

Fuente AC-DC variable.

V. Obando-Jamioy-1007012199; A. Bañol-Escobar- 1088353182; S. Muñoz-Tapasco-1010103928.
valentina.obando@utp.edu.co- alejandro.banol@utp.edu.co- sergio.munoz@utp.edu.co

Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira-Risaralda
Colombia

Resumen -- En el presente informe se indican la propuesta de proyecto final para el curso de electrónica de potencia, se enuncia el alcance del proyecto, se realiza la elaboración de una fuente DC variable, la cual parte desde la rectificación de tensión por medio de un puente de diodos a la red doméstica, hasta llegar a la variación de tensión (0V – 12V aproximadamente) mediante un conversor Buck donde se controla el PWM por medio de un Arduino nano.

Palabras clave- Conversor, PWM, fuente DC variable, tensión.

Abstract -- In this paper, the final project proposal for the Power Electronics Course, the scope of the project is stated, the elaboration of a variable DC source is carried out, which is part of the voltage rectification by means of a bridge of diodes to the domestic network, until reaching the voltage variation (0V - 12V approximately) by a Buck converter where the PWM is controlled by means of an arduino nano.

Keywords- Converter, PWM, Variable DC source, tension.

I. INTRODUCCIÓN

Los conversores ac/dc o rectificadores, son equipos o sistemas electrónicos que permiten convertir una tensión alterna sinusoidal de frecuencia y amplitud constante en una tensión continua de salida. En la figura 1, se puede observar un diagrama de bloques con la estructura básica de este tipo de conversores.

Este tipo de conversores tienen como función principal la transformación de la tensión alterna de entrada en una tensión continua a la salida, pero para lograr este objetivo se deben tener en cuenta varias variables asociadas que permiten elegir, y usar correctamente los equipos necesarios. Tales como lo son la eficiencia del conversor (medida que indica las pérdidas internas del sistema), el buen uso y selección de los rectificadores, también se debe realizar el análisis de la componente de rizado generada a la salida de los conversores ac/dc ya que esta distorsiona un poco la tensión de salida.

Los conversores dc/dc, permiten variar un valor determinado de corriente continua de un nivel de tensión a otro, es decir que el voltaje que se obtendrá a la salida será diferente al de la entrada. Existen tres tipos de conversores, un elevador, un reductor y un inversor los cuales se pueden usar dependiendo de la aplicación. En la figura 2, se puede observar un diagrama de bloques que representa la estructura de estos conversores.

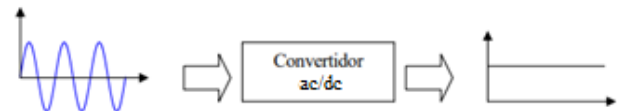


Figura 1. Diagrama de bloques del conversor ac/dc. [1]

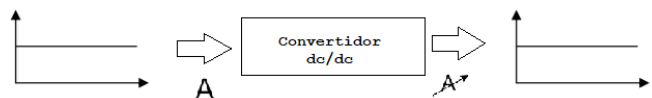


Figura 2. Diagrama de bloques del convertidor dc/dc.

En este documento se presenta la implementación física y simulada de estos 2 conversores, de forma que el conversor ac/dc alimente el tipo dc/dc, permitiendo de esta forma alimentar una carga. Para lograr lo mencionado anteriormente se verifican los valores de tensión y corriente máxima que debe entregar la fuente, luego se calculan los valores requeridos que permitan conocer los componentes de cada etapa. Luego se realiza el diseño de un conversor ac/dc y un conversor tipo Buck (reductor), para poder finalmente proceder a hacer la integración de estas dos etapas, y poder alimentar las cargas y realizar pruebas que permitan comprobar el funcionamiento de la fuente. Con esto en mente se observan las gráficas de tensión y corriente en los puntos más críticos del sistema, así como los análisis correspondientes.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere alimentar un ventilador axial de 12V dc a 34 mA con una potencia de 408mW y un motor reductor de 9V dc a 200 mA con una potencia de 1.8W, solo se dispone como única fuente de alimentación la red eléctrica la cual se sabe es ac y funciona 120 Vrms. Para esto se plantea diseñar e implementar un conversor ac-dc en conexión cascada con reductor tipo Buck que se modulare mediante una señal de PWM generada por medio de un Arduino nano que contara con una frecuencia de conmutación aproximada de 20 KHz, que lleve a los voltajes requeridos por las cargas antes mencionadas. Se espera que el funcionamiento sea de una fuente ac/dc.

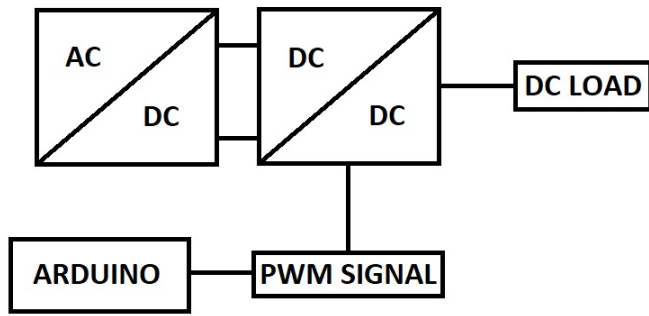


Figura 3. Esquemático del Proyecto.

III. DESAROLLO PRACTICO Y RESULTADOS

Como se mostró en el planteamiento del problema, inicialmente se planteó diseñar una fuente que entregase una corriente máxima de 200 mA para conectar 2 cargas con las características mostradas en la tabla 1.

Tabla 1. Características de las cargas a conectar al convertor Buck.

| Parámetros | Carga 1 | Carga 2 |
|-------------------|--------------|-------------|
| Voltaje nominal | 12 V | 9 V |
| Corriente nominal | 34 mA | 200 mA |
| Resistencia | 353 Ω | 45 Ω |

Para poder diseñar la fuente se diseñó dos etapas, la primera etapa es el convertidor ac/dc el cual está construido por un transformador de 120V a 12V con 1 A que irá conectado a un puente rectificador de diodos que se encarga de realizar la rectificación de onda completa para que luego esa señal pase por dos condensadores 470 μ F que se encargarán de suavizar la señal y garantizar así a la salida de este convertor 12V dc.

Para la segunda etapa se utilizó las corrientes y voltajes requeridos a la salida para el cálculo de la inductancia y el capacitor del convertor Buck. En la tabla 2 se presentan los parámetros de diseño del convertidor dc/dc.

Tabla 2. Parámetros de diseño.

| | Parámetros de diseño |
|-----------------|----------------------|
| V _d | 12 V |
| V _o | 9 V |
| I _o | 200 mA |
| f _{sw} | 20 KHz |
| ΔI_L | 10 mA |
| ΔV_o | 10 mV |

Para el cálculo de la inductancia se usó la ecuación (1).

$$L = \frac{V_d (D - D^2)}{\Delta I_L \cdot f_s} \quad (1)$$

$$L = \frac{12(0.75 - 0.75^2)}{(0.01) \cdot (20e3)}$$

$$L = 11.25 \text{ mH}$$

El capacitor se calculó con la ecuación (2):

$$\Delta V_o = \frac{V_o}{8LC} (1 - D) \left(\frac{1}{f_{sw}} \right) \quad (2)$$

$$\Delta V_o = \frac{V_o (1 - D) (1)^2}{8LC (f_{sw})^2}$$

$$C = \frac{V_o (1 - D) (1)^2}{8L \Delta V_o (f_{sw})^2}$$

$$C = \frac{9(1 - 0.75)(1)^2}{8(11.25 \text{ mH})(10e - 3)(20e3)^2}$$

$$C = 125 \text{ mF}$$

Una vez obtenidos estos valores se procedió a realizar la simulación del convertor en Matlab/Simulink. Como se observa en la figura 4.

En la figura 5 se presenta la forma de onda del voltaje de salida para un ciclo útil $D = 75\%$, donde se observa que se está teniendo un voltaje promedio de 8.9V, lo cual indica que el valor de inductancia y capacitancia calculados son los correctos.

En la figura 6, se presenta la corriente de salida y en el lado derecho con los cursores se observa que la corriente tiene un valor promedio de 200 mA muy cercano al propuesto.

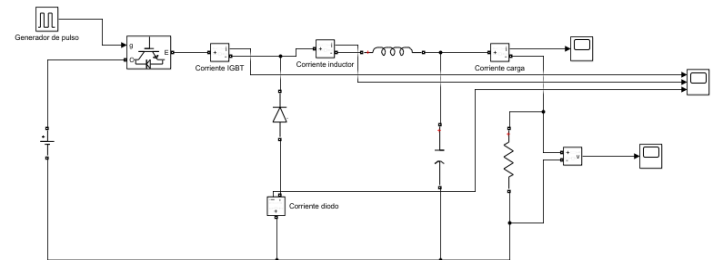


Figura 4. Conversor Buck.

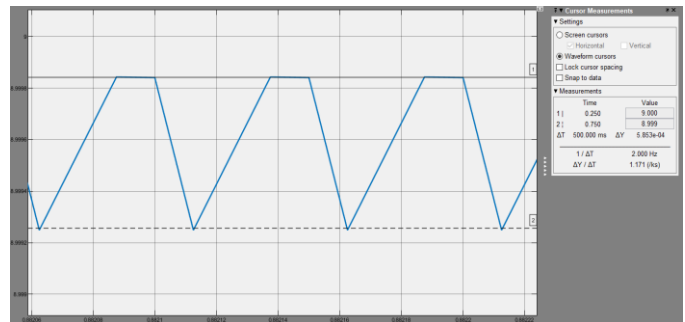


Figura 5. Voltaje de salida del convertor Buck.

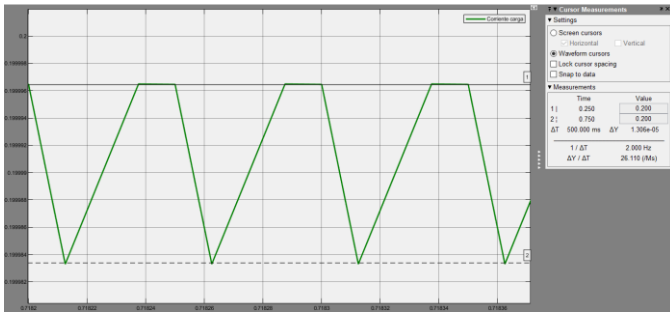


Figura 6. Corriente de salida del conversor.

Al momento de buscar estos valores de capacitancia e inductancia en el mercado local no fue posible hallarlos, por lo que se optó por asumir un valor de inductancia que cumpliera con las variaciones en base a la frecuencia de switcheo en este caso se eligió el valor de 1 mH y se calculó de nuevo el capacitor el cual quedó con un valor de 70.3125uF.

Con este nuevo valor en el mercado local se pudo encontrar un capacitor de 68 uF. Adicionalmente se debe indicar que a pesar de que la frecuencia de conmutación (fsw) del dispositivo semiconductor con la cual se calcularon ambos elementos fue de 20 KHz, se usó una frecuencia de conmutación de 3921.16 Hz, dado que el microcontrolador atmega328P no puede generar una frecuencia de 20 KHz.

Problemas de activación del dispositivo semiconductor

Dado que el dispositivo semiconductor es controlado por la señal de PWM que genera el microcontrolador, este necesita de un voltaje mínimo en el GATE para poder ser activado y poder generar conducción, de lo contrario no se podría. Se seleccionó un MOSFET IRF540. Este voltaje mínimo requerido se conoce como (Gate threshold voltaje “VGS”) voltaje umbral, en la figura 7, se observa una sección de la hoja de datos del MOSFET seleccionado donde se indica que este voltaje tiene un valor típico de 3V.

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT |
|--------------|----------------------------------|---|------|------|------|------|
| $V_{(BR)SS}$ | Drain-source breakdown voltage | $V_{GS} = 0\text{ V}$; $I_D = 0.25\text{ mA}$ | 100 | - | - | V |
| $V_{GS(TH)}$ | Gate threshold voltage | $T_J = -55^\circ\text{C}$ $V_{DS} = V_{GS}$; $I_D = 1\text{ mA}$ | 89 | - | - | V |
| $R_{DS(ON)}$ | Drain-source on-state resistance | $V_{GS} = 10\text{ V}$; $I_D = 17\text{ A}$ $T_J = -55^\circ\text{C}$ | 2 | 3 | 4 | V |
| g_m | Forward transconductance | $T_J = 175^\circ\text{C}$ $T_J = -55^\circ\text{C}$ | 1 | - | - | V |
| I_{SS} | Gate source leakage current | $V_{GS} = 25\text{ V}$; $I_D = 17\text{ A}$ $V_{GS} = \pm 20\text{ V}$; $V_{DS} = 0\text{ V}$ | - | 49 | 77 | mΩ |
| I_{SS} | Zero gate voltage drain current | $V_{GS} = 100\text{ V}$; $V_{DS} = 0\text{ V}$ $V_{GS} = 80\text{ V}$; $V_{DS} = 0\text{ V}$; $T_J = 175^\circ\text{C}$ | - | 132 | 193 | mΩ |
| Q_{tot} | Total gate charge | $I_D = 17\text{ A}$; $V_{DD} = 80\text{ V}$; $V_{GS} = 10\text{ V}$ | 8.7 | 15.5 | - | S |
| Q_{gs} | Gate-source charge | | - | 10 | 100 | nA |
| Q_{gd} | Gate-drain (Miller) charge | | - | 0.05 | 10 | nA |
| | | | - | 250 | 250 | nA |

Figura 7. Parámetros del MOSFET IRF540

Montaje físico

Para la primera parte del trabajo experimental se procede a hacer realizar el montaje del conversor ac/dc el cual se puede ver en la figura 8, en la figura 9 se puede observar la señal de salida de esta primera etapa medida en el osciloscopio, en la parte inferior de la imagen se muestra el valor del voltaje rms el cual es de 18.07 V dc, en la figura 10 se observa la señal de entrada del conversor entregada por el transformador, en la parte inferior de la imagen se encuentra el voltaje rms es cual es 14.26 V, voltaje p-p, amplitud, frecuencia y el periodo, en la figura 11 se observa la señal a la salida del puente rectificador de diodos, en la parte inferior de esta imagen se encuentran los valores del voltaje rms, voltaje p-p, amplitud, frecuencia y periodo, en la figura 12 se observa la señal de salida del conversor ac/dc, en la parte inferior se puede observar que el voltaje rms es de 17.77 V.

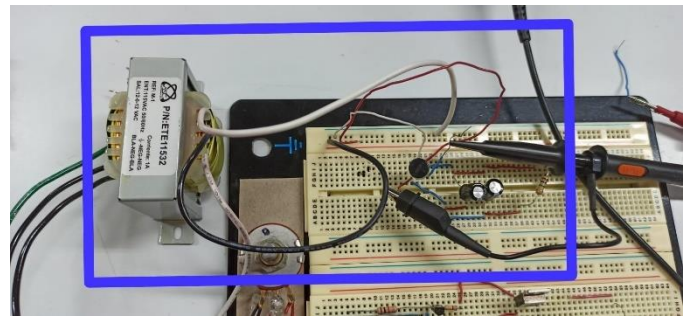


Figura 8. Montaje físico conversor ac/dc.

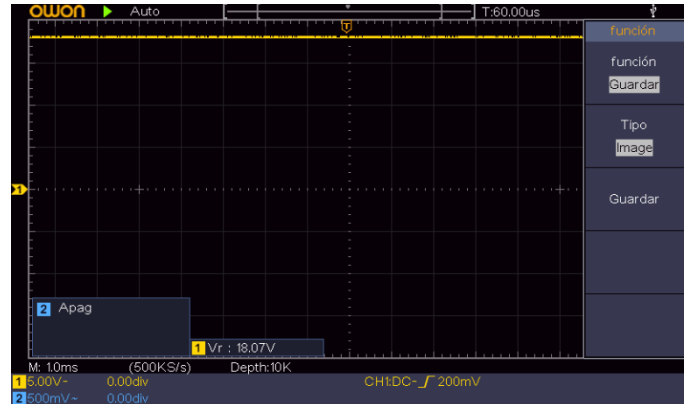


Figura 9. Señal de salida puente rectificador.

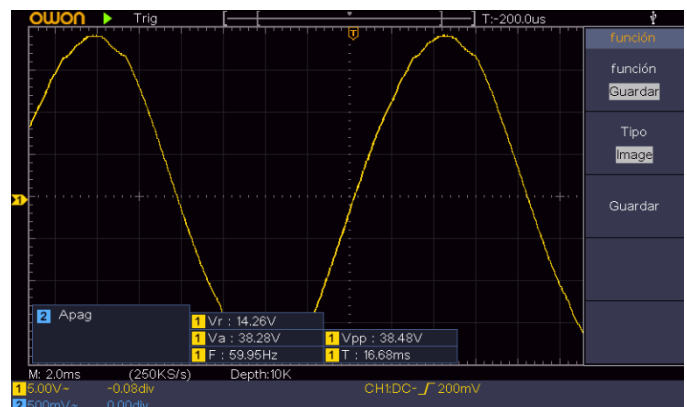


Figura 10. Señal de salida del transformador.

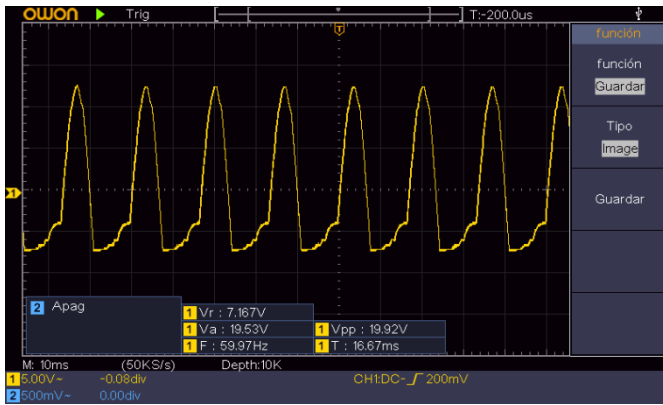


Figura 11. Forma de onda a la salida del puente rectificador de diodos.

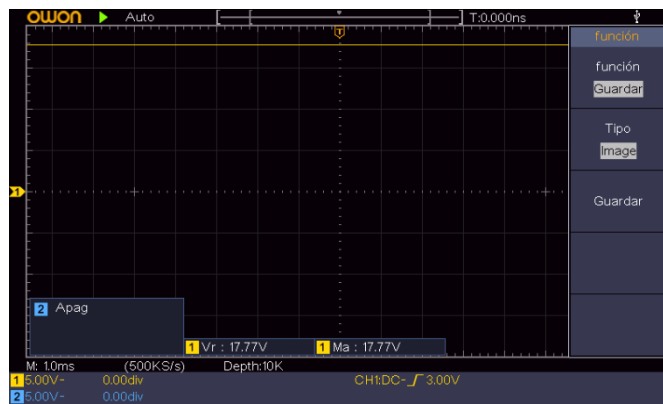


Figura 12. Señal de salida del convertor ac/dc.

En este punto se puede observar que hay una variación entre los valores ideales y los reales. A la entrada del convertor se tiene 14.26 Vrms los cuales pasan por un puente rectificador que tiene a su salida un voltaje de 19.53 V que pasarán por un par de capacitores y al medir el voltaje en estos se tiene 17.77 Vrms. Con esto nos podemos dar cuenta que los cálculos teóricos y las simulaciones dan valores muy ideales, pero al momento de realizar el montaje físico y sus respectivas mediciones nos encontramos con algunas variaciones esto se debió a diferentes factores los cuales pueden ser ambientales, a nivel de componentes ya que en algunos casos se debieron hacer aproximaciones ya que no se conseguían.

Para la segunda etapa se realizó el montaje del convertor dc/dc tipo Buck el cual se puede ver en la figura 13, dicho convertor se alimentó con la señal entregada por el convertor ac/dc.

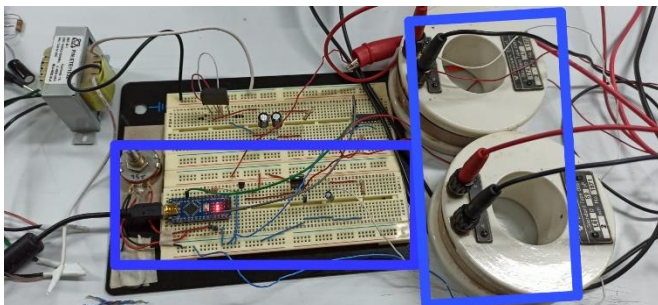


Figura 13. Montaje físico convertor dc/dc.

Una vez se realizaron los montajes, se procede a realizar pruebas del funcionamiento del sistema, para esto se tomó foto de 3 multímetros que muestran los voltajes medidos a la salida del convertor ac/dc, dc/dc y el voltaje que sale del atmega328P; además; también se muestra la señal de PWM obtenida en el osciloscopio y la señal de salida total del sistema.

Para la variación del PWM se debe tener en cuenta que varía de la siguiente manera: cuando el PWM está en su valor mínimo el voltaje a la salida será el máximo. En la figura 14 se observan 2 señales una de color azul que está relacionada por medio del canal uno a la del PWM y otra de color amarillo, que se relaciona con la señal de salida.

En las figuras 14, 16, 18 y 20 se muestran diferentes variaciones del PWM, donde se puede observar los cambios presentados en la señal de salida del sistema, así mismo en las figuras 15, 17, 19 y 21 se observan las respectivas mediciones de voltaje para dichas variaciones.



Figura 14. Salida del convertidor tipo Buck y del PWM en su valor mínimo.



Figura 15. Voltajes medidos para el mínimo de PWM.

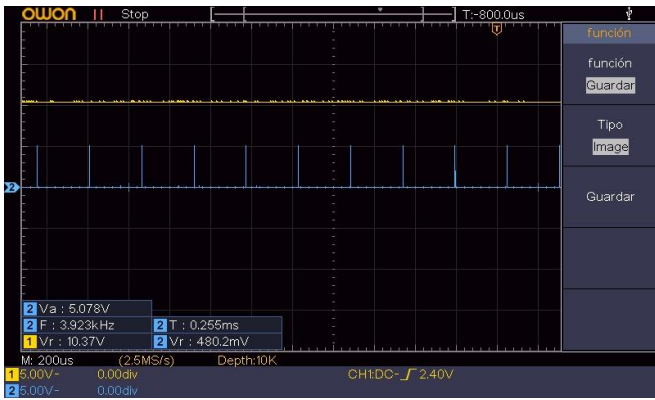


Figura 16. Señal del PWM y señal de salida para la prueba 1.

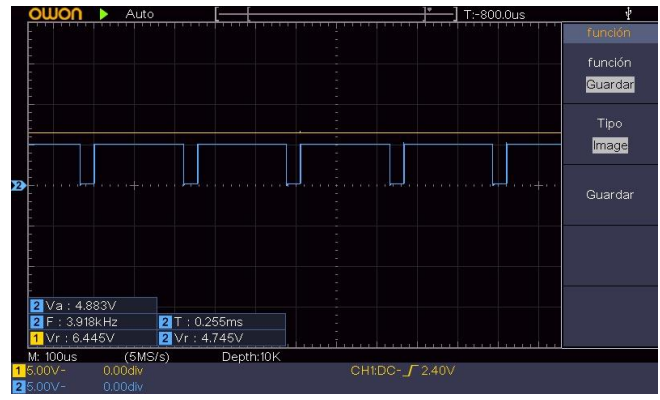


Figura 20. Señal del PWM y señal de salida para la prueba 3.



Figura 17. Voltajes medidos para la variación de PWM en la prueba 1.



Figura 21. Voltajes medidos para la variación de PWM en la prueba 3.

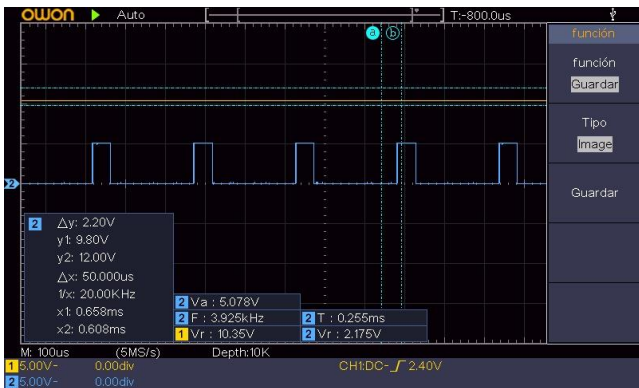


Figura 18. Señal del PWM y señal de salida para la prueba 2.

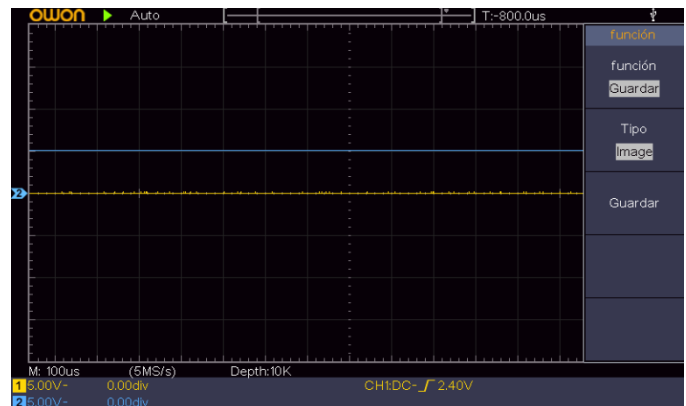


Figura 22. Señal de salida para el valor máximo de PWM.



Figura 19. Voltajes medidos para la variación de PWM en la prueba 2.

Cuando el PWM está en su valor máximo el voltaje a la salida será el mínimo. En la figura 2, se puede observar que la señal del PWM está en su valor máximo, es decir al 100% y la salida del sistema tendrá su valor mínimo; en la figura 23 se pueden observar los voltajes medidos en este estado.

En la figura 24 se puede observar la medida del Ton para un valor cualquiera de PWM, esto se hace en base de poder verificar la frecuencia por medio de las sumas de Ton y Toff. Donde se observa que la frecuencia 3.925 KHz la cual coincide con la gerada por el microcontrolador, es decir, 3921.16 Hz.



Figura 23. Voltajes medidos para el máximo de PWM.



Figura 24. Medición de Ton para una señal de PWM.

Después se realizó una modificación al código para invertir la señal de PWM y de esta forma cuando el ciclo útil este al 100% a la salida se obtenga el máximo voltaje. En la figura 25 se observa que la señal de PWM (amarillo) aproximadamente está al máximo y por lo tanto en la salida hay 9.312V, no se obtienen los 12V que hay a la entrada del convertidor dado que los componentes del circuito no son ideales y en el caso del semiconductor (IRF540N) existe una caída de voltaje de 2V.

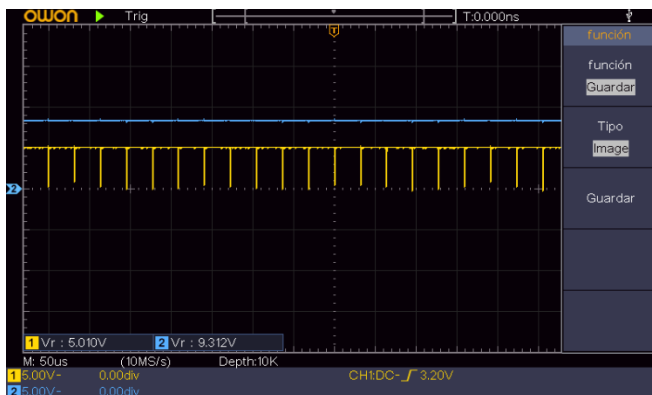


Figura 25. Señal de PWM aproximadamente al máximo y voltaje de salida máximo.

Después se modificó el ciclo al 50% y se obtuvieron 3.229V a la salida tal como se observa en la figura 26. Pero debido a la caída de voltaje de 2V no se obtienen 6V.

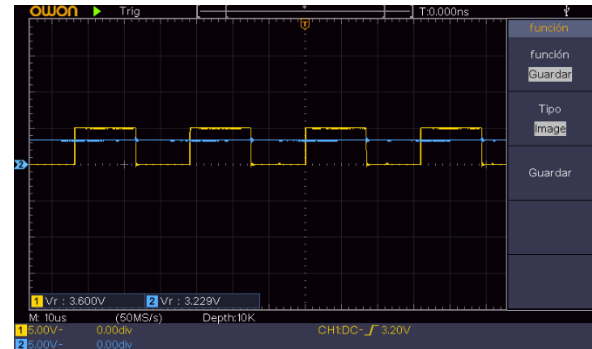


Figura 26. Señal de PWM y señal de salida al 50%.

En la figura 27 se presenta la señal del PWM y de salida, cuando el ciclo útil es del 0% aproximadamente.

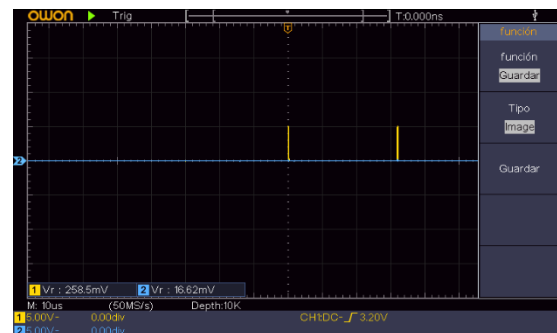


Figura 27. Señal de PWM y señal de salida al 0%.

IV. CONCLUSIONES

- Al momento de realizar el montaje como primera prueba de la primera etapa en la protoboard, solo se tuvo en cuenta que elementos necesitábamos, como el puente de diodos, capacitores y una carga para poder verificar su funcionamiento, ocasionando que se explotara el puente de diodos, el capacitor y se calentara la resistencia que teníamos como carga. Por esto es demasiado importante tener en cuenta todos los parámetros del circuito como lo es el voltaje, la corriente y potencia a los que estarán sometidos los elementos para que de esta forma se consigan unos que tengan la capacidad de soportar dichos parámetros y lograr así evitar un daño.
- Al realizar la comparación entre los valores y señales simuladas y las reales o experimentales nos podemos dar cuenta que existen variaciones, esto se debe a que los simuladores arrojan datos de forma ideal, sin tener en cuenta todos los factores como lo son los ambientales los internos de cada componente, las pérdidas que existen al utilizar cables, entre otras variables, factores que si se tienen en cuenta o que afectan al realizar un montaje físico.

- Para validar el funcionamiento de todo el circuito es indispensable comprobar el desempeño de cada una de las etapas de forma individual, dado que si alguna de estas presenta problemas y no se solucionan. Al momento de conectarlas se pueden causar daños o generar un resultado erróneo. Adicionalmente este procedimiento facilita la depuración de errores permitiendo así obtener al final un buen funcionamiento del sistema.

Referencias

[1] REGULACIÓN, CONTROL Y PROTECCIÓN DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS, Apuntes de asignatura Convertidores electrónicos de potencia

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA Universidad de Cantabria

[2] http://profesores.elo.utfsm.cl/~mpl/wp-content/uploads/2016/09/elo381_capitulo_04_convertidores_DC-DC.pdf

[2] Apuntes electrónica de potencia