyback*, dada su sencillez y bajo costo, es una topología muy recomendable para los convertidores baja potencia (hasta 40 w aproximadamente).

En una fuente *Flyback*, el principio de operación consiste en la transferencia de energía que se realiza mediante “paquetes” de energía en forma de campo magnético almacenado en el núcleo a través del devanado primario y que se transfieren al devanado secundario. Más adelante se explicará detalladamente su funcionamiento.

Una vez se decide utilizar una topología *Flyback*, se busca un *driver* comercial para el manejo de la etapa.

La elección del chip FAN102 de Fairchild, se debe básicamente a dos características que otros fabricantes no tienen: el transistor MOSFET del *Flyback*

está fuera del integrado y la regulación de la salida se realiza a través de un devanado auxiliar del transformador.

Que el transistor MOSFET del *Flyback* este fuera del integrado permitirá dimensionar dicho componente para la potencia máxima de salida de cada equipo. El hecho de no tener que sobredimensionar ese transistor en todos los equipos de la familia, nos permite reducir el coste del producto final.

Por la misma razón, el coste económico, que la regulación de la salida se haga a través de un devanado auxiliar, supone el ahorro de componentes como un optoacoplador, algún comparador y otros componentes pasivos.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques de la fuente de alimentación para LED:

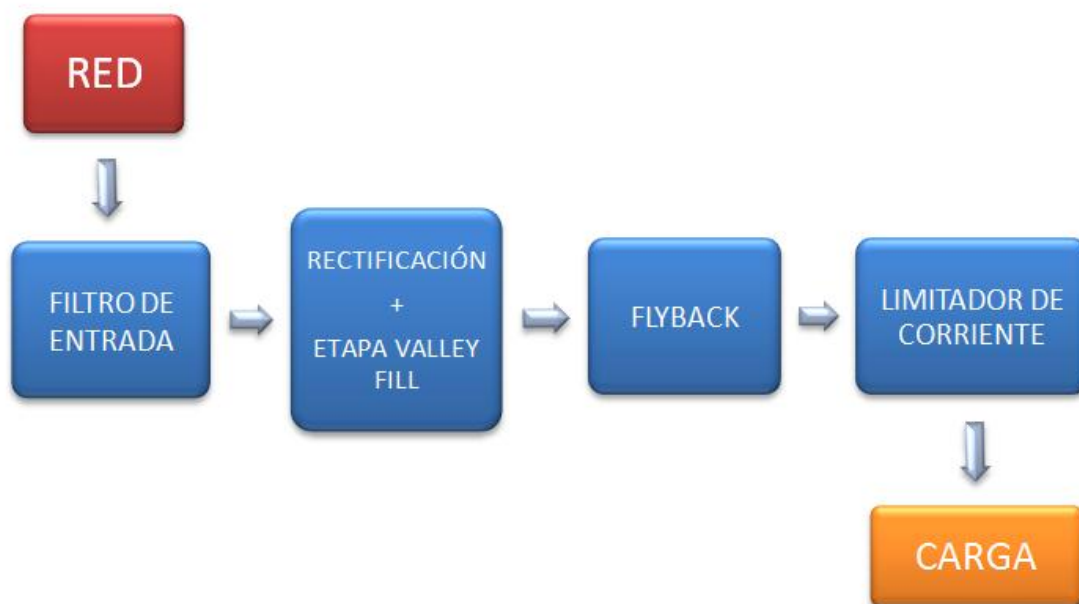


Figura 4. Diagrama de bloques de la fuente de alimentación para LED

3.2 ETAPAS DEL CIRCUITO

En el anexo 7.8 se muestra el esquema eléctrico completo. En este apartado, y para una mejor comprensión del diseño, vamos a desarrollar las diferentes etapas por separado.

- **Etapas de entrada: Filtro de entrada y etapa Valley Fill.**

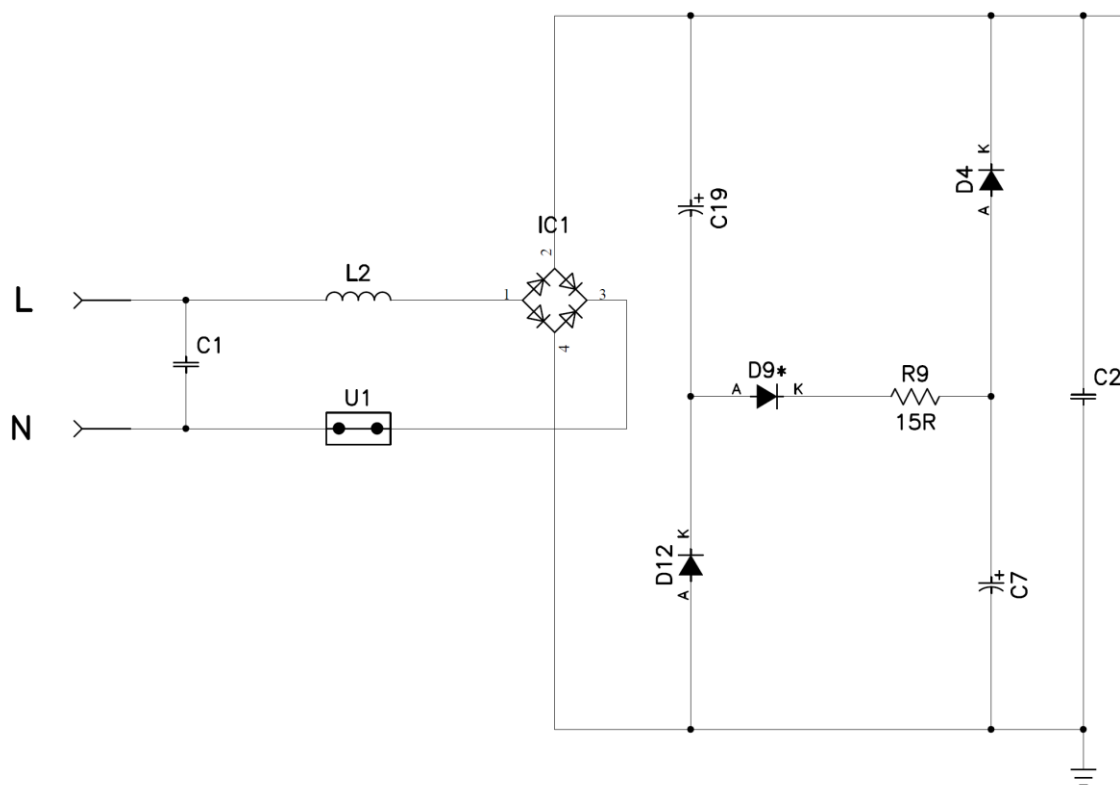


Figura 5. Esquema filtro de entrada y etapa Valley Fill

El filtro de entrada está compuesto por los condensadores C1 y C2, y el choque inductivo L2 y se encargan de evitar que los ruidos producidos por las conmutaciones en alta frecuencia pasen a la red. Estos ruidos se propagan a través de los cables de alimentación y pueden llegar a afectar al resto de equipos conectados a la red. En el capítulo de cumplimiento de normativas se explicará de forma más extensa cómo afectan las interferencias electromagnéticas y como se

diseña el filtro de entrada para cumplir las normativas de compatibilidad electromagnética.

El circuito integrado IC1 es un rectificador de onda completa.

Por último, la etapa *Valley Fill* es la compuesta por los dos condensadores electrolíticos C19 y C7, los tres diodos D12, D9 y D4 y la resistencia R9. En este circuito los condensadores se cargan en serie a través del diodo D9.

Los condensadores C19 y C7 se cargan en serie y se descargan en paralelo a través de los diodos D12 y D4. Por lo tanto, la forma de la onda de corriente sigue a la de tensión desde los 30° a 150° y desde los 210° a 330°, lo que hace que el factor de potencia sea mayor de 0.80.

El objetivo de la resistencia R9 es el de reducir los picos de corriente de la carga de los condensadores. Debe ser de un valor óhmico bajo, en nuestro caso 15R.

El diodo D9 se pone para evitar que la descarga de C7 a través de C19.

- **Convertidor *Flyback* y control de la corriente de salida.**

El convertidor *Flyback* es ampliamente utilizado en aplicaciones de poca potencia debido a que es una solución sencilla, robusta y de bajo coste, ya que no necesita una bobina en la etapa de salida como otras configuraciones.

La etapa está formada por un transformador con dos bobinados (primario, secundario), un transistor y el diodo y condensador de secundario.

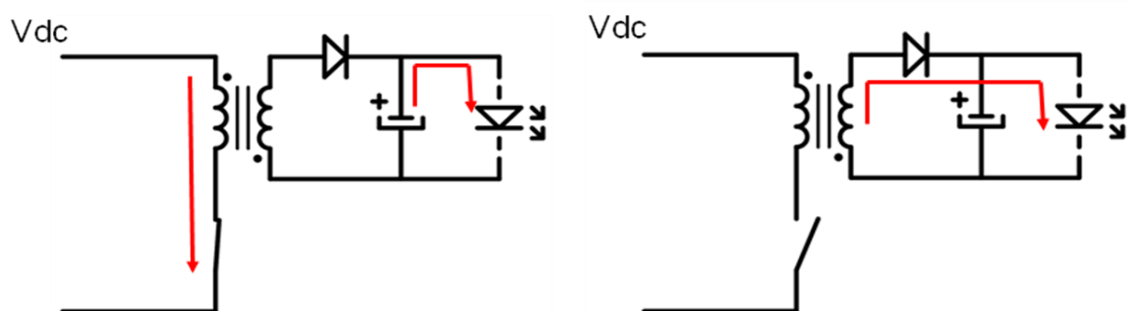


Figura 6. Funcionamiento básico del convertidor *Flyback*.

La figura 6 muestra el circuito simplificado de la topología *Flyback* y su funcionamiento básico.

En esta figura se muestra el circuito equivalente en los dos estados del transistor: ON y OFF.

Cuando el transistor está activado (dibujo de la izquierda), la bobina primaria está conectada directamente a la tensión V_{dc} proveniente de la etapa *Valley Fill*. La carga en corriente de la bobina primaria provoca un incremento del flujo magnético en el núcleo. La tensión en el secundario es negativa, por lo que el diodo está en inversa y es el condensador de salida el único que proporciona energía a la carga.

Cuando el transistor está abierto (dibujo de la derecha), la tensión en el secundario es positiva, el diodo conduce y la energía almacenada en el núcleo magnético es transferida a la carga y al condensador de salida.

El control del transistor MOSFET, se realiza por variación de frecuencia de la señal de GATE. Esta operación es realizada por el circuito integrado FAN102.

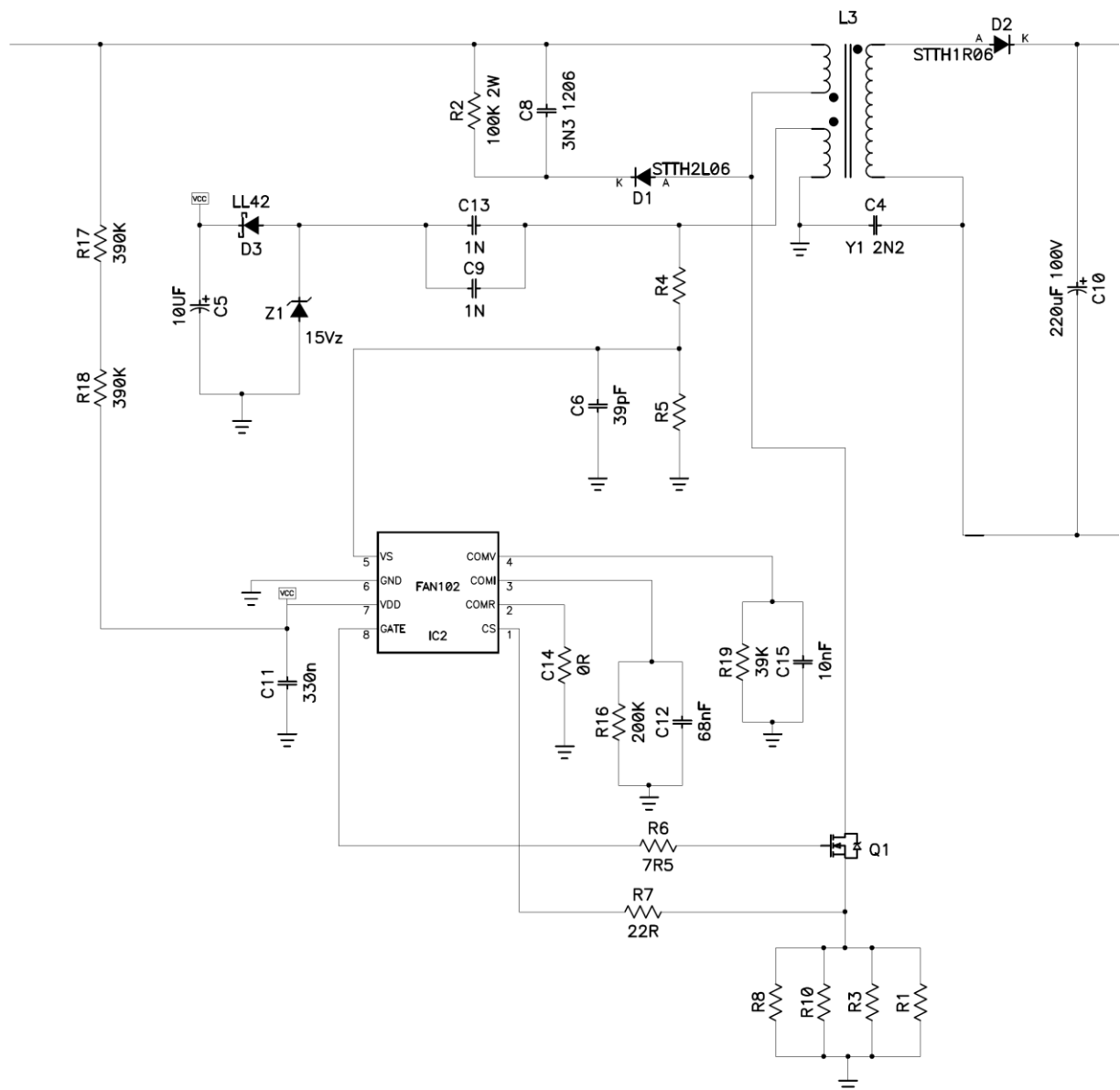


Figura 7. Esquema convertidor *Flyback* y circuito de control

En el caso de este diseño, el transformador *Flyback* tiene un bobinado auxiliar para sacar la alimentación del circuito integrado FAN102 y obtener parte de la información necesaria para así regular la frecuencia de *switch* del transistor MOSFET, y por lo tanto la corriente de salida del driver. El resto de información se obtiene de la lectura de la corriente I_d que pasa por el transistor y que se lee en el *shunt* resistivo (R1, R3, R8 y R10)

- **Red Snubber**

Las redes *snubber* se utilizan para suprimir transitorios indeseables y mejorar la conmutación. Estos transitorios se producen en circuitos de conmutación con elementos inductivos y capacitivos como es nuestro caso.

La conmutación del transistor MOSFET produce sobretensiones transitorias que pueden exceder los límites de la tensión V_{ds} y producir la destrucción de este.

La red *snubber* diseñada está formada por D1, R2 y C8, y el diodo interno del MOSFET que forma una red de recorte pasiva (*clammer*).

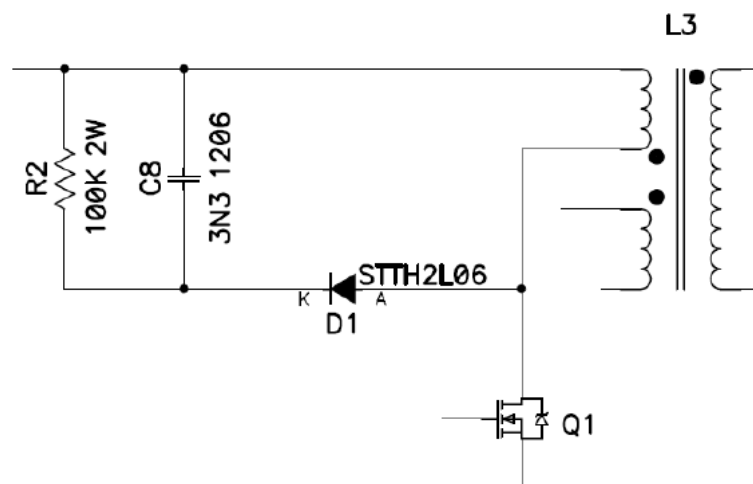


Figura 8. Esquema red *Snubber*

- **Limitador de corriente a la salida**

En los *drivers* para LED diseñados con topología *Flyback*, casi siempre tenemos entre bornes de salida un condensador electrolítico de gran capacidad. En la situación de conexión de la carga LED con ese condensador cargado, el resultado es similar a cortocircuitar dicho condensador, por lo que se genera un pico de corriente de varios amperios que rompe todos los diodos LED.

Esta situación es relativamente fácil de encontrar en cualquier instalación, ya que la conexión de los módulos LED con tensión de red en el equipo, o simplemente un falso contacto en las conexiones de los cables de la carga hacen que el condensador de salida se cargue y seguidamente se descargue bruscamente por los LED rompiéndolos.

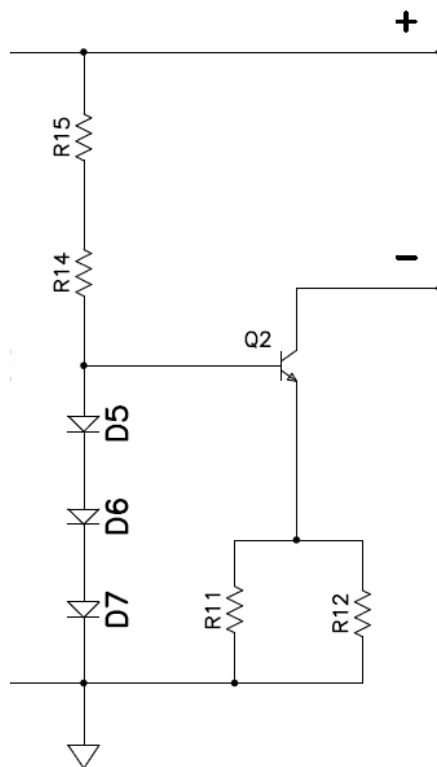


Figura 9. Esquema limitador de corriente

El circuito limitador de corriente funciona de la siguiente manera, en funcionamiento normal del equipo con corriente de salida 700mA, el transistor bipolar Q2 está polarizado para que funcione en saturación, de forma que las pérdidas sean las menores posibles. Cuando se produce la situación de descarga brusca del condensador de salida, el pico de corriente pasa por R11 y R12 y cuando llega a 1,3 amperios, Q2 corta y abre el circuito, por lo que el pico no crece más y los LED no se rompen.

R14 y R15 son necesarias para polarizar Q2. Se utilizan los diodos D5, D6 y D7 para fijar la tensión en la base del transistor.

3.3 “DRIVER” FAN102: FUNCIONAMIENTO.

El FAN102 de Fairchild regula la corriente de salida desde el primario con la información que obtiene de un devanado auxiliar del transformador *Flyback*. Esto significa que, utilizando este driver no necesitamos acoplar ningún circuito para

regular la salida desde el secundario hasta el primario, por lo tanto, reducimos el costo de componentes y el espacio que necesitamos en la PCB.

La diferencia principal entre un transformador *Flyback* y un transformador común, es que un *Flyback* se diseña para almacenar energía en su circuito magnético, es decir, funciona como un inductor puro, mientras que transformador común se diseña para transferir energía del primario al secundario con un mínimo de energía almacenada.

En una fuente *Flyback* el circuito de control es un ON/OFF que controla la tensión de salida regulando la energía que se transfiere mediante cambios en la frecuencia o el ciclo de trabajo del interruptor (MOSFET).

Cuando el MOSFET conduce (ON), la corriente crece linealmente en el primario del transformador (*figura 10*), diseñado con alta inductancia para almacenar energía a medida que el flujo magnético aumenta.

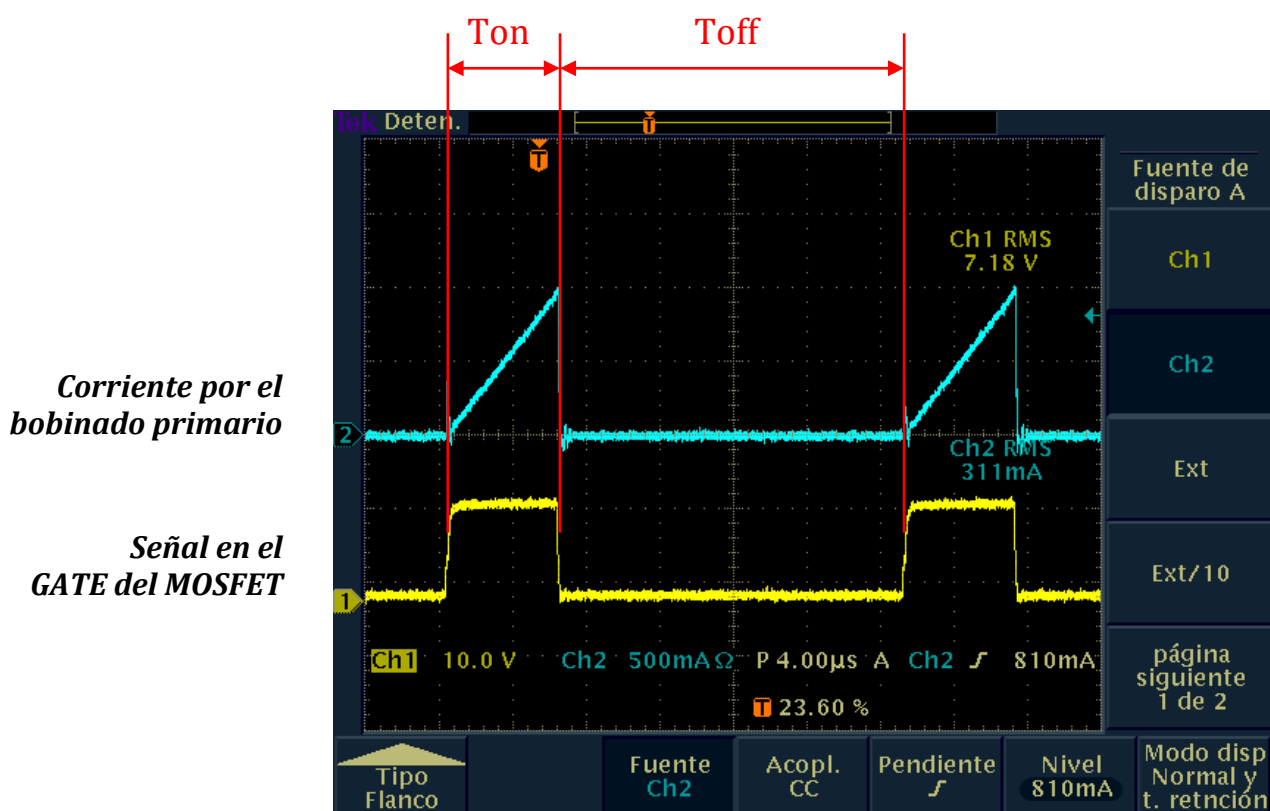


Figura 10. Señales corriente por el drenador y señal gate MOSFET

La disposición del devanado asegura que el diodo del secundario está polarizado en sentido inverso durante este período, por lo que no circula corriente en el secundario. Cuando el MOSFET conmuta a OFF (*figura 11*), el flujo en el transformador cesa generando una corriente inversa en el secundario que carga el condensador a través del diodo alimentando la carga.

Es decir, en el campo magnético del transformador se almacena la energía durante el período «ON» del transistor y se transfiere a la carga durante el período «OFF».

El condensador de salida mantiene la tensión en la carga durante el período «ON».

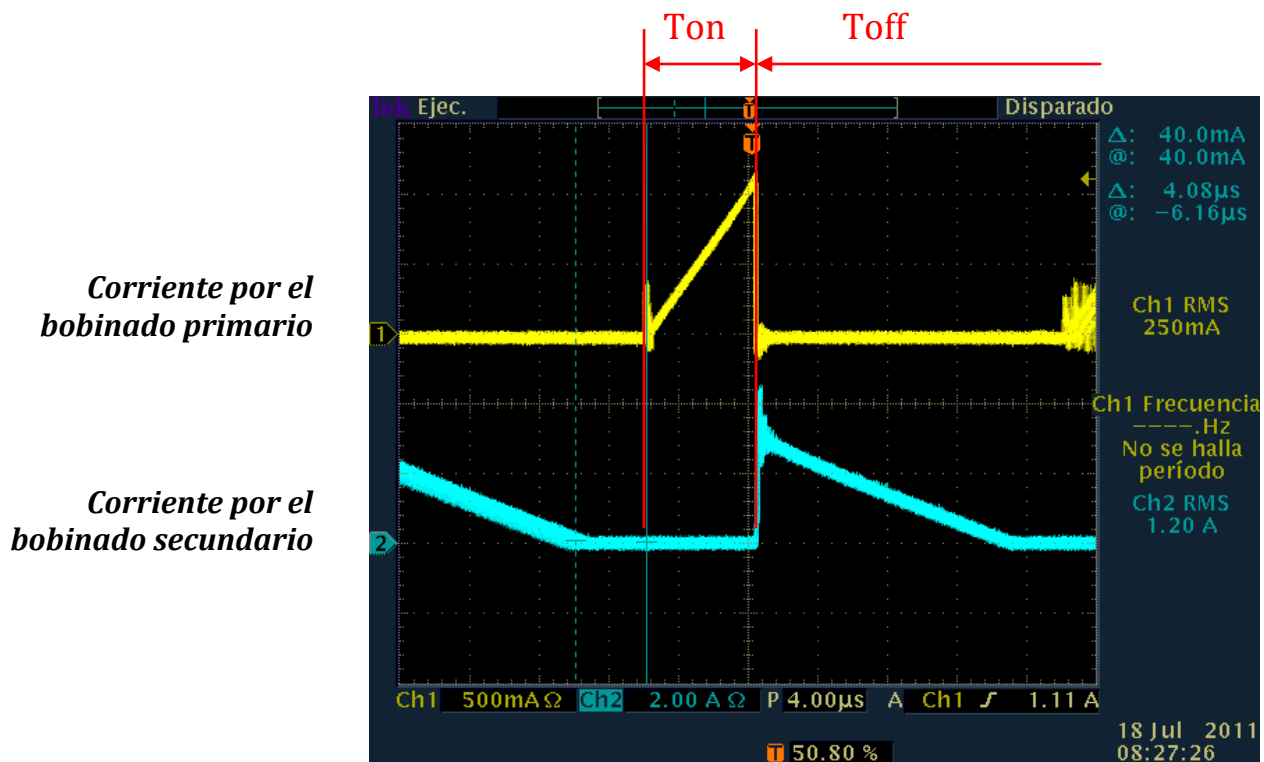


Figura 11. Corrientes por el bobinado primario y secundario

La variación del período «ON» se controla por modulación de ancho de pulso (PWM) a frecuencia variable. Obsérvese la figura 12.

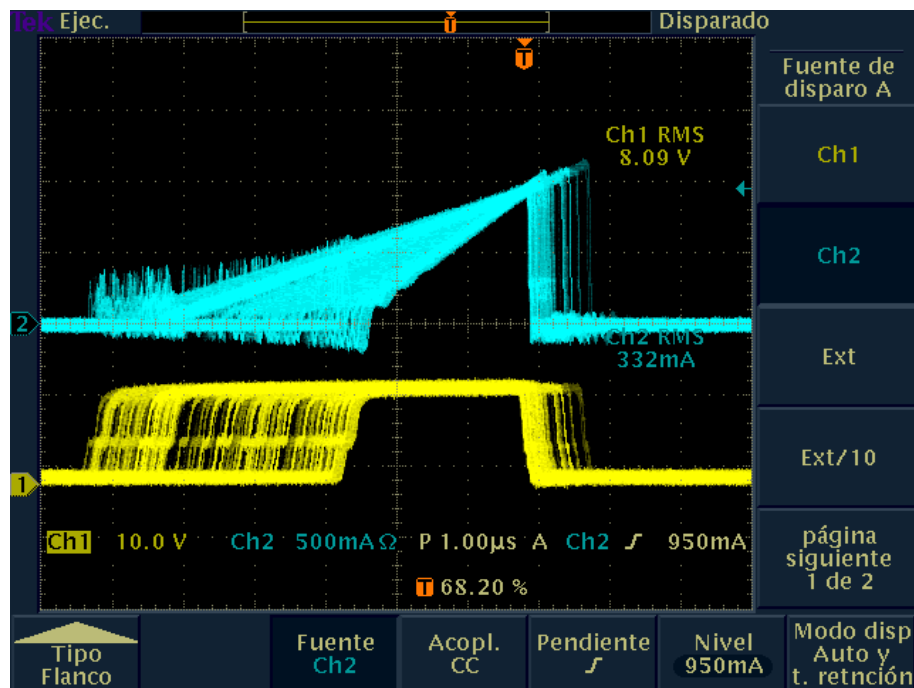


Figura 12. Variación del ancho de pulso en la señal de *gate* del MOSFET

Como se ha nombrado anteriormente, la corriente de salida se regula a través del devanado auxiliar del transformador en el lado primario. El circuito integrado FAN102 lee en el pin VS, conectado al bobinado auxiliar a través de un divisor resistivo, el tiempo de descarga de la bobina a través del diodo del secundario. La lectura de este intervalo, se compara con una referencia interna del FAN102, y con el resultado de la comparación se calcula el ciclo de trabajo y la frecuencia de la señal de *gate* del transistor MOSFET. De esta forma regulamos la corriente de la salida.

Generalmente, para la regulación desde el lado primario, se recomienda una operación en modo discontinuo, es decir, la corriente en el diodo del secundario debe hacerse cero antes de volver a conmutar el transistor a ON. Cuando la corriente del diodo se hace cero, la tensión en el bobinado auxiliar del primario comienza a oscilar por la resonancia existente entre el bobinado primario y la capacidad entre drenador y fuente del MOSFET. Esta oscilación es la señal de final de lectura para el FAN102. Por eso hay que diseñar el transformador de forma que asegure el modo de conducción discontinuo para todo el rango de tensiones de salida.

3.4 CÁLCULOS.

En la figura 13 se muestra la tensión entre el drenador y la fuente del MOSFET (V_{ds}).

Cuando el MOSFET está en OFF, la tensión entre drenador y fuente es igual a la suma entre la tensión de bus (V_{dl}) y la tensión reflejada del secundario (V_{sec}). En el cálculo de la tensión $(V_{ds})_{max}$, también hay que tener en cuenta el pico de tensión que tiene en la conmutación a OFF (V_{os}) el cual es típicamente una vez la tensión reflejada en el secundario V_{sec} .

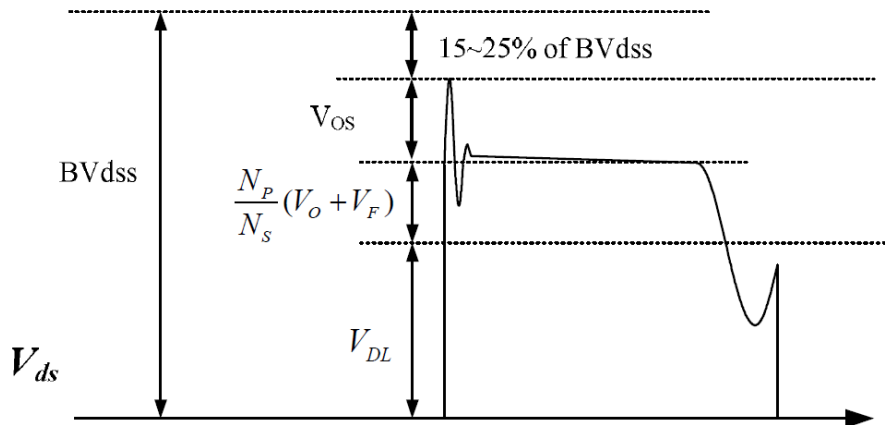


Figura 13. Tensión entre drenador y fuente del MOSFET

Por lo tanto, ya tenemos un parámetro del MOSFET definido:

$$V_{ds} > V_{dl}^{max} + V_{sec} + V_{conm} = V_{dl}^{max} + 2 \cdot V_{sec}$$

donde, V_{sec} se define como:

$$V_{sec} = (N_p/N_s)(V_o + V_F)$$

Donde N_p son las vueltas del bobinado primario, N_s son las vueltas del bobinado secundario, V_o es la tensión de salida y V_F es la tensión en directa del diodo.

Cuando el MOSFET conmuta a ON, la tensión inversa que ve el diodo es la suma de

la tensión de salida V_o y la tensión reflejada del primario en el secundario.

Con estos datos, conocemos el parámetro de tensión inversa que el diodo tiene que soportar:

$$V_D = (N_s/N_p) V_{bus\ max} + V_o$$

A la hora de diseñar el transformador tenemos que buscar un compromiso en el parámetro N_p/N_s ya que si éste aumenta, aumenta la tensión que debe soportar entre drenaje y fuente el MOSFET aunque disminuye la tensión en inversa que debe aguantar el diodo del secundario. Por lo tanto, debemos fijar el parámetro más restrictivo y luego calcular el otro.

Como la mayoría de las pérdidas en el diodo del secundario son por conducción, se necesita un diodo con poca tensión directa (V_F), es decir, un diodo *Schottky*.

Los diodos *Schottky* que hay en el mercado soportan una tensión inversa máxima de 200V. La tensión V_D deberá ser menor que 200V.

El número de espiras del bobinado auxiliar (N_{aux}) se debe calcular de forma que, la tensión inducida en ese bobinado sea suficiente para que el sistema de bombeo diseñado mantenga como mínimo 12V en el condensador de alimentación con la mínima tensión de entrada. La tensión en el bobinado auxiliar (V_{aux}) tiene la misma forma de onda que la tensión del secundario (V_s), su ecuación es la siguiente:

$$V_{aux} = (N_{aux}/N_s) (V_o + V_F)$$

En realidad, el ajuste definitivo del condensador de bombeo debe hacerse por verificación experimental. Aunque se podría calcular con las fórmulas de transferencia de energía cuando hacemos oscilar un condensador.

Una vez determinadas las relaciones de transformación, lo siguiente es calcular la inducción de la bobina en el devanado primario. Debemos asegurar la conducción en modo discontinuo.

Definiendo el tiempo de conducción del MOSFET como T_{ON} , tiempo de conducción del diodo T_D y el tiempo de no conducción T_{OFF} .

El tiempo de conducción del MOSFET es obtenido cuando la tensión de salida es un 70% del valor nominal.

$$T_{ON} = ((1/f_{switch} - T_{OFF}) / (1 + (N_s/N_p) \cdot (V_{DLmin}/0.7 \cdot V_o + V_F)))$$

La inducción del devanado primario se calcula:

$$L_p = (V_{DLmin} \cdot T_{ON})^2 \cdot f_{switch} / 2 \cdot P_{IN}$$

Ya podemos calcular el pico de corriente por el MOSFET a la tensión nominal de salida:

$$I_{DS}^{pk} = (2 \cdot P_{IN} / L_p \cdot f_{switch})^{1/2}$$

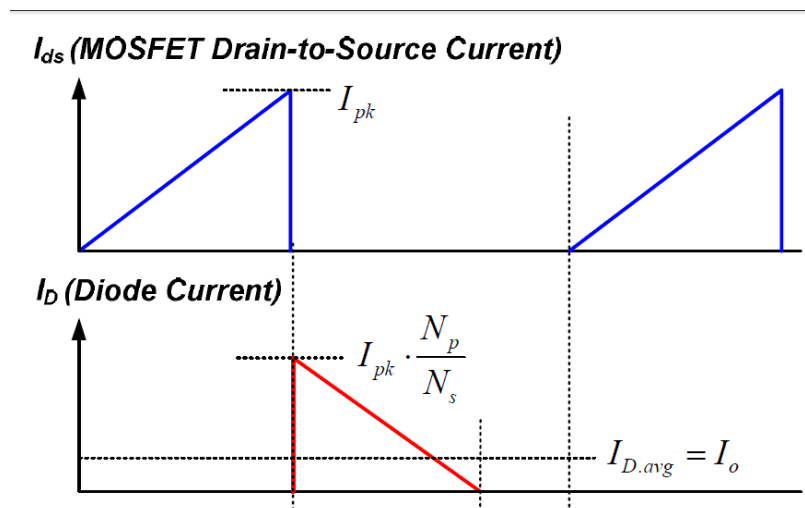


Figura 14. Corriente drenador del MOSFET y corriente diodo del secundario

El número mínimo de espiras en el devanado primario para evitar la saturación del

transformador viene dado por:

$$N_p^{\min} = L_p \cdot I_{DS}^{pk} / B_{sat} \cdot A_n$$

donde A_n es el área en m^2 del núcleo del transformador.

La peor situación para la saturación de la bobina, se da cuando el equipo está alimentado a 110V, por lo tanto, la inducción del devanado primario para evitar la saturación del transformador se calculará teniendo en cuenta que $V_{red}=110Vac$.

En este diseño, el formato del transformador viene impuesto por el tamaño de la envolvente. Diseñaremos el transformador en el formato EF25, estas son las dimensiones del carrete y de la ferrita:

Carrete EF25/7

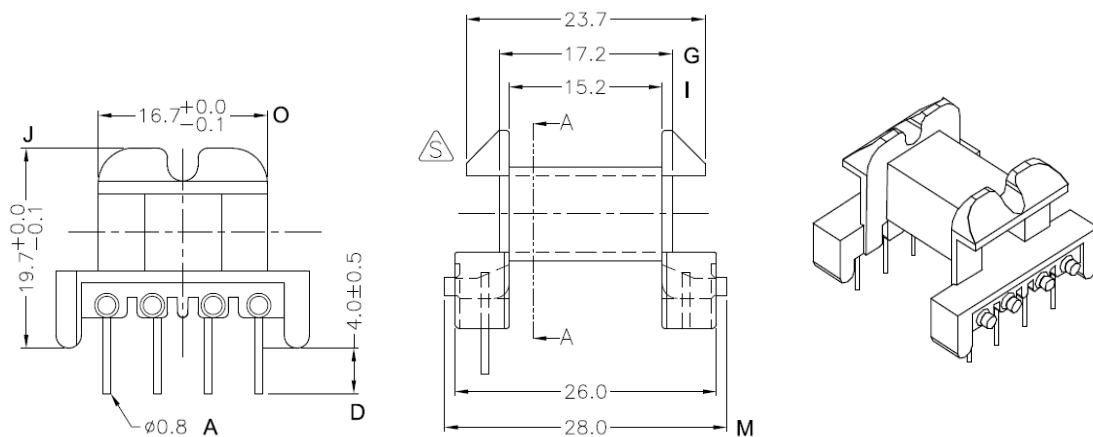
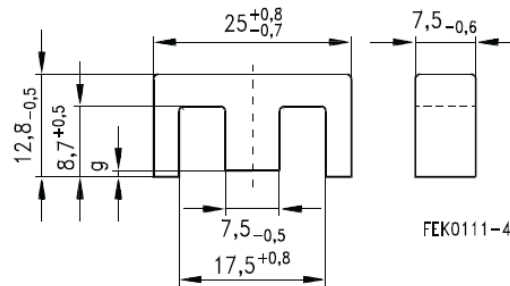


Figura 15. Dimensiones carrete EF25/7

Ferrita**Figura 16. Dimensiones ferrita**

El tipo de ferrita impone la sección del núcleo: $A_n = 52.5 \text{ mm}^2$

Se diseña un primer prototipo según los cálculos teóricos.

$N_p = 51$ espiras

$N_s = 18$ espiras

$N_{aux} = 5$ espiras

$L_p = 1000 \mu\text{H}$

Resultado:

Problemas de saturación con tensiones de alimentación por debajo de 160V.

Pocas espiras en el bobinado auxiliar lo que supone que necesitamos un condensador de bombeo de 10-15nf.

Solución:

Bajamos la inducción del devanado primario hasta que en condiciones más desfavorables (carga máxima - $V_{red} = 110\text{V}$)

Subimos el número de espiras N_{aux} para que a $V_{red} = 110\text{V}$ (peor caso) con 2nF en el circuito de bombeo mantengamos los 15V de alimentación.

Finalmente estos son los valores del transformador:

$N_p = 51$ espiras

$N_s = 18$ espiras

$N_{aux} = 10$ espiras

$L_p = 800 \mu\text{H}$

En el anexo 7.9 se muestra la especificación del transformador, con todos los datos necesarios para su fabricación por parte del proveedor.

Ya podemos elegir un transistor MOSFET-N:

$$V_{ds} > (V_{bus})_{\max} + V_{sec} + V_{conm} = (V_{bus})_{\max} + 2 \cdot V_{sec}$$

$$V_{sec} = (N_p/N_s)(V_o + V_F)$$

Donde $(V_{bus})_{\max}$ es el valor máximo de la tensión eficaz de entrada.

$$V_{sec} = (51/18)(23 + 0.4) = 66.3$$

$$V_{ds} > 264 \cdot 2^{1/2} + 2 \cdot 66.3 = 378 + 133 = \mathbf{511V}$$

Ajustamos la elección del transistor midiendo en el osciloscopio el pico de corriente máxima entre drenador y fuente.

$$I_{DS}^{pk} \text{ medida} = 3A$$

Sobredimensionamos un poco el transistor eligiendo un MOSFET-N del fabricante ST, *part number* STD4NK60 ($V_{ds}^{\max} = 600V$ y $I_{DS}^{\max} = 4A$).

Con el transformador seleccionado, conocemos la tensión inversa máxima que soportará el diodo en el secundario en el peor caso, es decir, cuando la tensión de alimentación es 264V. Se mide 184V en inversa, por lo tanto seleccionamos un diodo *Schottky* con tensión directa 200V.

4 VERIFICACIÓN.

4.1 DISEÑO DE PCB Y MONTAJE DEL PROTOTIPO.

Antes de empezar a diseñar la PCB, es muy importante tener un esquemático bien definido y con anotaciones técnicas como la distinción entre la masa de señal y la de potencia, los puntos eléctricos que deben estar ruteados con pistas lo más cortas posibles, los formatos de componentes.

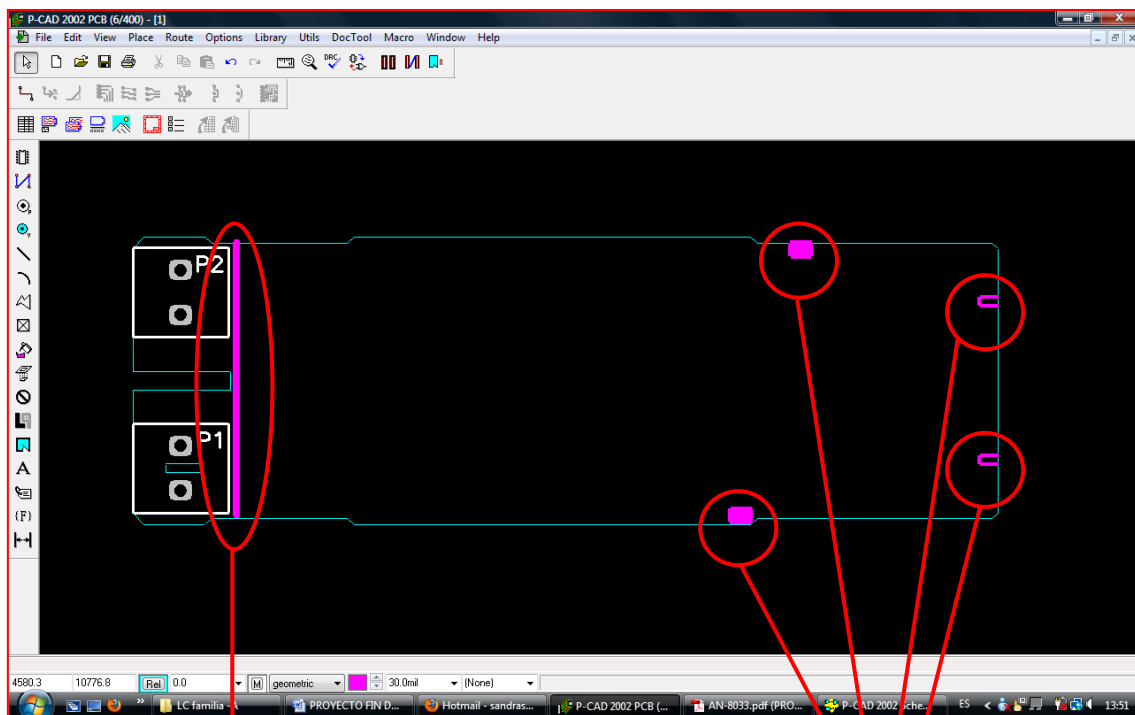
Distinguir la parte de potencia y la de señal en un equipo electrónico es esencial a la hora de diseñar un correcto trazado de pistas para que el equipo funcione. En este caso, tenemos una parte de potencia con una señal de tensión elevada conmutando a alta frecuencia (30 - 50 kHz) que corresponde a la etapa del *Flyback*, y una parte de señal con tensiones menores a 10V correspondientes al control de la etapa *Flyback*.

Estos son las pautas iniciales que se tuvieron en cuenta a la hora de empezar a diseñar la PCB.

- Para que el filtro tipo π (dos condensadores y una inductancia) sean efectivos evitando problemas de tipo EMI y ruidos, C1 y L2 deben conectarse primero al puente rectificador, seguidamente la etapa *Valley Fill*, el condensador C2 cuyas masas deben trazarse con una pista lo mas corta posible. Finalmente, el circuito de conmutación con la masa del primario de la bobina L3 que también debe estar unida a la masa de C2 con una pista lo más corta posible.
- En el primario, existe un bucle de corriente con ruido de alta frecuencia con este recorrido: C2 – MOSFET - paralelo entre (R1, R3, R8 y R10) – C2. Esta pista también debe trazarse lo más corta posible.
- El circuito *snubber* RCD debe estar lo más lejos posible de la parte de control para evitar interferencias innecesarias.
- La pista de la señal CS (*current sense*) debe ser lo más corta posible. La masa del paralelo R1-R3-R8 y R10 debe unirse a la de C2, R6 lo más cerca posible

- al pin 8 del driver y la pista desde R6 a el paralelo lo más corta posible.
- La masa del circuito de alimentación (bomba) y la del devanado auxiliar del transformador deben estar unidos lo más corto posible.
 - R6, C6//R5, C11, C14, C12//R16, C15//R19 deben conectarse en sus respectivos pines del driver IC2 lo más cerca posible para tener un buen desacoplo y reducir los ruidos de alta frecuencia. Así como sus masas deben estar unidas lo más cerca posible formando la masa de señal

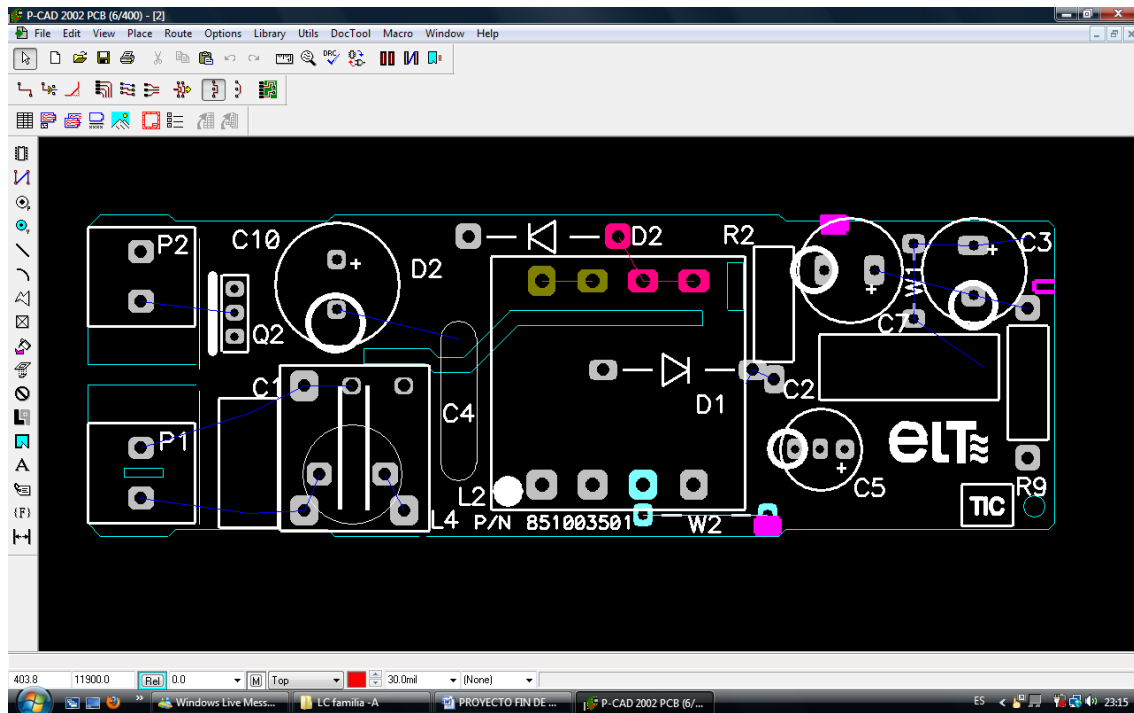
El siguiente paso es dibujar el contorno de la PCB (en color azul) señalizando las zonas donde no pueden ir componentes por razones mecánicas de la envolvente (en color rosa) y colocar los bornes de alimentación y de salida.



Tapa de la envolvente

**Apoyos mecánicos en la base
de la envolvente**

Seguidamente se colocan los componentes exóticos y axiales. Hay que tener en cuenta que entre el circuito primario y el secundario debe haber una separación en PCB de al menos 5mm para poder cumplir con la normativa de rigidez dieléctrica.



Finalmente añadimos los componentes SMD y enrutamos manualmente todo el circuito.

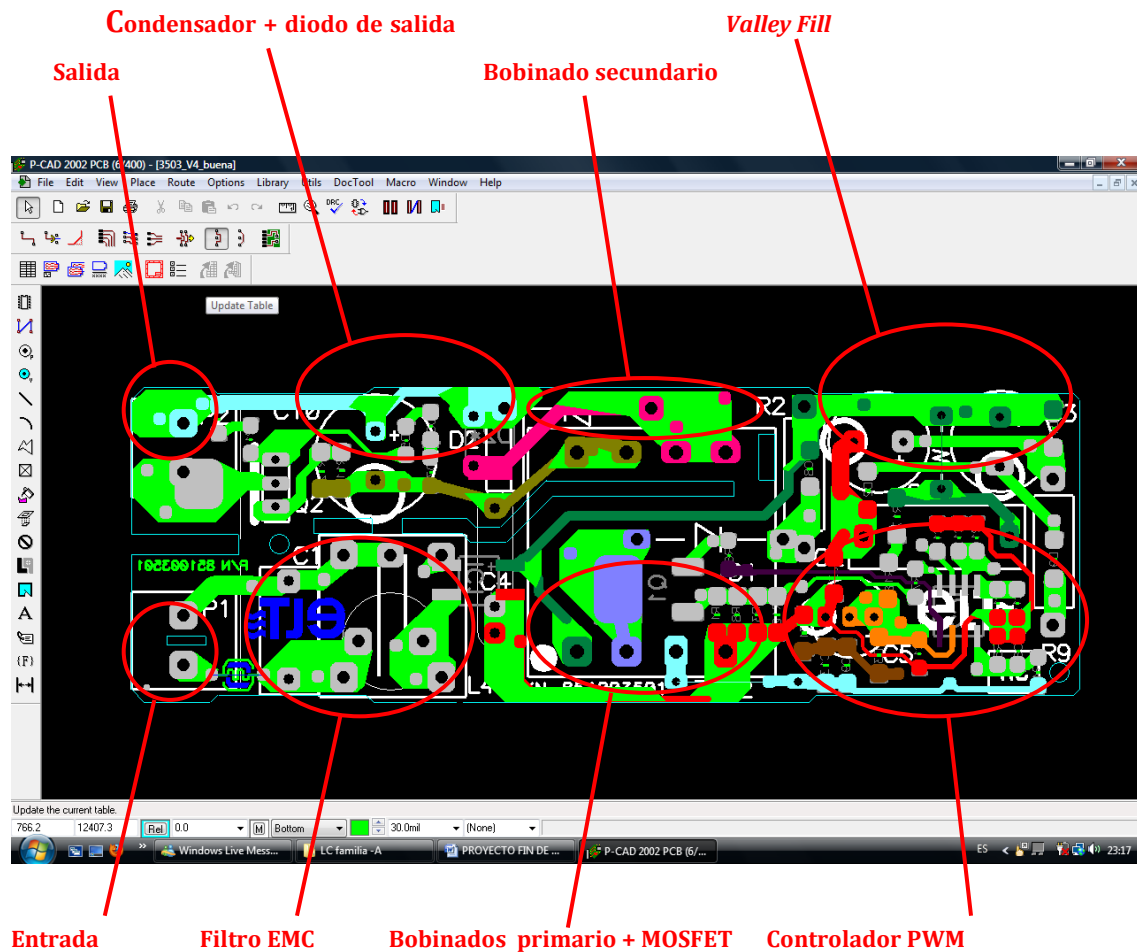
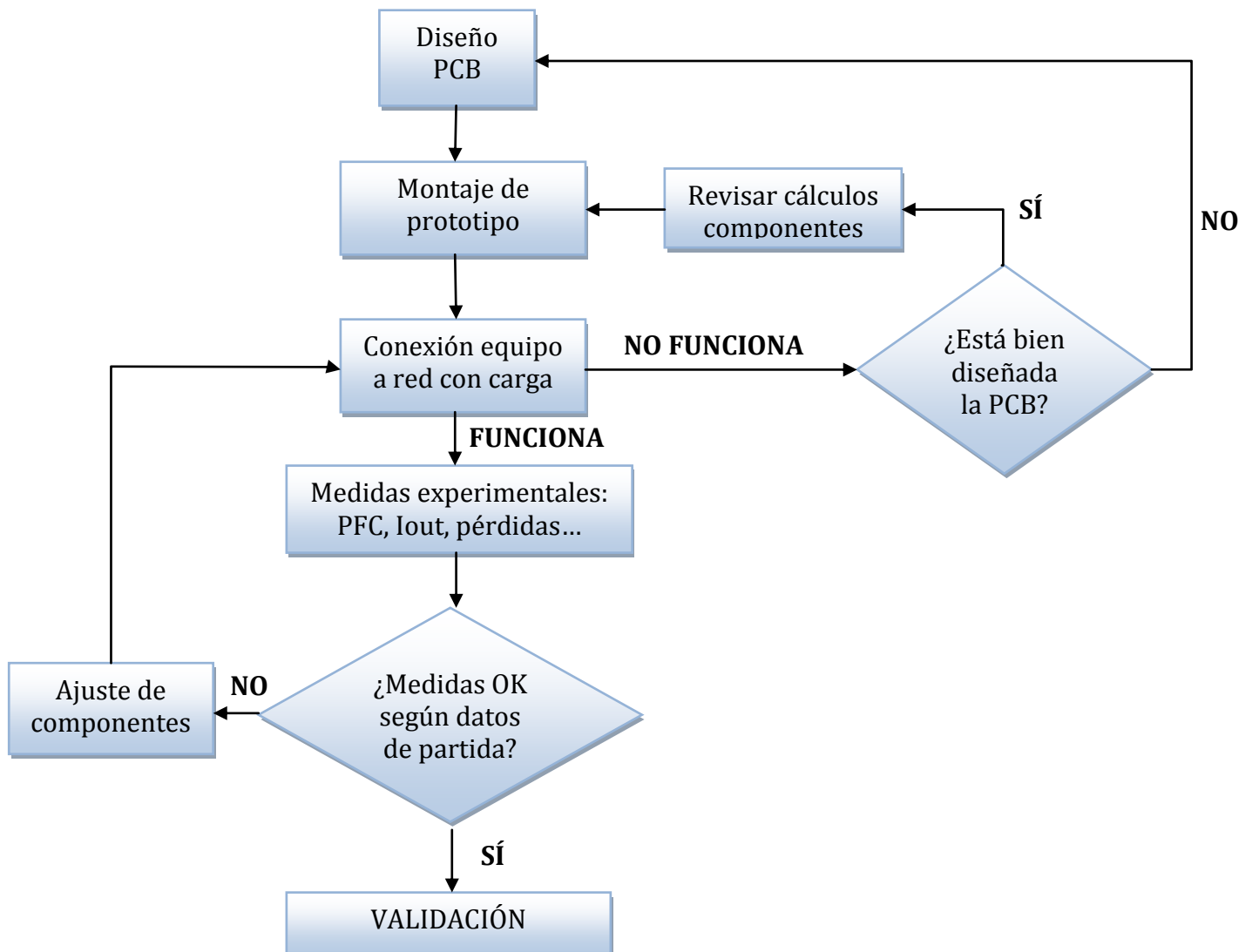


Figura 17. Layout del circuito impreso

4.2 PUESTA EN MARCHA Y MEDIDAS EXPERIMENTALES.

El siguiente diagrama de bloques ayuda a comprender el proceso de validación de un prototipo.



Una vez el equipo funciona aparentemente bien, debemos ratificar este correcto funcionamiento con las primeras medidas de los parámetros básicos del equipo.

Con estas primeras medidas se debe comprobar el correcto funcionamiento de

todas las etapas del equipo y que las medidas tomadas coinciden con las especificaciones técnicas descritas en los datos de partida.

- Instrumentación utilizada:
 - Osciloscopio TEKTRONIX TDS3012C
 - Vatímetro YOKOWAGA WT210
 - Pinza amperimétrica TEKTRONIX TCP202
 - Sondas de tensión.
 - Cámara termográfica FLIR E60

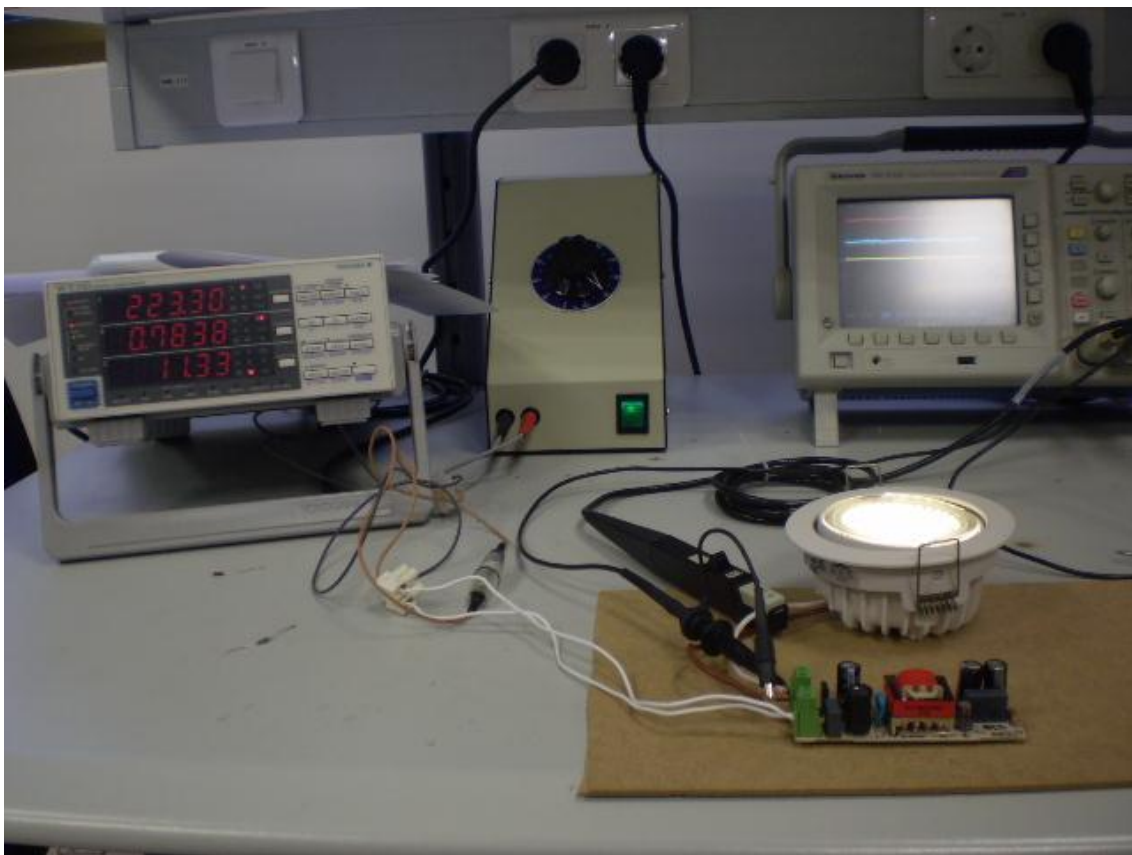


Figura 18. Medidas experimentales del prototipo

Con la instrumentación mencionada anteriormente, se comprueban los parámetros básicos de forma rápida y sencilla. En la figura 18, se encuentra el montaje con una carga de 9W.

Como el equipo debe ser multipotencia para asegurar las distintas cargas existentes en el mercado, se toman los datos de tensión de salida (V_{out}) y corriente de salida (I_{out}) para comprobar que el equipo regula bien corriente ante variación

de carga.

Vout (V)	Iout (mA)
27,5	0
27,1	28
26	148
24,8	500
22	660
18,9	660
15,8	663
12,7	666
9,6	661
6,5	661
3,25	614
0	0

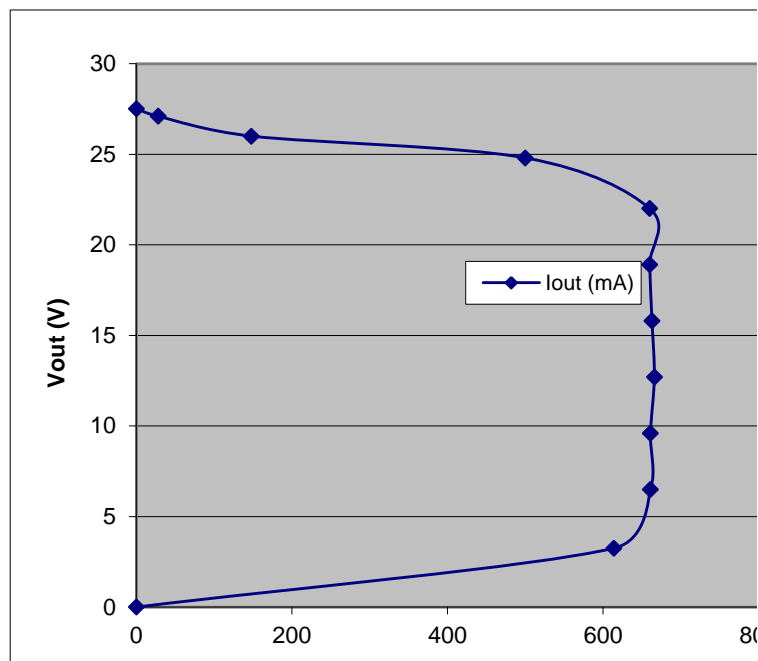


Figura 19. Gráfica *Vout* frente a *Iout*

En la figura 19 se refleja que el equipo regula correctamente la corriente de salida.

Comprobación de funcionamiento en todo el rango de tensión de alimentación se realiza con la variación de tensión entre 98 y 264V. Como el equipo sigue funcionando el rango de alimentación es el correcto. El equipo se bloquea y deja de funcionar cuando la tensión de alimentación es menor a 85V y mayor de 285V.

La comprobación de la protección contra sobrecarga y funcionamiento en vacío se han comprobado cuando se han tomado los datos de la figura 19. Con sobrecarga el equipo empieza a reducir la corriente de salida hasta dar cero amperios cuando la carga supone una tensión de 27.5V entre bornes de salida. En circuito abierto, la tensión aumenta hasta 32V y la corriente es cero amperios. En esta situación, el equipo entra en un modo de *stand by* y consume tan solo 0,4 vatios.

También se realizan unas medidas con la cámara termográfica para comprobar que ningún componente se sobrecaliente más de la cuenta.

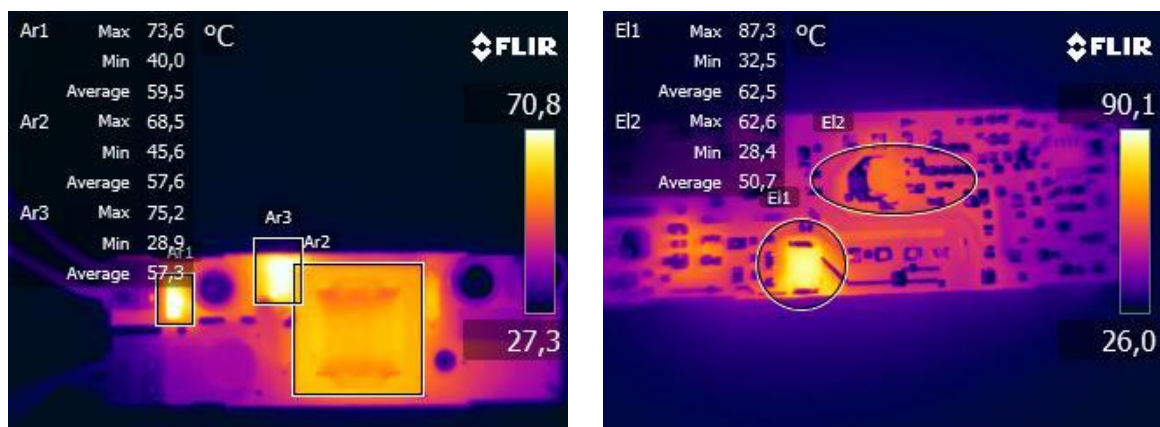


Figura 20. Imágenes termográficas de la cara bottom y de la top

Todos los componentes semiconductores que trabajan a altas temperaturas tienen tecnologías de funcionamiento hasta 175°C. En la figura 20, cuyas medidas se han realizado con una temperatura ambiente de 22°C, se observa que los componentes trabajan lejos de este límite. (87°C máximo)

Una vez realizada la comprobación de que el equipo funciona correctamente y que los parámetros básicos cumplen los requisitos de los datos de partida, pasamos a la fase de industrialización.

5 INDUSTRIALIZACIÓN

Para poder utilizar los aparatos eléctricos y electrónicos en la Comunidad Europea, es obligatorio que sean portadores de la marca CE, la cual significa “Conformidad Europea”, y representa el cumplimiento, en nuestro caso, de las siguientes Directivas Comunitarias a las que están sujetos los productos para iluminación como es el alimentador de corriente constante para módulos LED diseñado.

- 89/336/CEE Compatibilidad electromagnética (EMC)
- 973/23/CEE Material eléctrico de baja tensión (LV)
- 2000/55/CE Requisitos de eficiencia energética de los balastos de - lámparas fluorescentes (EEI)
- 2002/96/CE Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (WEEE)
- 2002/91/CE Eficiencia energética de los edificios
- 2002/95/CE Restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (ROHS)

El marcado CE no lo otorga ninguna entidad de certificación, siendo el propio fabricante, bajo su responsabilidad, el que realiza la declaración de conformidad al respecto.

Además de cumplir con las directivas que permiten marcar el equipo CE, este equipo debe cumplir con unas normas internacionales lo que permitirá ser marcado ENEC. Esta marca de certificación es otorgada por un organismo oficial y proporciona al producto un plus de confianza para el comprador ya que es un sello de calidad que otorga un organismo ajeno al fabricante.

A continuación se resumen las directivas a cumplir y los pertinentes ensayos realizados, así como la instrumentación utilizada, para poder marcar CE y obtener la certificación ENEC.

5.1 EN 61347 REQUISITOS DE SEGURIDAD.

Esta parte de la norma especifica los requisitos generales y los requisitos de seguridad para dispositivos de control de lámpara destinados a ser utilizados con alimentaciones en corriente continua hasta 250V y/o con alimentaciones en corriente alterna hasta 1000V a 50 Hz o 60 Hz.

El alimentador diseñado funciona con alimentación de 110-240V y 0 ... 50/60 Hz, por lo tanto debemos cumplir los requisitos de seguridad de la norma EN 61347.

En particular, debemos cumplir con la norma EN 61347 parte -2-13, que es la que dictamina los requisitos particulares a cumplir en los alimentadores electrónicos de corriente o tensión constante para módulos LED.

- **5.1.1. Generalidades sobre los ensayos**

- Los ensayos se han efectuado a una temperatura ambiente de 22-25°C (la norma permite hacerlos en un rango de 10°C a 30°C).
- Los ensayos se han realizado con el equipo alimentado desde una fuente de alimentación estabilizada.

- **5.1.2 Clasificación del equipo.**

Los alimentadores de módulos de LED se clasifican según la protección frente a “shocks” eléctricos: en nuestro caso, es un equipo SELV (*Safety Extra Low Voltage*).

Se puede marcar un equipo SELV cuando el circuito primario está aislado galvánicamente (o si la única unión física entre primario y secundario es a través de un condensador clase Y1) y la tensión en continua entre bornes de salida es menor de 50V. También se han de cumplir los requisitos de rigidez eléctrica entre primario y secundario (3850Vac).

En la siguiente imagen podemos observar la tensión de salida que es menor de 50Vdc. El rizado de baja frecuencia está modulado a 100Hz, esto se debe a la red eléctrica rectificadora.

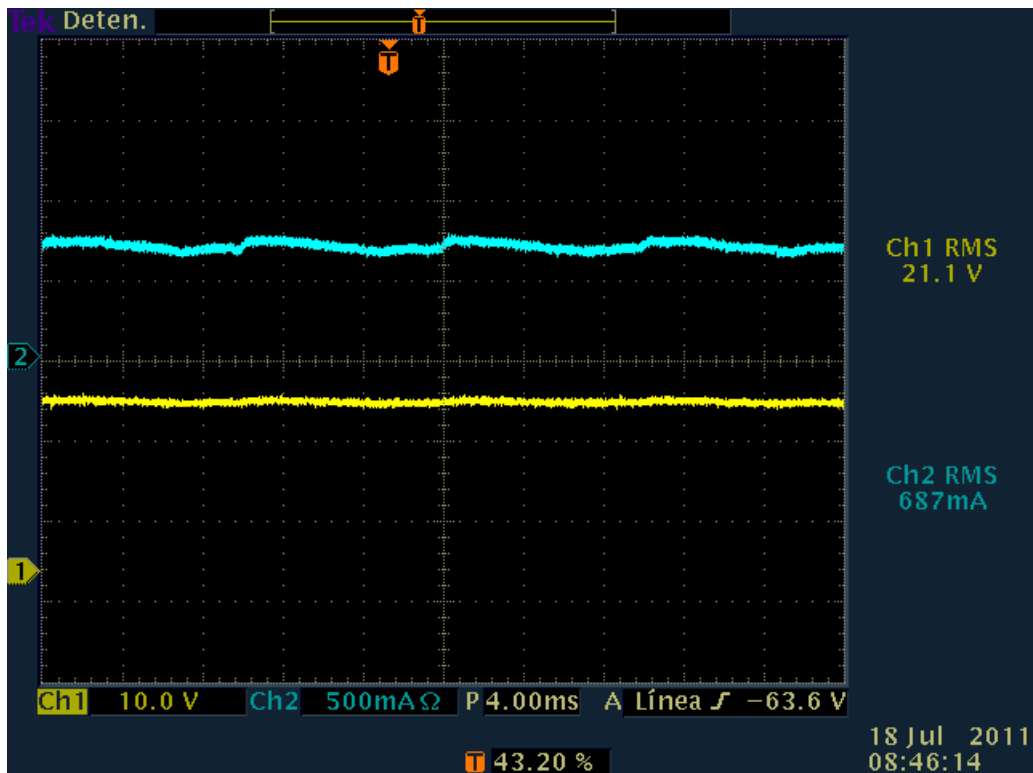


Figura 21. Señal en osciloscopio de corriente y tensión de salida

- Instrumentación utilizada:
 - Osciloscopio Tektronic

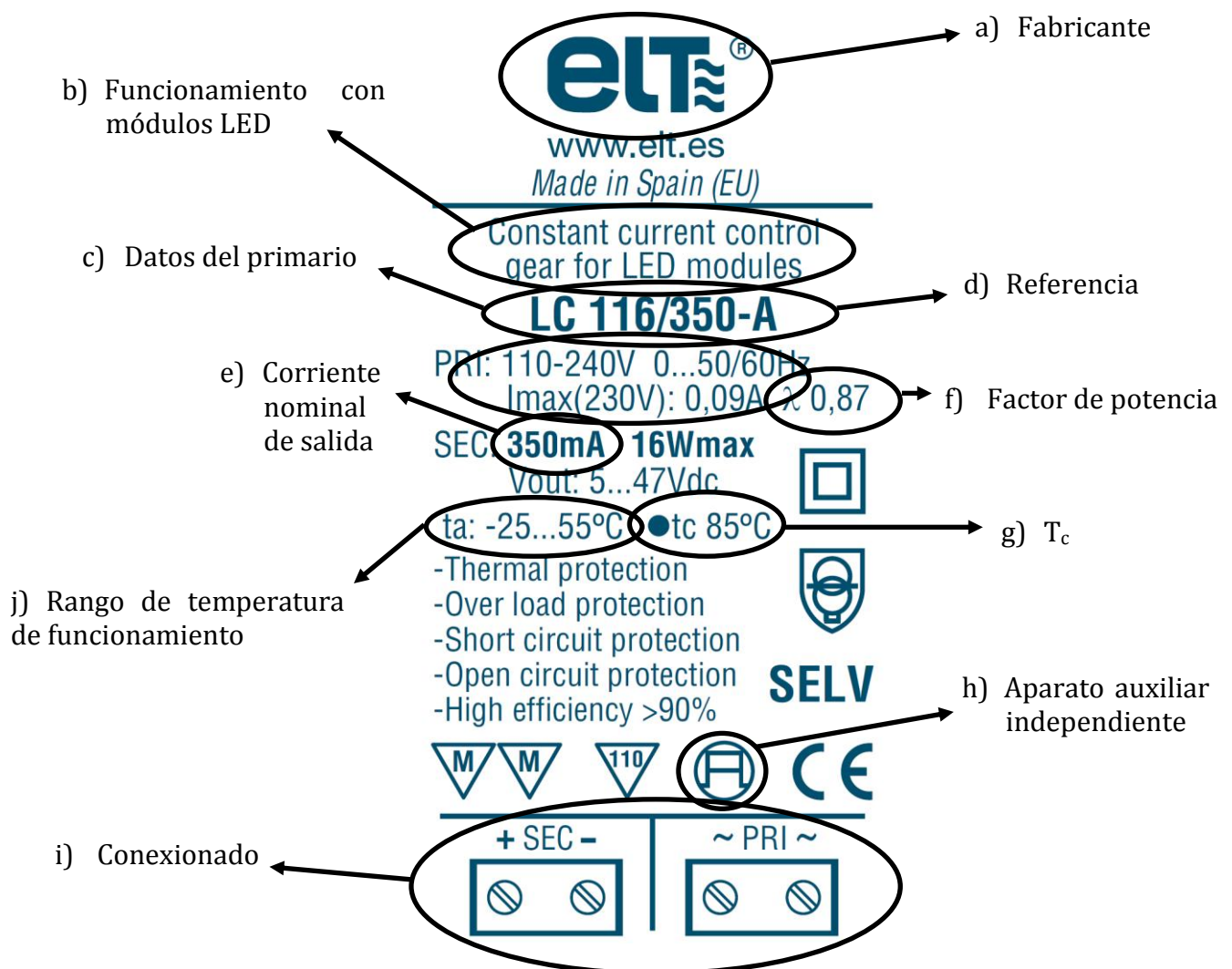
- **5.1.3 Marcado**

Las siguientes indicaciones deben indicarse o bien en el propio marcaje del equipo o bien en su hoja de producto o documentación equivalente.

- Marca de registrada (Fabricante)
- Referencia atribuida por el fabricante.
- Símbolo para el dispositivo de control de módulo LED independiente.
- Tensión de alimentación asignada, rango de tensiones,

- frecuencia de alimentación y corriente de alimentación.
- e) Esquema de conexiónado indicando la posición y la función de los bornes.
 - f) T_c (máxima temperatura admisible en el punto de medida indicado en la envolvente para asegurar un correcto funcionamiento del equipo).
 - g) Corriente nominal de salida.
 - h) Indicación de que el alimentador está indicado para operación exclusiva con módulos de LED.
 - i) Es obligatorio marcar el factor de potencia (λ).
 - j) Rango de temperatura de funcionamiento.

El marcado debe ser indeleble y legible.



En el anexo 7.10 se muestra el anagrama de marcaje con las restricciones para el marcado en fabricación.

- **5.1.4 Protección contra contactos accidentales con las partes activas**

Las partes que aseguran una protección contra los contactos accidentales, deben tener una resistencia mecánica adecuada, y no deben deformarse en el uso normal. No debe ser posible retirarlas sin la ayuda de una herramienta.

- *Ensayo: con el equipo montado en su envoltorio de plástico incluido el montaje del cubre-bornas, no se puede acceder a ninguna parte activa sin utilizar un destornillador.*

- **5.1.5 Rigidez dieléctrica**

El equipo debe tener una rigidez dieléctrica adecuada.

La tensión de ensayo, prácticamente sinusoidal y de frecuencia 50Hz se calcula de forma que: $V_{\text{ensayo}} = 2 \cdot V_{\text{trabajo}} + 1000$.

Al principio, la tensión aplicada no debe sobrepasar la mitad del valor prescrito, después ésta, se llevará rápidamente hasta dicho valor.

Durante el ensayo no deben producirse contorneamientos ni perforación y el relé de sobreintensidad no debe disparar para una corriente de salida inferior a 100mA.

En el caso de que el producto este marcado SELV, la normativa es más exigente, y el equipo debe cumplir $V_{\text{ensayo}} = 3850 \text{ Vac}$. Con una corriente de fuga inferior a 15mA.

- *Instrumentación utilizada:*
 - *Generador de alta tensión (KIKUSUI TOS 5051A)*

- *Ensayo: La tensión debe aplicarse entre el circuito primario y el secundario, por lo tanto, cortocircuitamos los dos bornes de entrada entre sí y los de salida entre sí.*

Conectamos las pinzas de alta tensión, cable rojo y cable negro, una en los bornes del primario y otra en los bornes del secundario. Se fijan 1950 Vac en el generador de alta tensión que se aplicarán en el comienzo del ensayo. Comenzamos el ensayo pulsando el botón START, seguidamente subimos con la rueda a 3850Vac. Para cumplir la norma, el equipo debe estar 1 minuto con alta tensión y no debe disparar el relé de sobreintensidad que hemos fijado anteriormente en 5mA.

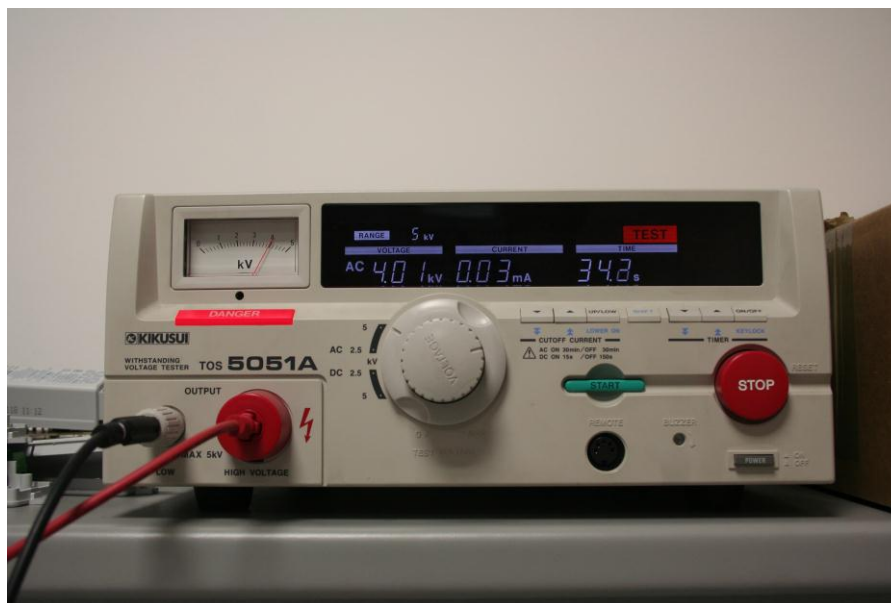


Figura 22. Ensayo de rigidez entre primario y secundario

5.2 EN 62384 FUNCIONAMIENTO.

• 5.2.1 Clasificación

- *Clasificación según la carga:*

En este caso, el alimentador se clasifica como un equipo

multipotencia. Este tipo de alimentadores para módulos LED permite conectar diferentes cargas en un rango de potencias delimitado por el fabricante.

- *Clasificación según la tensión de salida y corriente de salida:*

En este caso, el alimentador estabiliza corriente a la salida y por lo tanto, la tensión depende de la carga que conectes.

- **5.2.2 Tensión y corriente de salida**

- *Requerimientos de conexión.*

Se debe conectar en el conector del primario (dos polos) la tensión de alimentación de red (fase y neutro). La orientación de estos dos cables no tiene ninguna importancia.

En el conector del secundario (dos polos también) se conecta la carga. Puesto que un diodo LED tiene polaridad, la conexión de la carga al secundario también tendrá polaridad. Por lo tanto, deberemos conectar el “cable positivo” del módulo (ánodo del módulo LED) al borne + del equipo, y el “cable negativo” (cátodo del módulo LED) al borne – del equipo, tal como se muestra en la figura 21.

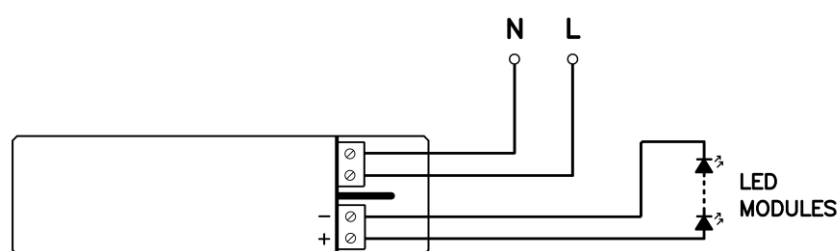


Figura 23. Esquema del conexionado eléctrico

- *Tensión y corriente en funcionamiento.*

En este caso, el equipo estabiliza corriente a la salida, por lo tanto, se debe cumplir que cuando el equipo está alimentado entre un 92% y un 106% de la tensión de alimentación nominal, la corriente de salida

debe estar entre un $\pm 10\%$ de la corriente de salida nominal.

Cuando un equipo es multipotencia, hay que hacer este ensayo con su potencia mínima y con la máxima.

- *Potencia total del circuito*

A la tensión nominal de alimentación, la potencia total no debe sobrepasar más del 110% del valor declarado por el fabricante cuando está operando con un módulo LED.

- *Factor de potencia*

El factor de potencia del circuito que aparece en el marcaje no debe tener un error mayor de 0.05 del medido.

- **5.2.3 Operación en condiciones anormales**

- *Operación sin módulo LED conectado.*

Se alimenta un equipo sin carga durante una hora. Después de ese tiempo, se conecta la carga y el equipo debe funcionar correctamente.

- *Operación con cortocircuito a la salida.*

Se alimenta un equipo con el secundario cortocircuitado. Después de una hora en esa situación, se conecta la carga y el equipo debe funcionar correctamente.

- **5.2.4 Endurancia**

- El equipo debe garantizar una vida útil mínima. Para ello, se debe medir la temperatura en los componentes críticos que marcan la vida del aparato. En equipos electrónicos estos componentes suelen ser, si existen, los condensadores electrolíticos.

En nuestro caso, la vida útil del equipo la marca el condensador electrolítico de salida.

El ensayo consiste en meter el equipo en una cámara climática a la

temperatura ambiente máxima que se aconseja en el marcaje del equipo, en este caso 50°C. Se ponen termopares (sondas térmicas) en los condensadores electrolíticos y se deja estabilizar unas 4 horas.

Se toman los datos de temperaturas y se realizan los siguientes cálculos:

El condensador de la salida es un 105°C 10.000 horas, esto significa que si trabajara a 105°C tendría una vida útil de 10.000h. La vida de estos condensadores se multiplica por dos cada vez que se disminuyen diez grados de temperatura.

En el ensayo medimos una temperatura de 80°C en el condensador de salida. Esto significa que estamos asegurando una vida del equipo de más de 40.000 horas.

$$\text{Vida útil} = 10.000 \times (\text{tramo de } 10^\circ\text{C}) \times (\text{tramo de } 10^\circ\text{C}) = 10.000 \times 2 \times 2 = \mathbf{40.000\text{horas.}}$$

5.3 EN 55015 PERTURBACION RADIOELÉCTRICA DE LOS EQUIPOS DE ILUMINACIÓN. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA.

- **5.3.1 ¿Qué es la compatibilidad electromagnética?**

La compatibilidad electromagnética es la aptitud de un equipo eléctrico o electrónico que le permite funcionar correctamente en un ambiente con interferencias electromagnéticas producidas por otros equipos y que a su vez, no produce interferencias que eviten el correcto funcionamiento de otros equipos electrónicos.

Henry W. Ott interpreta una interferencia electromagnética como *“cualquier señal eléctrica presente en un circuito en lugar de la señal deseada.”*

- **5.3.2 Objeto y campo de aplicación**

Esta norma se aplica a la emisión (radiada y conducida) de las

perturbaciones de radiofrecuencia de, en nuestro caso, equipo de iluminación cuya función primaria es la generación de luz y para conectarse a la red de alimentación.

La banda de frecuencias que aplica a nuestro equipo es de 9kHz a 300MHz.

- **5.3.3 Tensiones perturbadoras en bornes de alimentación**

Clasificaremos las EMI en dos grupos: emisiones conducidas (en la banda 9kHz a 30MHz) y emisiones radiadas (en la banda de 30MHz a 300MHz.)

Interferencias conducidas son las que se transmiten y/o reciben a través de los cables de alimentación.

Interferencias radiadas son las emitidas o recibidas por el medio que rodea al equipo.

ENSAYO EMISIONES CONDUcidas

A continuación se muestra la tabla con los límites de la tensión perturbadora en los bornes de alimentación que marca la norma para emisiones conducidas.

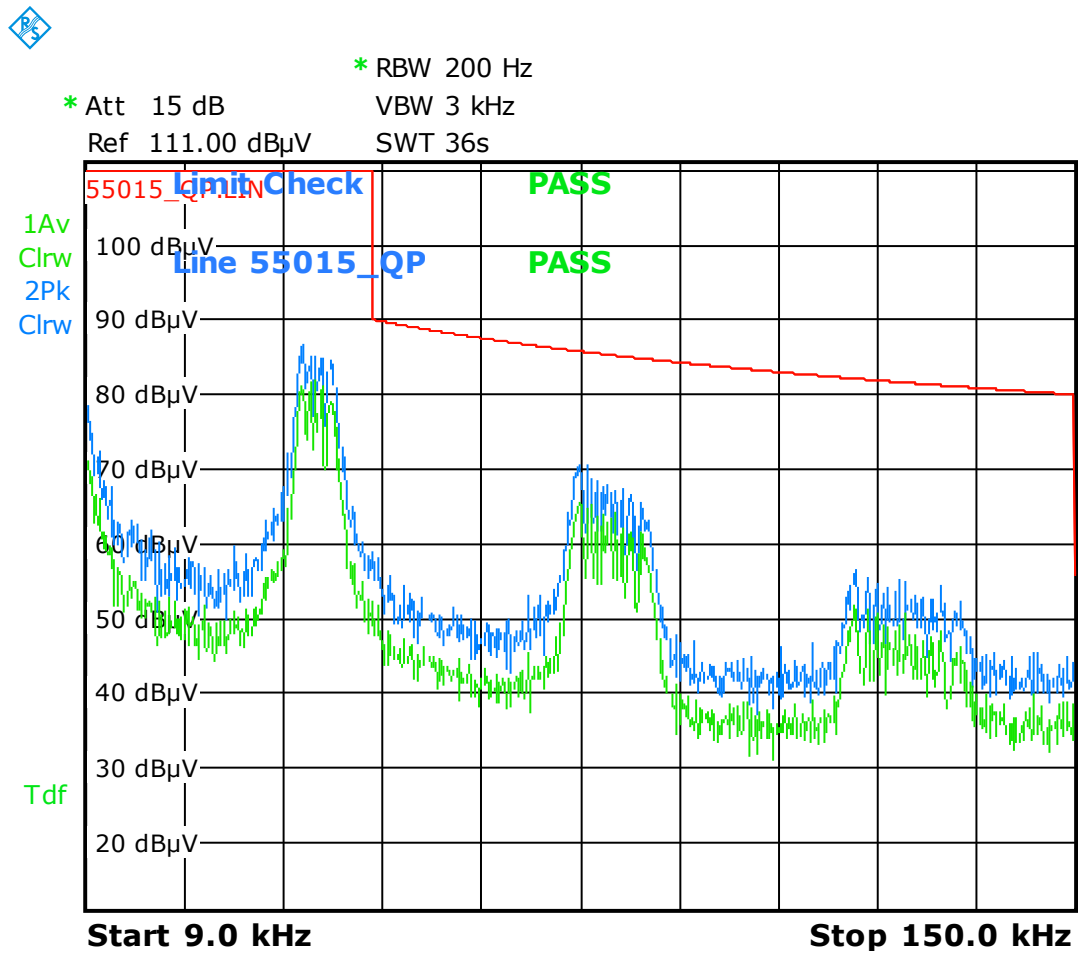
Banda de frecuencias	Límites dB(μV)	
	Cuasi-cresta	Valor medio
9kHz a 50kHz	110	-
50kHz a 150kHz	90 a 80	-
150kHz a 0,5MHz	66 a 56	56 a 46
0,5MHz a 5MHz	56	46
5MHz a 30MHz	60	50

Los límites en la banda de 50kHz a 0,5MHz decrecen linealmente con el logaritmo de la frecuencia.

- *Instrumentación utilizada durante el ensayo:*
 - *Analizador de espectros FSL 9kHz ... 3GHz de RODHE & SCHWARZ.*
 - *LISN (Line Impedance Stabilizer Network) ENV216 de RODHE & SCHWARZ.*
 - *Limitador de pulsos.*
- *Ensayo:*
 - *Lugar de ensayo: caja de Faraday (laboratorio de EMC en ELT)*
 - *Medidas realizadas en modo detección de “cuasi-cresta” y “valor medio”.*

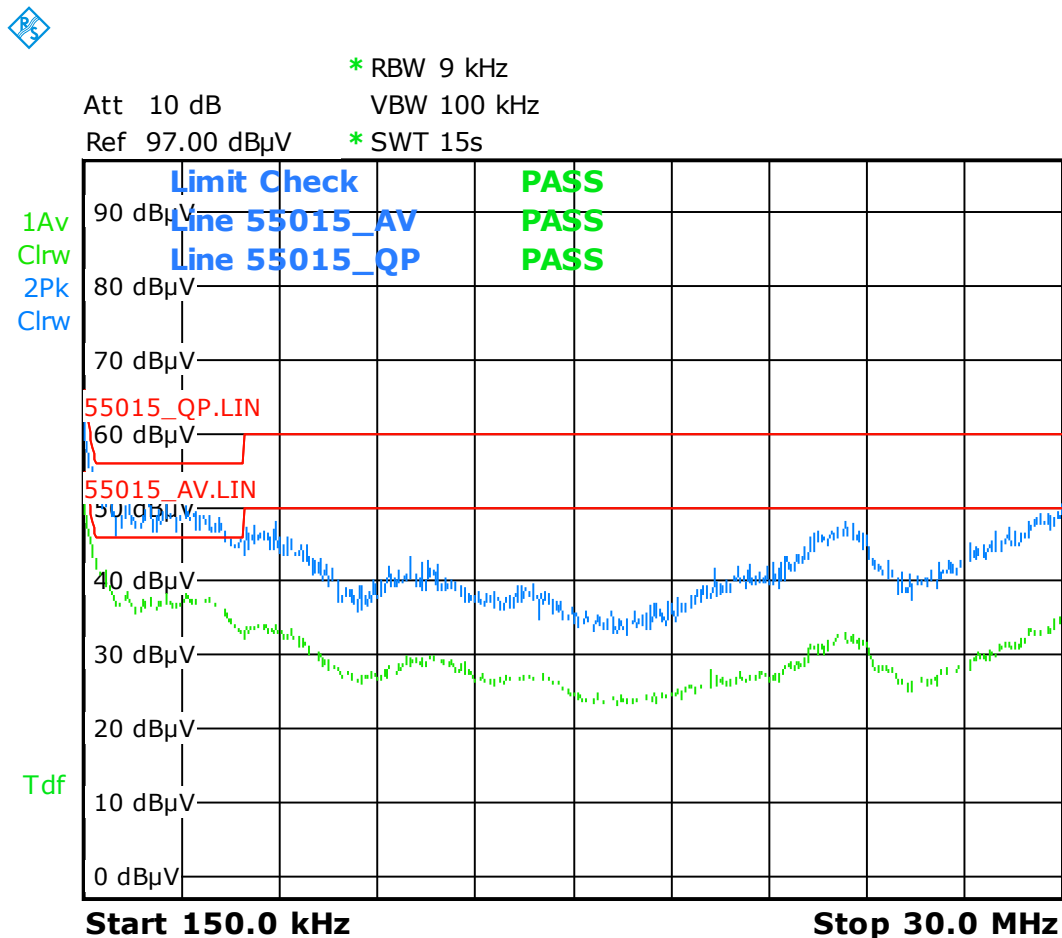


Figura 24. Ensayo EMC. LISN y analizador de espectros

Rango de frecuencias entre 9kHz y 150kHz.

Date: 15.APR.2011 13:08:15

Rango de frecuencias entre 150kHz y 30MHz.



Date: 15.APR.2011 13:07:13

5.4 EN 61000-3-2 ARMÓNICOS.

Esta normativa es reciente para equipos con potencia activa de entrada menor de 25W.

En nuestro caso, debemos aplicar los criterios que afectan a equipos de clase C.

Hay que cumplir los siguientes requisitos:

- El tercer armónico de corriente, expresado como porcentaje de la corriente fundamental, no debe exceder del 86% y el quinto armónico

no debe exceder del 61%. También, la forma de onda de la corriente de entrada debe ser tal que alcance el umbral del 5% de corriente en 60° o antes, que tenga sus valor de cresta en 65° o antes y que no caiga por debajo del umbral del 5% de corriente antes de 90° , referida a cualquier paso por cero de la tensión fundamental de alimentación. El umbral de corriente es el 5% del valor de cresta absoluto más alto que tenga lugar en la ventana de medición, y las mediciones de ángulos de fase se realizan en el ciclo que incluya este valor de cresta absoluto. Observar la figura 26.

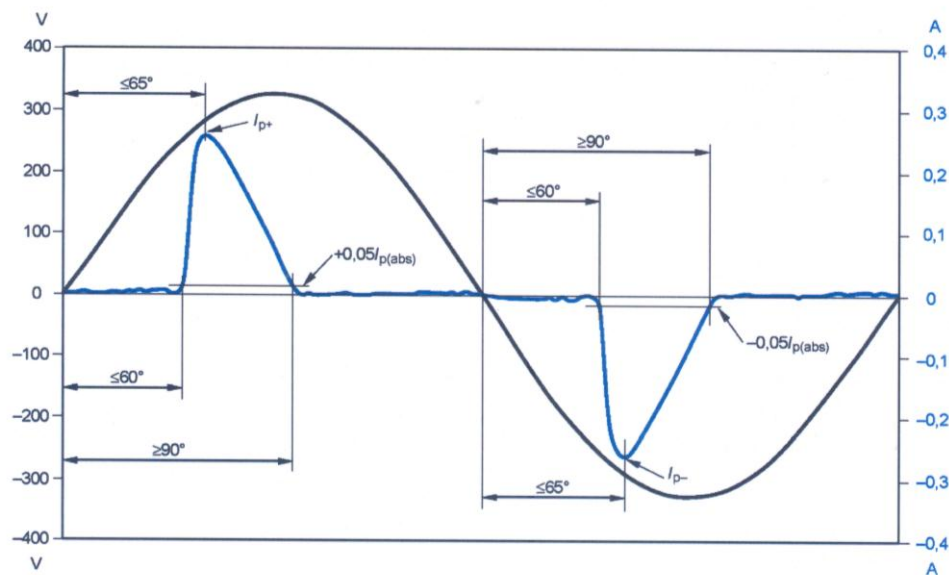


Figura 25. Normativa para cumplimiento de armónicos

Estos son los resultados del ensayo a plena carga. En la figura 27 se pueden observar las ondas en el osciloscopio necesarias para tomar las medidas pertinentes. En color amarillo la tensión de red y en azul la corriente de entrada.

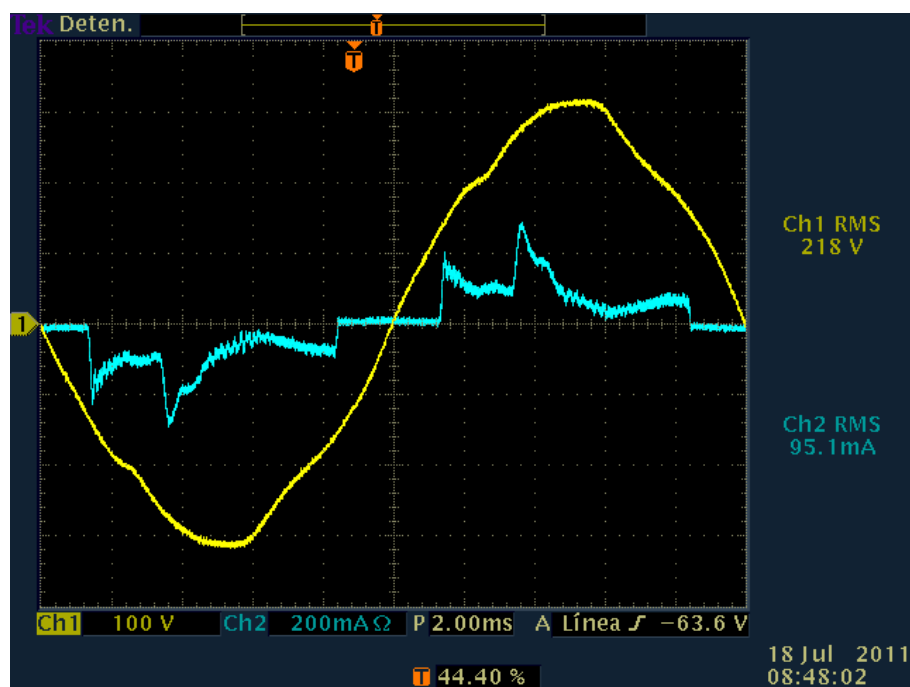


Figura 26. Señal de corriente y tensión de entrada

Corriente armónica de entrada	Medida	Límite
Armónico orden 3	28%	< 86%
Armónico orden 5	17%	< 61%

Forma de onda de la corriente de entrada	Medida	Límite
Alcanza el 5% de corriente	25	<60°
Cresta de la corriente	56.8°	<65°
Caida por debajo del 5% de corriente	150.7°	>90°

6 CONCLUSIONES Y LINEAS DE FUTURO.

6.1 Problemas identificados y soluciones propuestas.

Una vez que se han desarrollado, montado y están funcionando varios prototipos, comienza el proceso de industrialización, ensayos de funcionamiento y test para cumplir normativas.

En este apartado se recogen los problemas encontrados durante los ensayos y las modificaciones de diseño que se han llevado a cabo para solucionar dichos problemas.

El primer problema surge en las pruebas realizadas para comprobar que el equipo regula con distintas cargas. Para que la prueba fuese más rápida, se comienzan a cambiar las cargas sin quitar la alimentación del equipo a red. Puesto que el equipo es SELV (*Safety Equivalent Low Voltage*), no hay ningún riesgo para la persona en esta maniobra.

Cuando se conecta el alimentador a la red sin carga, en la salida de éste se fija una tensión constante de salida. En paralelo con los bornes + y – de salida hay un condensador electrolítico con un valor alto de capacidad, esto provoca que se almacene mucha energía en dicho condensador. Si conectamos la carga de LEDs en esta situación, se produce una descarga brusca de dicha energía dando lugar a un pico de corriente de varios amperios el cual pasa a través de la carga de LEDs rompiéndola.

Precisamente porque el equipo es SELV, muchos instaladores conectan los equipos a red y terminan la instalación o simplemente realizan una reposición de lámparas rotas con la tensión de alimentación conectada. No podemos vender un equipo que genere este problema, por lo que la solución propuesta es poner un limitador de corriente a la salida, que evite que la descarga brusca del condensador de salida se realice en la lámpara LED llevando a la rotura de ésta.

Se ha diseñado una etapa con bipolares de forma que en condiciones normales, la corriente de los LEDs pasa de colector a emisor y por un “shunt” de corriente puesto en el emisor del bipolar que está trabajando en saturación. Cuando la

corriente es mayor de 1.2A el transistor pasa a corte y por lo tanto se abre el circuito serie de los LEDs evitando la rotura de éstos.

Durante el ensayo de comprobación de cumplimiento de los límites máximos de armónicos, se detecta que el equipo no cumple con los requisitos de la normativa. El problema es que el pico de corriente de entrada esta muy desplazado hacia la derecha. Disminuyendo la capacidad de los electrolíticos de la etapa Valley desplazamos el pico de la corriente de entrada por debajo de 65° (que es lo que exige la norma).

El tercer problema aparece en el ensayo de la protección térmica del equipo. La temperatura de protección que se indica en el *datasheet* del driver de Fairchild es demasiado elevada (actúa cuando el circuito integrado está a 140°C). Surgen problemas de sobrettemperatura que ponen en riesgo la vida del equipo.

Primero se intenta obtener una solución barata y se diseñan varios circuitos analógicos para cortar la alimentación del driver y así que deje de funcionar. El problema en todos ellos es el mismo: el ciclo de histéresis en la temperatura entre el OFF y el ON es muy corto en tiempo ya que los sensores se hacen con NTC o PTC. El resultado es que el equipo empieza a encenderse y apagarse produciendo un parpadeo en la luz. Finalmente la mejor solución, aunque también la más costosa, es poner un termostato en una de las fases de entrada.

Un termostato es un componente que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura. En nuestro caso se trata de un termostato normalmente cerrado que abre la fase cuando pasa de 105°C y como es rearmable vuelve a cerrar el circuito cuando la temperatura baja a 70°C sin necesidad de quitar la alimentación.

Durante la fabricación de la preserie surge un último problema en el diseño. En la prueba de rigidez dieléctrica, salta el relé de sobreintensidad (con el límite fijado en 5mA) cuando se prueban los 3850Vac entre primario y secundario. Es decir, el equipo está fugando corriente entre primario y secundario.

Se comprueba que la chispa salta entre dos pads de la PCB, se rediseña ésta, aumentando la distancia entre el circuito primario y el secundario y se realiza una ranura en el circuito puesto que con distancias por aire la chispa tarda más en saltar.

6.2 Verificación y validación del diseño.

Una vez se ha verificado que el producto final cumple todos los datos de partida, se reúne el comité de producto para hacer la validación del producto y comenzar la fase de producción.

El comité de producto está formado por distintos miembros de la empresa, normalmente, un responsable de calidad, un responsable de producción, el jefe del departamento de I+D+i y el responsable técnico del desarrollo, en este caso yo.

Puesto que el equipo cumple con todos los datos de partida y ha pasado satisfactoriamente los controles de calidad, queda validado el diseño por el comité de producto.

6.3 Líneas de futuro.

Considerando el modelo desarrollado (LC 116/700-A) como modelo base, hay que completar el desarrollo de la familia de productos con las corrientes de salida de 350mA y 500mA en las potencias máximas de 16 y 25 vatios. Y el equipo con corriente de salida 700mA y potencia máxima 25 vatios. En el anexo 7.6 se observan las especificaciones técnicas que deben cumplir cada modelo y la familia completa de equipos de alimentación de corriente constante para módulos LED.

7 ANEXOS.

En este capítulo se recoge toda la documentación generada para la documentación de este proyecto y que son necesarias para la última fase de un proyecto en la empresa: producción y comercialización.

7.1 PUESTO DE TRABAJO

En las siguientes fotografías se puede ver el lugar de realización del proyecto. En la primera imagen se ve el puesto de informática para el diseño por ordenador y en la siguiente imagen, se ve el puesto de laboratorio y la instrumentación para el desarrollo de prototipos.



Figura 27. Imagen del puesto de trabajo

7.2 INSTRUMENTACIÓN.

- Osciloscopio TECTRONIX TDS3012C
- Vatímetro YOKOWAGA WT210
- Equipo de comprobación de rigidez KIKUSUI 5051A
- Analizador de espectro ROHDE & SCHWARZ FSL 9kHz ... 3GHz
- LISN (Line Impedance Stabilizer Network) ROHDE & SCHWARZ ENV216
- Cámara termográfica FLIR

7.3 HERRAMIENTAS SOFTWARE

- Microsoft Office.
- Programa de diseño P-CAD 2002.

7.4 REFERENCIAS

- Datasheet FAIRCHILD FAN102
- Datasheet ST transistor MOSFET STD4NK60Z
- Datasheet ST Darlington
- Application Note AN-8033 FAIRCHILD
- *Fluorescent Ballast Design Using Passive P.F.C and Crest Factor Control* de Peter N. Wood, *International Rectifier*.
- <http://www.rs.com>
- <http://www.fairchild.com>
- <http://www.stmicroelectronics.com>
- Apuntes de electrónica analógica curso 2007-2008. Carlos Bernal.

7.6 HOJA TÉCNICA DEL PRODUCTO



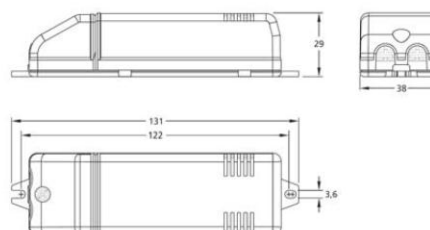
Equipos de alimentación de corriente constante
para módulos de LED.

Constant current control gear for LED modules.

LC 110-240V 0 .. 50-60Hz



EN 61347-2-13 Seguridad / Safety
EN 62384 Funcionamiento / Performance
EN 61000-3-2 Armónicos / Harmonics
EN 61000-3-3 CEM / EMC Emission
EN 55015 Interferencias / Interferences
EN 61547 Inmunidad EMC / EMC Immunity



Tipo Type	Código Code	Potencia máxima en módulo Maximum output power	Factor de potencia Power factor	Rendimiento del sistema System efficiency	Tensión de salida Output voltage	Corriente de salida Output current	Ta	Tc	Peso Weight	Homologaciones Certificates
		W	λ	η	Vdc	mA	°C	°C	Kg	
LC 116/350-A	9918010	16	0.87	>90	5 .. 47	350	-25 .. 55	85	0.101	CE ENEC(*)
LC 116/500-A	9918011	16	0.87	>85	5 .. 34	500				
LC 116/700-A	9918012	16	0.87	>85	3 .. 23	700	-25 .. 50			
LC 125/350-A	9918015	25	0.9	>90	9 .. 72	350	-25 .. 55			
LC 125/500-A	9918016	25	0.9	>85	5 .. 49	500				
LC 125/700-A	9918017	25	0.9	>85	3 .. 37	700				

~ Protección eléctrica Clase II.
~ Uso interno.
~ Equipados con cubre-clemas y prensa-cables.
~ Cierra cables primario y secundario para conductores entre 3 y 8mm. de diámetro.
~ Sección máxima en clemas del secundario: 1.5 mm².
~ Longitud máxima de los cables del secundario: 5 m.
~ Aptos para montaje sobre madera.
~ Modo ecológico de standby: consumo <0.4 W.
~ Alto factor de potencia.
~ Protección térmica.
~ Protección contra sobrecarga.
~ Protección contra cortocircuitos.
~ Protección en circuito abierto.
~ Protección dinámica del módulo de LEDs.

~ Class II electrical protection.
~ Indoor use.
~ Equipped with terminal cover and cable clamps.
~ Clamping screws on primary and secondary circuits for cables with diameter: 3 mm to 8 mm.
~ Max. terminal section area 1,5 mm². (secondary circuit).
~ Maximum length of secondary cables: 5 m.
~ Suitable for installation on wooden surfaces.
~ Standby ecological mode: <0.4 W.
~ High power factor.
~ Thermal protection.
~ Overload protection.
~ Short circuit protection.
~ Protection against no load operation.
~ LED module dynamic protection.

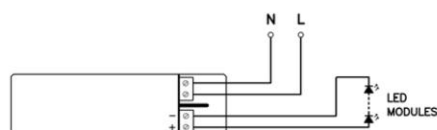
(*) En proceso.

(*) In progress.

(1) Excepto LC 125/350-A

(1) Except LC 125/350-A

Esquema de conexión Wiring diagrams

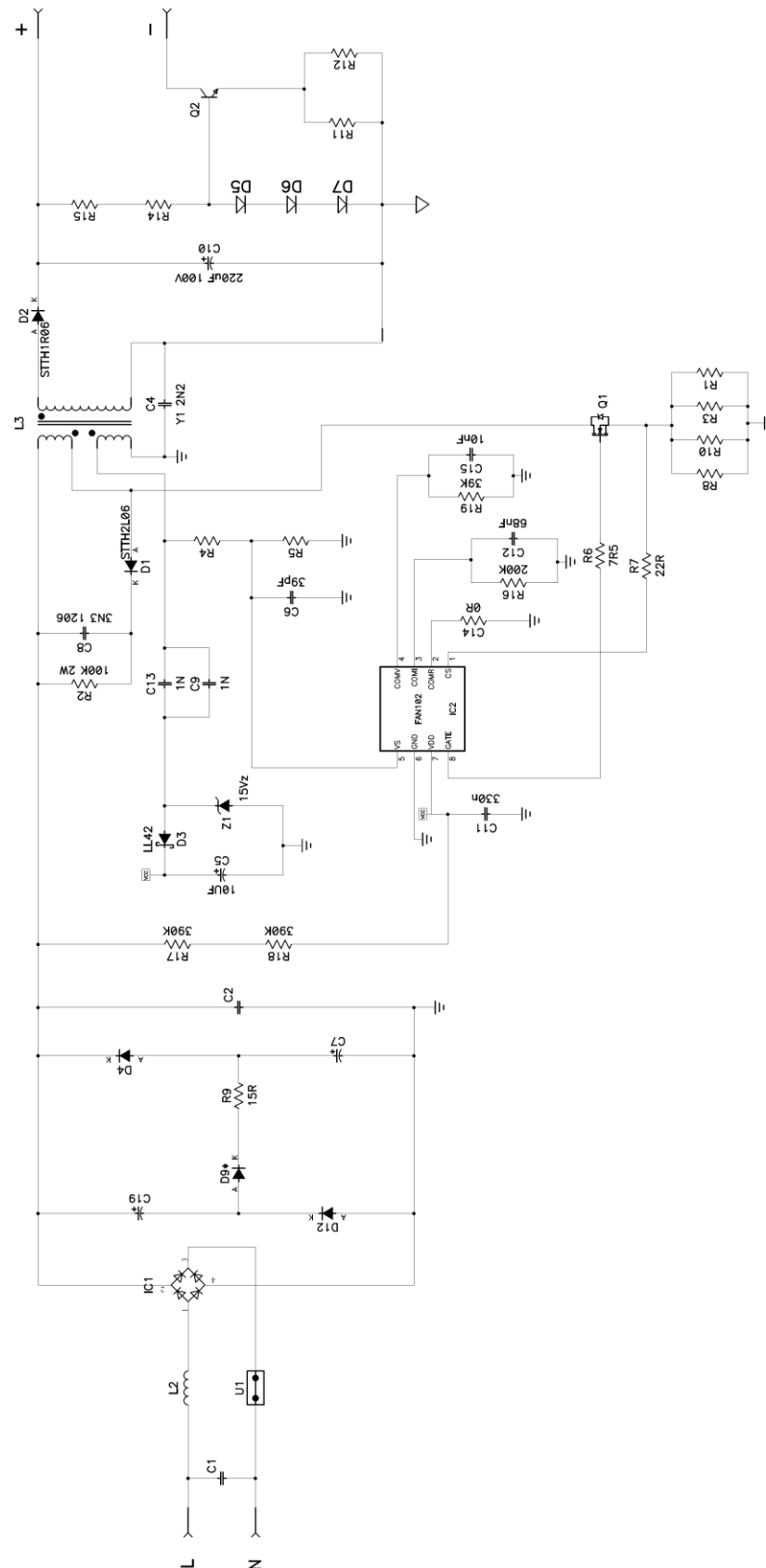


7.7 LISTA DE MATERIALES


1	PCB FAMILIA LEDS FORMATO -A	1	unid.
2	RES. CONV. 100K 1/2W. 1% HHV50	1	unid.
	R2		
3	RES. CONV. 15R 1W 5%	1	unid.
	R9		
4	DIODO ULTRAFast 600V 2A (D0-41)	2	unid.
	D1 D12		
5	HILO DE COBRE ESTAÑADO 0,60MM REC.	0,0002	kgs.
	W1 W2		
6	COND. 0805, 39P, 5%, NPO, 500VDC	1	unid.
	C6		
7	COND.1206 3N3 10% X7R 630V	1	unid.
	C8		
8	COND. 1206 1N 10% X7R 1000V	2	
	C9 C13		
9	COND. 0805, 330N, 10%, X7R, 50V	1	unid.
	C11		
10	COND. 0805, 68N, 10%, NP0, 50V	1	unid.
	C12		
11	COND. 0805, 10N, 10%, X7R, 50V	1	unid.
	C15		
12	R. 1206, 1R0, 5%, 1/4W.	2	unid.
	R1 R3		
13	R. 1206, 4R7, 5%, 1/4W.	1	unid.
	R8		
14	R. 0805, 82K, 1%, 1/8W	1	unid.
	R4		
15	R. 0805, 12K, 1%, 1/8W.	1	unid.
	R5		
16	R. 0805, 7R5, 5%, 1/8W.	1	unid.
	R6		
17	R. 0805, 22R, 5%, 1/8W.	1	unid.
	R7		
18	R. 0805, 6K8, 1%, 1/8W.	2	unid.
	R14 R15		
19	R. 0805, 200K, 1%, 1/8W	1	unid.
	R16		
20	R. 1206, 390K, 5%, 1/4W.	2	unid.
	R17 R18		
21	R. 0805, 39K, 1%, 1/8W	1	unid.
	R19		
22	R. 1206, 1R8, 5%, 1/4W	2	unid.
	R11 R12		
23	R. 0805, 0R, 5%, 1/8W.	1	unid.
	C14		
24	RES. 1206 5% 0R	1	unid.

	J3		
25	DIODO BYD37J / RS1JLR2	3	unid.
	D4 D9 D12		
26	DIODO LL42 30V 0.2A MMELF SCHOTTKY	1	unid.
	D3		
27	DIODO 0805 TS4148	3	unid.
	D5 D6 D7		
28	DIODO ZENER 15V PHABZV55-C15,115	1	unid.
	Z1		
29	TRANSISTOR MOSFET-N STD3NK80ZT4	1	unid.
	Q1		
30	RECTIF. COMPLETA INTEGRADO MB6S	1	unid.
	IC1		
31	FAN102MY	1	unid.
	IC2		
32	C. FILM X2, 100N, 275VAC, P10, 10%	1	unid.
	C1		
33	C.FILM MKP X2 220N 275VAC 5% P15	1	unid.
	C2		
34	COND.CER. Y1 2N2 P10 10%	1	unid.
	C4		
35	C. ELECTR. 10uf 100V P3.5 5% 5000 h	1	unid.
	C5		
36	C. ELECTR. 22uf, 200V, P5, 20%	2	unid.
	C7 C3		
37	C.ELECTR., 270uf, 50V, P5, 20%	1	unid.
	C10		
38	DARLINGTON BD681 VCE 100V IC 4A	1	unid.
	Q2		
39	CORE DRUM 1,95mH. 450 ma.	1	unid.
	L1		
40	TRANSF. FLYBACK LED 350..700mA	1	unid.
	L2		
41	BORNA T.A.DG-129-5,08-02P-14 S.TAPA	2	unid.
	P1 P2		
42	TERMOSTATO 105°C TERMINAL PCB	1	unid.

7.8 ESQUEMA ELÉCTRICO



7.9 ESPECIFICACIÓN DEL TRANSFORMADOR

	COMPONENT SPECIFICATION		P/N: 650240061	
			Rev: 3	04/01/2011
			Hoja 1 de 1	
COMPONENT : TRANSF. FLYBACK LED 700 mA (Máx. 35 caracteres).				
GROUP:	6	CLASS:	50 COILS	

WINDINGS (From inside to outside, always bottom view)

	N° TURNS	WIRE TYPE	DIAM	G	uH	TOL.	BEG. PIN	END PIN	SENSE	ISL. V/N	ISL. U	TO RIGHT EDGE	TO LEFT EDGE	TO OT- HER COIL
W1	(*)51	Litz	5x0.236	2	360	+5 - 5%	2	1	FR	3750	3 LAY	3mm	3mm	-
W2	(**)18	Litz	30x0.1	2	-		7-8	5-6	FF	3750	3 LAY	3mm	3mm	-
W3	(***)10	ENAM	0.236	2	-		4	3	FF	3750	3 LAY	3mm	3mm	-
	(1)			(2)					(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

(1) EMEL= ENAMELED, LITZ (N X D)=LITZ WIRE (CONDUCTORS X DIAMETER)

(3) BOTTOM VIEW OF COIL FORMER, FF= FIRST FORWARD FR = FIRST REAR

(5) ISOLATION THICKNESS IN um.

IN ANY CASE - = NOT APPLICABLE.

WIRE THERMAL CATEGORY F-155 OR HIGHER

(*) W1 NAKED LITZ WIRE. USE ISOLATION TUBE IN BOTH PINS.

(**) W2 NAKED LITZ WIRE. THE WIRE GOES DIRECTLY TO PIN BASE.

(***) W3 ENAMELED WIRE. SPACED WINDING. USE ISOLATION TUBE IN BOTH PINS.

(2) WIRE GRADE

(4) ISOLATION, N= NOT NECESSARY, V= ISOLATION VOLTAGE

(6), (7) (8) MINIMUM DISTANCE TO THE BORDERS OR TO OTHER COIL, 1mm.

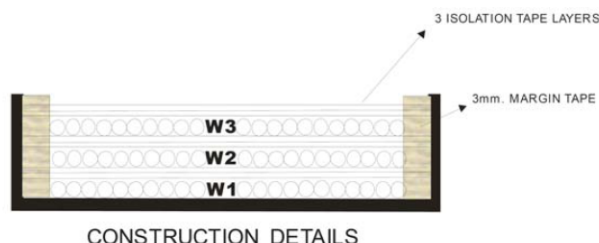
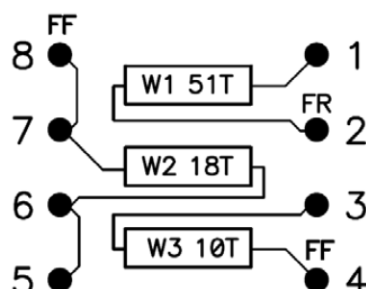
FERRITE CORE

COMERCIAL TYPE : EF25/7 COIL FORMER 8 PINS, ONE SECTION

MATERIAL TYPE : 3C96/3C92 Ferroxcube, N53/N92/N87 Epcos, B5 AVX, H Magnetics, HV22 TDK, CF122 Cosmo

INTERNAL GAP : 0,46mm. (0,23 + 0,23 mm) HANDLE IT TO GET THE INDUCTANCE VALUE ON W1

COIL FORMER - GEOMETRY: BOTTOM VIEW 8 PINS



MAX WIDE.:26,4 mm., MAX LENGTH.:26,4 mm., MAX HIGH.: 21,2 mm., PIN LENGTH: 3,5 mm +0,2 -0,3mm.

(PIN LENGTH AND MAX. HIGH ARE INTENDED FROM THE SUPPORT POINT ON THE PCB)

MATERIAL :POLIESTER + GF.

FINISH

GLUE TYPE : F305

ENAMELED : YES

EMBANDED : RED PLASTIC TAPE

CUT PINS NUM. : NONE

IDENTIFIER DOT : YES, PIN 1

LABEL : YES=ELT 650240061

TEST

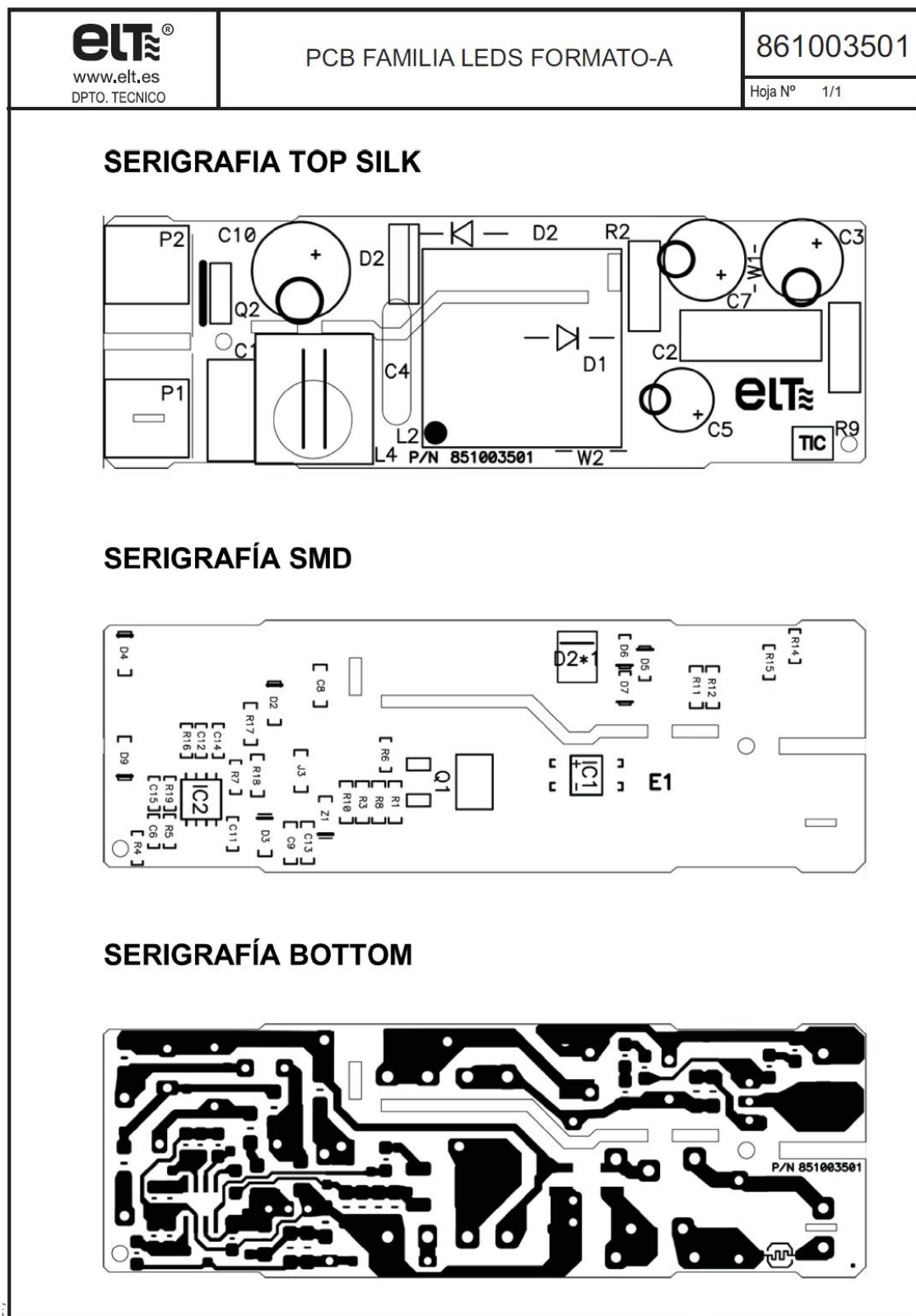
PARAMETER	PINS	UNITS	MIN VA- LUE.	NOM. VA- LUE	MAX. VA- LUE	% PROD.	NOTES
IND. 1KHZ.	1-2	uH	342	360	378	100%	
CONTINU.	1-2/3-4/5-8	OHM		< 2		100%	
ISOLATION	1-2 3-4 / 5-6- 7-8	VOL.		3.750		100%	VAC
LEAKAGE IND.	1-2	uH			< 15 uH	100%	ALL SEC. IN SHORT

7.10 ANAGRAMA DE MARCAJE



DIMENSIONES :	29 x 60mm
IMPRESIÓN :	Azul (ELT)
FONDO DEL MARCAJE :	Blanco
SISTEMA :	Tampografía
RESISTENCIA MARCAJE :	Al agua y al petroleo
TEXTO DEL FILM :	Positivo legible
MARCAS APROBADAS :	

7.11 DISPOSICIÓN SMD Y SERIGRAFÍAS PCB



8 CONCLUSIÓN

La planificación llevada a cabo durante el desarrollo de este proyecto se encuentra dentro de los procedimientos de la empresa y resume como se ha ido desarrollando el equipo punto a punto de forma sistemática. Más allá de la formalidad de los procedimientos y documentos oficiales, tengo que decir que la realización de este proyecto me ha aportado una gran experiencia profesional y personal.

Profesionalmente he aumentado mi conocimiento en la electrónica, ya que he tenido que consultar libros, apuntes, artículos y hojas de datos de fabricantes durante el diseño del equipo. Obligatoriamente he tenido que aplicarme en el manejo de la instrumentación y el uso de herramientas CAD, ya que el día a día en el laboratorio te obliga a estar en contacto con todas estas herramientas. Además, la necesidad de certificar el producto ENEC, me ha obligado a buscar y entender las normativas que aplican a los equipos de iluminación para módulos LED así como a saber realizar los ensayos necesarios para cumplir dichas normativas.

Personalmente tengo que nombrar mi nueva percepción sobre la importancia de trabajar en equipo, y la diferencia entre los criterios de diseño si el producto tiene que salir al mercado o simplemente tiene que funcionar.

Que trabajar en equipo es importante, no cabe duda, pero hasta que no tienes que ponerlo en práctica, no te das cuenta de la dificultad que conlleva. En este proyecto han colaborado desde los comerciales al aportar sus datos de partida para diseñar un equipo competitivo en el mercado, hasta el departamento de calidad a la hora de homologar el equipo para su introducción en producción. Sin olvidar, a producción, compras, logística e ingeniería, que en mayor o menor medida hemos tenido que colaborar para la puesta en marcha del proyecto. La coordinación y comunicación entre todos ha sido fundamental.

Por otro lado, he sufrido las dificultades de tener que diseñar un producto “bueno, bonito y barato”. Es decir, técnicamente bueno, que tenga un formato lo más compacto posible, y un precio adecuado para el mercado.

Que este proyecto tuviese que ser apto para ser vendido en el mercado ha hecho

que el diseño fuese mucho más complicado de desarrollar. Tener un precio objetivo que cumplir significa que tienes que compensar de forma óptima la balanza calidad-precio, y eso conlleva elegir una tecnología lo más simple posible pero que funcione y dimensionar los componentes muy bien.

Con todo eso, este proyecto ha sido una transición entre mi vida de estudiante y mi vida profesional, ya que ha sido el primer proyecto que he afrontado sola en ELT y con el cual he empezado mi formación profesional que espero nunca se pare.