

**Universidad  
Autónoma  
Metropolitana**



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

**LICENCIATURA**  
Ingeniería Electrónica

**NOMBRE DEL PROYECTO**  
Diseño y Construcción de una Lámpara Automotriz usando  
LED's de Potencia

**MODALIDAD**  
Proyecto Tecnológico

**TRIMESTRE**  
18-I

**ALUMNO**  
Jorge Alberto Vargas Avila  
MATRÍCULA: 209204360  
CORREO ELECTRÓNICO: chino\_pumas13@hotmail.com

**ASESOR**  
**NOMBRE:** Juan Gaspar Vargas Rubio  
**CATEGORÍA:** TITULAR B  
**NIVEL ACADÉMICO:** DOCTORADO  
**DEPARTAMENTO DE ADSCRIPCIÓN:** ELECTRÓNICA  
**CORREO ELECTRÓNICO:** jgvr@correo.azc.uam.mx

**Fecha: 10/abril/2018**

## **DECLARATORIA.**

Yo, JUAN GASPAR VARGAS RUBIO, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Yo, JORGE ALBERTO VARGAS AVILA, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



## 1. RESUMEN

---

En la realización de este proyecto, se propuso hacer uso de la tecnología LED, ya que con más frecuencia se utiliza en la vida cotidiana este tipo de tecnología, y esto se debe a que este tipo de tecnología tiene grandes beneficios como lo son el ahorro de energía, mayor durabilidad, alta eficiencia y que conforme se usa con más frecuencia esta tecnología, su precio disminuye.

Lo que se propuso con este proyecto, es realizar una lámpara automotriz que sea mucho más amigable con el medio ambiente, y que sea una lámpara compatible con la lámpara H4 de halógeno, ya que está, al contener gases y funcionar con un mayor consumo de energía, son más contaminantes.

Se optó por una lámpara automotriz H4, ya que este tipo de lámpara es la más utilizada en autos de gama baja y media, y son este tipo de autos los que más hay en las ciudades.

Se realizó una investigación para determinar que circuito integrado sería el más apropiado para simplificar los componentes que se utilizaran en el convertidor reductor para hacer funcionar los LED's de potencia. Mediante la investigación que se hizo, se determinó hacer uso del circuito integrado LM3405.

Lo siguiente que se realizó, fue diseñar el convertidor reductor mediante las formulas proporcionadas por la hoja de datos del circuito integrado LM3405 para determinar los valores de los componentes electrónicos.

Después, lo que se realizó fue construir tres convertidores reductores iguales, de los cuales dos convertidores son para las luces altas y el otro convertidor es para las luces bajas.

Después de la construcción de los convertidores, se realizó el montaje de los LED's de potencia, y esto se hizo mediante una base de la lámpara automotriz H4 y una placa de aluminio que se diseñó para poner ahí los LED's en las mismas dimensiones en que se encuentran los filamentos del foco H4 de halógeno.

Una vez que se tenían hechos los convertidores reductores y el montaje de los LED's, se procedió a realizar la prueba de la lámpara automotriz usando LED's de potencia en un faro automotriz.

## 2. INDICE

---

1. Resumen.....	3
2. Índice.....	4
3. Introducción.....	6
4. Antecedentes.....	8
5. Justificación.....	10
6. Objetivos.....	11
6.1 General y particulares.....	11
7. Marco teórico.....	12
7.1 LED's de potencia.....	12
7.2 Convertidor reductor.....	12
7.2.1 Relaciones entre la tensión y la corriente.....	13
7.2.2 Rizado de la tensión de salida.....	19
8. Desarrollo y resultados de la Lámpara Automotriz con LED's de potencia.....	22
8.1 Elección del LED de Potencia.....	22
8.2 Elección del convertidor.....	23
8.3 Cálculos con las formulas del libro "Electrónica de Potencia".....	23
8.4 Cálculos con fórmulas del integrado LM3405.....	25
8.5 Material necesario.....	28
8.6 Construcción de los Inductores.....	29
8.7 Montaje de los LED's de Potencia.....	32
8.8 Diseño de adaptadores para el integrado LM3405.....	34
8.9 Prueba de funcionamiento en la tablilla protoboard.....	35
8.10 Diseño del Circuito impreso (PCB).....	38
8.11 Prueba de funcionamiento en placa fenólica.....	39
8.12 Prueba final en el faro de auto.....	42

<b>9. Análisis y discusión de resultados.....</b>	<b>44</b>
<b>10. Conclusiones.....</b>	<b>45</b>
<b>11. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>46</b>
<b>12. Apéndices.....</b>	<b>47</b>
12.1 <b>Apéndice 1</b> “Documentación de la lámpara H4 con LED’s de potencia.”.....	47
12.2 <b>Apéndice 2</b> “Diagrama esquemático de los circuitos electrónicos.”.....	48
12.3 <b>Apéndice 3</b> “Documentación del circuito impreso.”.....	49
<b>13. Entregables.....</b>	<b>52</b>

### 3. INTRODUCCIÓN

---

Desde hace ya varias décadas el sistema de iluminación de los automóviles se ha convertido en una de las principales características en cuanto a seguridad se refiere, ya que no solo es un sistema que nos permite manejar de forma segura el auto en condiciones de poca luz, sino que también nos sirve para advertir a los demás conductores de la presencia de otro automóvil cercano a nuestra posición.

Conforme ha pasado el tiempo, hemos visto diferentes tipos de focos para los automóviles, entre los cuales están, las lámparas incandescentes o también llamados focos de filamento, los cuales resplandecen el filamento mediante corriente eléctrica pero tienen el inconveniente de que se ennegrecían, ya que conforme pasa el tiempo, las partículas de tungsteno se evaporaban y reducen el flujo luminoso, por tal motivo su vida útil era muy corta.

La primera mejora de las lámparas de filamento, vino con las lámparas de halógeno, las cuales aún se siguen usando en la actualidad, estas se rellenan con un gas halógeno, lo cual produce que su filamento dure mucho más tiempo y que desprenda más luz. También se corrigió el inconveniente de que se ennegrecían las ampollas. Existen dos tipos de lámparas halógenas, las que solo tienen un filamento que son para las luces bajas o en su defecto las luces altas, y la otra es la de dos filamentos.

El siguiente cambio vino con las lámparas de Xenón, también conocidas como lámparas de descarga de gas, las cuales en vez de tener filamento, estas tienen electrodos de tungsteno, los cuales emiten una luz un poco azulada y tienen la ventaja de iluminar más y consumen menos potencia pero su precio es mayor que las lámparas de halógeno.

La primera vez que se utilizó este tipo de lámpara en el sector automotriz fue en 1991 para el auto BMW serie 7 y la introdujo la empresa Osram pero solo eran para luces bajas. Para el 2001 ya se integraron también para las luces altas y fueron llamados faros Bi-xenón.

El siguiente cambio en las lámparas vino con la introducción de faros de LED's y esto se dio por el año 2003 cuando Audi presentó su automóvil Audi R8, el cual se destacó por traer faros de LED. Este tipo de tecnología solo se encuentra en autos de alta gama porque su precio es bastante elevado.

Este tipo de faros está dado por un arreglo de LED's llamado reflectores multifaro, el cual utiliza pequeños reflectores dotado cada uno de estos con un LED y

mediante un sistema de gestión electrónica que se encarga de controlar las funciones del faro para orientar y encender conjuntamente grupos de LED para la obtención de diversos tipos de haz de luz como son las luces cortas o las luces altas.

## 4. ANTECEDENTES

---

Al realizar la investigación en la UAM sobre proyectos similares o con similitudes se encontraron los siguientes proyectos:

Título: “Control de Iluminación con Tecnología LED”.

Estancia Profesional.

Trimestre: 15-I.

Alumno: Rogelio Gonzáles Ramírez.

Se desarrolló en la empresa AG Electrónica S.A. de C.V. el cual consistía en diseñar nuevas luminarias con módulos de LED's, uno de los proyectos realizados fue un dimmer el cual sirve para regular la tensión con la finalidad de variar la intensidad de la luz, también se hizo el desarrollo de pantallas de LED's en un chaleco con el fin de ser portados por una persona para la realización de shows de baile y esto se realizó mediante un arduino, el cual se programó para que se realizaran diferentes animaciones.

Este proyecto que se realizó tiene relación con el propuesto, ya que utilizaron LED's y un regulador de tensión y las diferencias son que utilizaron un arduino y un dimmer para el control de la iluminación y el proyecto que se propone utiliza convertidores CD-CD.

Título: “Luminaria Solar de 5W en base a LED's”.

Proyecto Tecnológico.

Trimestre: 11-O.

Alumno: Carlos Alberto Ramírez García.

Este proyecto se realizó con la finalidad de proveer luz más eficiente y renovable, ya que utiliza un panel solar como fuente de alimentación, un cargador de baterías para regular el voltaje de carga de una pila de plomo acido de 12V y un manejador de LED's para optimizar mejor su uso y esto se llevó a cabo con el objetivo de tener nuevas opciones de iluminación en lugares donde no hay red eléctrica.

Las similitudes de este proyecto con el propuesto, son los LED's de potencia que utiliza y la batería de 12V y las diferencias son bastantes, ya que empezando por la fuente de alimentación este proyecto se alimenta mediante energía solar y el proyecto propuesto se alimenta de una batería de plomo que traen los autos, entre otras diferencias que hay son la regulación de la tensión.

Al realizar la investigación en otras instituciones del país se encontró el siguiente proyecto:

Título: “Diseño y construcción de un sistema de alimentación para LED’s de potencia utilizando el convertidor CD/CD tipo Flyback”.

Tesis.

Febrero de 2009.

Alumno: Víctor Armando Bolaños Rodríguez.

El proyecto fue realizado en la Universidad Tecnológica de la Mixteca en el estado de Oaxaca, el cual consistía en hacer una lámpara más eficiente y de menor consumo eléctrico, esta lámpara se alimenta mediante la red eléctrica de la CFE, la cual suministra 120VAC y para que los LED’s funcionaran se necesitó de un rectificador el cual era un puente de diodos para pasar de un voltaje alterno a un voltaje directo y para regular la corriente que necesitan los LED’s de potencia se usó la topología de convertidor de CD-CD tipo Flyback.

Como podemos observar el trabajo que realizó el compañero tiene que ver más que nada con la Iluminación más eficiente y de bajo consumo eléctrico y la relación que tiene este trabajo con el que se propone son los LED’s de potencia y el uso de una topología de convertidor CD-CD y las diferencias que hay son tanto la fuente de alimentación como el tipo de convertidor que se usa.

## 5. JUSTIFICACIÓN

---

Este proyecto nace por el gran desarrollo que tienen en los últimos años los diodos emisores de luz (LED), ya que se utilizan con más frecuencia en la vida cotidiana por el hecho de que son amigables con el medio ambiente, ya que tienen la característica de un menor consumo de energía al que utilizan las lámparas convencionales, son reciclables y tienen una vida útil mucho mayor, por tales motivos se decidió realizar una lámpara automotriz hecha con LED's de potencia.

Un aspecto muy importante de este proyecto es que ya existen faros con LED's, pero son como arreglos especiales, y al realizar un foco compatible nos permitiría convertir los faros de auto de foco incandescente en focos de LED's.

## **6. OBJETIVOS**

---

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y construir una Lámpara Automotriz mediante LED's de potencia que sea compatible con el modelo de foco tipo H4 (9003).

### **6.2 OBJETIVOS PARTICULARES.**

- Diseñar una forma de montar los LED's de potencia para que queden en las mismas posiciones que los filamentos de la lámpara halógena H4.
- Escoger la topología de convertidor CD-CD adecuada, para el correcto funcionamiento de los LED's de potencia.
- Diseñar y construir los convertidores CD-CD para alimentar los LED's de potencia.
- Probar todo el sistema en el faro de un automóvil.

## 7. MARCO TEORICO

---

### 7.1 LED's de Potencia

Los diodos emisores de luz (LED's) son elementos de estado sólido (semiconductores) que emiten energía luminosa al aplicar directamente energía eléctrica, los cuales, dependiendo de la aplicación pueden ser de baja o alta potencia.

Los LED's de alta potencia son diseños más completos que incluyen diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso y se fabrican en potencias mayores a 1 W; este tipo de LED's se utilizan principalmente en aplicaciones arquitectónicas de iluminación en exteriores e iluminación para calle, permitiendo tener más posibilidades de diseño y efectos de color.

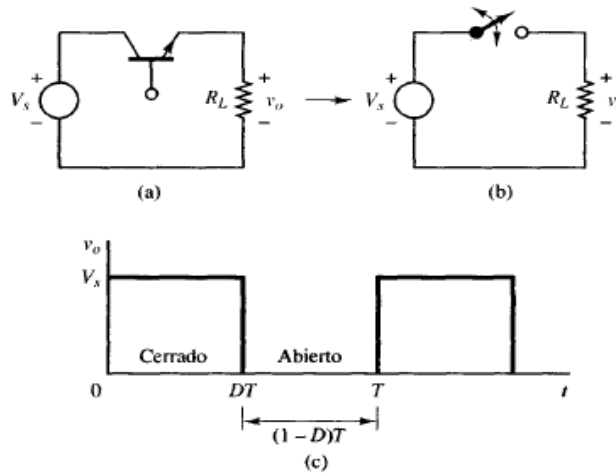
Los LED's de alta potencia son diseños más completos que incluyen diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso y se fabrican en potencias mayores a 1 W; este tipo de LED's se utilizan principalmente en aplicaciones arquitectónicas de iluminación en exteriores e iluminación para calle, permitiendo tener más posibilidades de diseño y efectos de color.

#### **Características.**

- Vida promedio de 50,000 hrs.
- Excelente Flujo Luminoso.
- Alta Eficiencia.
- Control preciso y direccional del flujo luminoso.
- Mínimas emisiones de radiaciones infrarrojas y ultravioletas.

### 7.2 CONVERTIDOR REDUCTOR

En algunas aplicaciones puede ser suficiente controlar la componente continua de una salida de pulsos como la mostrada en la figura 1c, pero muchas veces el objetivo es producir una salida que sea continua pura. Una manera de obtener una salida continua en el circuito de la figura 1<sup>a</sup> es insertar un filtro paso bajo después del interruptor.



**Figura 1.- (a) Convertidor CD-CD básico conmutado. (b) Equivalente para conmutación. (c) Tensión de salida.**

En la figura 2a se muestra un filtro paso bajo con una bobina y un condensador (L-C) añadido al convertidor básico. El diodo proporciona un camino a la corriente de la bobina cuando el interruptor está abierto y se polariza en inversa cuando el interruptor está cerrado. Este circuito se denomina convertidor o convertidor reductor, porque la tensión de salida es menor que la de entrada.

### 7.2.1 Relaciones entre la tensión y la corriente

Si el filtro paso bajo es ideal, la tensión de salida es la media de la tensión de entrada del filtro. La entrada del filtro,  $V_x$  en la figura 2a, es  $V_s$  cuando el interruptor está cerrado y cero cuando está abierto, siempre que la corriente en la bobina sea positiva y el diodo conduzca. Si el interruptor se cierra de forma periódica con un ciclo de trabajo  $D$ , la tensión media en la entrada del filtro es  $V_s D$ , como se indica en la ecuación 1.

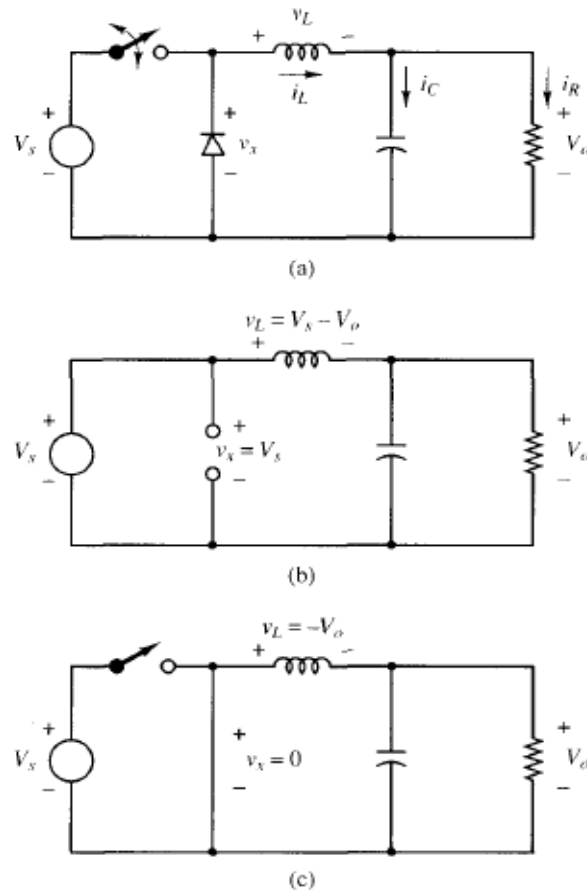


Figura 2.- (a) Convertidor CD-CD reductor. (b) Circuito equivalente cuando el interruptor está cerrado. (c) Circuito equivalente cuando el interruptor está abierto.

La media o componente continua de la salida es:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt = V_s D \quad \text{Ec. (1)}$$

Para este análisis suponemos que el diodo está polarizado en directa siempre que el interruptor esté abierto, y que la corriente en la bobina es positiva. Una corriente en la bobina que sea positiva en todo el intervalo de conmutación se denomina corriente permanente. Por el contrario, la corriente discontinua se caracteriza porque la corriente de la bobina pasa por cero en cada periodo.

Otra forma de analizar el funcionamiento del convertidor reductor de la figura 2a, es examinar la tensión y la corriente de la bobina. Este método de análisis será útil para diseñar el filtro.

A continuación se enumeran las propiedades del convertidor reductor (y de los convertidores CD-CD en general) cuando funciona en régimen permanente:

1.- La corriente en la bobina es periódica:

$$i_L(t + T) = i_L(t) \quad \text{Ec. (2)}$$

2.- La tensión media en la bobina es cero:

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} V_L(\lambda) d\lambda = 0 \quad \text{Ec. (3)}$$

3.- La corriente media en el condensador es cero:

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} I_C(\lambda) d\lambda = 0 \quad \text{Ec. (4)}$$

4.- La potencia entregada por la fuente es igual a la suministrada a la carga. Cuando los componentes no son ideales, la fuente también suministra las pérdidas:

$$P_s = P_o \quad (\text{ideal})$$

$$P_s = P_o + \text{pérdida} \quad (\text{no ideal}) \quad \text{Ec. (5)}$$

Para analizar el convertidor reductor de la figura 2a, comenzaremos suponiendo lo siguiente:

1. El circuito opera en régimen permanente.
2. La corriente en la bobina es permanente (siempre positiva).
3. El valor del condensador es muy grande y la tensión de salida se mantiene constante a una tensión  $V_o$ .
4. El periodo de conmutación es  $T$ ; el interruptor estará cerrado un tiempo  $DT$  y estará abierto el resto del tiempo  $(1-D)T$ .
5. Los componentes son ideales.

La clave del análisis para determinar la salida  $V_o$  es examinar, en primer lugar, la corriente y la tensión en la bobina cuando el interruptor está cerrado y luego con el interruptor abierto. La variación neta de corriente en la bobina en un periodo debe ser cero en régimen permanente. La tensión media en la bobina es cero.

**Análisis con el interruptor cerrado.** Cuando el interruptor está cerrado en el convertidor reductor de la figura 2a, el diodo se polariza en inversa y el circuito equivalente es el mostrado en la figura 2b. La tensión en la bobina es:

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{Ec. (6)}$$

Reorganizando los términos obtenemos:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (\text{conmutador cerrado}) \quad \text{Ec. (7)}$$

Como la derivada de la corriente es una constante positiva, la corriente aumenta linealmente como se muestra en la figura 3b. La variación de corriente cuando el interruptor está cerrado se calcula modificando la ecuación anterior:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad \text{Ec. (8)}$$

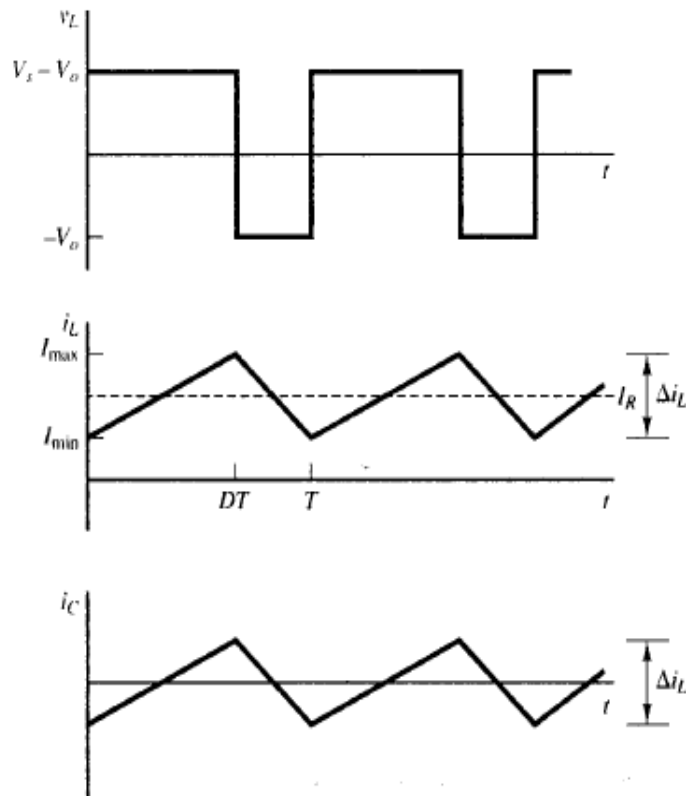


Figura 3.- Formas de onda del convertidor reductor. (a) Tensión en la bobina. (b) Corriente de la bobina. (c) Corriente del condensador.

**Análisis con el interruptor abierto.** Cuando el interruptor está abierto, el diodo se polariza en directa para dejar pasar la corriente de la bobina y se aplica el circuito equivalente de la figura 2c. Cuando el interruptor está abierto, la tensión en la bobina es:

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \text{ Ec. (9)}$$

Reorganizando los términos obtenemos:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L} \text{ (Interruptor abierto)} \quad \text{Ec. (10)}$$

La derivada de la corriente en la bobina es una constante negativa, y la corriente disminuye linealmente como se muestra en la figura 3b. La variación de corriente en la bobina cuando el interruptor está abierto es:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = -\frac{V_o}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{\text{abierto}} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad \text{Ec. (11)}$$

En la operación en régimen permanente es necesario que la corriente de la bobina sea la misma al final y al principio de cada ciclo de conmutación, por lo que la variación neta de la corriente de la bobina en un periodo será cero. Para ello se debe cumplir:

$$(\Delta i_L)_{\text{cerrado}} + (\Delta i_L)_{\text{abierto}} = 0 \quad \text{Ec. (12)}$$

Utilizando las ecuaciones 8 y 11

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right) DT - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0$$

Despejando  $V_o$ ,

Ec. (13)

$$V_o = V_s D$$

que es el mismo resultado que el proporcionado por la ecuación 1. El convertidor reductor produce una salida menor o igual a la entrada.

Una forma alternativa de calcular la tensión de salida se basa en la tensión de la bobina, como se muestra en la figura 3a. Dado que la tensión media en la bobina es cero en régimen permanente,

$$V_L = (V_s - V_o) DT + (-V_o)(1-D) T = 0$$

Al despejar  $V_o$  en la ecuación anterior se obtiene el mismo resultado que utilizando la ecuación 13,  $V_o = V_s D$ .

Se observa que la tensión de salida solo depende de la entrada y del ciclo de trabajo  $D$ . Si la tensión de entrada fluctúa, la tensión de salida puede regularse ajustando el ciclo de trabajo adecuadamente. Se precisa un bucle de

realimentación para muestrear la tensión de salida, compararla con una referencia y configurar correctamente el ciclo de trabajo del conmutador.

La corriente media en la bobina debe ser igual a la corriente media en la resistencia de carga, porque la corriente media en el condensador debe ser nula cuando opera en régimen permanente:

$$I_L = I_R = \frac{V_o}{R} \quad \text{Ec. (14)}$$

Como la variación de corriente en la bobina se puede calcular utilizando las ecuaciones 8 y 11, los valores mínimo y máximo de la corriente en la bobina se calcularán de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} I_{\text{máx}} &= I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \\ &= \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[ \frac{V_o}{L} (1 - D) T \right] = V_o \left[ \frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad \text{Ec. (15)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{mín}} &= I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \\ &= \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left[ \frac{V_o}{L} (1 - D) T \right] = V_o \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad \text{Ec. (16)} \end{aligned}$$

Siendo  $f = 1/T$  la frecuencia de conmutación en hercios.

Para que el análisis anterior sea válido, es necesario verificar que existe corriente permanente en la bobina. Una forma sencilla de hacer esta comprobación es calcular la corriente mínima en la bobina utilizando la ecuación 16. Como el valor mínimo de la corriente en la bobina debe ser positivo para tener una corriente permanente, no está permitido que el mínimo calculado utilizando la ecuación 16 sea negativo, debido al diodo y dicha situación indicaría que la corriente es discontinua. El circuito funcionará con corriente discontinua en la bobina, pero el análisis anterior no será válido. El funcionamiento con corriente discontinua se describirá más adelante en este capítulo.

Podemos utilizar la ecuación 16 para determinar la combinación de  $L$  y  $f$  que producirá corriente permanente. Como  $I_{\text{mín}}=0$  es el límite entre la corriente permanente y la corriente discontinua,

$$I_{\text{mín}} = 0 = V_o \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right]$$

$$(\mathbf{Lf})_{\text{mín}} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad \text{Ec. (17)}$$

Si fijamos la frecuencia de conmutación deseada,

$$\mathbf{L}_{\text{mín}} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad \text{Ec. (18)}$$

Siendo  $L_{\text{mín}}$  la inductancia mínima necesaria para que exista corriente permanente.

### 7.2.2 Rizado de la tensión de salida

En el análisis anterior hemos supuesto que el condensador era muy grande para que la tensión de salida fuese constante. En la práctica no será posible mantener perfectamente constante la tensión de salida con una capacidad finita. La variación periódica de la tensión de salida, o rizado, se calcula a partir de la relación entre la tensión y la corriente del condensador. La corriente en el condensador es:

$$i_c = i_L - i_R$$

Dicha corriente se muestra en la figura 4a.

El condensador se cargará mientras sea positiva la corriente en el mismo. Aplicando la definición de capacidad,

$$Q = CV_o$$

$$\Delta Q = C\Delta V_o$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad \text{Ec. (19)}$$

La variación de la carga,  $\Delta Q$ , es el área del triángulo situado por encima del eje de tiempos:

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left( \frac{T}{2} \right) \left( \frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T\Delta i_L}{8} \quad \text{Ec. (20)}$$

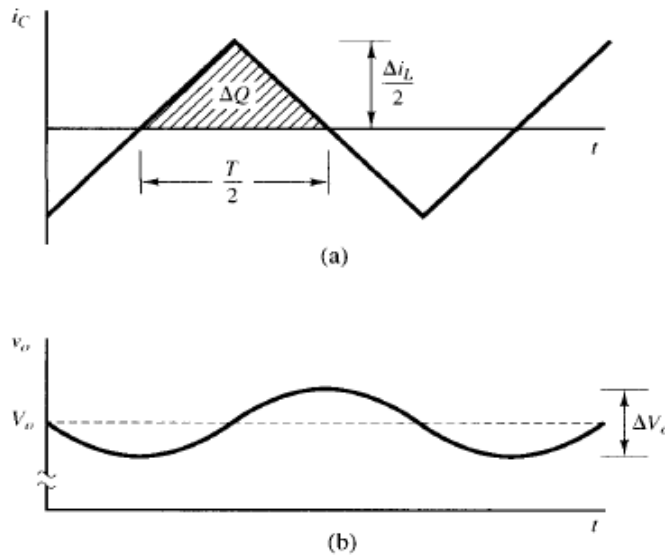


Figura 4.- Formas de onda del convertidor reductor. (a) corriente en el condensador. (b) Tensión de rizado en el condensador.

Con lo que obtenemos:

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C} \text{ Ec. (21)}$$

Sustituyendo el valor de  $\Delta i_L$  dado por la ecuación 11,

$$\Delta V_o = \frac{T}{8C} \frac{V_o}{L} (1 - D) T = \frac{V_o (1 - D)}{8LCf^2} \text{ Ec. (22)}$$

En esta ecuación,  $\Delta V_o$  es la tensión de rizado pico a pico en la salida, mostrada en la figura 4b. También es útil expresar el rizado como una fracción de la tensión de salida:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1 - D}{8LCf^2}$$

Ec. (23)

Si el rizado no es muy grande, la suposición de que la salida es constante es razonable, y el análisis anterior será válido.

Dado que suponemos que los componentes del convertidor son ideales, la potencia entregada por el generador debe ser igual a la potencia absorbida por la resistencia de carga:

$$P_s = P_o$$

$$V_{s1s} = V_{o1o}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{I_s}{I_o}$$

**Ec. (24)**

Se observa que la relación anterior es similar a la relación tensión-corriente de un transformador en las aplicaciones de alterna. Por tanto, el circuito convertidor reductor es equivalente a un transformador de continua.

## 8. DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA LÁMPARA AUTOMOTRIZ CON LED'S DE POTENCIA.

En esta sección, se describirá como fue el desarrollo de la lámpara automotriz con LED's de potencia, y los resultados que de este proyecto se obtuvieron.

### 8.1 Elección del LED de Potencia

Lo primero que se hizo fue elegir el tipo de Led de Potencia que se utilizará para este proyecto y la elección fue un Led de 5W por sus características, las cuales se presentan a continuación mediante su hoja de datos.

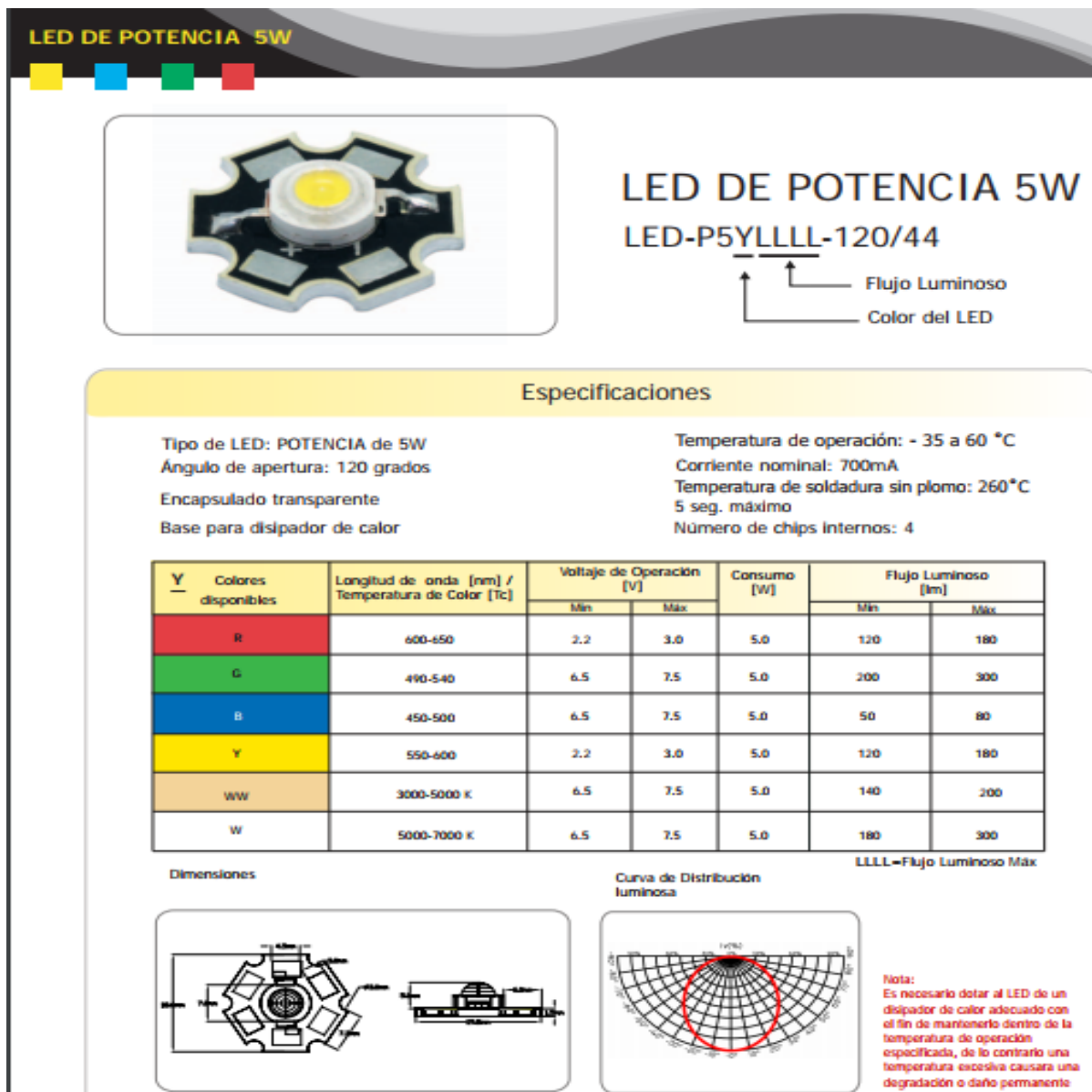


Figura 5.- Hoja de datos del LED de Potencia de 5W

## 8.2 Elección del convertidor.

Lo siguiente que se hizo fue elegir el tipo de convertidor que se utilizará en este proyecto, el cual será el convertidor reductor, porque se necesitará un voltaje de salida menor que el voltaje que se tiene a la entrada, ya que, el Led que se eligió trabaja con un voltaje de 6.5V a 7.5V, es por tal motivo que gracias a las características de este tipo de convertidor, se eligió.

## 8.3 Cálculos con las formulas del libro “Electrónica de Potencia”.

Una vez que se eligió el tipo de convertidor que se usará para el proyecto, se procedió a realizar los cálculos correspondientes del convertidor reductor y esto será a partir de las fórmulas que nos proporciona el libro “Electrónica de Potencia” de Daniel W. Hart, y los resultados se presentan a continuación:

De acuerdo a la hoja de datos del Led propuesto, el voltaje de operación es de:

$V_{\min}= 6.5V$  y  $V_{\max}=7.5V$ ; por lo tanto usaremos un voltaje de 7volts.

La corriente nominal es de:  $I_L= 700mA$ .

A continuación se muestran todos los datos que se tienen:

Voltaje de entrada.  $V_S= 12$  volts

Voltaje de salida.  $V_O= 7$  volts

Corriente nominal.  $I_L= 700mA$

Frecuencia.  $F= 1.6$  MHz

Rizo= 2%

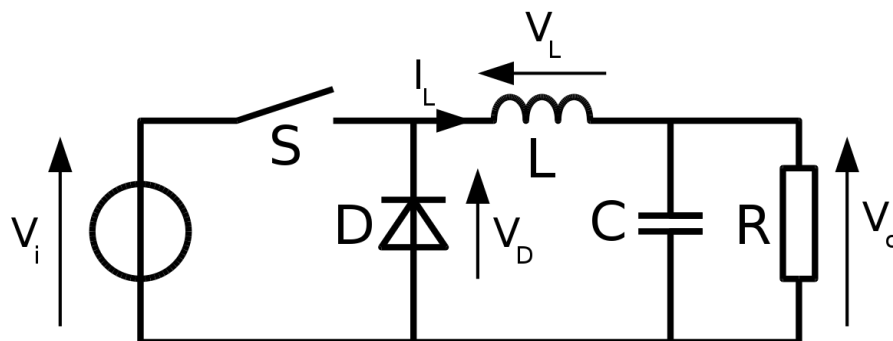


Figura 6.- Circuito convertidor reductor

Mediante la siguiente formula se calcula el ciclo de trabajo del convertidor reductor.

$$V_o = DV_s \left[ \frac{V_o}{V_s} = \frac{7V}{12V} \right] = 0.5833$$

Después se calcula el valor de la resistencia mediante la ley de Ohm.

$$I_L = \frac{V_o}{R} \left[ \frac{V_o}{I_L} = \frac{7V}{700mA} \right] = 10\Omega$$

La inductancia mínima se calculó con la siguiente formula.

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} = \frac{(1-0.5833)(10\Omega)}{(2)(1.6MHz)} = 1.3021\mu H$$

Conforme a las recomendaciones del libro, la bobina será un 25% mayor que el valor mínimo, con el fin de asegurar que la corriente en la bobina sea permanente, por tal motivo el valor de la bobina es el siguiente:

$$L = 1.25L_{min} = (1.25)(1.3021\mu H) = 1.6276\mu H$$

A continuación se realizó el cálculo de la variación de corriente.

$$\Delta i_L = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) (DT) = \left( \frac{12V - 7V}{1.6276\mu H} \right) (0.5833) \left( \frac{1}{1.6MHz} \right) = 1.1199A$$

Nota: La "T" es el periodo y se calcula mediante la siguiente formula.

$T = 1/f$  donde "f" es la frecuencia.

Después se hace el cálculo de la corriente mínima y máxima.

$$I_{Lmax} = V_o \left[ \frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = (7V) \left[ \frac{1}{10} + \frac{(1-0.5833)}{(2)(1.6276\mu H)(1.6MHz)} \right] = 1.26A$$

$$I_{Lmin} = V_o \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = (7V) \left[ \frac{1}{10} - \frac{(1-0.5833)}{(2)(1.6276\mu H)(1.6MHz)} \right] = 0.1399A$$

Por último se calculó el valor del capacitor.

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V_o}{V_o}} = \frac{(1-0.5833)}{(8)(1.6276\mu H)(0.02)(1.6MHz)^2} = 625.02nF$$

### 8.4 Cálculos con fórmulas del circuito integrado LM3405.

Lo siguiente que se realizó, fue buscar un circuito integrado que nos simplificara tanto los costos como el circuito y se encontró que el circuito integrado LM3405 nos es de mucha ayuda y mediante su hoja de datos, esté, nos sugiere otra forma de calcular el valor del inductor.

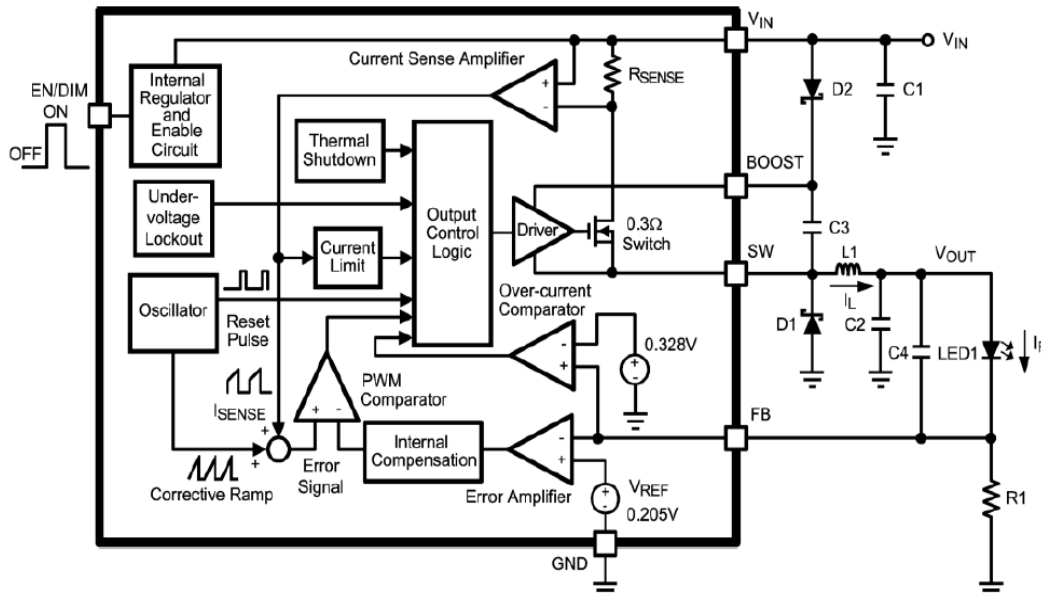


Figura 7.- Estructura interna del circuito integrado LM3405 y sus componentes externos.

En esta hoja de datos también se pueden observar varios métodos para derivar  $V_{BOOST}$ , los cuales se presentan a continuación:

1. Desde el voltaje de entrada ( $V_{IN}$ )
2. Desde la tensión de salida ( $V_{OUT}$ )
3. Desde diodos Zener en serie
4. Desde un carril de voltaje distribuido externo ( $V_{EXT}$ )

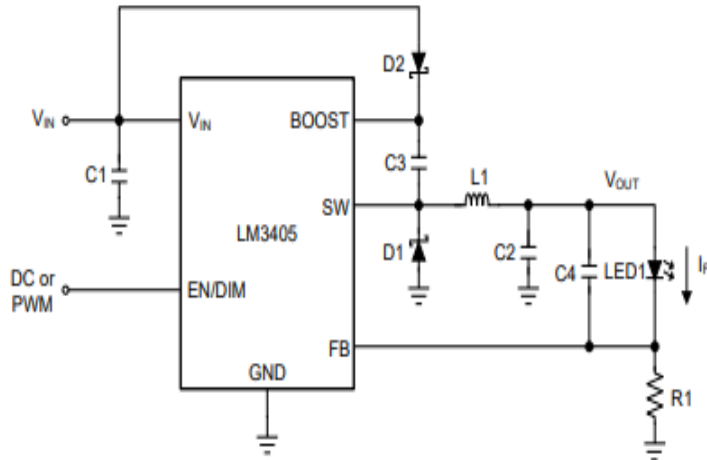


Figura 8.-  $V_{BOOST}$  desde el voltaje de entrada ( $V_{in}$ ).

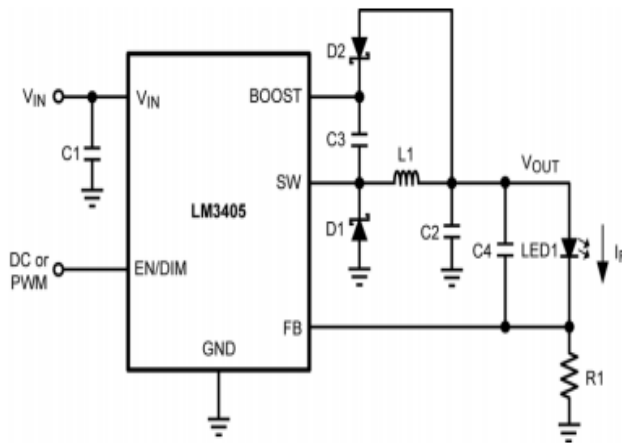


Figura 9.-  $V_{BOOST}$  derivado desde la tensión de salida ( $V_{out}$ ).

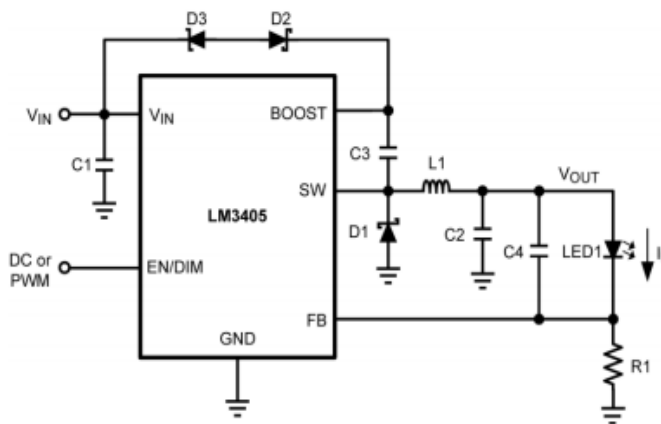


Figura 10.-  $V_{BOOST}$  derivado del  $V_{in}$  a través de diodos Zener en serie.

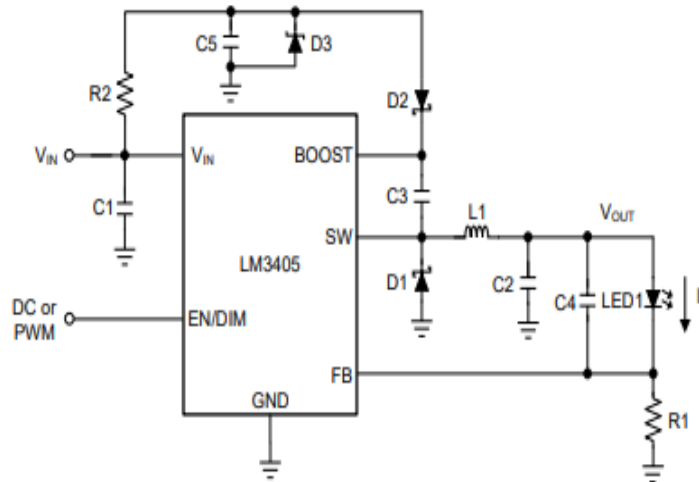


Figura 11.-  $V_{BOOST}$  derivado desde un carril de voltaje distribuido externo ( $V_{ext}$ ).

Una vez que se analizó cada método de  $V_{BOOST}$ , se optó por usar el método de la tensión de salida ( $V_{out}$ ), y por ende, se utilizarán las formulas proporcionadas por la hoja de datos del circuito integrado LM3405, las cuales servirán para el cálculo de los valores de los componentes que se llegarán a utilizar, y a continuación se presentan dichos cálculos:

Voltaje de entrada.  $V_{in} = 12V$

Voltaje de salida.  $V_{out} = 7V = V_{LED}$

Corriente nominal.  $I_F = 700mA$

Rizo.  $r = 0.6$

Primero se calculó el ciclo de trabajo.

$$V_o = DV_s \Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = \frac{7V}{12V} = 0.5833$$

Después se calculó la resistencia  $R1$

$V_{FB}$  es el voltaje de referencia del amplificador de error del integrado y es de  $0.205V$ .

$$R1 = \frac{V_{FB}}{I_F} = \frac{0.205V}{700mA} = 0.292\Omega$$

A continuación se calculó la corriente nominal del diodo  $D$ .

$$I_{D1} = (I_F)(1-D) = (700mA)(1-0.5833) = 0.29A$$

El fabricante Texas Instrument mediante la hoja de datos del circuito integrado nos sugiere utilizar diodos D1= 1A a 30V y D2= 100mA a 30V.

Por último se calculó el valor del inductor el cual nos da:

$$L = \frac{V_{out} + VD1}{(IF)(r)(f)} = \frac{7V + 0.5V}{(700mA)(0.6)(1.6MHz)} = 11.16\mu H$$

**Nota.-** El circuito integrado LM3405 trabaja a una frecuencia de 1.6MHz, la cual se usó para los cálculos tanto de las formulas proporcionadas por el libro y la hoja de datos del circuito integrado.

Simbología	Valores
<b>IC1 circuito integrado</b>	LM3405
<b>C1 capacitor electrolítico</b>	10 $\mu$ F a 25V
<b>C2 capacitor de poliéster</b>	1 $\mu$ F a 10V
<b>C3 capacitor cerámico</b>	0.01 $\mu$ F a 16V
<b>C4 capacitor de poliéster</b>	1 $\mu$ F a 10V
<b>D1 Diodo Schottky</b>	1N5819
<b>D2 Diodo Schottky</b>	1N5819
<b>L1 Inductor</b>	11.16 $\mu$ H
<b>R1 Resistencia</b>	0.33 $\Omega$

**Tabla 1.- Material para el convertidor reductor.**

### 8.5 Material necesario:

Se realizaran tres convertidores reductores, de los cuales uno será para las luces bajas y los otros dos convertidores son para las luces altas, por tal motivo a continuación se presenta el material necesario para realizar los convertidores.

3 capacitores de 10 $\mu$ F a 25V

6 capacitores de 1 $\mu$ F a 10V

3 capacitores de 0.01 $\mu$ F

6 diodos schottky 1N5818 o 1N5819

3 resistencias de 0.33 $\Omega$

3 Inductores de 11.16 $\mu$ H

3 placas fenólicas

Cloruro férrico

9 borneras

3 LED's de potencia de 5W

1 base de foco H4

3 circuitos integrados LM3405

**Nota.-** Los inductores se construirán, así que se necesitará alambre magneto, carretes para los inductores y los entrehierros o en su defecto ferrita.

### **8.6 Construcción de los Inductores.**

A continuación se consultó la hoja de datos de los tamaños del alambre magneto para realizar los inductores.

Al consultar los tamaños del alambre, se observaron las propiedades de los mismos, para ver que calibre nos sería de utilidad, ya que nuestro circuito integrado trabaja a una frecuencia de 1.6MHz, por tal motivo el tamaño ideal sería el no. 38 porque éste soporta una frecuencia de 1.75MHz pero tenemos el inconveniente del paso de la corriente porque solo aguanta 0.03188 Amper, por lo cual tendríamos que colocar 22 alambres para que soportara los 700mA con los que funciona el LED.

Otro inconveniente fue que el alambre magneto no. 38 es muy difícil de conseguir por lo tanto se optó por trabajar con el alambre no. 34 y despreciar el efecto piel que este produce, y por tal motivo solo se usaran 9 alambres por la corriente que soporta que es de 0.0804 Amper.

A continuación se presenta la tabla con los calibres y sus características:

Calibre AWG	Diámetro [in]	Diámetro [mm]	Área [mm <sup>2</sup> ]	Resistencia ohm/1000ft	Resistencia ohm/km	Corriente a 4A/mm <sup>2</sup>	Frecuencia para 100% de penetración (skin depth)	
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	169.6	325	Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	134.4	410	Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	106.8	500	Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	84.8	650	Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	67.2	810	Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	53.2	1100	Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	42	1300	Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	33.48	1650	Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	26.52	2050	Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	21.04	2600	Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	16.68	3200	Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	13.24	4150	Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	10.48	5300	Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	8.32	6700	Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	6.6	8250	Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	5.24	11	kHz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	4.16	13	kHz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	3.292	17	kHz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	2.612	21	kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	2.072	27	kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.64	33	kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	1.304	42	kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	1.032	53	kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.82	68	kHz
25	0.0179	0.45466	0.162	32.37	106.1736	0.648	85	kHz
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.516	107	kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.408	130	kHz
28	0.0126	0.32004	0.081	64.9	212.872	0.324	170	kHz
29	0.0113	0.28702	0.0642	81.83	268.4024	0.2568	210	kHz
30	0.01	0.254	0.0509	103.2	338.496	0.2036	270	kHz
31	0.0089	0.22606	0.0404	130.1	426.728	0.1616	340	kHz
32	0.008	0.2032	0.032	164.1	538.248	0.128	430	kHz
33	0.0071	0.18034	0.0254	206.9	678.632	0.1016	540	kHz
34	0.0063	0.16002	0.0201	260.9	855.752	0.0804	690	kHz
35	0.0056	0.14224	0.016	329	1079.12	0.064	870	kHz
36	0.005	0.127	0.0127	414.8	1360	0.0508	1100	kHz
37	0.0045	0.1143	0.01	523.1	1715	0.04	1350	kHz
38	0.004	0.1016	0.008	659.6	2163	0.03188	1750	kHz
39	0.0035	0.0889	0.0063	831.8	2728	0.02528	2250	kHz
40	0.0031	0.07874	0.005	1049	3440	0.02004	2900	kHz

**Tabla 2.- Calibres y características del alambre magneto.**

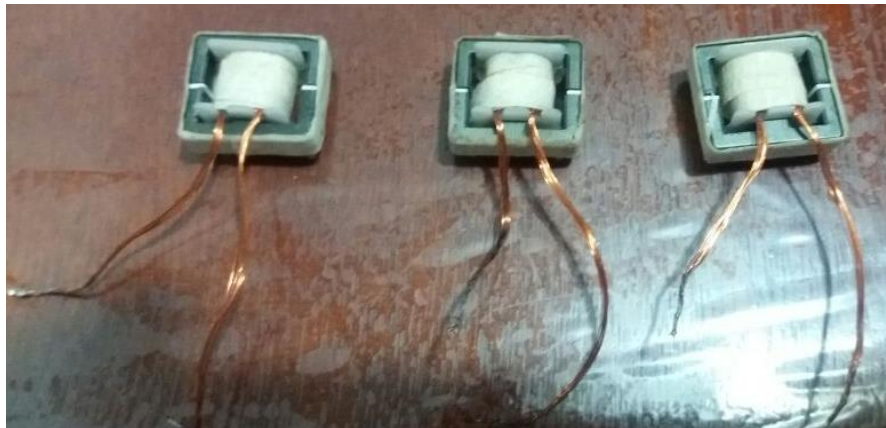
Lo siguiente que se hizo, fue realizar los inductores mediante el factor de inductancia por vuelta cuadrada con ayuda del medidor RLC, el cual fue proporcionado en el laboratorio y se calculó el número de vueltas necesarias para obtener una inductancia de  $11.16\mu\text{H}$ , y esto se realizó enrollando primero 10 vueltas en el carrete con su respectivo entrehierro y posteriormente se midió de forma experimental el inductor, el cual nos dio como resultado  $6.21\mu\text{H}$ , por tal motivo se decidió enrollar el doble de vueltas y medir de nueva cuenta teniendo como resultado  $12.73\mu\text{H}$  y al quitar una vuelta el resultado fue de  $11.20\mu\text{H}$ , por ende el número de vueltas necesarias para los inductores es el siguiente:

**N= 19 vueltas**



**Figura 12.- Medidor RLC**

A continuación se muestran los inductores ya construidos y listos para ser utilizados:



**Figura 13.- Inductores construidos.**

A continuación se llevó a cabo el cálculo de las impedancias en los inductores y las resistencias experimentalmente.

Se utilizaron los inductores previamente ya contruidos, los cuales se midieron con el apoyo de una fuente de corriente y un multímetro. A cada inductor se le proporcionó una corriente de 1Amper y mediante el multímetro se midió el voltaje de caída en cada inductor y mediante la ley de ohm se obtuvo la impedancia de cada uno de los inductores.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Inductor	Voltaje	Impedancia
11 $\mu$ H	63mV	63m $\Omega$
11.2 $\mu$ H	60.1mV	60.1m $\Omega$
11.2 $\mu$ H	60.9mV	60.9m $\Omega$

**Tabla 3.- Valores de impedancia medidos experimentalmente.**

Después se midió cada una de las resistencias de 0.33 $\Omega$  mediante el mismo modo que se hizo con los inductores y se obtuvieron los valores experimentales, los cuales se presentan a continuación:

Resistencia	Voltaje	Ohms
R1	330mV	330m $\Omega$
R2	336mV	336m $\Omega$
R3	337mV	337m $\Omega$

**Tabla 4.- Valores de las resistencias medidos experimentalmente.**

### 8.7 Montaje de los LED's de Potencia.

Lo siguiente que se realizó fue montar los LED's de potencia en una placa de aluminio en las mismas dimensiones en que se encuentran los filamentos del foco automotriz H4 y haciendo uso de la base de tal foco, la lámpara H4 con LED's de potencia quedo de la siguiente manera:



Figura 14.- Foco H4 con LED's de Potencia.

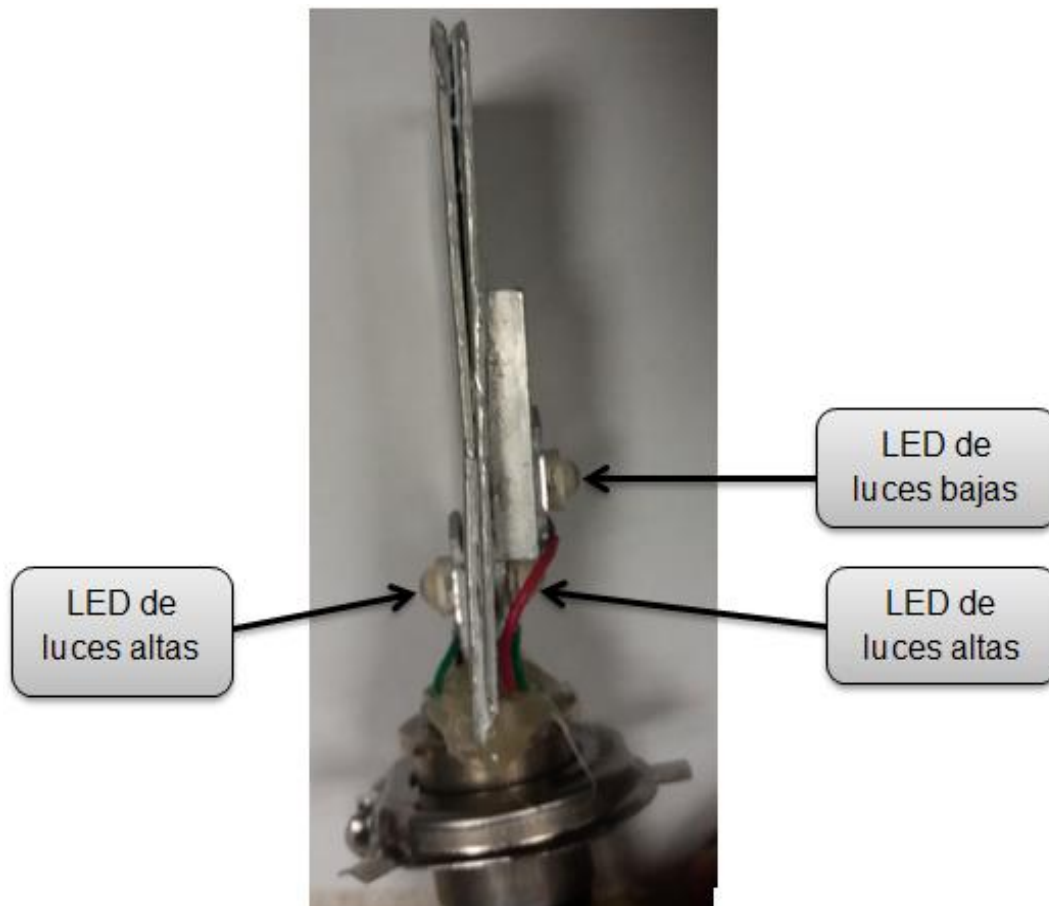


Figura 15.- Foco H4 con LED's de Potencia visto de perfil.

### 8.8 Diseño de adaptadores para el integrado LM3405

Al seguir con el desarrollo de la lámpara automotriz, lo siguiente que se realizó fue hacer unos adaptadores para los circuitos integrados LM3405, ya que estos tienen medidas de 2.90mm. X 1.60mm. y por ende los adaptadores serán de tamaño DIP estándar, el cual se muestra a continuación:

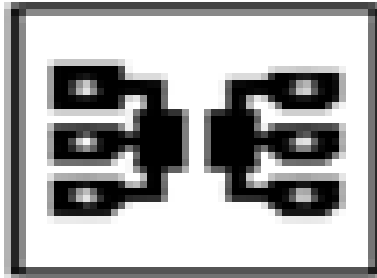


Figura 16.- Adaptador diseñado para el integrado LM3405

A continuación se muestran los integrados LM3405 en su adaptador:



Figura 17.- Circuitos integrados LM3405 con su adaptador.

## 8.9 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO EN LA TABLILLA PROTOBOARD.

Después se procedió a realizar el armado del convertidor reductor en una tablilla protoboard para comenzar con la primera prueba de funcionamiento, en la cual se tuvieron que poner los componentes electrónicos lo más cerca posible, ya que el circuito integrado LM3405 maneja una frecuencia de 1.6MHz y al separar demasiado los componentes, estos generan una resistencia en los alambres que es indeseable y por ende no es conveniente porque altera los resultados.

Para las primeras pruebas hechas en el protoboard, se usaron 9 diodos 1N4005 en lugar del Led de potencia para que, en caso de fallas no se dañara el led, lo cual se puede notar en la siguiente imagen.

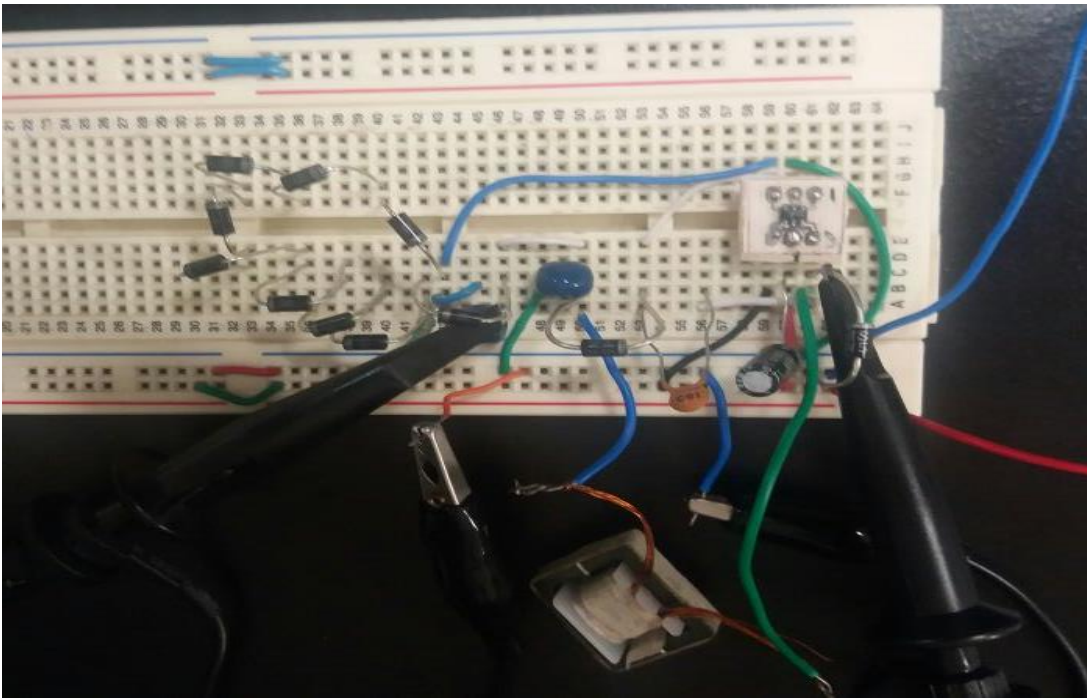


Figura 18.- Circuito convertidor reductor en la tablilla protoboard con diodos 1N4005.

Al conectar todos los componentes y la fuente de voltaje, se hizo la prueba de funcionamiento y se obtuvo una corriente de 230 mA con un voltaje de entrada de 12V.



Figura 19.- Fuente de voltaje.

Después, se procedió a medir el voltaje de salida del convertidor reductor con ayuda del multímetro y se obtuvo lo siguiente:

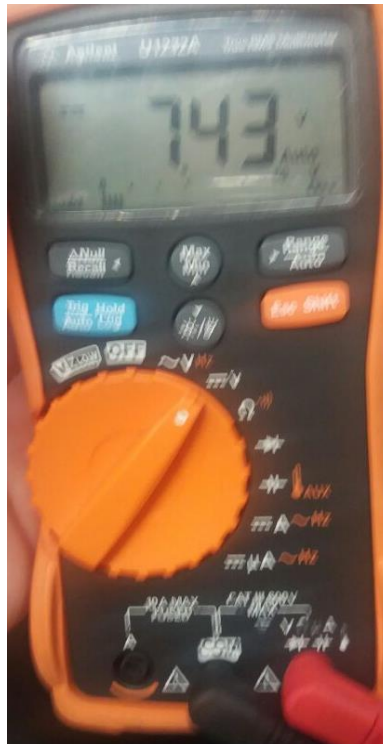
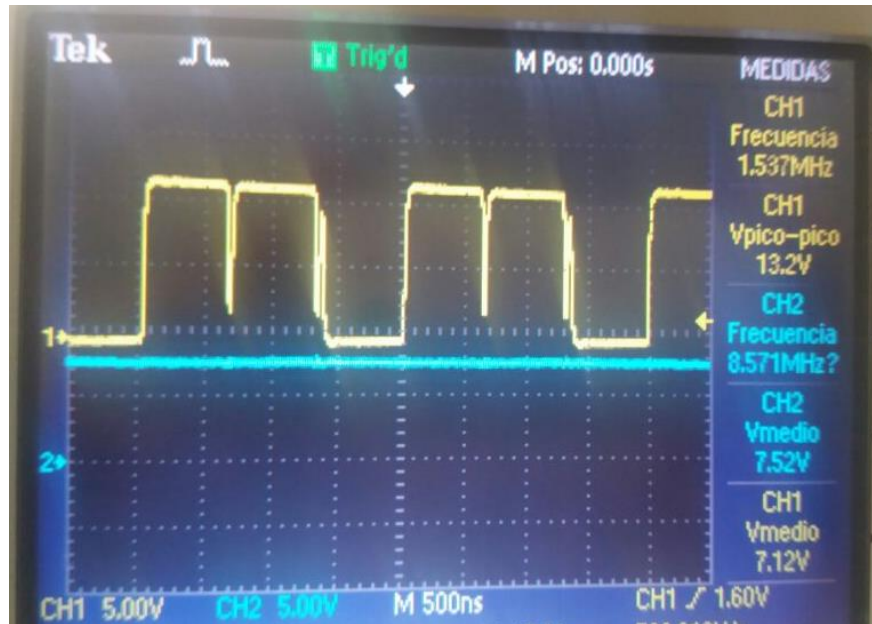


Figura 20.- Voltaje de salida del convertidor reductor.

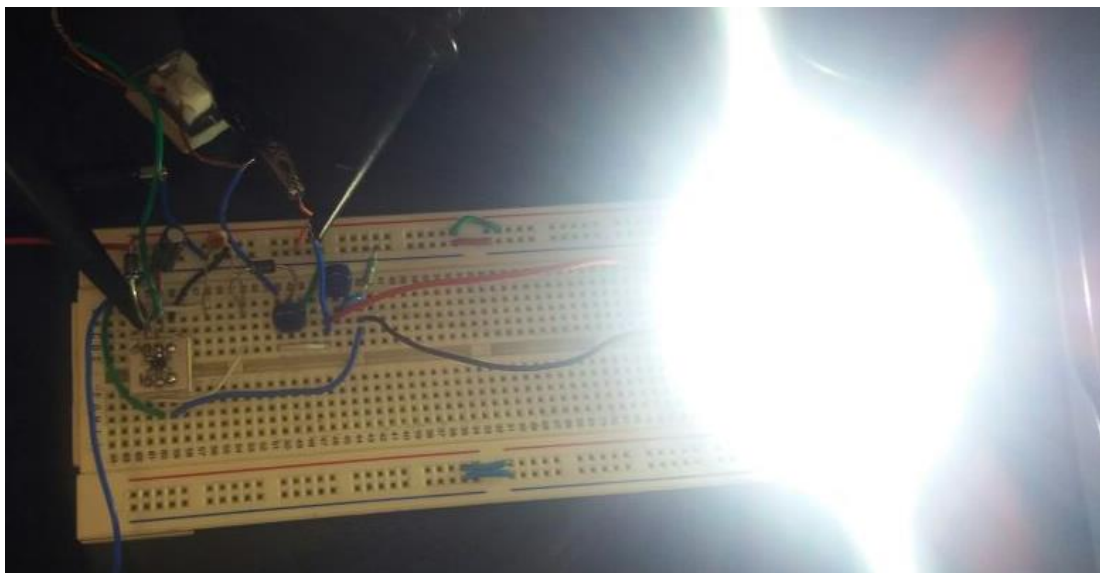
Lo siguiente que se realizó fue observar la salida del circuito integrado LM3405 en la patita 6 (boost) con la ayuda del osciloscopio para observar su forma de onda.



**Figura 21.- Forma de onda del integrado LM3405**

Como podemos observar en la imagen se tiene una frecuencia de 1.6MHz que es con la que funciona el integrado y un voltaje de salida del convertidor de 7.52V que es lo que más o menos se obtuvo en el multímetro.

A continuación lo que se realizó fue quitar los diodos 1N4005 y poner en su lugar el LED de potencia para verificar su funcionamiento.



**Figura 22.- Convertidor reductor con el LED de Potencia.**

Al obtener estos resultados, procedimos a calcular la potencia de entrada que se está usando y se obtuvo lo siguiente:

$$I = 230\text{mA} \quad V = 12\text{V}$$

$$P = (V)(I) = (12\text{V})(230\text{mA}) = 2.76\text{W}$$

Una vez que se comprobó que el circuito está regulando, lo siguiente que se hizo fue probar los demás circuitos integrados para verificar que estuvieran funcionando correctamente.

### 8.10 Diseño del Circuito impreso (PCB)

Lo siguiente que se realizó, es el circuito convertidor reductor en una placa fenólica, la cual se realizó con ayuda del software LiveWire y PCB Wizard.

Con el software LiveWire se realizó el diagrama esquemático del convertidor reductor, el cual se muestra a continuación:

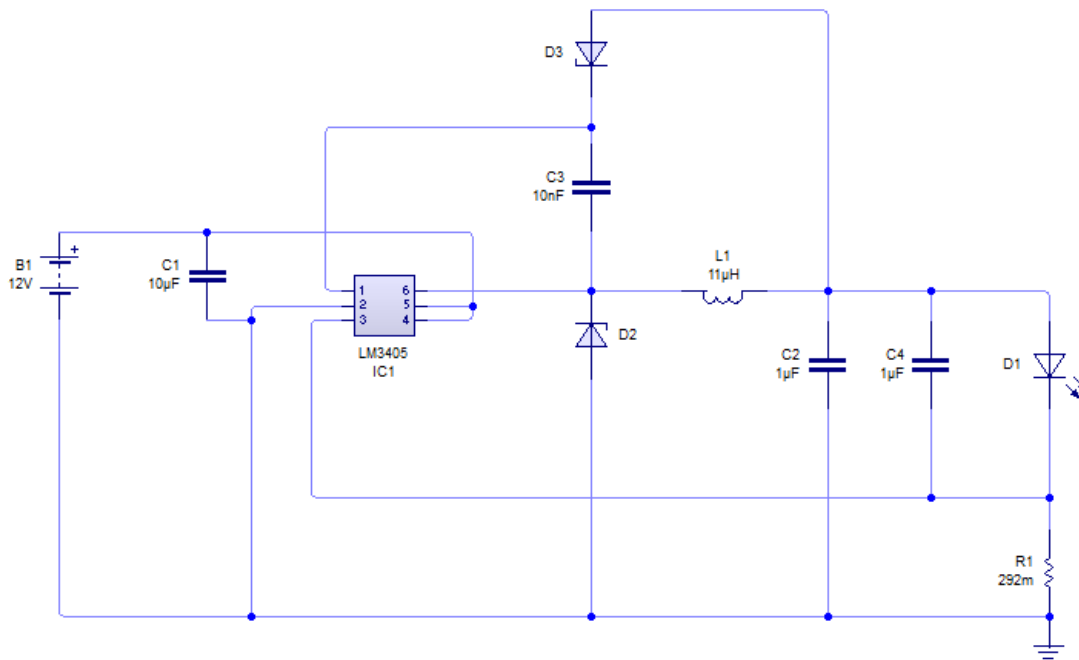


Figura 23.- Diagrama esquemático del convertidor reductor.

Una vez que se tiene hecho el diagrama esquemático del convertidor reductor, lo siguiente que se hizo fue obtener el circuito PCB, el cual mediante el software LiveWare y PCB Wizard se pasara del esquemático al PCB, y por ende quedara listo para planchar en la placa fenólica y se muestra a continuación:

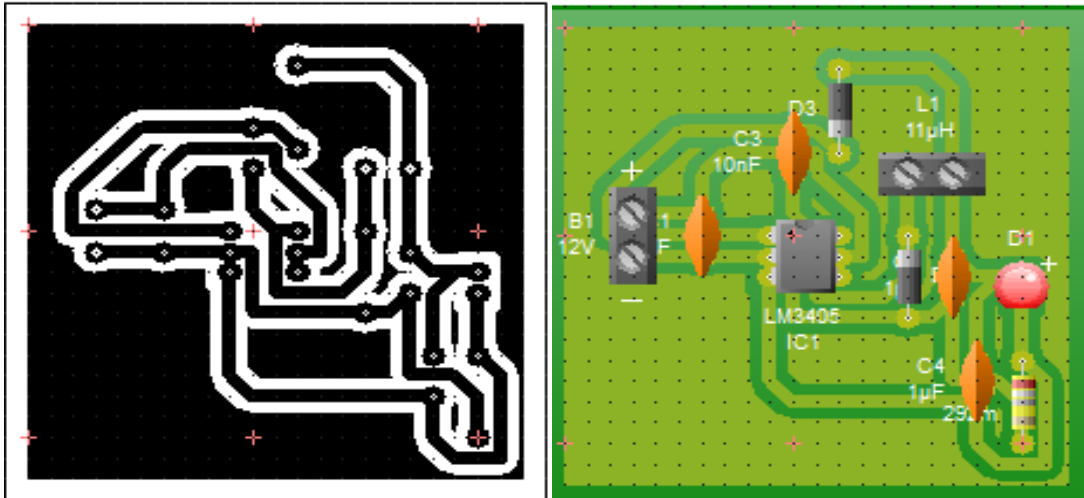


Figura 24.- PCB para planchar en placa fenólica y PCB visto en la forma en que se vería físicamente.

### 8.11 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO EN PLACA FENOLICA

La primera prueba de funcionamiento con la placa fenólica ya hecha, se hizo con varios diodos 1N4005 conectados en serie a la salida del circuito para que en caso de errores, no se dañara el led de potencia. Una vez que se comprobó que no había errores con la placa, el siguiente paso fue conectar el led de potencia como se muestra en la siguiente imagen:

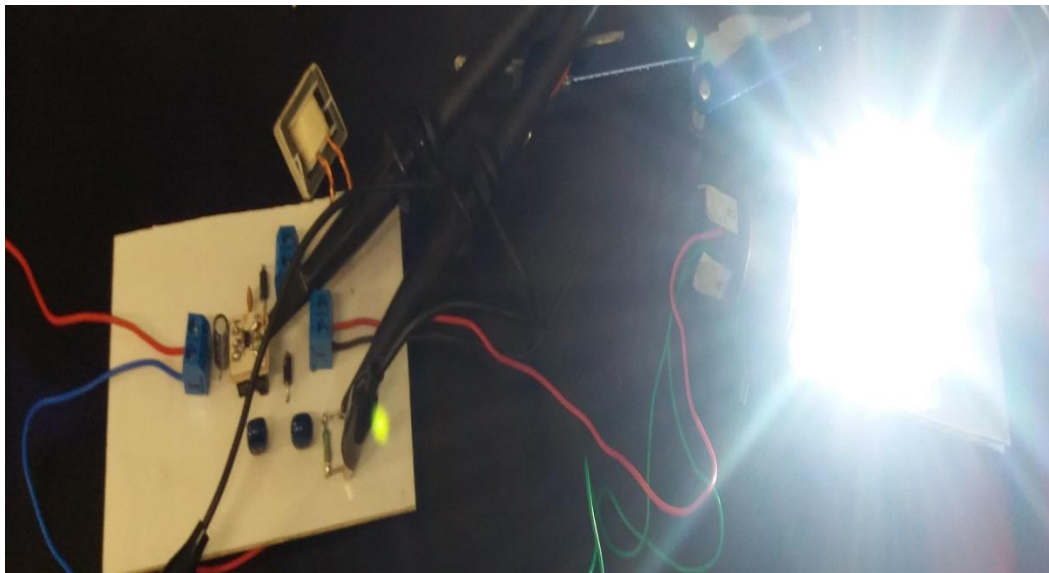


Figura 25.- Convertidor reductor en placa fenólica con el LED de Potencia

Después se hicieron mediciones con ayuda del osciloscopio y se observó la corriente del circuito en la salida de este, y como observamos en la teoría se ve una forma de onda triangular.



Figura 26.- Corriente del convertidor reductor en color azul.

En la siguiente imagen se muestra la corriente y el voltaje con el que está trabajando el circuito y se calculara la potencia que se está usando.



Figura 27.- Voltaje y corriente que usa el convertidor reductor.

Se hizo el cálculo de la potencia de entrada con los valores mostrados en la figura 27.

$$I = 360\text{mA} \quad V = 12\text{V}$$

$$P = (V)(I) = (12\text{V})(320\text{mA}) = 3.84\text{W}$$

Lo siguiente que se realizó fue hacer las mediciones de la corriente que pasa por el led de potencia y el voltaje de salida, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:



Figura 28.- Voltaje de salida del convertidor reductor.



Figura 29.- Corriente de salida del convertidor reductor.

Con las mediciones obtenidas, se procedió a calcular la potencia de salida y se obtuvo lo siguiente:

$$I = 461\text{mA} \quad V = 5.680\text{V}$$

$$P = (V)(I) = (5.680\text{V})(461\text{mA}) = 2.618\text{W}$$

A continuación, se calculó el porcentaje de eficiencia con el que está trabajando el LED de Potencia:

$$\text{Eficiencia} = (5\text{W}/2.618\text{W})(100\%) = 52.36\%$$

### 8.12. PRUEBA FINAL EN EL FARO DE AUTO

Por último, lo que se realizó fue probar la lámpara automotriz de LED's de potencia en un faro de automóvil, y se muestra a continuación:



Figura 30.- Luces bajas en el faro de automóvil.



Figura 31.- Luces altas en el faro de automóvil.

## 9. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

---

Al realizar las pruebas de funcionamiento tanto en el protoboard como en la placa fenólica, nos dimos cuenta que el circuito convertidor reductor si regulaba el voltaje, pero no estábamos obteniendo la corriente deseada para que el led funcionara al 100%, y esto en parte se debía a que el circuito integrado utilizado trabaja a una frecuencia muy alta y por ende los componentes utilizados debían estar lo más cerca posible unos de otros para que no se generara resistencia por los alambres o en el caso de la placa fenólica, ya que esa resistencia no deseable nos proporcionaba menor corriente en el circuito y el voltaje de referencia que necesita el integrado no se estaba cumpliendo.

Lo que se hizo fue hacer el diseño de la PCB con los componentes electrónicos lo más cerca posible para eliminar lo más posible la resistencia de las pistas que no son deseadas pero solo observamos un pequeño cambio en la mejora de la corriente. Lo siguiente fue cambiar la resistencia que se utiliza, por un valor más bajo para que con la resistencia que trae la pista de cobre de la placa y la resistencia de valor de 0.1 ohm se sumaran y tengamos el valor que se necesita para tener el voltaje de referencia deseado, y como anteriormente lo habíamos dicho, de nueva cuenta solo hubo una pequeña mejora.

Otra cosa que hay que tener presente es que también hay pérdidas de corriente en el inductor, por tal motivo no se llegaría al 100% de eficiencia del LED.

Cabe mencionar, que como una mejora notable en el circuito impreso, es que se podrían usar componentes de menor tamaño físico para tener las pistas muy cercas con un diseño de PCB mejorado y reducido en tamaño físico y por tal motivo eliminar la resistencia no deseada y que no se tenga problemas con la alta frecuencia con la que funciona el circuito integrado LM3405.

Al realizar la prueba final, nos dimos cuenta que el patrón de luces de halógeno con el patrón de las luces LED, cambia, entonces como una mejora para este proyecto seria ajustar de mejor forma la posición de los LED's para que los patrones de las lámparas se parecieran.

## 10. CONCLUSIONES

---

Como hemos visto en los últimos años, la tecnología LED está cada vez más presente en la vida cotidiana de las personas, ya que es una tecnología amigable con el medio ambiente por sus características de bajo consumo de energía, una vida útil mucho muy amplia entre otras cosas.

Otra de las cosas que hay que destacar de este tipo de tecnología, es su fácil instalación y mantenimiento, es por eso que cada vez más gente realiza proyectos con LED's de potencia como pueden ser lámparas caseras o para alumbrado público, ya que utilizan diferentes métodos de controles fáciles de implementar.

Con este proyecto que se realizó, se busca tener una alternativa de focos automotrices para automóviles de gama media y baja, ya que el foco de halógeno que es el más utilizado en este tipo de automóviles hasta la fecha, es un tipo de foco que contamina mucho, ya que usa gas de halógeno y consume más energía.

Con este prototipo que se realizó, se buscaba igualar los lúmenes que nos proporciona el foco de halógeno, y con el desarrollo de nuevos controles de LED en un futuro cercano, aumentar los lúmenes proporcionados por el foco para tener mejores productos.

Como hemos visto a lo largo del reporte, el proyecto que se planteó, se cumplió aunque no al cien por ciento por las razones ya mencionadas en el análisis de los resultados, pero con el tiempo se podría mejorar el prototipo, ya que se podría mejorar mucho el diseño de la PCB al tratar de hacerla lo más pequeña posible para evitar en lo más que se nos permita tener resistencia no deseable en las pistas del convertidor reductor.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

---

- [1] (2017, Septiembre, 18). Focos Automotrices: Catalogo y tablas de aplicaciones 2017 [Online]. Disponible: [http://www.hella.com/hella-mx/assets/media/Catalogo\\_Focos\\_HMEX%202017\\_LRes.pdf](http://www.hella.com/hella-mx/assets/media/Catalogo_Focos_HMEX%202017_LRes.pdf)
- [2] (2017, septiembre, 21). Catalogo Automotriz Osram [Online]. Disponible: <http://www.serva.com.mx/assets/cat%C3%A1logo-automotriz-omex-2015.pdf>
- [3] (2017, septiembre, 27). Faros LED: Funcionamiento [Online]. Disponible: <https://www.motorpasion.com/tecnologia/faros-de-led-que-son-y-como-funcionan>
- [4] (2017, Octubre, 3). Características de los LED's de potencia [Online]. Disponible: <http://www.siled.com.mx/catalogos/potencia/files/leds%20de%20potencia.pdf>
- [5] Daniel W. Hart, "Electrónica de Potencia", 1ra. Ed., Madrid, Pearson Prentice Hall, 2001.
- [6] Muhammad H. Rashid, "Electrónica de Potencia", 3ra. Ed., México, Pearson Prentice hall, 2004.
- [7] (2018, Enero, 17). Hoja de datos del integrado LM3405 [Online]. Disponible: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3405.pdf>
- [8] (2018, Febrero,27).Tutorial de LiveWire y PCB Wizard [Online]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=mOXsKdWP-Ok&t=917s>

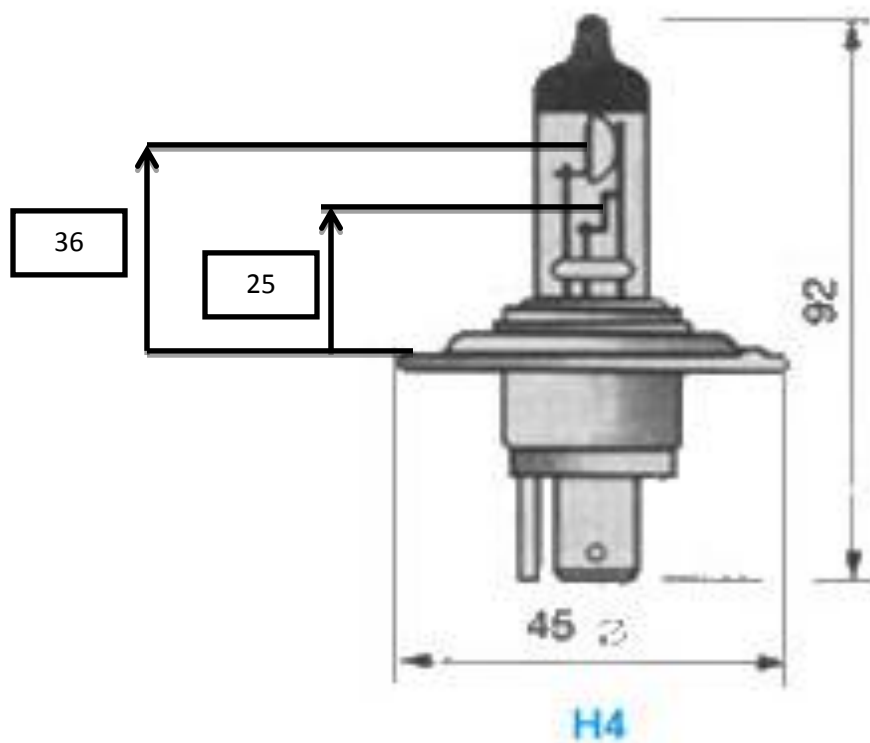
## 12. APÉNDICES

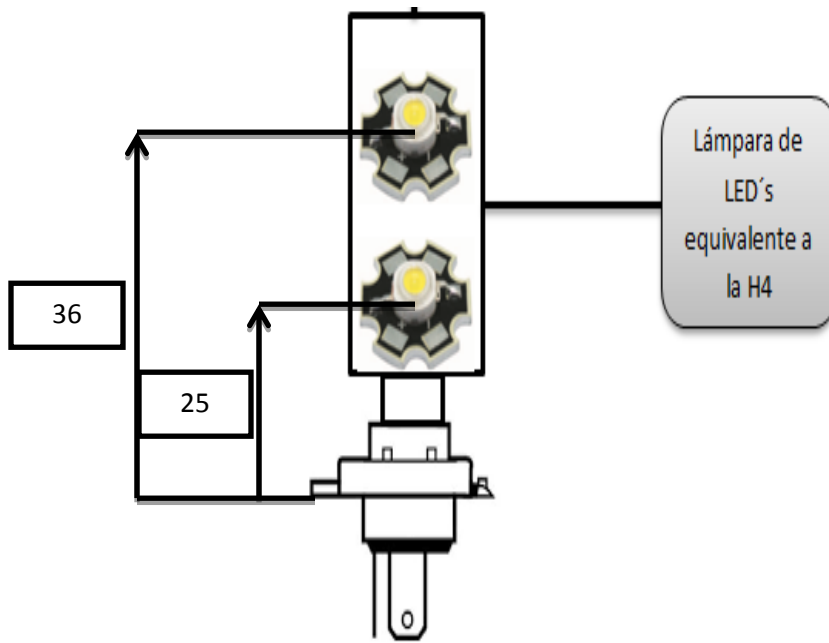
---

### 12.1 Apéndice 1

Documentación de la lámpara H4 con LED's de potencia.

Todas las mediciones son en milímetros.

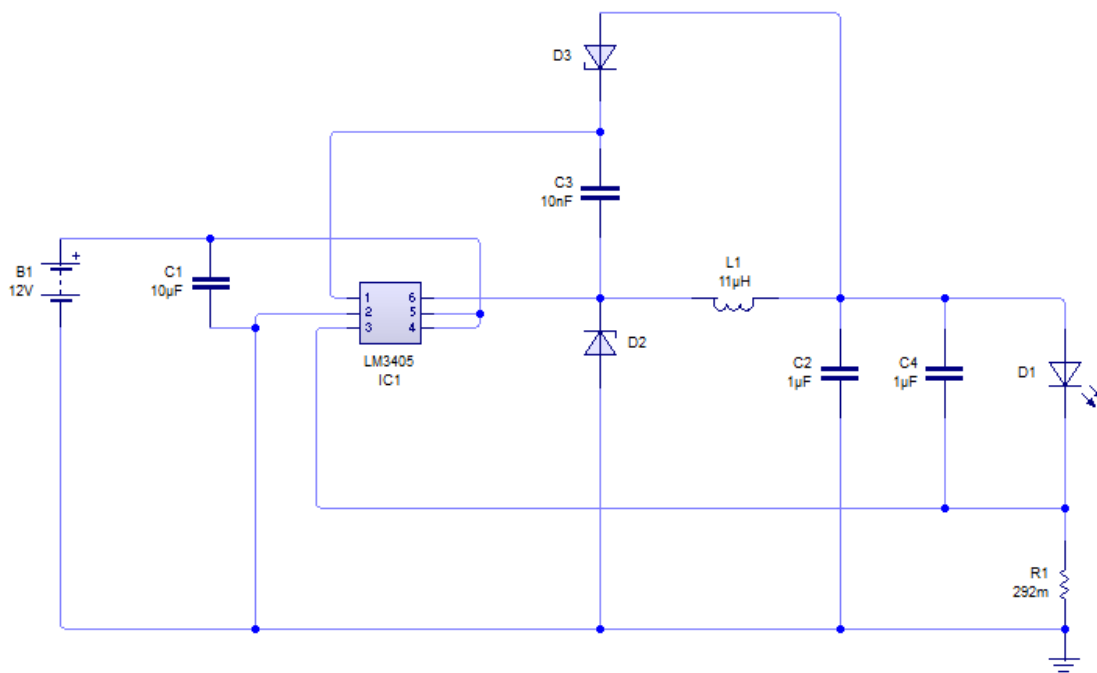




## 12.2 Apéndice 2

### Diagrama esquemático de los circuitos electrónicos.

Circuito convertidor reductor con el circuito integrado LM3405



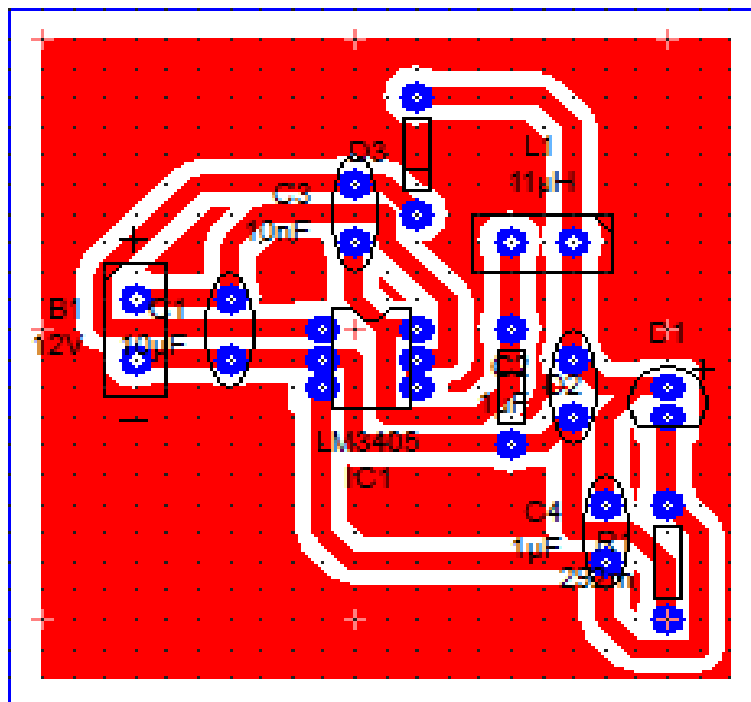
Simbología	Valores
IC1 circuito integrado	LM3405
C1 capacitor electrolítico	10 $\mu$ F a 25V
C2 capacitor de poliéster	1 $\mu$ F a 10V
C3 capacitor cerámico	0.01 $\mu$ F a 16V
C4 capacitor de poliéster	1 $\mu$ F a 10V
D1 Diodo Schottky	1N5819
D2 Diodo Schottky	1N5819
L1 Inductor	11.16 $\mu$ H
R1 Resistencia	0.33 $\Omega$

Tabla 1.- Material para el convertidor reductor.

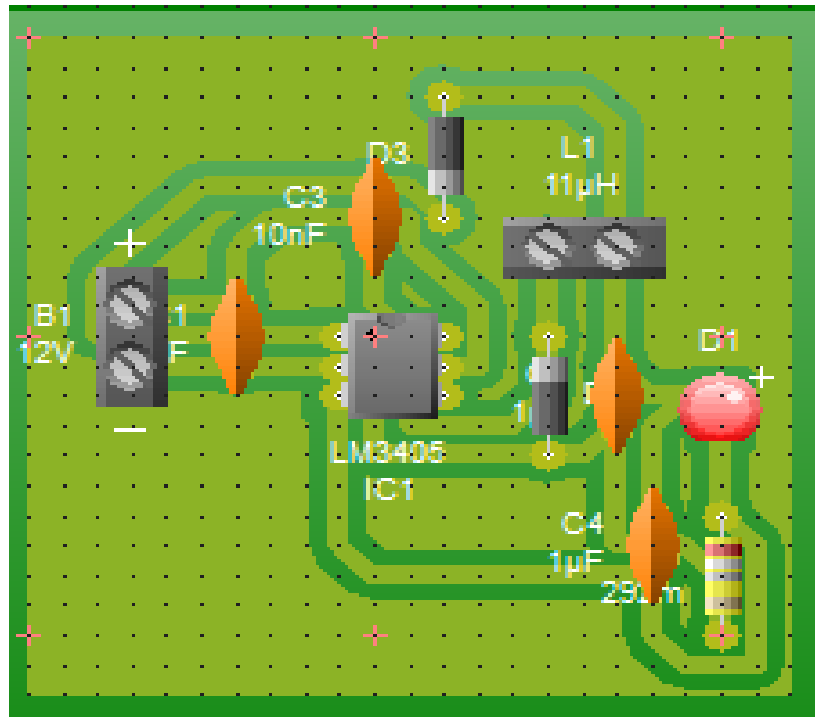
### 12.3 Apéndice 3

#### Documentación del circuito impreso.

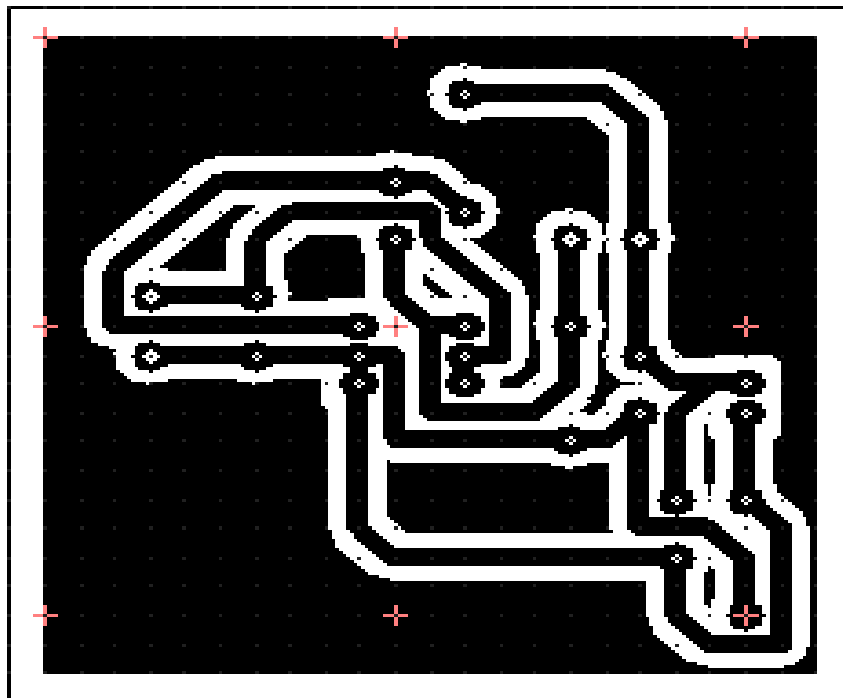
Circuito convertidor reductor en PCB Wizard



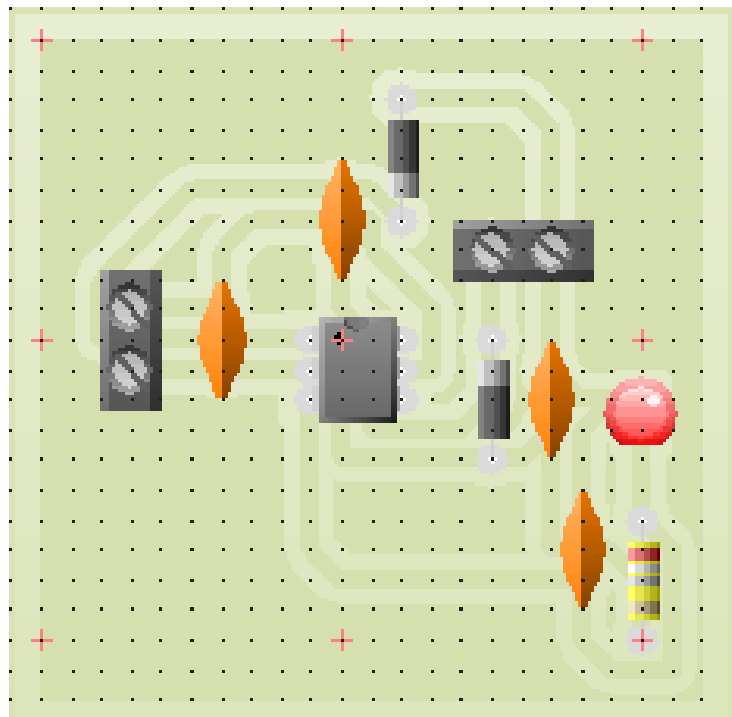
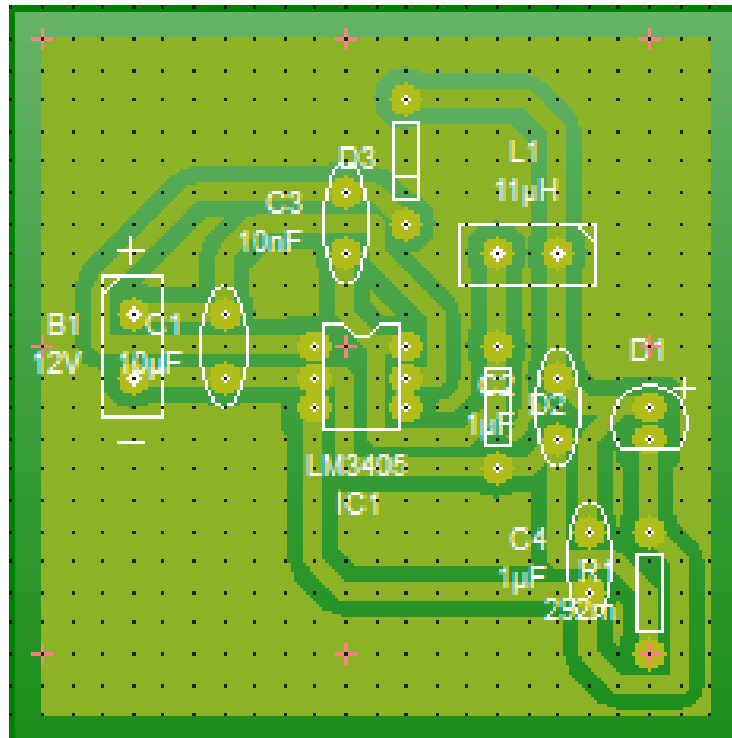
Circuito convertidor reductor en PCB Wizard, visto con sus componentes reales.



Circuito en PCB Wizard para planchar en la placa de cobre.



Otras formas de observar el convertidor reductor mediante el software PCB Wizard.



## 13. ENTREGABLES

---

Los entregables se encuentran en la parte de apéndices como lo son la documentación de la lámpara automotriz, la documentación del circuito impreso y el diagrama esquemático.

### PROTOTIPO



Figura 30.- Luces bajas en el faro de automóvil.



Figura 31.- Luces altas en el faro de automóvil.