

**SIMULAR Y ANALIZAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

**Presentado a:**

**Fáver Adrián Amorocho**

**Director del Curso**

**Presentado por**

**DIDIER JAVIER RAMÍREZ HENAO C.C. 75.085.418**

**Grupo: 203039\_36**

**Curso: Electrónica de Potencia**

**INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD**

**ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA**

**Diciembre 01 de 2019, Manizales – Caldas**

## INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la demanda de energía a nivel mundial, el agotamiento de los recursos limitados de nuestro planeta y a la contaminación derivada del uso de energías derivadas del petróleo, se ha visto la necesidad de pasar a de dichas energías contaminantes a energías limpias y renovables.

Como el almacenamiento de la mayoría de las energías limpias se hace en primera instancia por corriente directa, es necesario el diseño de técnicas que permitan pasar la corriente directa a corriente alterna, para que la energía pueda ser usada de forma comercial en fábricas y hogares.

Existen diversos métodos para la conversión de la corriente directa en corriente alterna, siendo uno de los más empleados, la modulación por ancho de pulso SPWM. Mediante el desarrollo de este proyecto, se ha desarrollado el método de modulación de ancho de pulso senoidal bipolar y a continuación se va a poder evidenciar la fundamentación teórica como el desarrollo matemático y simulado por medio de PROTEUS.

### Fundamentación Teórica

Los convertidores de corriente directa a corriente se llaman inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada DC a un voltaje simétrico de salida AC, con la magnitud y frecuencia deseadas (Gutiérrez, Flórez, Serrano 2017).

A continuación, se dará la explicación del diagrama de bloques del convertidor DC – AC (Inversor).

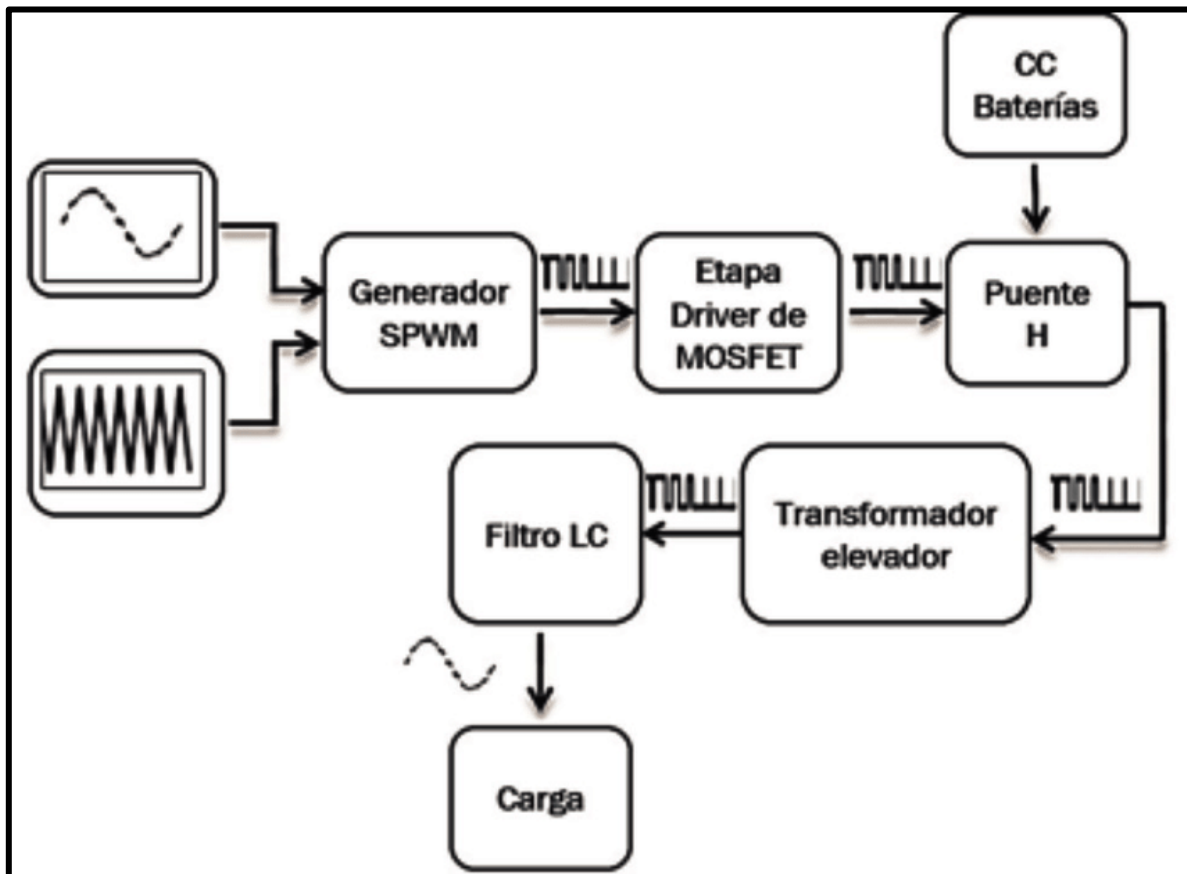


Diagrama de bloques convertidor dc – ac. Gutiérrez, Flórez, Serrano (2017)

#### Generador SPWM:

En este bloque se comparan dos señales, una triangular con frecuencia más alta que es la señal portadora y otra senoidal con frecuencia de 60Hz. El resultado de la comparación es una onda rectangular modulada. La modulación SPWM puede ser unipolar o bipolar. Dicha modulación tiene como ventaja que el factor de distorsión y las armónicas de menor orden se reducen en forma significativa.

Para el diseño del SPWM, empleó la modulación bipolar. Se realizaron los siguientes cálculos:

➤ **Índice de modulación de amplitud:**

$$m_a = \frac{V_{control}(Señal\ senoidal)}{V_{triangular}(Señal\ triangular)}$$

En el diseño vamos a trabajar con un índice de modulación de amplitud igual a:

$$m_a = 0,9$$

La amplitud del voltaje de control se va a establecer en

$$V_{control} = 0,9V$$

Por lo que la amplitud de la señal triangular será de:

$$V_{triangular} = \frac{V_{control}}{m_a} = \frac{0,9V}{0,9} = 1V$$

➤ **Índice de modulación de frecuencia:**

$$m_f = \frac{f_{triangular}(Señal\ triangular)}{f_{control}(Señal\ senoidal)}$$

En el diseño vamos a trabajar con un índice de modulación de frecuencia igual a:

$$m_f = 9$$

La frecuencia de la señal de control se va a establecer en:

$$f_{control} = 60Hz$$

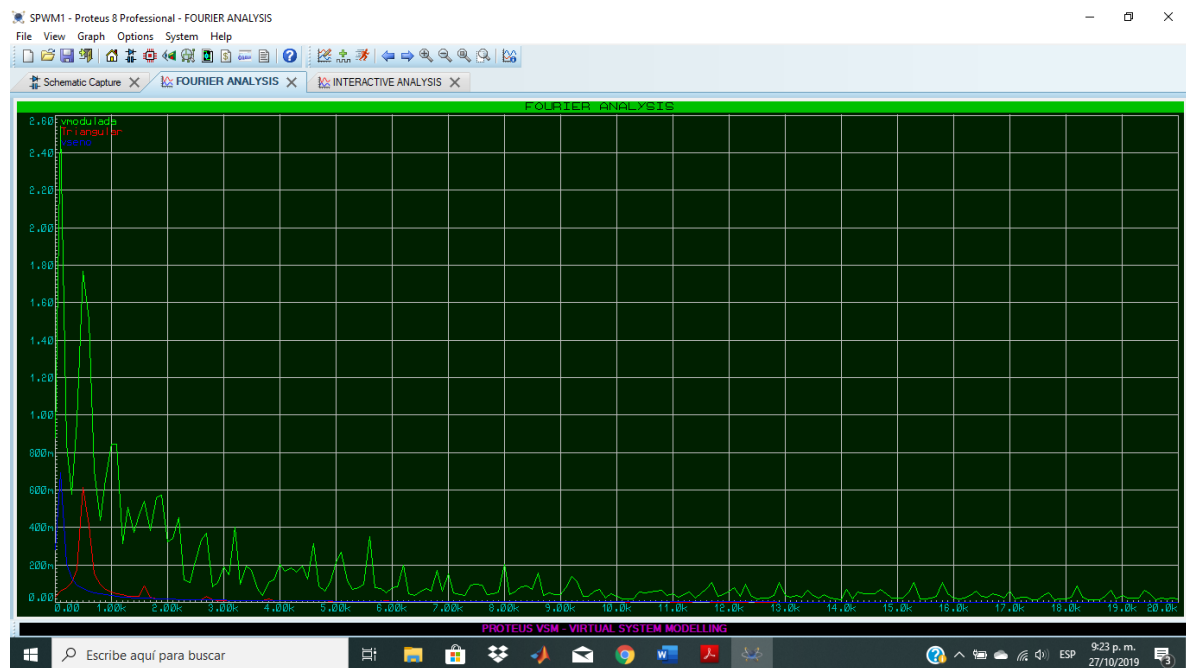
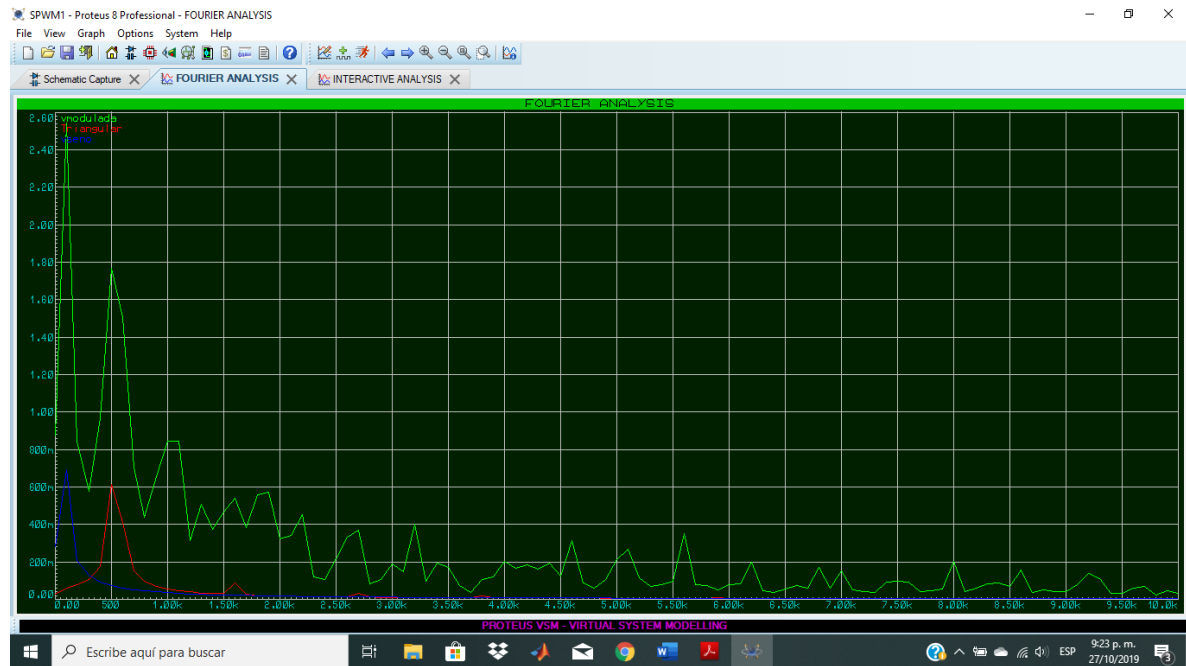
Por lo que la frecuencia de la señal triangular será de:

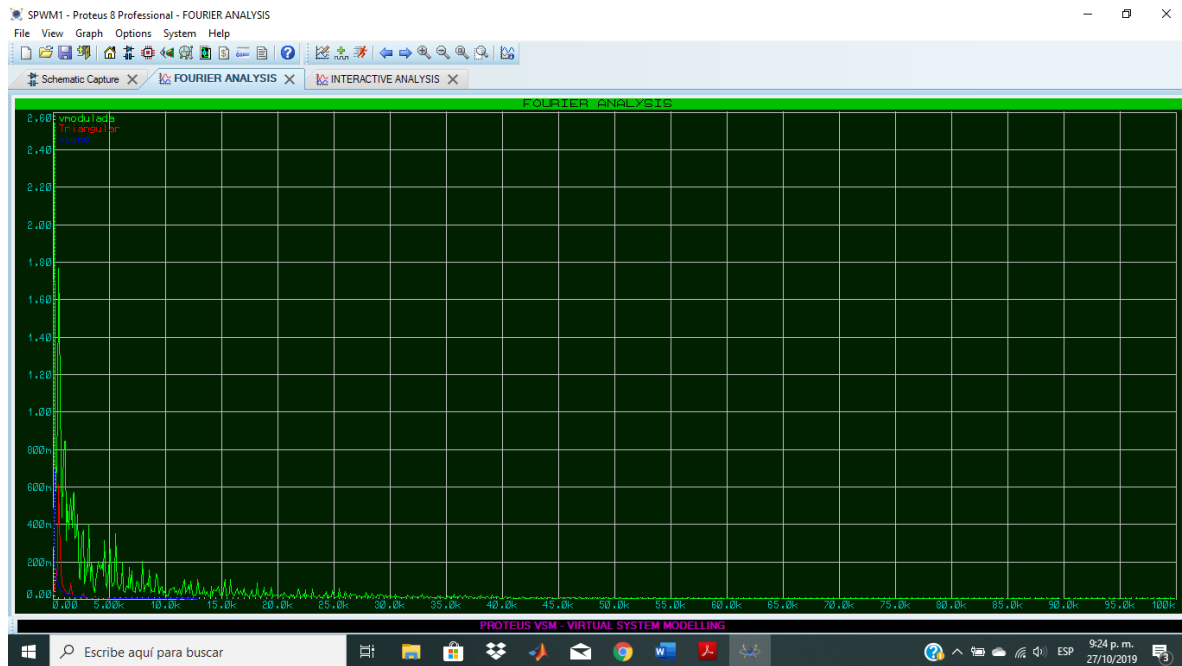
$$f_{triangular} = m_f * f_{control}$$

$$f_{triangular} = 9 * 60Hz = 540Hz$$

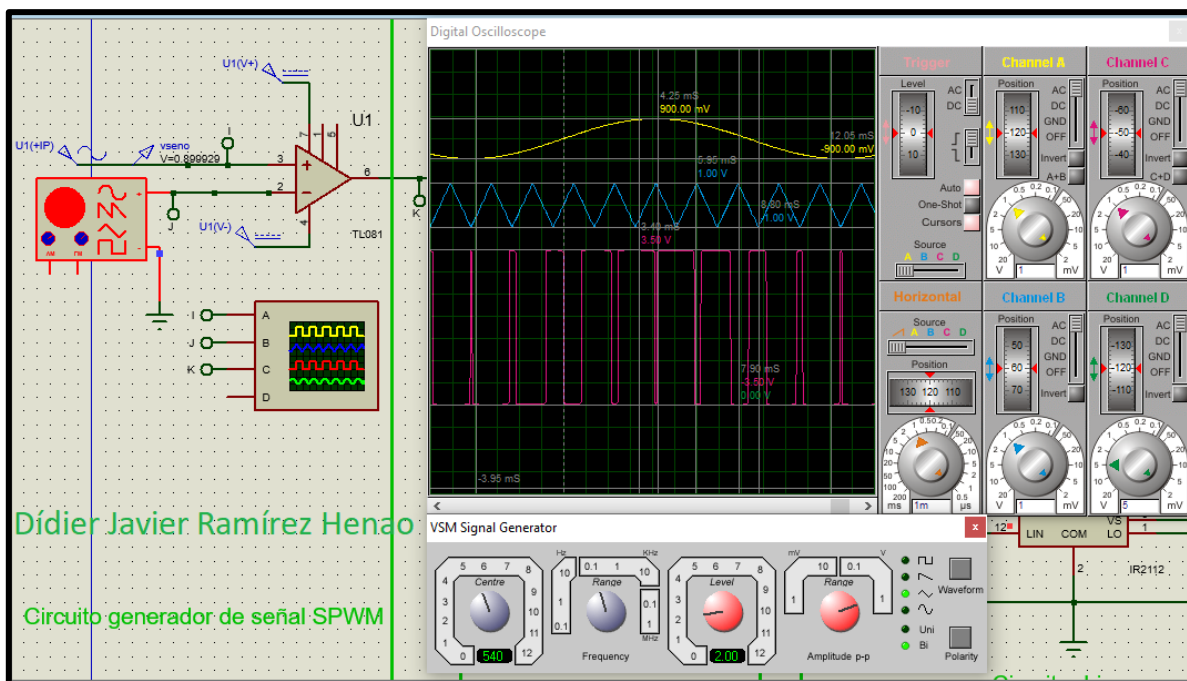
➤ **Gráfica del nivel de distorsión armónica característico.**

De rojo la señal triangular, de azul la señal senoidal y de verde la señal modulada. Para las tres señales se muestran las gráficas del análisis de Fourier con Proteus.





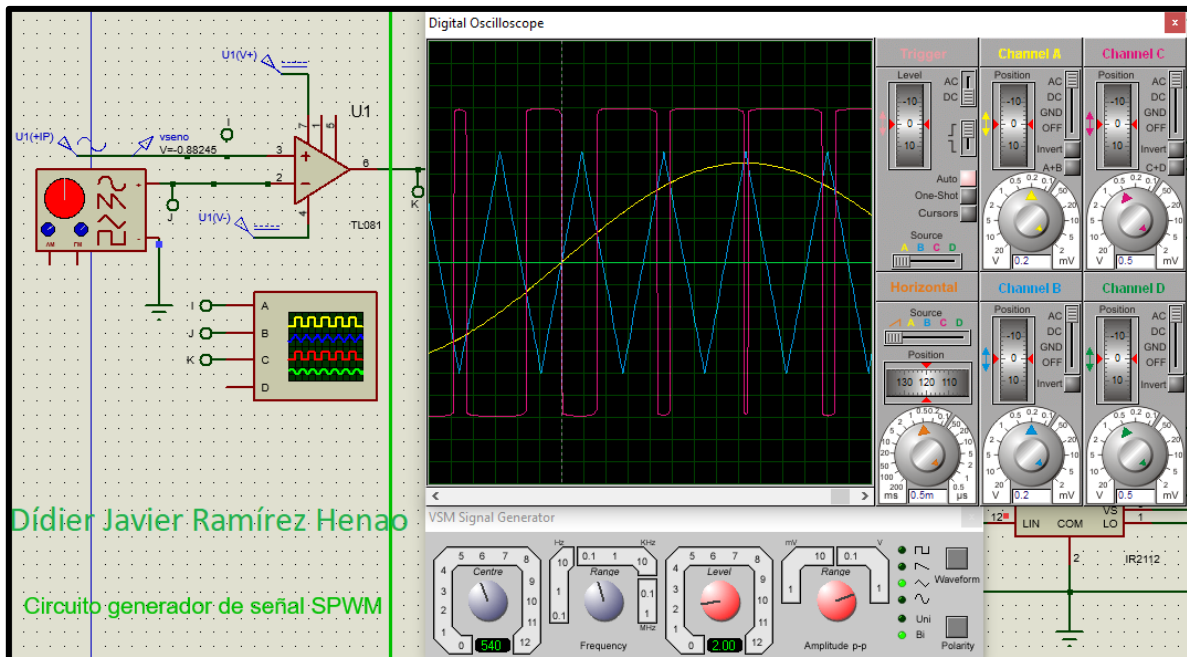
La siguiente gráfica presenta el circuito generador de señal SPWM:



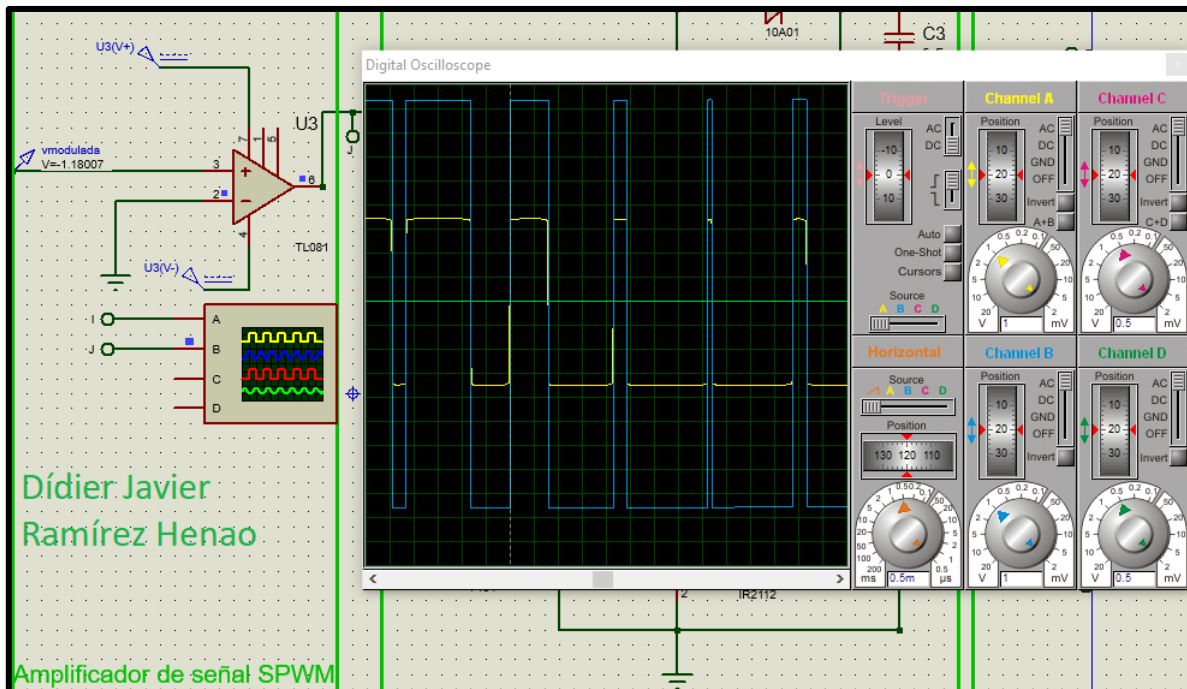
Con el generador de señal se obtuvo la onda triangular que se observa de color azul. La frecuencia es de 540Hz y su amplitud es de 1V; esta señal va la entrada inversora del amplificador operacional. La onda senoidal de 900mV pico de color amarillo va conectada

a la entrada no inversora del amplificador operacional. La salida de color fucsia es el resultado de la comparación.

Ambas señales se comparan. Cuando la señal triangular es superior a la señal senoidal, a la salida se obtiene una señal en bajo. Cuando la señal triangular es inferior a la señal senoidal, a la salida se obtiene una señal en alto como se observa en la siguiente imagen:



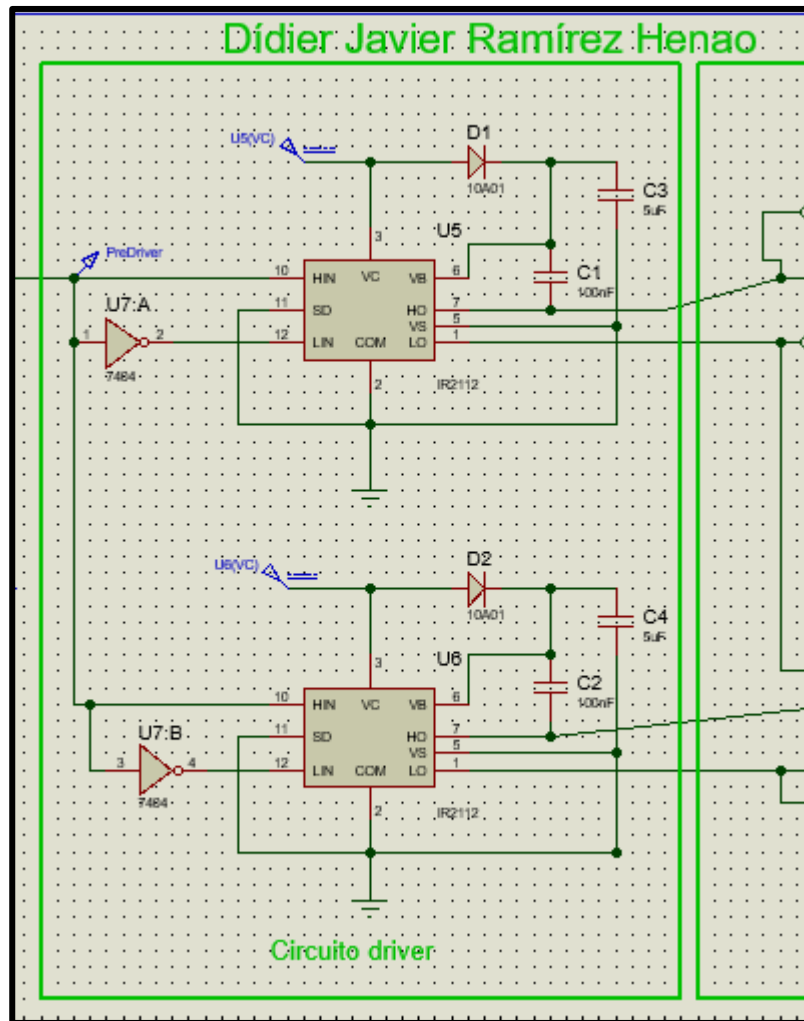
La señal SPWM fue amplificada para enviar las señales de control a los drivers. De amarillo se evidencia la señal SPWM y de azul la señal SPWM amplificada:



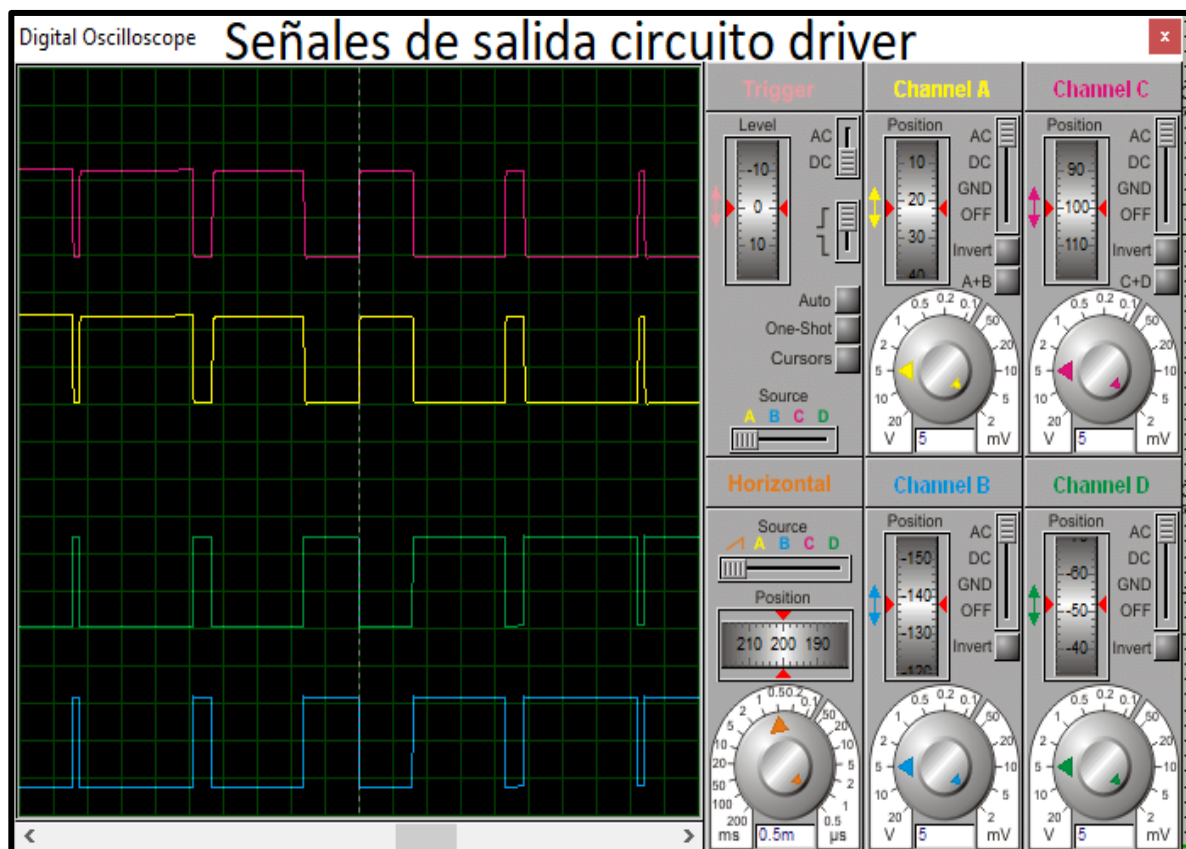
### **Etapá Driver Mosfet:**

Los drivers se utilizan para la correcta activación y desactivación de los MOSFET de potencia, por lo que se requiere tener un diseño que garantice los niveles que se requieren para tener niveles óptimos de tensión y corrientes de disparo del orden de los nanosegundos, lo que se satisface por el driver IR2112.



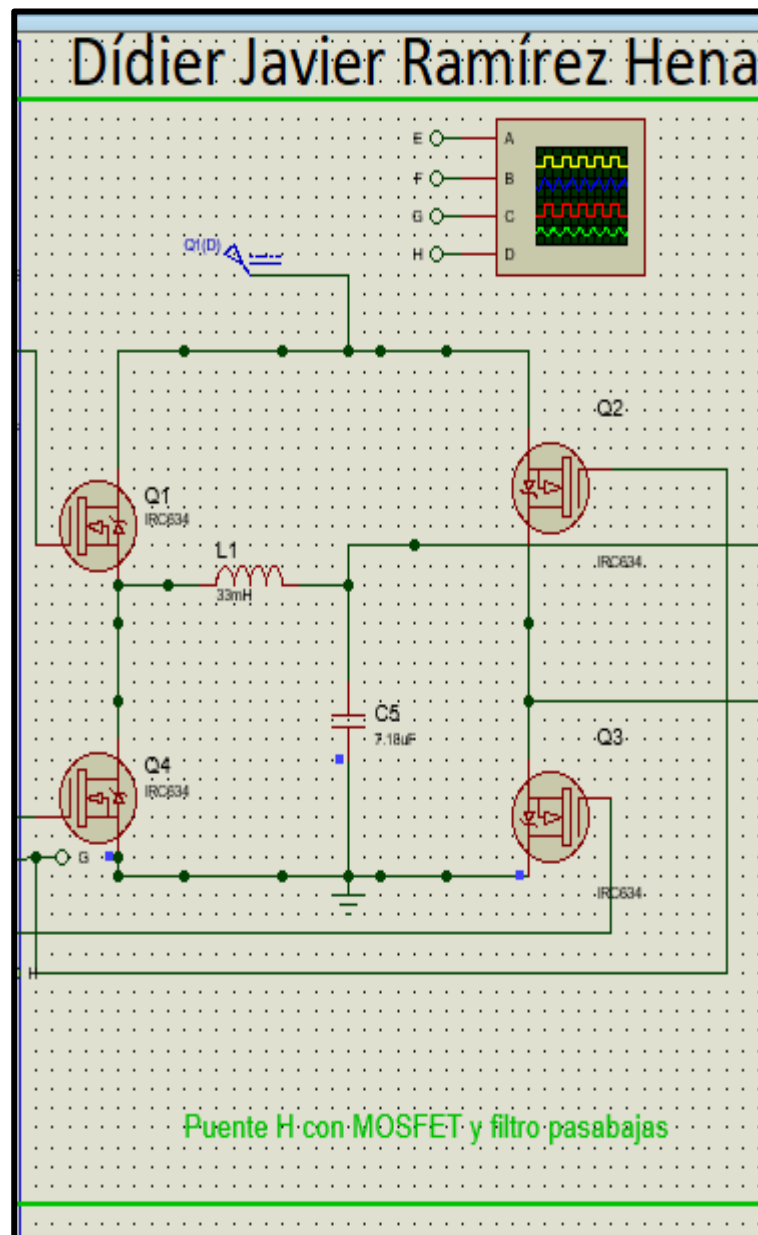


Las señales de salida de los drivers son las que controlan a los MOSFET. Cada par de ellos funcionan de forma alternada en alto y bajo. A continuación, se presentan las señales de salida de los drivers:



**Puente H con MOSFET, filtro pasabajas y transformador:**

Los MOSFET son los que separan la etapa de control con la etapa de potencia por medio de la configuración en puente H. Se alimentan a través del banco de baterías. El filtro pasabajas se emplea para eliminar frecuencias superiores y obtener una señal con características senoidales. Luego la señal de los drivers se lleva al transformador para elevar la tensión y así obtener los 120V de salida.



**Diseño del filtro pasabajos:**

$$f_c = \text{frecuencia de corte}$$

$$f_{c_{min}} = 10 * \text{frecuencia de paso}$$

La frecuencia de paso es la frecuencia que interesa dejar pasar, que es la de la señal senoidal;

$$f_{c_{min}} = 10 * 60Hz$$

$$f_{c_{min}} = 600Hz$$

$$f_{c_{max}} = \frac{\text{frecuencia máxima a eliminar}}{10}$$

La frecuencia máxima por eliminar la determinada la señal triangular. Según el cálculo de la fase 2, su valor es de 540Hz:

$$f_{c_{max}} = \frac{540Hz}{10} = 54Hz$$

$$f_{c_{prom}} = \frac{f_{c_{min}} + f_{c_{max}}}{2}$$

$$f_{c_{prom}} = \frac{600Hz + 54Hz}{2} = 327Hz$$

$$f_{c_{prom}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Suponiendo un valor de la bobina de 33mH, se despeja C, para hallar el valor del condensador:

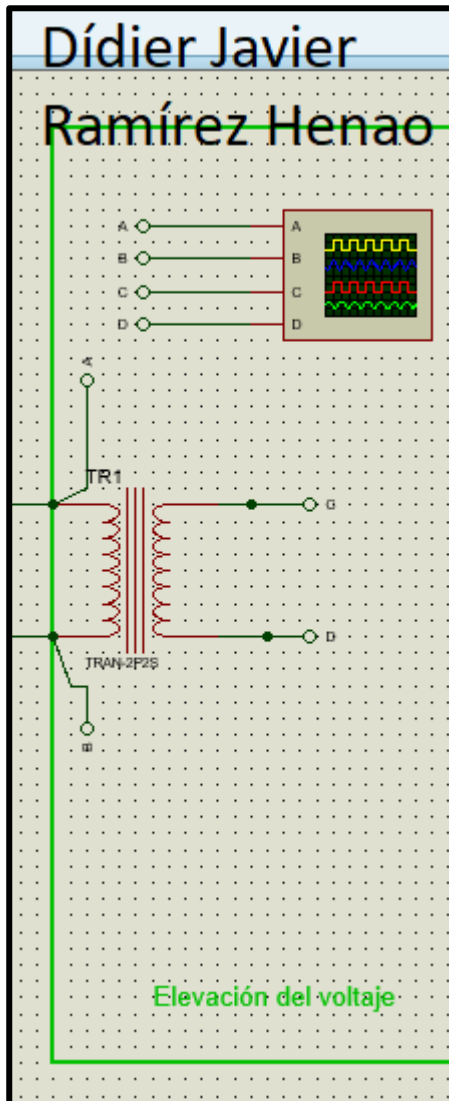
$$f_{c_{prom}}^2 = \frac{1}{4\pi^2 * L * C}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 * L * f_{c_{prom}}^2}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 * 33 * 10^{-3}H * (327Hz)^2}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 * 33 * 10^{-3}H * (327Hz)^2} = 7,18\mu F$$

**Configuración del transformador:**



$V_i = \text{voltaje de entrada} = \text{voltaje del primario}$

$V_o = \text{voltaje de salida} = \text{voltaje del secundario}$

$L_s = \text{Inductancia en el bobinado de salida del transformador}$

$L_p = \text{Inductancia en el bobinado de entrada del transformador}$

$$L_p = \left( \frac{V_i}{V_0} \right)^2 * L_s$$

El voltaje pico del primario es

$$V_{i-pico-primario} = 12V$$

El voltaje del secundario es de  $120V_{rms}$ , por lo que este voltaje se debe pasar a voltaje pico:

$$V_{o-pico-secundario} = \frac{120V_{rms}}{0,707} = 169,73V_{pico}$$

Suponiendo una inductancia de salida del transformador igual a:

$$L_s = 4H$$

Entonces la inductancia de entrada es:

$$L_p = \left( \frac{12V}{169,73V} \right)^2 * 4H$$

$$L_p = \left( \frac{144}{28808,27} \right) * 4H = 0,02H$$

**Edit Component**

Part Reference:  Hidden: ☐

Part Value:  Hidden: ☐

Element:  New

Primary Inductance:  Hide All

Secondary Inductance:  Hide All

Coupling Factor:  Hide All

Primary DC resistance:  Hide All

Secondary DC resistance:  Hide All

Other Properties:

☐ Exclude from Simulation ☐ Attach hierarchy module

☐ Exclude from PCB Layout ☐ Hide common pins

☐ Exclude from Current Variant ☐ Edit all properties as text

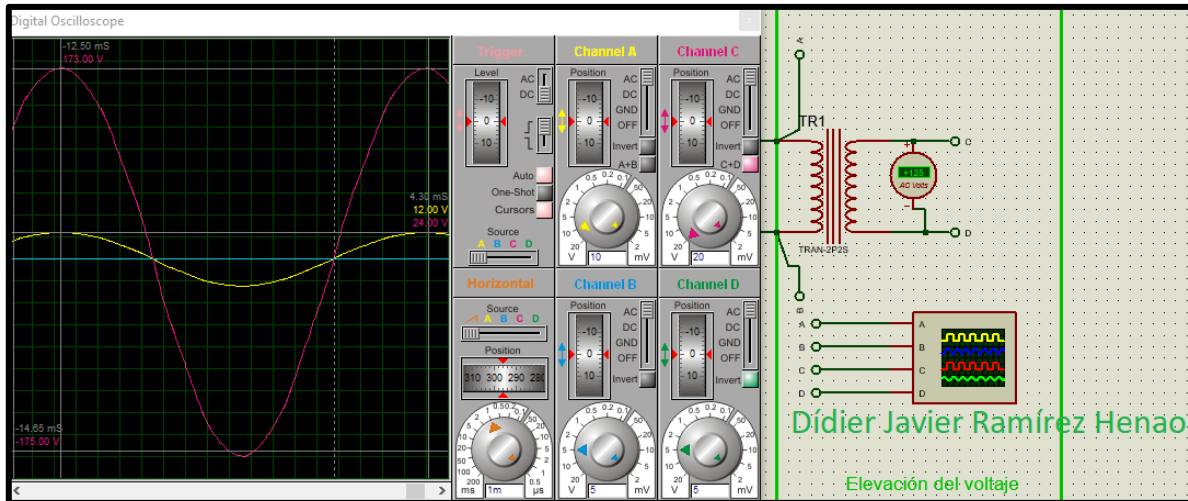
OK Cancel

La salida es necesario filtrarla porque los armónicos de voltaje y corriente se crean por cargas no lineales, generando perturbaciones eléctricas llamadas armónicos que son un problema si la suma de armónicos es grande. Las cargas no lineales son muy variadas como variadores de velocidad, computadores, UPS, arrancadores suaves, dispositivos electrónicos de iluminación, equipos de soldadura, entre otros.

La principal razón de filtrar la salida es porque los armónicos causan diversos problemas como sobrecalentamiento en los conductores, afectando su aislamiento. En los motores se puede generar aumento de temperatura, lo que puede generar ruido y oscilaciones de torque en el rotor, lo cual conduce a resonancias y vibraciones mecánicas. Se puede ocasionar temperatura alta en capacitores y se puede llegar a su rompimiento. Las pantallas electrónicas y la iluminación pueden sufrir intermitencias. Los interruptores automáticos se pueden disparar. Fallos de computadores y falsas lecturas de medidores.

A la salida del del puente H con el filtrado, se obtiene una señal senoidal de 12V pico, la cual se eleva mediante el transformador. A la salida del transformador se obtiene una señal senoidal con un voltaje de 173V pico equivalente a 125V rms, valor que está dentro del rango de voltaje deseado.

En la siguiente gráfica se pueden ver las señales de entrada y salida del transformador:



**Enlace a video:**

<https://drive.google.com/open?id=1iYuTVPGljB5IAUxBIAA5MMimX2wgFt7D>



## CONCLUSIONES

➤ Debido a que los amplificadores operacionales en general manejan voltajes y corrientes bajos de salida, se utilizan controladores, que sirven para adaptar los circuitos a una potencia superior, ya que los drivers operan con voltajes y corrientes bajas a la entrada y entregan voltajes y corrientes superiores a la salida que para nuestro caso sirven para brindar la señal de control a los MOSFET.

➤ Los MOSFET funcionan como interruptores electrónicos, los cuales requieren para su activación voltajes entre 10 y 20V y pueden manejar voltajes hasta los miles de voltios. Mediante estos dispositivos se pasa de la etapa de control a la etapa de potencia.

➤ El filtro pasabajos diseñado en el SPWM, sirve para dejar pasar las señales bajas con el fin de filtrar señales ineseables, aunque se requiere filtrar la salida, debido a las distorsiones armónicas generadas por el motor y el transformador.

➤ Un transformador sirve para aumentar, disminuir o mantener igual el nivel de tensión y consta de un bobinado primario y secundario. La relación entre el voltaje del primario y del secundario depende del número de vueltas en cada bobina.

➤ En la modulación por SPWM, las amplitudes de la onda senoidal con la onda triangular están relacionadas por el índice de modulación de amplitud.

➤ Se debe evitar la sobre modulación, porque ello aumenta el nivel de armónicos del sistema, por lo tanto, el valor del índice de modulación de amplitud debe ser menor o igual a uno.

➤ Al comparar una señal senoidal con una señal triangular mediante un amplificador operacional, se obtiene a la salida una señal rectangular.

➤ El índice de modulación de frecuencia relaciona la frecuencia de la señal senoidal con la señal triangular y su valor debe ser impar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

➤ Mohan, N. Undeland, T. Robbins, W. (2009). Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño (pp. 322-350). Recuperado de <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/reader.action?ppg=351&docID=10565530&tm=1482451076063>

➤ Mohan, N. Undeland, T. Robbins, W. (2009). Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño (pp. 351-382). Recuperado de <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/reader.action?ppg=370&docID=10565530&tm=1482451321652>

➤ Mohan, N. Undeland, T. Robbins, W. (2009). Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño (pp. 383-394). Recuperado de <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/reader.action?ppg=402&docID=10565530&tm=1482451345062>

➤ Negrín, E. (Productor). (2014). OVI Construcción de un generador de corriente alterna y continua. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=V9oAGOLvbKE>

➤ Ciumbuela, G. Guasch, L. (2004). Máquinas y accionamientos eléctricos. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/reader.action?ppg=3&docID=10165681&tm=1502339724954>

➤ Mohan, N. Undeland, T. Robbins, W. (2009). Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño (pp. 71-104). Recuperado de <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/reader.action?ppg=90&docID=10565530&tm=1482452282595>

➤ Mohan,N. Undeland,T. Robbins,W.(2009). Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño (pp. 176-218). Recuperado de <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/reader.action?ppg=195&docID=10565530&tm=1482452656289>

➤ Gutiérrez, J. (Productor). (2017). OVI Introducción al Inversor SPWM. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10596/10871>

➤ Gimeno, S. Seguí, S. Orts, S. (2011). Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2077/lib/unadsp/reader.action?ppg=1&docID=10646884&tm=1502340653449>

➤ Gutiérrez Jairo, Flórez Preciado Luz, Serrano Daniel. Convertidor dc-ac de alta eficiencia basado en el modulador EG8010 para implementar en sistemas energéticos alternativos. Publicaciones e Investigación. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Bogotá, Colombia. Publicado el 2017-03-20. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/327368401\\_Convertidor\\_dc-ac\\_de\\_alta\\_eficiencia\\_basado\\_en\\_el\\_modulador\\_EG8010\\_para\\_implementar\\_en\\_sistemas\\_energeticos\\_alternativos](https://www.researchgate.net/publication/327368401_Convertidor_dc-ac_de_alta_eficiencia_basado_en_el_modulador_EG8010_para_implementar_en_sistemas_energeticos_alternativos)