

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

FULL BRIDGE CONVERTER CONTROLLER IC

Trabajo de titulación para optar al título

Técnico Universitario en ELECTRÓNICA

Alumno:

Jonathan Enrique Arévalo Olmos

Profesor guía:

Ing. Sergio Riquelme Bravo

Profesor co-referente:

Ing. José Llantén Álvarez

RESUMEN

KEYWORDS: CC, RECTIFICACIÓN, MOSFET, SIMULACIÓN, PROTEUS

El presente proyecto consiste en la explicación y funcionamiento de una fuente conmutada a través de un diagrama de bloque que explica la parte de control hasta el rectificador con filtro. Se menciona las características con el uso de la hoja técnica, el tipo de onda que produce y cálculos que demuestra la selección de cada uno.

Se utilizará un driver que entrega dos trenes de pulso, un controlador de potencia para los MOSFET entre en conmutación, transformador de pulso que trabaja con altas frecuencia, un rectificador y un filtro para el tiempo muerto del driver.

Con un programa llamado Proteus se implantará el circuito por etapas para obtener mejores resultados y contemplar el acabado en 3D.

INDICE

INTRODUCCION 10

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DEL FULL BRIDGE PARA LA PRIMERA ETAPA DE LA
SIMULACION 11

1.1 PROBLEMÁTICA 12

1.2 DIAGRAMA DE BLOQUE..... 12

1.3 CIRCUITO DE CONTROL 12

1.3.1 PWM..... 12

1.4 CIRCUITO DE POTENCIA Y PUENTE H 13

1.4.1 Puente H 13

1.4.2 Transistor 14

1.4.2.1 MOSFET 14

1.5 TRANSFORMADOR, RECTIFICADOR Y FILTRO 15

1.5.1 Transformador 15

1.5.2 Transformador de chapa E..... 16

1.5.3 Transformador toroidal..... 17

1.5.4 Transformador de pulsos 18

1.5.5 Rectificador 18

1.5.6 Rectificador de media onda 18

1.5.7 Rectificador de onda completa 19

1.5.8 Filtro 20

1.5.9 Protección 20

1.6 PROTEUS 20

1.7 OBJETIVO GENERAL 21

1.8 OBJETIVO ESPECIFICOS 21

CAPÍTULO 2: ANALISIS Y CALCULO DEL FULL BRIGDE 22

2.1 MODULADOR PWM..... 23

2.1.1 Análisis de las funcionalidades 23

2.1.1.1 REF 24

2.1.1.2 Oscilador CT y RT 24

2.1.1.3 Control de tiempo muerto DTC..... 25

2.1.1.4 Modulación de ancho de pulso PWM 25

2.1.1.5 Amplificador de error 25

2.1.1.6 Transistores de salida 26

2.2 CONTROLADOR..... 26

2.3 CONVERTIDOR 27

2.3.1 Características del MOSFET 27

2.4 DISIPADORES DE CALOR 28

2.4.1 Disipador de calor para MOSFET´s 29

2.5 TRANSFORMADOR DE ALTA FRECUENCIA 33

2.5.1 Cálculo del número de vueltas de los devanados 34

2.5.2 Calibre del cable 35

2.6 RECTIFICADORES DE POTENCIA 35

2.7 FILTRO 36

CAPITULO 3: SIMULACION DEL FULL BRIGDE EN PROTEUS 40

3.1 ANALISIS DEL CIRCUITO 41

3.2 FUNCIONAMIENTO FULL BRIGDE 43

3.3 TL494 43

3.4 IR2112 46

3.4.1 Consideraciones del IRF640..... 47

3.5 TRANSFORMADOR, RECTIFICADOR Y FILTRO 47

3.6 SCHEMATIC CAPTURE TL494 48

3.7 PCB LAYOUT TL494 49

3.8 SCHEMATIC CAPTURE Y PCB LAYOUT 49

3.9 ANALISIS DE COSTOS 51

3.9.1 Horas Hombres 52

CONCLUSION 53

BIBLIOGRAFIA..... 54

ANEXOS..... 55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Propiedades de los dispositivos de conmutación 13

Tabla 3-1. Materiales utilizados para el circuito 52

Tabla 3-2. Tiempo total con su respectivo costo asociado 52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Entrada de control e intensidad luminosa.....	13
Figura 1-2. Estructura de un puente H	14
Figura 1-3. Transistor 2n2222.....	14
Figura 1-4. Entrada de control e intensidad luminosa.....	16
Figura 1-5. Laminación de chapa de silicio	17
Figura 1-6. Transformador toroidal.....	17
Figura 1-7. Transformador de pulsos	18
Figura 1-8. Circuito rectificador de media onda	19
Figura 1-9. Rectificador de onda completa con punto medio	19
Figura 1-10. Full Bridge Converter Circuit	20
Figura 1-11. Simbología del fusible	20
Figura 1-12. Etapas en la construcción de un proyecto en Proteus	21
Figura 2-1. Disposición de pines TL494.....	23
Figura 2-2. Diagrama de conexión driver IR2112	26
Figura 2-3. Puente completo conformado con MOSFET's.....	27
Figura 2-4. Simbología del MOSFET	28
Figura 2-5. Disipadores de aluminio	29
Figura 2-6. Circuito equivalente.....	29
Figura 2-7. Datasheets del MOSFET	30
Figura 2-8. Datasheet del Disipador	32
Figura 2-9. Grafico del disipador	32
Figura 2-10. Características alambre magneto redondo.....	35
Figura 2-11. Simbología y diseño	35
Figura 2-12. Esquemático Full Bridge	36
Figura 2-13. Forma de onda del inductor.....	37
Figura 3-1. Simulación en el Proteus	42
Figura 3-2. Esquema del conversor Full Bridge.....	43
Figura 3-3. Circuito convertidor con transistores en OFF	43

Figura 3-4. Formas de onda del TL494.....44

Figura 3-5. Formas de onda con ruido 45

Figura 3-6. Formas de onda con menos ruido 45

Figura 3-7. Circuito integral IR2112.....46

Figura 3-8. Transistor con disipador 47

Figura 3-9. Formas de ondas del Transformador, rectificador y salida 48

Figura 3-10. Captura esquemática TL494.....49

Figura 3-11. Diseño PCB del TL494 49

Figura 3-12. Captura esquemática IR2112 con puente H 50

Figura 3-13. Diseño PCB - IR2112 con puente H.....51

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLAS

PWM	:	Pulse Width Modulation
CC	:	Corriente Continua
MOSFET	:	Transistor de Efecto de Campo Metal Oxido Semiconductor
BJT	:	Transistor de Unión Bipolar
GTO	:	Gate Turn Off Thyristor
IGBT	:	Insulated Gate Bipolar Transistor
CNC	:	Enrutador de control numérico por computadora
Vo	:	Voltaje output
DTC	:	Dead Time Control
CT	:	Condensador de Tiempo
RT	:	Resistencia del Tiempo
A_e	:	Área efectiva
PCB	:	Placa de Circuito Impreso
CLP	:	Peso Chileno
P	:	Potencia
T	:	Temperatura

B. SIMBOLOGÍAS

CC	:	Corriente Continua
CA	:	Corriente Alterna
Hz	:	Hertz
mA	:	mili-Amper
V	:	Volts
Kohm	:	Kilo ohm
nF	:	nano-Faradio

A	:	Amper
W	:	Watts
mV	:	mili-Volts
°C	:	grado Celsius
cm	:	centímetro
mm	:	milimetro
m	:	metro
uH	:	micro Henrios
uf	:	micro Faradios

INTRODUCCIÓN

La electrónica de potencia es una de las ramas de la electrónica que es la encargada de procesar y controlar la transformación de voltajes y corrientes a niveles deseados. Con el tiempo ha aumentado el número y la diversidad de circuitos electrónicos en diferentes áreas de la industria por lo tanto es muy importante en el campo de la ingeniería.

El convertidor de puente completo con desplazamiento de fase se utiliza para la conversión CC-CC en diversas aplicaciones como en la recarga de batería, vehículos eléctricos, equipos de construcción, energías renovables, máquinas de soldaduras y mucho más. Un convertidor consiste en cuatro interruptores electrónicos de potencia (como los MOSFET o los IGBT) que forman un puente completo en el devanado primario del transformador de aislamiento con el control de potencia y los MOSFET, segundo devanado el rectificador con el filtro. Esta topología permite a los dispositivos de conmutación obtener menores pérdidas y un convertidor más eficiente.

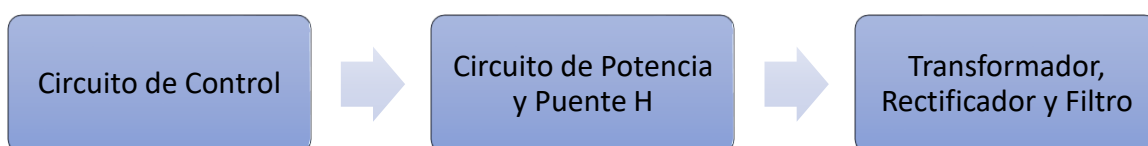
CAPITULO 1: FUNDAMENTOS DEL FULL BRIDGE CONVERTER CONTROLLER
IC PARA LA PRIMERA ETAPA DE LA SIMULACION

1.1 PROBLEMÁTICA

Se vive en una era que cada vez las fuentes de alimentación deben ser más pequeñas para poder usarlas en la vida cotidiana. Hace unas décadas atrás las fuentes eran muy voluminosas y pesadas con esto no se le podía sacar el máximo provecho en la industria, de modo que se buscó una forma de poder cumplir con las exigencias del mercado y de esta manera se crea las fuentes Switching a diferencia de las otras, esta era más pequeña y de esta manera se podría sacar más provecho.

1.2 DIAGRAMA DE BLOQUE

En el procedimiento del trabajo de título se realiza una investigación anticipada, donde se recopila información del funcionamiento del full Bridge. De esta manera se obtiene un circuito simulado a través de Proteus. En la figura 1-1 se muestra el diagrama de bloque que se registró en el trabajo de título donde se agrupan las etapas.



Fuente: Realizada por el alumno en Word

Figura 1-1. Diagrama de bloque

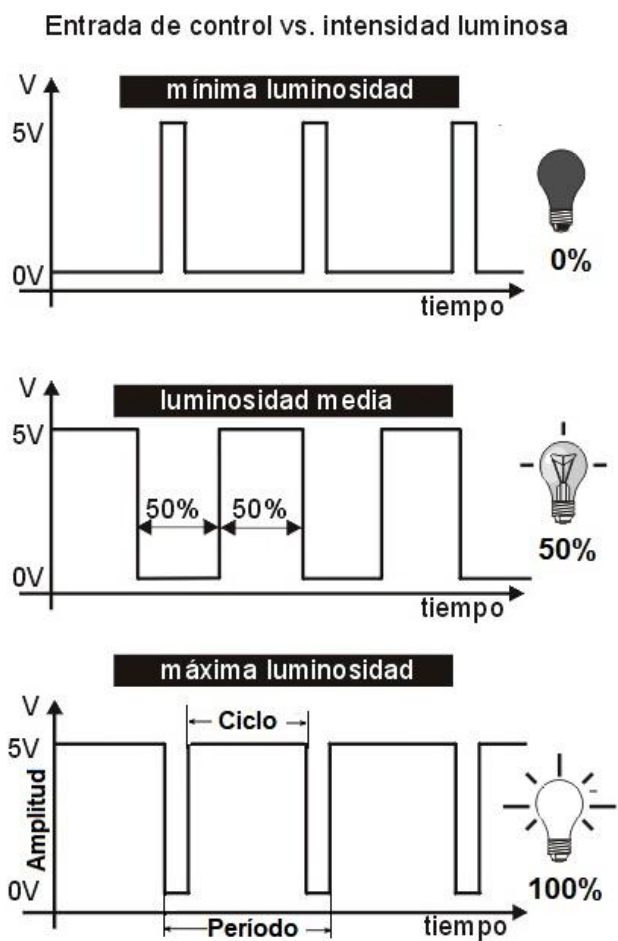
1.3 CIRCUITO DE CONTROL

Un circuito de control son los componentes físicos y funciones de control que es la encargada de ajustar automáticamente el valor deseado esto se hace con ayuda de sensores y actuadores quienes envían y reciben la información necesaria para ejecutar su función.

1.3.1 PWM

La modulación por ancho de pulso es un tipo de señal de voltaje empleada para enviar información o alterar la cantidad de potencia que se envía una carga. Es un método en que se varía el ciclo de trabajo de una señal periódica que puede ser una cuadrada o una senoidal en la cual se le cambia el ancho relativo respecto al periodo de la misma.

En la figura 1-1 se puede observar la diferencia entre la entrada de control y la intensidad luminosa. A mayor es el porcentaje del dutty (ciclo de trabajo) la ampollita iluminara más y si es menor el duty iluminara cada vez menos



Fuente: <https://www.shoptronica.com/curiosidades-tutoriales-y-gadgets/4517-que-es-pwm-y-como-funciona-0689593953254.html>

Figura 1-2. Entrada de control e intensidad luminosa

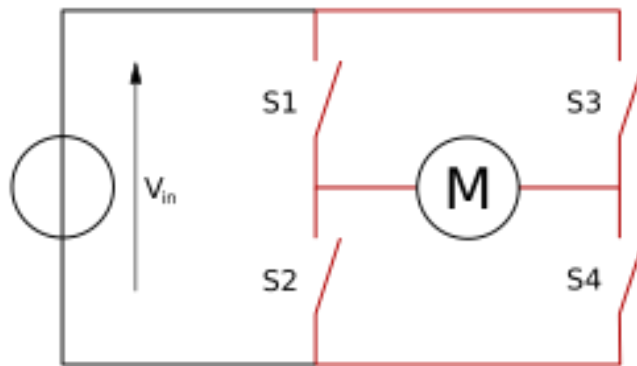
1.4 CIRCUITO DE POTENCIA Y PUENTE H

El circuito de potencia está diseñado para trabajar con tensiones y corrientes superiores, también es el encargado de ejecutar las ordenes dictaminadas por el circuito de control.

1.4.1 Puente H

El puente en H es un circuito electrónico que se usa en movimiento de un motor eléctrico CC que hace que gire a ambos sentidos. Se pueden encontrar en viarias formas como circuitos integrados, componentes eléctricos y/o electrónicos.

Su funcionamiento se puede realizar con transistores que mediante un pulso se logra que cierre dos interruptores al mismo tiempo, S1 y S4 de esta manera hace que gire hacia un sentido y con otro pulso cierra S2 y S3 para que gire al otro sentido. Este movimiento se puede realizar manual o automático.



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_(electr%C3%B3nica))

Figura 1-3. Estructura de un puente H.

1.4.2 Transistor

Es un dispositivo formado por semiconductores usado para entregar una señal en su salida en respuesta ante una entrada. Se puede encontrar en varios circuitos electrónicos y es usado en la mayor parte de los artefactos que se encuentran en el hogar, se usa como amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. En la figura 1-3 se observa un transistor.



Fuente: <https://www.hwlibre.com/transistor-2n2222/>

Figura 1-3. Transistor 2n2222

1.4.2.1 MOSFET

Uno de los problemas de los transistores es que no todos están hechos para grandes corrientes y voltajes a veces están sometidos a temperaturas muy elevadas que en el caso que llegaran a superar sus límites que nombra el fabricante en los datasheet se puede dañar el componente y dejar de funcionar. Estas evidencias, han llevado a reemplazar por otros transistores más avanzados, hasta la llegada de los MOSFET.

Los beneficios que ofrece este modelo de transistor, han encaminado a que se desempeñen en sectores de la industria, dejando de usar los BJT para otros usos. Los MOSFET de potencia se usan en aplicaciones de baja tensión con una velocidad de conmutación rápida que se pueden encontrar como robótica, CNC y electrodomésticos.

En la tabla 1-1 se puede observar la capacidad de potencia y velocidad de conmutación de los diferentes transistores que se puede encontrar en el mercado

Tabla 1-1. Propiedades de los dispositivos de conmutación

Dispositivo	Capacidad de potencia	Velocidad de conmutación
BJT	Media	Media
MOSFET	Baja	Rápida
GTO	Alta	Lenta
IGBT	Media	Media

Fuente: Realizada por el alumno en Word

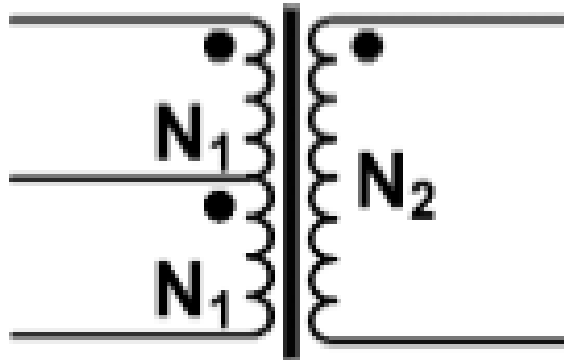
1.5 **TRANSFORMADOR, RECTIFICADOR Y FILTRO**

1.5.1 Transformador

Un transformador es un componente electromagnético permitiendo elevar o reducir los niveles de tensión de un circuito eléctrico. Dentro de él tiene tres componentes importantes que son núcleo magnético, el devanado primario y el secundario. Se pueden encontrar diferentes tipos de transformadores:

- Autotransformador.
- De impedancia.
- De potencia.
- Elevador o reductor de voltaje.
- De aislamiento.
- De pulsos (ese se implementará).

En la figura 1-5 se utilizan puntos que señalan el sentido de los devanados, así se sabe dónde se encuentra la entrada y la salida para crear un flujo en el mismo sentido que el núcleo del transformador.



Fuente: elaboración propia, realizada en easyeda

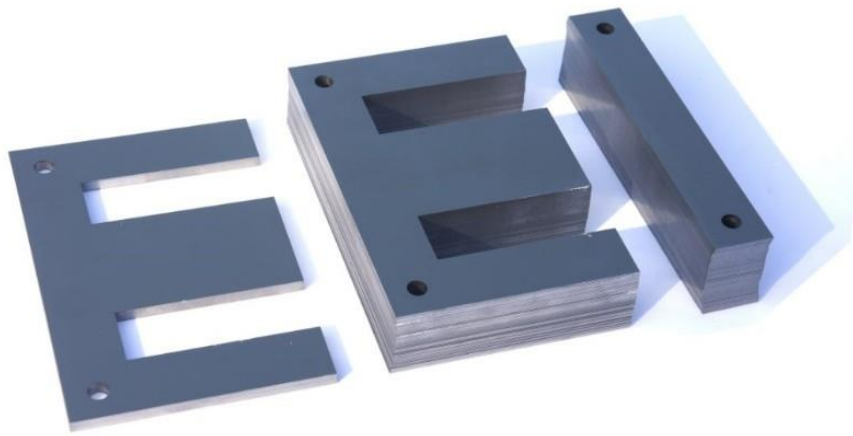
Figura 1-4. Símbolo del transformador

Esto se compone de tres partes:

- Nucleó magnético: es la parte que está conectada a una fuente de tensión donde se produce el flujo magnético inicialmente. Estas bobinas están aisladas una de la otra donde se enlazan a través de la reluctancia magnética.
- Devanado principal: es en donde se enrollan los devanados y se produce el flujo magnético alterno, por lo regular están hechas por viarias láminas aisladas eléctricamente, para minimizar corrientes parásitas.
- Devanado secundario: es el que suministra el potencial transformado a la carga y es donde se genera el voltaje por el cambio de magnetismo en el núcleo al cual rodea.

1.5.2 Transformador de chapa E

Es uno de lo más usados en la fabricación de transformadores monofásico. Es nombrado así debido que tiene varias láminas de hierro de silicio, vienen con forma de letras (I) y (E) que van intercaladas entre sí de esa manera se puede evitar las corrientes parasitas. Cada chapa tiene por ambas caras un aislamiento que consigue mediante el tratamiento químico de un material inorgánico denominado Carlite, que evita el contacto entre ellas que se puede observar en la figura.



Fuente: <https://static.spainec.com/file/upload/201606/17/21-50-50-75-0.jpg>

Figura 1-5. Laminación de chapa de silicio

Una de las desventajas que son usados para aparatos de gran potencia, su exagerado tamaño, gran peso, un costo muy elevado.

1.5.3 Transformador toroidal

En este tipo de transformador el núcleo magnético tiene forma de disco que normalmente está compuesto de ferrita artificial, donde se bobina el primario y el secundario. Son más voluminosos, pero el flujo magnético queda confinado en el núcleo, teniendo flujos de dispersión muy reducidos y bajas pérdidas por corrientes. Es muy eficiente y, por lo tanto, transmite más potencia en comparación con un transformador de núcleo del mismo tamaño.



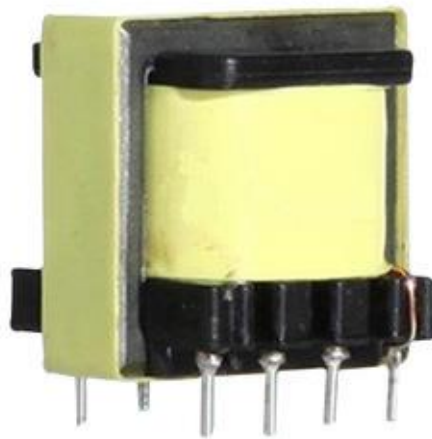
Fuente: <https://es.rs-online.com/web/p/transformadores-toroidales/6719113/>

Figura 1-6. Transformador toroidal

1.5.4 Transformador de pulsos

Su forma es similar a la de los transformadores de chapas en E, pero los núcleos están fabricados de materiales como la ferrita. Trabajan a altas frecuencias, lo que permite reducir las pérdidas, y además obtener una mayor corriente a su salida, con un tamaño mucho menor que el de los transformadores lineales.

En la mayor parte de fuentes conmutadas se utiliza los transformadores de pulso. Además, se destaca que su núcleo este afinado a una frecuencia, eso quiere decir que en una fuente conmutada no se puede intercambiar los transformadores con distintas frecuencias.



Fuente: <https://es.rs-online.com/web/p/transformadores-toroidales/6719113/>

Figura 1-7. Transformador de pulsos

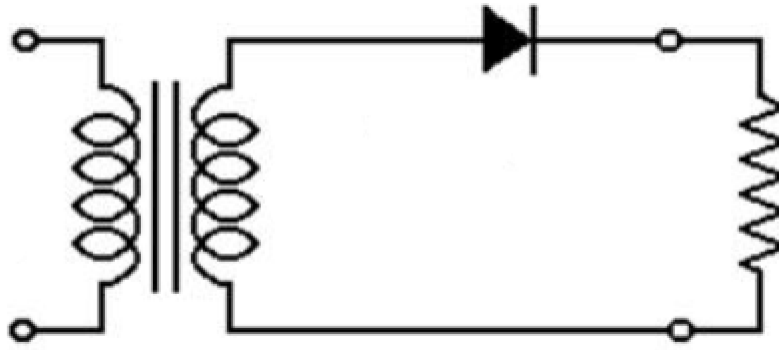
1.5.5 Rectificador

Los rectificadores logran transformar la corriente alterna en corriente continua, CC. Están compuestos por circuitos semiconductores, conocidos como diodos rectificadores.

Rectificadores disponen de diferentes usos, a menudo se observan utilizándolos en equipos de CC por ejemplo en fuentes de alimentación y dependiendo el tipo de alimentación, la tensión de la salida solicita que su voltaje sea constantemente uniforme.

1.5.6 Rectificador de media onda

Un rectificador de media onda se compone de un diodo como se puede apreciar en la figura 1-8. Este circuito rectificador deja solo el trozo positivo de la onda y en el lugar donde va la onda negativa es eliminada.



Fuente: <http://fuenteslinealeskelly.blogspot.com/p/rectificador-de-media.html>

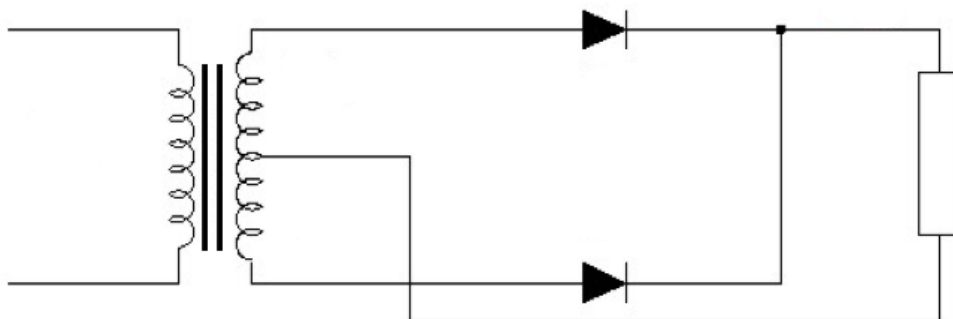
Figura 1-8. Circuito rectificador de media onda

La desventaja de este tipo rectificador es que no aprovecha toda la potencia suministrada y esto sucede porque la parte negativa de la onda es eliminada esto conduce a la perdida de potencia y con esto se produce una baja tensión en la salida.

1.5.7 Rectificador de onda completa

Los rectificadores de onda completa es un circuito empleado para usar ambos semiciclos de la corriente alterna para lograr una corriente directa como resultado de la onda positiva y negativa así aprovechar toda la potencia suministrada.

En la figura 1-9 se encuentra un rectificador con punto medio que tiene dos diodos en paralelo y su principal ventaja es que aprovecha tanto la componente positiva como la negativa de la onda, originando un mejor aprovechamiento más de la potencia de entrada.

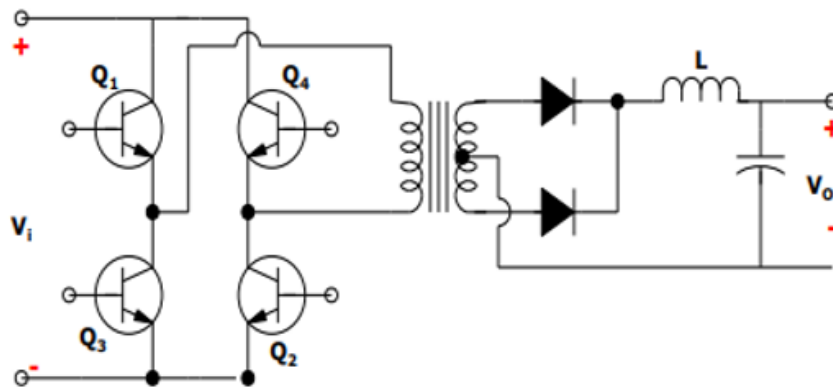


Fuente: elaboración propia, realizada en easyeda

Figura 1-9. Rectificador de onda completa con punto medio

1.5.8 Filtro

En el Full Bridge Converter Circuit existe un término que se llama Dead-Time o en español Tiempo Muerto (en el capítulo dos se verá con más detalles) que consiste que los cuatro transistores dejan de funcionar para evitar el corto circuito entre sí. En ese momento la bobina y el condensador empiezan a trabajar, que consiste en seguir suministrando tensión a la salida (V_o).

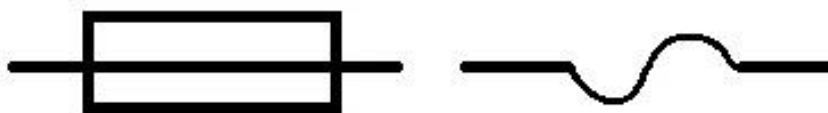


Fuente: <http://www.elo.jmc.utfsm.cl/sriquelme/el/presentaciones/segundo%20semestre/presentacion%203%20el.pdf>

Figura 1-10. Full Bridge Converter Circuit

1.5.9 Protección

En la mayor parte los equipos eléctricos que se encuentran en el hogar se suele incorporar un fusible en la entrada para evitar que se dañe el circuito electrónico. También se puede mencionar que es un dispositivo hecho de un material conductor donde posee un punto de fusión bajo con el fin de interrumpir la corriente en el caso que sobrepase lo mencionado por el fabricante. En la figura 1-11 se puede observar la simbología.



Fuente: <https://como-funciona.co/un-fusible/>

Figura 1-11. Simbología del fusible

1.6 PROTEUS

Es un software que ejecuta proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño del esquema electrónico, programación del software, construcción de un circuito impreso, simulación y varias cosas más.

Sin este software los circuitos electrónicos serían más complicados debido que en la última etapa podría detectar los errores y eso significaría volver a completar el ciclo de trabajo. Para una empresa eso puede significar tiempo y recursos, lo que conlleva un alto coste económico. En la figura 1-14 se puede observar las etapas de un proyecto.



Fuente: <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>

Figura 1-12. Etapas en la construcción de un proyecto en Proteus

1.7 **OBJETIVO GENERAL**

Implementar la simulación de un sistema de conversión a través del software Proteus con los cálculos necesarios para un circuito más eficiente.

1.8 **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar el funcionamiento de una fuente conmutada.
- Estudio de las hojas técnicas de cada componente.
- Implementar la simulación software Proteus.

CAPITULO 2: ANASISIS Y CALCULO DEL FULL BRIGDE

2.1 **MODULADOR PWM**

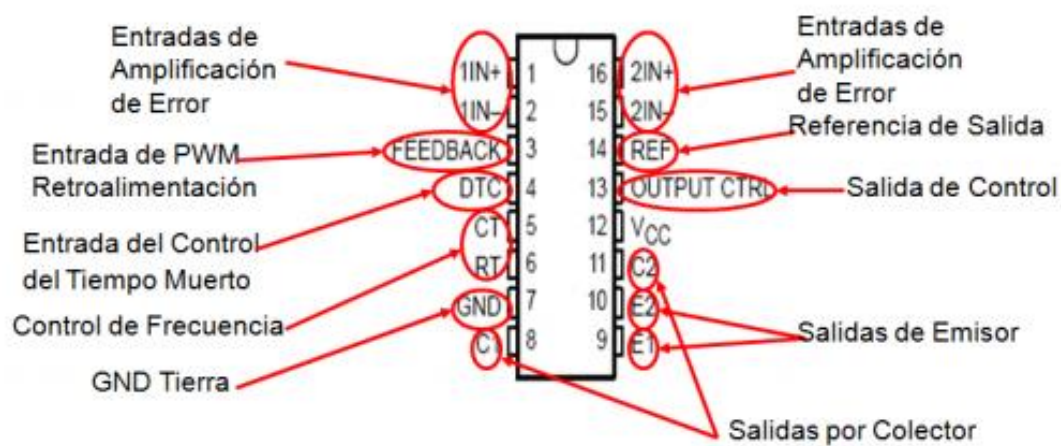
El TL494 es un modulador de ancho de pulso donde que tiene funciones incorporada dentro del encapsulado, el integrado entrega varias formas de acondicionarse a diferentes circuitos electrónicos para una aplicación especifican. En el encapsulado se puede encontrar dos amplificadores de error también conocidos como comparadores, un oscilador controlable, un flip-flop para control de dirección de pulsos, un comparador DTC, un pin que entrega 5V y un pin se encarga de controlar el circuito.

Los transistores en sus salidas tienen dos configuraciones denominadas emisor común y colector común, donde se usan una de las dos dependiendo de la aplicación que se quiera dar al circuito, en esta simulación se implementara la configuración colector común en las dos salidas. Se puede mencionar que los transistores entregan un máximo de 200mA.

La modulación de ancho de pulsos se realiza mediante la comparación del diente de sierra creada por el oscilador interno del encapsulado con la ayuda del condensador CT (figura 2-1) para la señal que se observa en la figura 2-1. La etapa de salida estará activa mientras el valor de amplitud de la señal diente de sierra sea mayor que la señal de control de voltaje. Esta señal se calcula de manera externa para varios el ciclo de trabajo. Los cálculos que se verán más adelante tiene relación con la figura 3-1.

2.1.1 **Análisis de las funcionalidades**

En esta parte se explicará las funcionalidades respectivas del dispositivo nombrado anteriormente para entender de manera puntual, considerando las ecuaciones que se pueden encontrar en el datasheet. En la figura 2-1 se puede observar la disposición de pines.



Fuente: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4287/1/UPS-CT002620.pdf>

Figura 2-1. Disposición de pines TL494

2.1.1.1 REF

El circuito de control utilizado necesita de un punto estable al cual referirse para realizar su trabajo, el TL494 posee un regulador de tensión interno a 5V de continua en el pin 14, que permite establecer un punto de referencia estable sobre el que se puede realizar la comparación requerida para un buen desempeño del controlador, este voltaje de referencia se presenta en el pin 14 y se mantiene constante ante cambios en la alimentación gracias a una circuitería interna de regulación. Este voltaje proporciona un máximo de 50mA de corriente de carga para el circuito.

$$\text{Corriente consumida} = \frac{\text{Voltaje de referecnia}}{\text{Potenciometro}}$$

$$\text{Corriente consumida minima} = \frac{5V}{10 \text{ Kohm}} \quad \text{Corriente consumida maxima} = \frac{5V}{10 \text{ ohm}}$$

$$\text{Corriente consumida} = 0,5 \text{ mA} - 0,5 \text{ A}$$

Como la resistencia es variable la corriente suministrada al TL494 puede variar desde 0,5 mA - 0,5 A teniendo en cuenta que antes se debe colocar una resistencia en serie al potenciómetro para evitar que se destruya.

2.1.1.2 Oscilador CT y RT

El oscilador proporciona una forma de onda diente de sierra positiva a los comparadores de tiempo muerto y PWM para la comparación con las diversas señales de control. La frecuencia del oscilador se calcula seleccionando los componentes de tiempo RT y CT (figura 2-1) que se observa en la figura 2-1. El oscilador carga el condensador de temporización externo, CT, con una corriente constante cuyo valor está determinado por la resistencia de temporización externa, RT. Esto produce una forma de onda de tensión de rampa lineal. Cuando el voltaje a través del CT alcanza los 3 V, el circuito del oscilador lo descarga, y el ciclo de carga se reinicia. La corriente de carga está determinada por la fórmula:

$$f_{osc} = \frac{1}{RT * CT}$$

$$f_{osc} = \frac{1}{4 \text{ Kohm} * 10 \text{ nF}}$$

$$f_{osc} = 25 \text{ KHz}$$

2.1.1.3 Control de tiempo muerto DTC

La entrada de control de tiempo muerto proporciona el control del tiempo muerto mínimo (tiempo de apagado). La salida del comparador inhibe la conmutación de los transistores pin 8 y pin 11 (figura 2-1) cuando la tensión en la entrada es mayor que la tensión de rampa del oscilador. Un offset interno de 110 mV asegura un tiempo muerto mínimo de ~3% con la entrada de control de tiempo muerto en tierra. Aplicar un voltaje a la entrada de control de tiempo muerto puede imponer un tiempo muerto adicional. Esto proporciona un control lineal del tiempo muerto desde su mínimo de 3% a 100%, ya que el voltaje de entrada varía de 0 V a 3,3 V, respectivamente. Con el control de rango completo, la salida puede ser controlada desde fuentes externas sin interrumpir los amplificadores de error.

En la simulación del Proteus no se logró configurar el tiempo muerto DTC que es el encargado de apagar los cuatros MOSFET's para evitar cualquier daño al componente debido a eso se eligió que el pin 4 DTC se conectara a tierra y así el pin 3 FeedBack realice el cambio de ciclo y el control de voltaje en su salida.

2.1.1.4 Modulación de ancho de pulso PWM

El comparador también proporciona un control de modulación del ancho del pulso de salida. Para ello, el voltaje de rampa a través del condensador de tiempo CT se compara con la señal de control presente en la salida de los amplificadores de error.

2.1.1.5 Amplificador de error

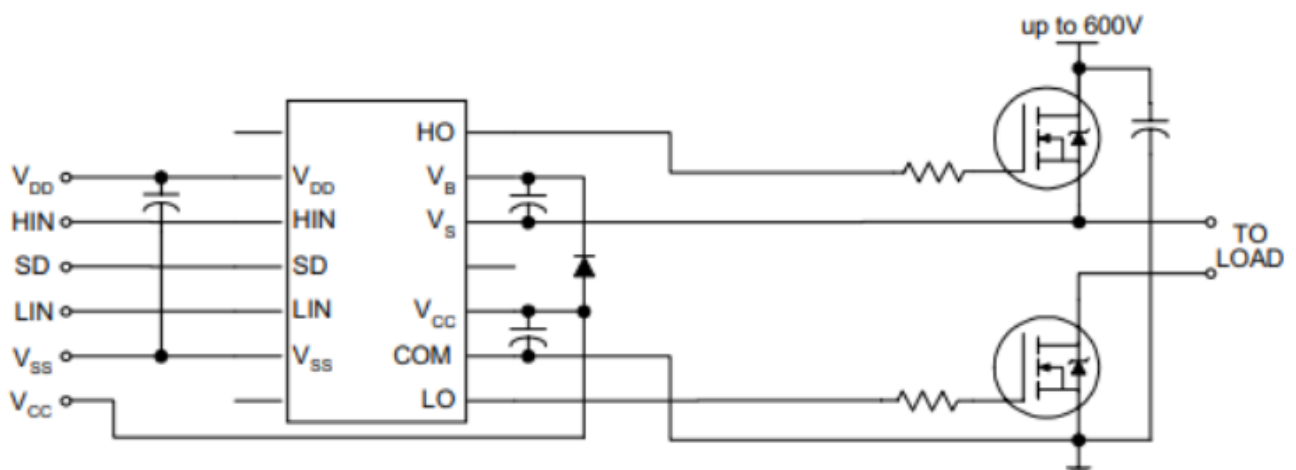
Estos amplificadores cumplen con el principio básico de un comparador con alta ganancia, los cuales al tener un alto en su salida inhabilitan los transistores de salida, por lo tanto, su funcionamiento deja de funcionar y mientras tenga un nivel bajo en su salida entonces funcionar normalmente. Se podría usar para obtener un voltaje y una corriente fija en la salida del circuito final.

2.1.1.6 Transistores de salida

El TL494 dispone de dos transistores de salida, los cuales pueden tener configuración de emisor común o colector común siendo capaces cada uno de entregar 200 mA. En las salidas están protegidas contra la disipación excesiva de potencia para evitar daños, pero no emplean suficiente limitación de la corriente para permitir que funcionen como salidas de la fuente de corriente.

2.2 CONTROLADOR

El IR2112 es un controlador MOSFET e IGBT de alto voltaje y potencia de alta velocidad con canales de salida independientes. Los retardos de propagación se ajustan para simplificar el uso en aplicaciones de alta frecuencia. El canal flotante puede ser usado para conducir un MOSFET o IGBT de potencia de canal N en la configuración de lado alto que opera hasta 600V.



Fuente: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IR2112-DS-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c81cb71685

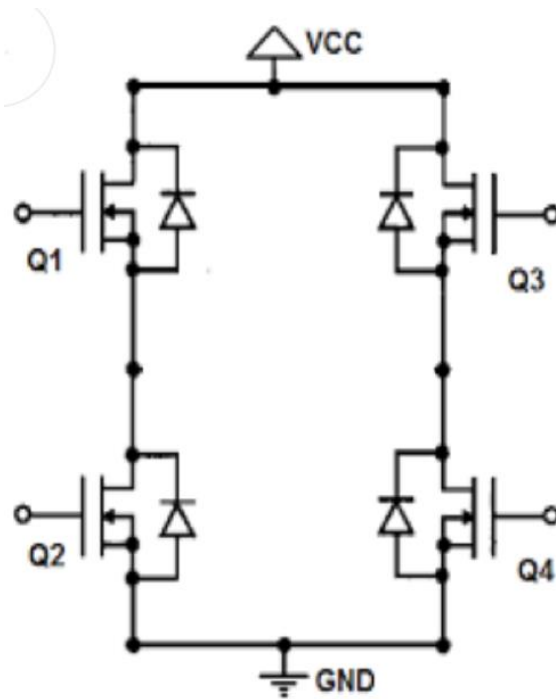
Figura 2-2. Diagrama de conexión driver IR2112

En el datasheet del driver se puede observar una configuración donde externamente se contempla un circuito Bootstrap. Este circuito contiene suficiente corriente para suministrar la salida del circuito que propulsará al HO mientras LO se encuentre apagado. Mientras LO se encuentre encendido y HO apagado el condensador de V_{cc} se encontrará cargando.

En el circuito Bootstrap se encuentra un diodo y unos condensadores que forman el circuito de arranque que son necesarios para el funcionamiento en una aplicación PWM. En la figura 2-2 se puede observar el circuito Bootstrap.

2.3 CONVERTIDOR

Se llama convertidor a un dispositivo que transforma o convierte la corriente continua de un voltaje a otro. Estas también son llamadas fuente conmutadas, dado que su voltaje en la salida puede ser regulada, pero a diferencia que la corriente es limitada. Se acostumbra en estos tipos de fuente en usar frecuencias más altas ya que posibilitan a disminuir los condensadores y se consigue un tamaño más reducido en comparación con las fuentes lineales. En la figura 2-3 se puede apreciar el esquema de un puente completo, compuesto por cuatro unidades de transistores MOSFET cada uno con un diodo de conexión inversa.



Fuente: http://www.revcolfis.org/publicaciones/vol40_1/4001160.pdf

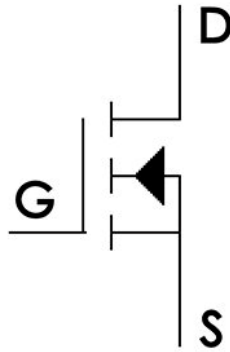
Figura 2-3. Puente completo conformado con MOSFET's

A diferencia de los transistores comunes los MOSFET tienen la característica de mejorar la eficiencia del puente H y su conmutación es de nanosegundos que eso facilita un mejor rendimiento en el circuito electrónico.

2.3.1 Características del MOSFET

Cuando se desea construir un circuito electrónico se debe ver las características de cada dispositivo para evitar accidentes y dañar al componente. El MOSFET posee tres terminales llamados Source (S), Drain (D) y Gate (G), es un interruptor controlado por voltaje.

MOSFET Canal N



Fuente: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-mosfet/>

Figura 2-4. Simbología del MOSFET

Características principales del MOSFET - IRF640

- Voltaje Drenador-Surtidor (V_{DS}): 200V
- Voltaje Compuerta-Surtidos (V_{GS}): $\pm 20V$
- Corriente Drenador (continua): 18A
- Corriente Drenador (pulsante): 72A
- Potencia total disipada: 125W

2.4 DISIPADORES DE CALOR

La mayor parte de los componentes que se encuentra en un circuito o en una placa suelen consumir corriente lo que se convierte en calor. Este calor no deber ser tan alta debido a que puede dañar o quemar los componentes. Dado que puede afectar en el funcionamiento del mismo, en el campo de la electrónica se encuentra dos categorías principales de disipadores.

- Disipadores activos: son aquellos que se encuentran en funcionamiento siendo los de rodamientos y motor los más comunes, se pueden encontrar en los computadores.
- Disipadores pasivos: a diferencia del activo este se encuentra quieto o sin movimiento también conocidos como componente mecanismos, y se emplean en la disipación de la energía térmica, se puede mencionar que tienen espacios entre ellos para que el aire pueda circular.

Unos de los materiales que se pueden encontrar en ellos son los de aluminios y cobre, estos cumplen la misma función, pero el de cobre tiene una conductividad térmica superior a la de aluminio, aunque es más costosa.



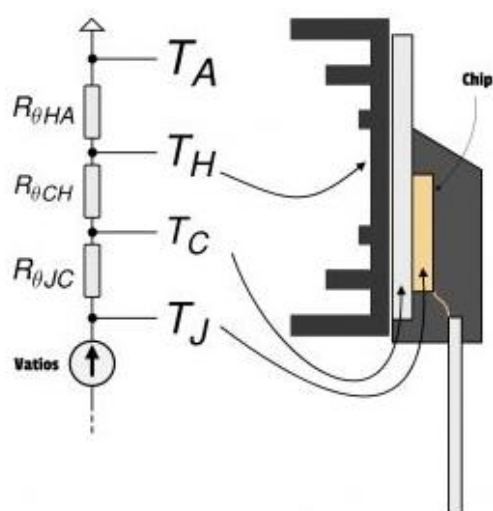
Fuente: <https://hardzone.es/tutoriales/rendimiento/tipos-disipadores-mejor/>

Figura 2-5. Disipadores de aluminio

2.4.1 Disipador de calor para MOSFET's

La temperatura máxima de juntura especifica por el fabricante del MOSFET's modelo IR640 es de 150°C. Se recomienda que para los dispositivos trabajen de una manera adecuada la temperatura de juntura tiene que ser un máxima de 150°C.

Donde se puede encontrar toda la información de los MOSFET's y otros componentes electrónicos es en el datasheet así elegir el disipador más adecuado.



Fuente: <https://www.laboratoriogluon.com/mosfet-de-potencia-calculo-de-disipador-y-temperaturas/>

Figura 2-6. Circuito equivalente

Lo más importante para el análisis de temperatura del MOSFET son los valores de la potencia máxima, la Operating Junction y Thermal Resistance, donde se pueden encontrar los parámetros de las resistencias $R_{\theta JC}$ y $R_{\theta JA}$.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T _C = 25 °C, unless otherwise noted)						
PARAMETER			SYMBOL	LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage			V _{DS}	200	V	
Gate-Source Voltage			V _{GS}	± 20		
Continuous Drain Current	V _{GS} at 10 V	T _C = 25 °C	I _D	18	A	
		T _C = 100 °C		11		
Pulsed Drain Current ^a			I _{DM}	72		
Linear Derating Factor				1.0	W/°C	
Single Pulse Avalanche Energy ^b			E _{AS}	580	mJ	
Repetitive Avalanche Current ^a			I _{AR}	18	A	
Repetitive Avalanche Energy ^a			E _{AR}	13	mJ	
Maximum Power Dissipation		T _C = 25 °C		P _D	125	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^c			dV/dt	5.0	V/ns	
Operating Junction and Storage Temperature Range			T _J , T _{stg}		-55 to +150	°C
Soldering Recommendations (Peak temperature) ^d		for 10 s			300	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw				10	lbf · in
					1.1	N · m

THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R _{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R _{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R _{thJC}	-	1.0	

Fuente: <https://www.vishay.com/docs/91036/sihf640.pdf>

Figura 2-7. Datasheets del MOSFET

Para saber si es necesario un disipador para el transistor de debe calcular la potencia disipada, entonces.

P = V * I

P = 5V * 4A

P = 20W

Con la potencia disipada se calcula la temperatura que puede llegar sin el disipador.

T = R_{θJA} * P

T = 62 °C/W * 20W

T = 1240°C

Si el MOSFET no llegara a tener un disipador, soportando 20W de potencia, en teoría su temperatura ascendería hasta los 1240°C por encima de la temperatura ambiente. Antes que llegue a esta temperatura se autodestruirá o en el peor caso explotaría. Con estos cálculos se desea demostrar que la temperatura debe estar por debajo de T_J máxima del datasheet 150°C. Como se encuentra por encima de la temperatura recomendada se debe usar un disipador.

Con los datos obtenidos del datasheet se puede calcular la temperatura de unión a partir de la suma de resistencias térmica. La ecuación de la temperatura es:

$$T_J = (R_{\theta JC} + R_{\theta CH} + R_{\theta HA}) * P + T_A$$

Donde:

- T_J = Temperatura de la unión.
- $R_{\theta JC}$ = Resistencia térmica unión-capsula.
- $R_{\theta CH}$ = Resistencia térmica capsula-radiador
- $R_{\theta HA}$ = Resistencia térmica radiador-ambiente.
- P = Potencia.
- T_A = Temperatura ambiente.

La resistencia térmica capsula-radiador ($R_{\theta CH}$) es difícil de estimar ya que depende de la calidad entre el capsulado y el radiador.

- Si el MOSFET se encuentra unido con el disipador sin pasta térmica, $R_{\theta CH}$ se puede aproximar entre 1 y 2 °C/W.
- Por el contrario, si entre el MOSFET y el disipador se encuentra pasta térmica el $R_{\theta CH}$ estaría entre 0,2 a 0,6 °C/W.

Los valores de la potencia y la temperatura de la unión se mencionan en la hoja de datos del fabricante, se asumirá que no tendrá pasta térmica y el $R_{\theta CH}$ será el número del al medio para tener un aproximado de esta manera se podrá despejar la incógnita faltante que es $R_{\theta HA}$. Se debe tener presente que el valor de T_J más baja sea su temperatura el componente durara más. En el IRF640 el máximo de temperatura es de 150°C pero por su seguridad habrá un margen que no sobrepase los 100°C.

La ecuación despejada seria:

$$R_{\theta HA} = (T_J - T_A) / P - R_{\theta JC} - R_{\theta CH}$$

$$R_{\theta HA} = (100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) / 20\text{W} - 1^\circ\text{C/W} - 1,5^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\theta HA} = 3,75^\circ\text{C/W} - 2,5^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\theta HA} = 1,25^\circ\text{C/W}$$

Con los datos obtenidos anteriormente se busca un disipador con las características necesarias para reducir la temperatura. Se puede calcular R_θ que nos sirve como referencia, aunque no se debe dejar de usar las curvas características. Si se agregara un ventilador el rendimiento podría mejorar y baja R_θ del disipador.

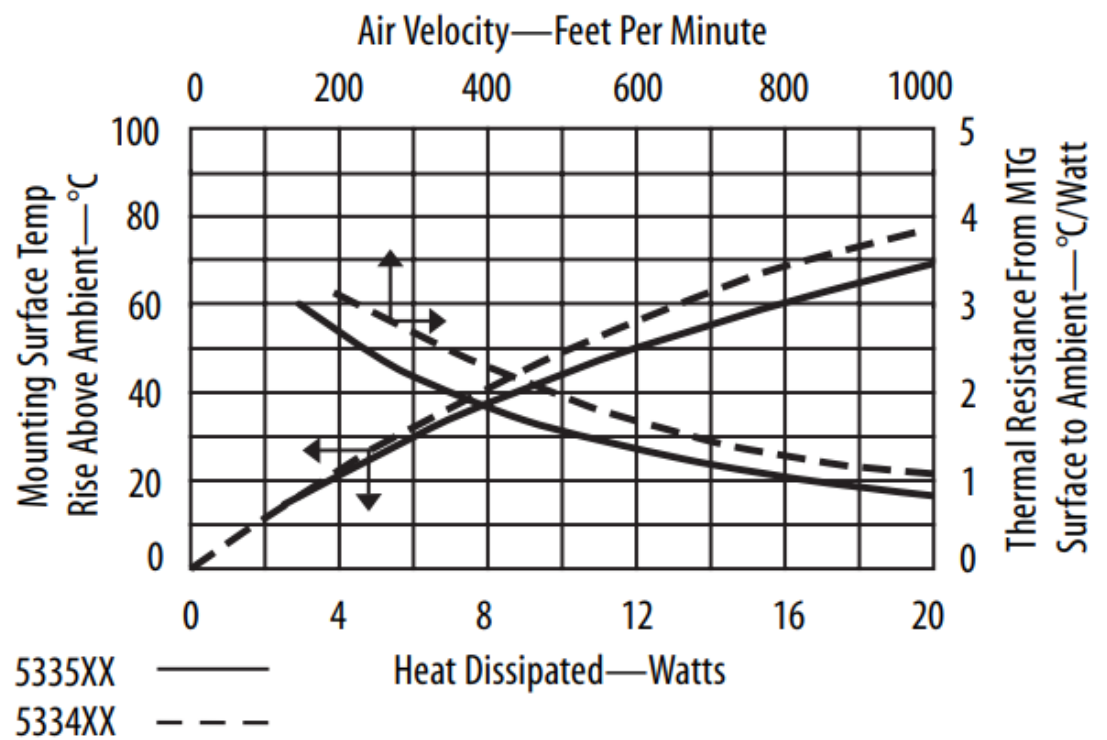


Fuente: <https://docs.rs-online.com/287f/0900766b814f4967.pdf>

Figura 2-8. Disipador del datasheet

Observando por internet se concluyó que en las gráficas tienen el mismo aspecto, donde se encuentra:

- La temperatura de la superficie de montaje aumenta por encima de la temperatura ambiente - °C.
- Calor disipado - Watt.
- Velocidad del aire - Pies por minuto.
- Resistencia térmica de la superficie del MTG al ambiente - °C/W



Fuente: <https://docs.rs-online.com/287f/0900766b814f4967.pdf>

Figura 2-9. Grafico del disipador

Del fabricante RS Components Ltd. se usará el disipador de calor, 4,5°C/W de la serie 5335XX (línea continua). La disipación del transistor es de 20W por lo cual mirando el grafico (ejes izquierdo e inferior) de la figura 2-9 la temperatura llegaría hasta los 70°C donde:

$$R_{\theta} = 70/20$$

$$R_{\theta} = 3,5^{\circ}\text{C/W}$$

Que es superior a la resistencia térmica que se necesita de 1,25°C/W por lo cual el disipador no permite cumplir los 100°C de T_J . Para este caso se podría colocar una fuente de aire al disipador el cual permite cumplir con $R_{\theta HA}$.

Analizando el grafico de la parte superior y el de la derecha se puede concluir que los 200 pies por minutos pueden ayudar al disipador que baje su temperatura ya que su resistencia térmica es de 1°C/W.

Con los resultados obtenidos se puede analizar tres aspectos fundamentales en estos casos serian:

- Sin disipador: $T_J = 1240 + 25 = 1265^{\circ}\text{C}$.
- Con disipador: $T_J = (1 + 1,5 + 3,5) * 20 + 25 = 145^{\circ}\text{C}$
- Con disipador con aire a 200 ft/min: $T_J = (1 + 1,5 + 1) * 20 + 25 = 95^{\circ}\text{C}$

2.5 TRANSFORMADOR DE ALTA FRECUENCIA

A diferencia del resto de componentes electrónicos los transformadores no siempre están disponibles en el mercado y los que se asemejan al funcionamiento que se busca se debe adquirir desde China lo que significa retrasos en el circuito final. Cuando se diseña un transformador de alta frecuencia, es necesario considerar las etapas nombradas:

- Especificaciones de diseño.
- Cálculo del número de vueltas del devanado primario.
- Cálculo del número de vueltas del devanado secundario.

2.5.1 Cálculo del número de vueltas de los devanados

Una de las ventajas de los transformadores de frecuencia a diferencia de los otros nombrados anteriormente es que están diseñados para ocupar un espacio reducido con esto se logra que las fuentes conmutadas sean cada vez más pequeñas, considerando que se debe evitar la saturación del núcleo y la pérdida excesivas.

En este punto, se seleccionó un núcleo ETD 39/20/13 del tipo de material N27 de la empresa TDK Corporation. Las características se encuentran en el datasheet de este se puede extraer los siguientes parámetros:

- $A_e = 125 \text{ mm}^2$
- $B_{SAT} = 320 \text{ mT}$

Con estos datos se puede calcular las espiras del primario del transformador N_1 :

$$N_1 = \frac{1000^2 * V_i}{4 * B_{SAT} * f * A_e}$$

Donde V_i es la tensión de entrada del primario del transformador, f es la frecuencia que se usara, A_e es la Área efectiva y B_{SAT} es la densidad de flujo de saturación del núcleo.

$$N_1 = \frac{1000^2 * 20}{4 * 0,32 * 25000 * 125}$$

$$N_1 = 5 \text{ (vueltas)}$$

El voltaje de la entrada del transformador es de 20V y el volteje de salida es de 5V si se divide 20/5 da una relación de 4. Si la relación del transformador es $N_2 / N_1 = 4$ entonces:

$$N_2 = 4 * N_1$$

$$N_2 = 4 * 5$$

$$N_2 = 20 \text{ (vueltas)}$$

Con los datos obtenidos anteriormente se puede calcular los centímetros que serán necesarios para envolver el primer y segundo devanado. Con la hoja técnica del transformador se menciona que cada vuelta tendrá un largo de 9 cm, eso quiere decir que el primer devanado tendrá un cable de 45 cm de longitud y el segundo devanado de 180 cm.

2.5.2 Calibre del cable

En el catálogo del fabricante CENTELSA se menciona un cable que soporte la corriente necesaria para el transformador con una pequeña tolerancia en caso de un alza. Se escoge AWG 17 ya que a una temperatura de 155°C tiene unca capacidad de 6,8A y a 200°C y tiene una capacidad de 10A.

Calibre	Alambre Desnudo		Capa Sencilla ⁽¹⁾			Capa Doble			Máxima Tensión de Embobinado ⁽²⁾	Resistencia D.C. a 20°C	Capacidad de Corriente ⁽³⁾ (A)	
	Diámetro Nominal	Peso Total Aprox.	Mínimo Incremento	Máximo Diámetro	Longitud Aproximada	Mínimo Incremento	Máximo Diámetro	Longitud Aproximada			155°C	200°C
AWG	mm	kg/km	mm	mm	m/kg	mm	mm	m/kg	kg	Ohm/km		
17	1,151	9,25	0,036	1,207	106,9	0,071	1,240	105,9	6,22	16,57	6,8	10

Fuente: <https://www.centelsa.com.co/archivos/c3956452.pdf>

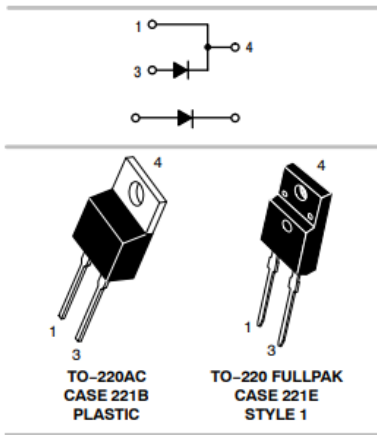
Figura 2-10. Características alambre magneto redondo

2.6 RECTIFICADORES DE POTENCIA

Los rectificadores ultrarrápidos de potencia son dispositivos de última generación diseñados para su uso en fuentes de alimentación conmutadas, inversores y otras cosas. Para el desarrollo del circuito se implementará el diodo MUR820 que tiene las siguientes características.

- Tiempo de recuperación ultrarrápido de 25 y 50 nanosegundos.
- 175°C Temperatura de la unión operativa.
- Corriente de fuga baja.
- Corriente de hasta 8A.
- Voltaje de hasta 200V.

A continuación, se presenta en la figura 2-11 la simbología y el diseño del diodo.

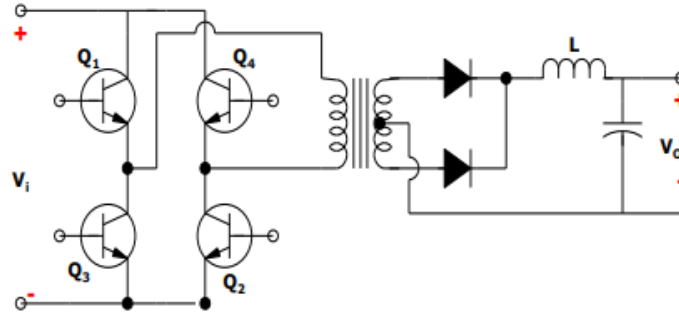


Fuente: <https://www.alliedelec.com/m/d/3378f49b94eddd20e86b79eda59b95ec.pdf>

Figura 2-11. Simbología y diseño

2.7 FILTRO

Utilizando el esquema simplificado del Full Bridge se realiza un análisis con respecto a la corriente en el inductor, dentro de los intervalos en los que funciona la batería.



Fuente: elaboración propia, realizada en easyeda

Figura 2-12. Esquemático Full Bridge

Se menciona que $V_I = V_{In}$

Con Q1 y Q2 $\longrightarrow$ ON, Q3 y Q4 $\longrightarrow$ OFF, en el intervalo $(0 < t < T_{ON})$ y V_O se tiene:

$$-V_{In} + V_L + V_O = 0$$

$$V_L = V_{In} + V_O$$

En donde $t_o = 0$ y $t = T_{ON}$, de manera se obtiene que:

$$i_L = \frac{1}{L} * \int_{t_o}^{T_{ON}} (V_{In} - V_O) dt = \frac{1}{L} * (V_{In} - V_O) * \int_{t_o}^{T_{ON}} dt$$

$$i_L = \frac{1}{L} * (V_{In} - V_O) * T_{ON}$$

Donde los voltajes de entrada y salida son constantes y están dados por:

- $V_I = 20V$
- $V_O = 5V$

Observando la forma de onda de la figura 2-12 se puede concluir que para i_L el intervalo $(0 < t < T_{ON})$ se demuestra que conforme avanza el tiempo, i_L aumenta su valor.

Con Q1 y Q2 $\longrightarrow$ OFF, Q3 y Q4 $\longrightarrow$ ON, en el intervalo $(0 < t < T_{ON})$ y V_O se tiene:

$$V_L + V_O = 0$$

$$V_L = -V_O$$

En donde $t_o = T_{ON}$ y $t = 0$, de manera se obtiene que:

$$i_L = \frac{1}{L} * \int_{T_{ON}}^{T_{SW}} (-V_O) dt = \frac{1}{L} * (-V_O) * \int_{T_{ON}}^{T_{SW}} dt$$

$$i_L = \frac{1}{L} * (-V_O) * (T_{SW} - T_{ON})$$

Observando la forma de onda de la figura 2-12 se puede concluir que para i_L el intervalo ($T_{ON} < t < T_0$) se demuestra que conforme avanza el tiempo, i_L disminuye su valor.

Para obtener la función de transferencia se debe igual las corrientes obtenidas anteriormente cara cada uno de los intervalos de tiempo ($0 < t < T_{ON}$) y $0 < t < T_{ON}$)

$$\left| \frac{1}{L} * (V_{IN} - V_O) * T_{ON} \right| = \left| \frac{1}{L} * (-V_O) * (T_{SW} - T_{ON}) \right|$$

En el mundo de las ingenieras del campo de la electrónica existe un término llamado ciclo de trabajo designado por la letra que lo representa D (Duty Cycle) que es la relación entre el tiempo en que la señal activa y su periodo. Su valor está dado por ($0 < D < 1$), su expresión es:

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{SW}} = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}}$$

Despejando la expresión anteriormente se llega a $T_{ON} = D * T_{SW}$ y $T_{OFF} = (1 - D) * T_{SW}$ se reemplaza:

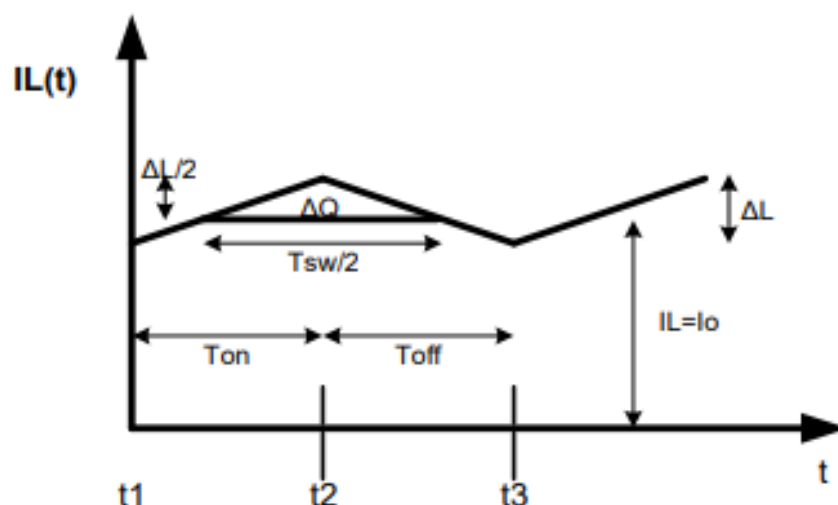
$$\left| \frac{1}{L} * (V_{IN} - V_O) * T_{ON} \right| = \left| \frac{1}{L} * (-V_O) * (T_{SW} - T_{ON}) \right|$$

$$\left| \frac{1}{L} * V_{IN} * T_{ON} - \frac{1}{L} * V_O * T_{ON} \right| = \left| -\frac{1}{L} * V_O * T_{SW} + \frac{1}{L} * T_{ON} * T_{ON} \right|$$

$$\frac{1}{L} * V_{IN} * T_{ON} = \frac{1}{L} * T_{ON} * \frac{T_{ON}}{D}$$

$$V_{IN} = V_O * \frac{1}{D}$$

$$V_O = V_{IN} * D$$



Fuente: elaboración propia, realizada en word

Figura 2-13. Forma de onda del inductor

Se desea que el circuito empiece a funcionar cuando se encuentre al 10% de su potencia máxima, es decir $P_{min} = 0,1 * 20 = 2W$. Con este cálculo el promedio de la corriente se considera como:

Usando el dato anteriormente, $T_{OFF} = (1 - D) * T_{SW}$

$$I_{O \min} = \frac{P_{\min}}{V_O}$$

$$I_{O \min} = \frac{2}{5}$$

$$I_{O \min} = 0,4\text{A}$$

Entonces se calcula en valor del inductor (L) considerando que $i_L \geq 2 I_{O \min}$.

$$\frac{1}{L} * (V_{IN} - V_O) * T_{ON} \geq 2 * I_O$$

$$\frac{1}{L} * (V_{IN} - V_O) * D * T_{SW} = 2 * I_O$$

$$\frac{(V_{IN} - V_O) * D * T_{SW}}{2 * I_O}$$

$$L_{\min} = \frac{(V_{IN} - V_O) * D}{2 * I_O * f_{SW}}$$

Usando el dato anteriormente, $V_O = V_{IN} * D$

$$L_{\min} = \frac{(V_{IN} - V_{IN} * D) * D}{2 * I_O * f_{SW}}$$

$$L_{\min} = \frac{V_{IN} * (1 - D) * D}{2 * I_O * f_{SW}}$$

Despejando $V_O = V_{IN} * D$ se calcula:

$$D = \frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{5}{20}$$

$$D = 0,25$$

Con todos los valores, la inductancia es igual a:

$$L_{\min} = \frac{20 * (1 - 0,25) * 0,25}{2 * 0,4 * 25000}$$

$$L_{\min} = 187,5 \text{ uH}$$

Como criterio de selección ΔV_o valdrá el 1% del voltaje de salida. Los valores serán:

- $\Delta V_o = 0,01 * 5 = 5V$
- $V_o = 5V$
- $L = 187,5 \text{ uH}$
- $f_{sw} = 25 \text{ KHz}$
- $D = 0,25$

Para calcular el condensador se usa la siguiente ecuación.

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

Despejando el C de la ecuación se obtiene:

$$C = \frac{5V}{8 * 187,5 \text{ uH} * 0,05 * 25 \text{ KHz}^2} (1 - 0,25)$$

$$C = 80 \text{ uF}$$

CAPITULO 3: SIMULACION DEL FULL BRIGDE EN PROTEUS

3.1 ANALISIS DEL CIRCUITO

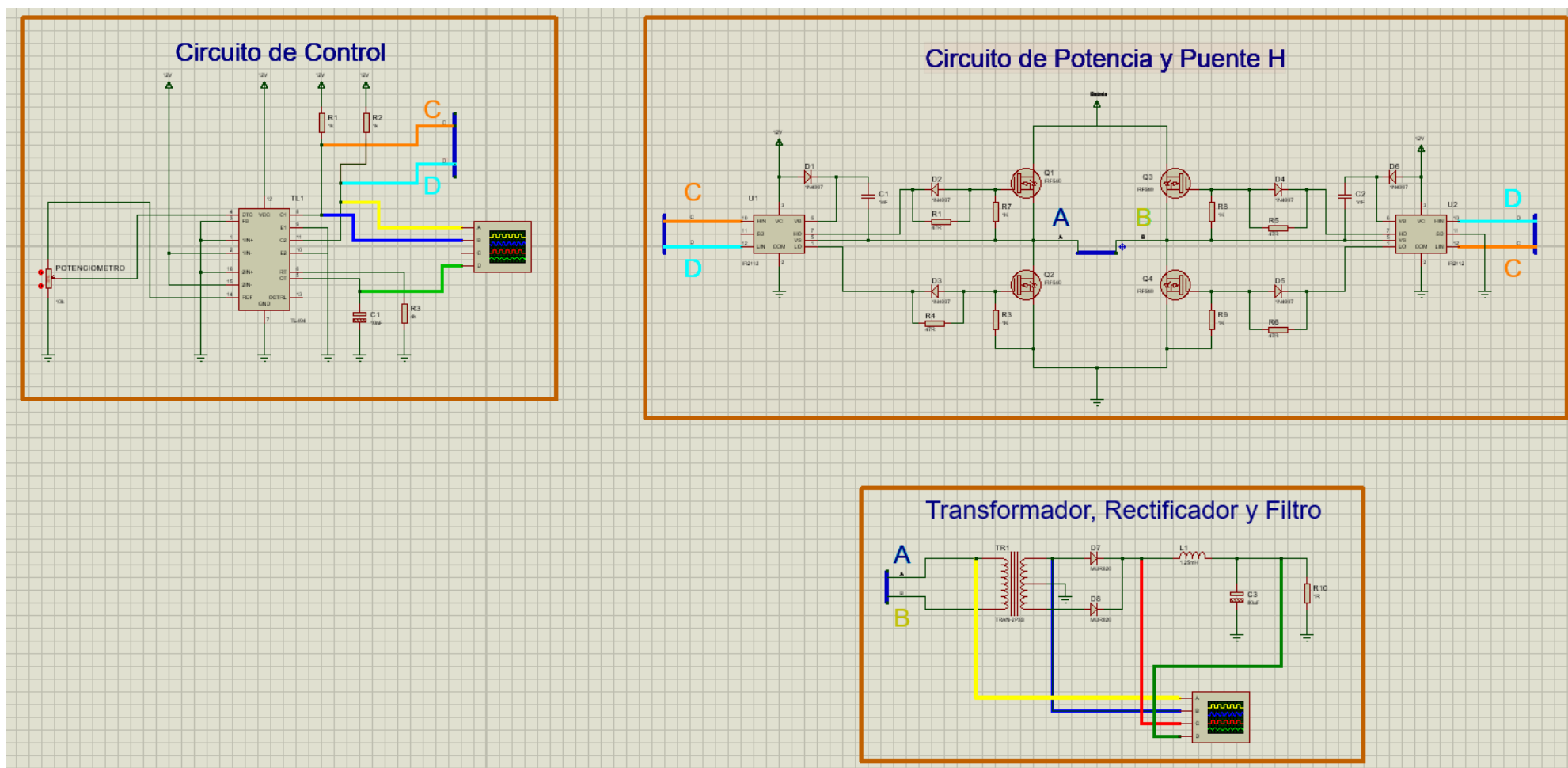
En la figura 3-1 se puede observar el circuito completo dividido en tres partes para un mejor entendimiento donde en la parte izquierda se encuentra el circuito de control que es el encargado de producir un tren de pulsos en su salida a través del PWM que se controla desde un potenciómetro que a la vez logra variar la corriente en la salida del circuito. En la simulación se colocó un osciloscopio donde cada salida tiene un color diferente para identificar la forma de onda.

- Color amarillo: tren de pulso del pin 11.
- Color azul: tren de pulso del pin 8.
- Color verde: onda de rampa del condensador.

En el segundo circuito llamado circuito de control y puente h, el IR2112 es el encargado de activar y desactivar los MOSFET gracias a unos componentes que se encuentran entre el driver y el transistor que fueron explicados en el capítulo dos. Los dos drivers tienen a sus entradas un bus conectado entre sí que se identifican por la letra C y D, la letra C se activa o desactiva al mismo tiempo cuando le llega un 1 o un 0 de igual manera con la letra D.

En el recuadro de abajo llamado transformador, rectificador y filtro se encuentran unidos por una letra que se identifican como A y B donde la salida del puente h y la entrada primaria del transformador se encuentran unidas. Se conecta un osciloscopio para lograr visualizar las formas de onda donde las líneas se encuentran identificadas de un color específico, este color es el mismo de la forma de onda de esa manera se identifica donde se generan.

- Color amarillo: onda de la conmutación de los MOSFET.
- Color azul: onda de la salida del transformador.
- Color rojo: onda rectificada luego de salir por los diodos.
- Color verde: onda continua de la salida.

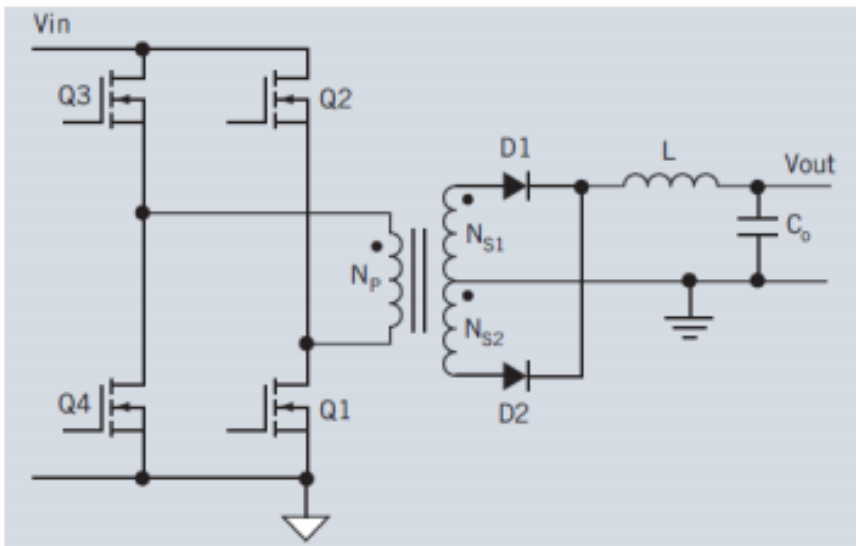


Fuente: elaboración propia, realizada en el proteus

Figura 3-1. Simulación en el Proteus

3.2 FUNCIONAMIENTO FULL BRIDGE

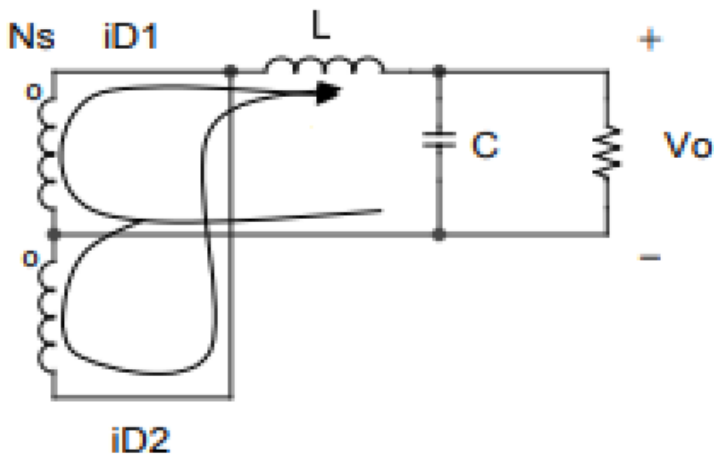
En la primera etapa, los transistores Q3 y Q1 permanecerán activo. Por tanto, el diodo D1 también se encontrará conduciendo corriente por el inductor L y a su vez cargando el condensador C que entrega tensión a la resistencia (carga). El diodo D2 no conduce corriente debido que se encuentra polarizado inversamente.



Fuente: https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_6.html

Figura 3-2. Esquema del conversor Full Bridge

En la segunda etapa los transistores (Q1, Q3 y Q2, Q4) se colocan a trabajar mediante pulsos y estos se encuentran desfasados 180°. Llega un momento que ningún transistor se encuentra en funcionamiento y es cuando el inductor (L) empieza a funcionar con el objetivo de mantener el flujo de corriente circulante y el condensador se empieza a descargar para poder alimentar a la carga. Como las bobinas tienen el mismo número de vueltas la corriente se reparte de forma iguales por cada una de ellas y por ello la tensión en ambos secundarios es cero, la cual se puede observar en la figura 3-3.



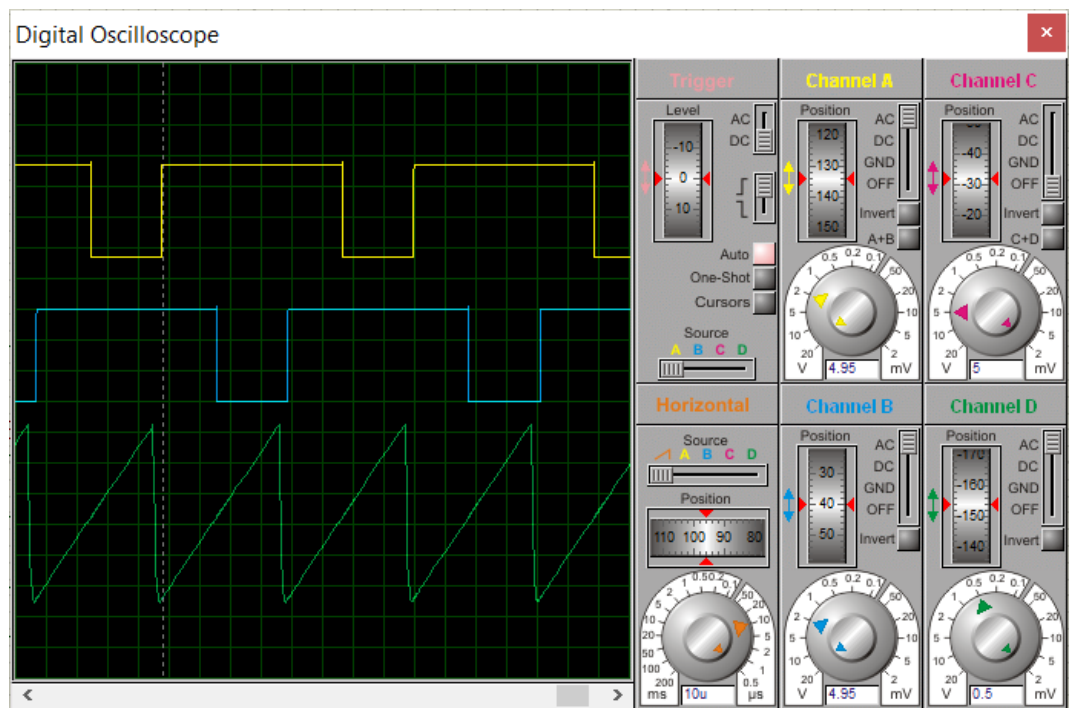
Fuente: <http://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/conpot/Documentos/M2.MonografiaConvertidorCCCC.pdf>

Figura 3-3. Circuito convertidor con transistores en OFF

3.3 TL494

Como se comentó en el capítulo dos el modulador TL494 genera una señal PWM donde el pin 5 genera un diente de sierra y el pin 3 se conecta a tierra (FeedBack). Cuando el voltaje es superior a 0V que corresponde a FeedBack el modulador activaría los dos transistores internos y se genera un tren de pulsos que no superara el diente de sierra.

En la figura 3-4 se puede observar las formas de ondas que se muestra en el osciloscopio donde la salida de los pines 8 y 11 se encuentran desfasadas uno respecto al otro, además en color verde se encuentra el diente de sierra que corresponde a la salida del condensador que corresponde al pin 5.

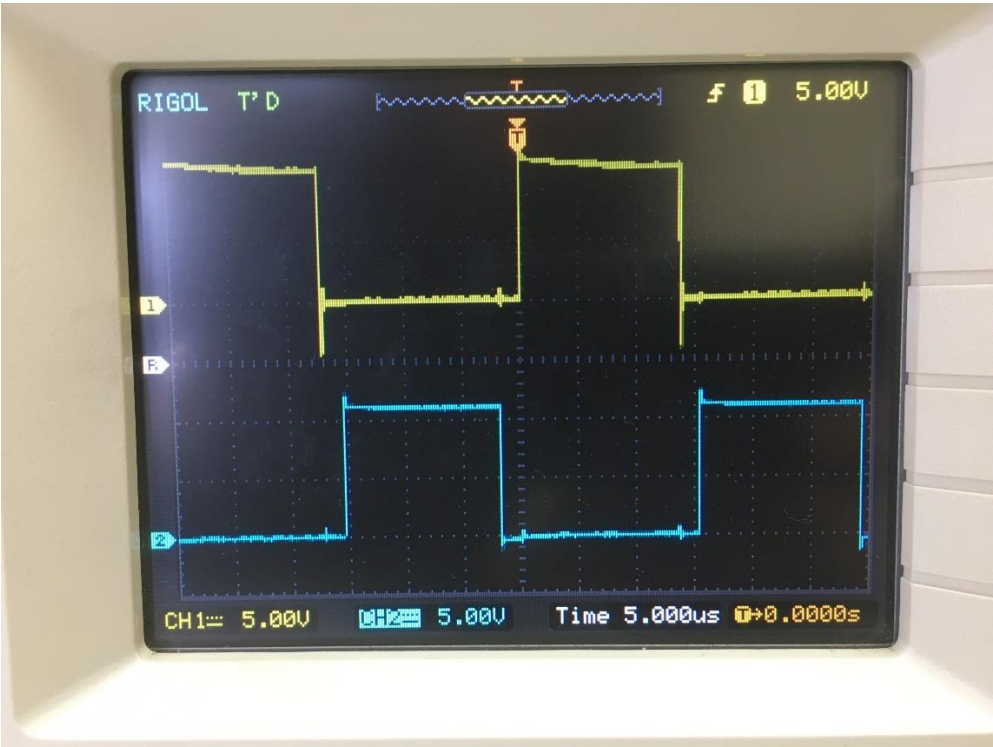


Fuente: elaboración propia, realizada en proteus

Figura 3-4. Formas de onda del TL494

El TL494 posee dos amplificadores de error que si fuera necesario se podría limitar la tensión y la corriente en la salida del circuito, que en este caso, se prefirió conectarlo a tierra y con el mismo potenciómetro variar la salida de forma independiente.

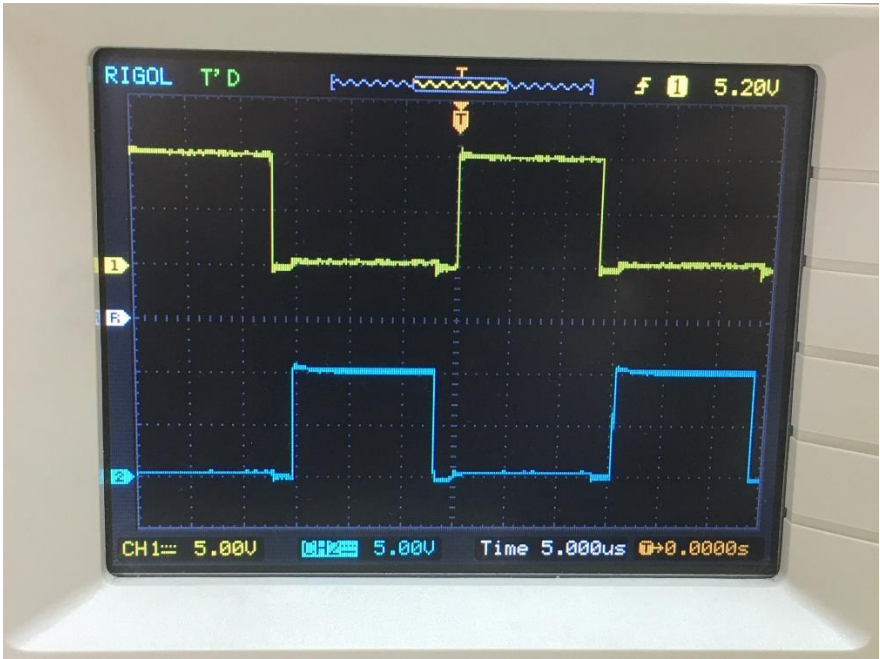
En las instalaciones de la universidad se armó el circuito de control y de potencia conectados al puente H de los MOSFET's logrando un tren de pulsos desfasados una de la otra. Se puede observar en la figura 3-5 con algo de ruido.



Fuente: elaboración propia, realizada en la universidad

Figura 3-5. Formas de onda con ruido

Para eliminar este ruido se incorporó un condensador electrolítico para logra filtrar la señal generada.

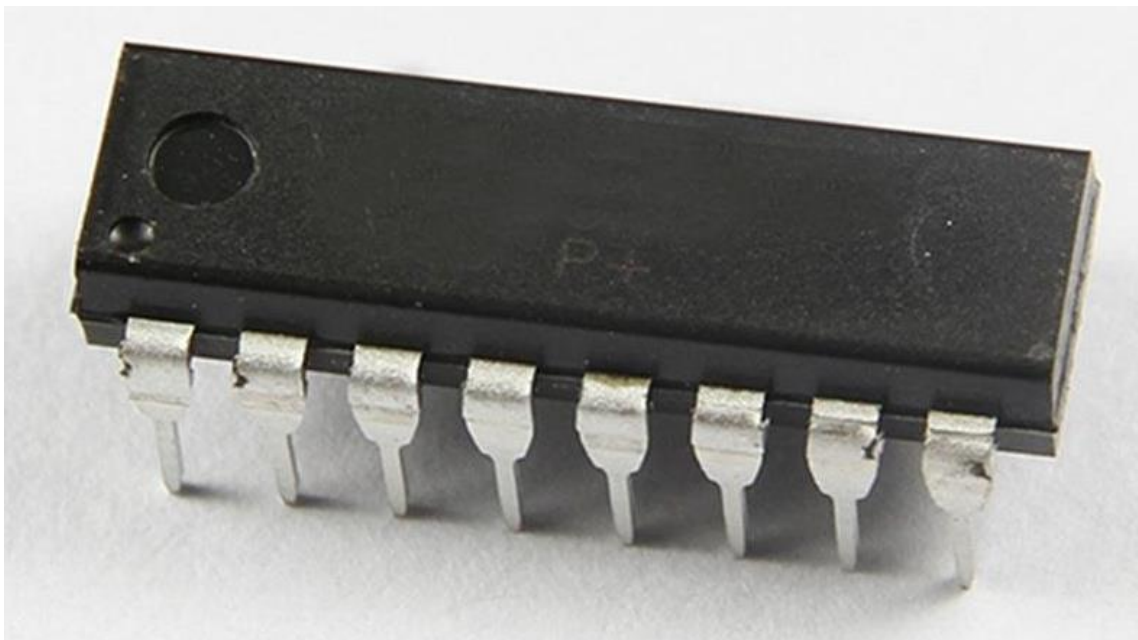


Fuente: elaboración propia, realizada en la universidad

Figura 3-6. Formas de onda con menos ruido.

3.4 IR2112

Uno de los inconvenientes del TL494 es que la corriente que entrega en su salida no es lo suficiente para lograr disparar a los MOSFET's por eso se debe conectar un IR2112. Este integrado está diseñado para un medio puente debido a eso se usan dos IR2112 en el circuito de esa manera logran controlar cuatros MOSFET's, se puede mencionar que el driver está diseñado para trabajar con corrientes y tensiones más elevadas, así lograr un mejor desempeño en el circuito.



Fuente: <https://www.amazon.es/5PCS-IR2112-1-MOSFET-14-DIP-IR2112/dp/B017FXZ7W0>

Figura 3-7. Circuito integral IR2112

En la figura 3-1 se observa un circuito llamado circuito de potencia y puente h donde el circuito integrado IR2112 tiene a su salida componentes que hacen el trabajo de “circuito de arranque” y “on/off en los MOSFET”.

El D1 y C3 junto con el IR2112 forman el circuito de arranque. Cuando LIN = 1 y Q2 se encuentran en funcionamiento el condensador C3 se encuentra cargándose con respecto al VB del pin 6. Cuando LIN = 0 e HIN = 1 el condensador C3 se encuentra cargándose con respecto al VB. Se recomienda elegir una capacitancia lo suficiente grande para que el condensador C3 pueda suministrar la tensión necesaria para mantener al MOSFET encendido con el tiempo.

En la hoja de datos se puede encontrar un ejemplo de un diseño que el condensador C3 es de 0,1uF. Los D2 y D3 son los encargados de descargar la capacitancia de la puerta del transistor, sin pasar por las resistencias de la puerta lo que conlleva a un menor tiempo de apagado. Donde las resistencias R4 y R5 poseen la función de limitar la corriente a la puerta.

3.4.1 CONSIDERACIONES DEL IRF640

Cuando un transistor está unido a un disipador la compuerta Drain se encuentra eléctricamente unida al disipador lo que puede provocar un cortocircuito si dos transistores o disipadores se llegaran a tocar. Para evitar algún daño al componente o al circuito entre el disipador y el MOSFET se coloca una lámina de plástico.



Fuente: elaboración propia, realizada en la universidad

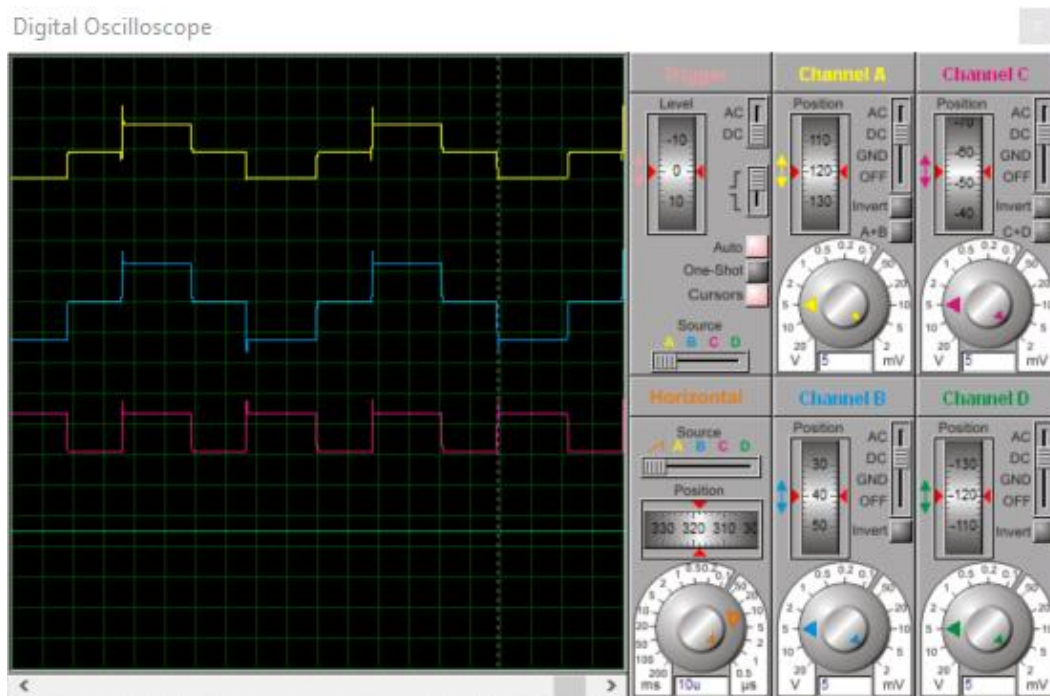
Figura 3-8. Transistor con disipador

3.5 TRANSFORMADOR, RECTIFICADOR Y FILTRO

Como se pudo observar en el capítulo dos el transformador es uno de pulso que tiene la cualidad que trabaja a altas frecuencias. En esta simulación se encuentra trabajando a 25 KHz que fue una frecuencia que el osciloscopio permite visualizar sin ningún problema.

A la salida del transformador tiene dos diodos ultrarrápidos en paralelo que son para la recuperación; tienen la cualidad de soportar corrientes elevadas y respuestas de conmutación rápidas.

Se puede observar en la figura 3-9 las formas de ondas de la tercera etapa donde se encuentran cuatro colores diferentes, el primero es el amarillo donde muestra una onda del primario del transformador la que se produce por la conmutación de dos MOSFET, el color azul es la parte secundaria del transformador con su parte positiva y negativa, luego de pasar por los diodos se rectifica y se produce una onda cuadrada de color rojo y por ultimo de color verde una onda continua.

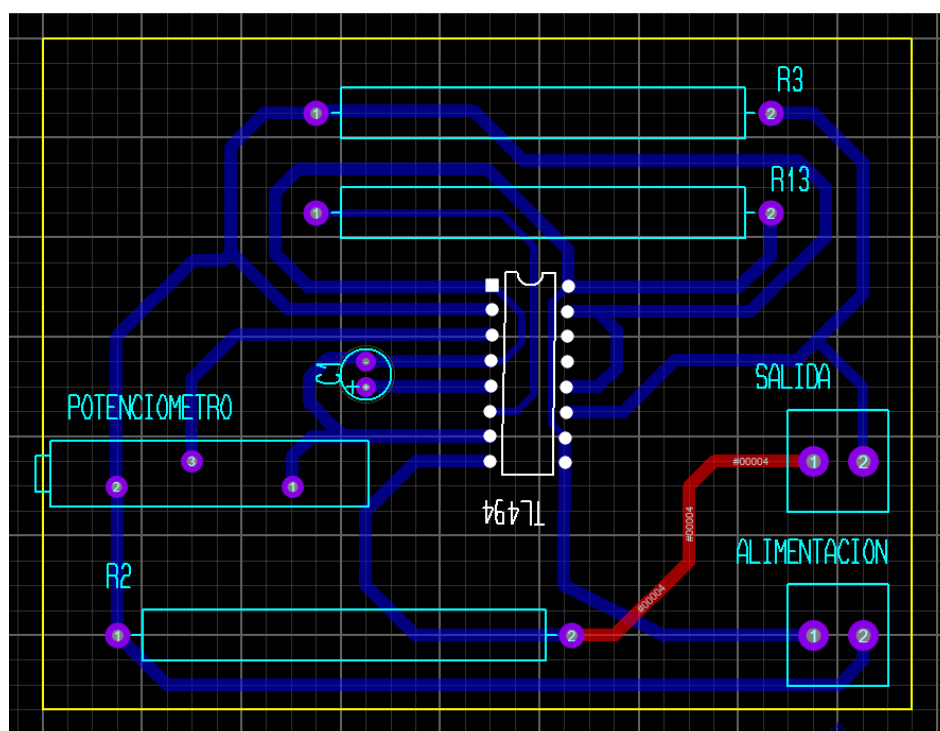


Fuente: elaboración propia, realizada en proteus

Figura 3-9. Formas de ondas del Transformador, rectificador y salida

3.6 SCHEMATIC CAPTURE TL494

También conocido como captura esquemática es utilizado en la simulación en los diseños para la fase de un proyecto electrónico de PCB. En la figura 3-10 se puede observar dos colores azul y rojo que son las pistas donde circula la corriente de un componente a otro, la azul es por una cara y la roja por la otra cara.

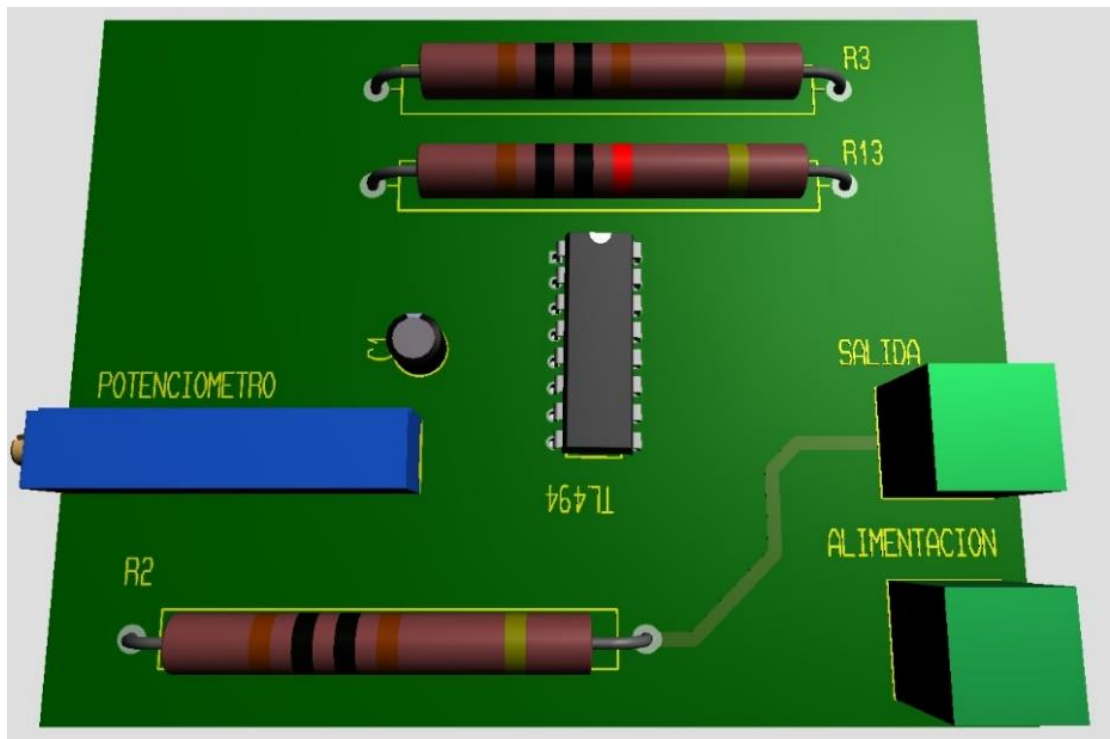


Fuente: elaboración propia, realizada en proteus

Figura 3-10. Captura esquemática TL494

3.8 PCB LAYOUT TL494

Al terminar el diseño de la captura esquemática se puede obtener una imagen en tres dimensiones del diseño final en la pestaña 3D Visualizer, donde se permite ver el resultado del trabajo realizado.



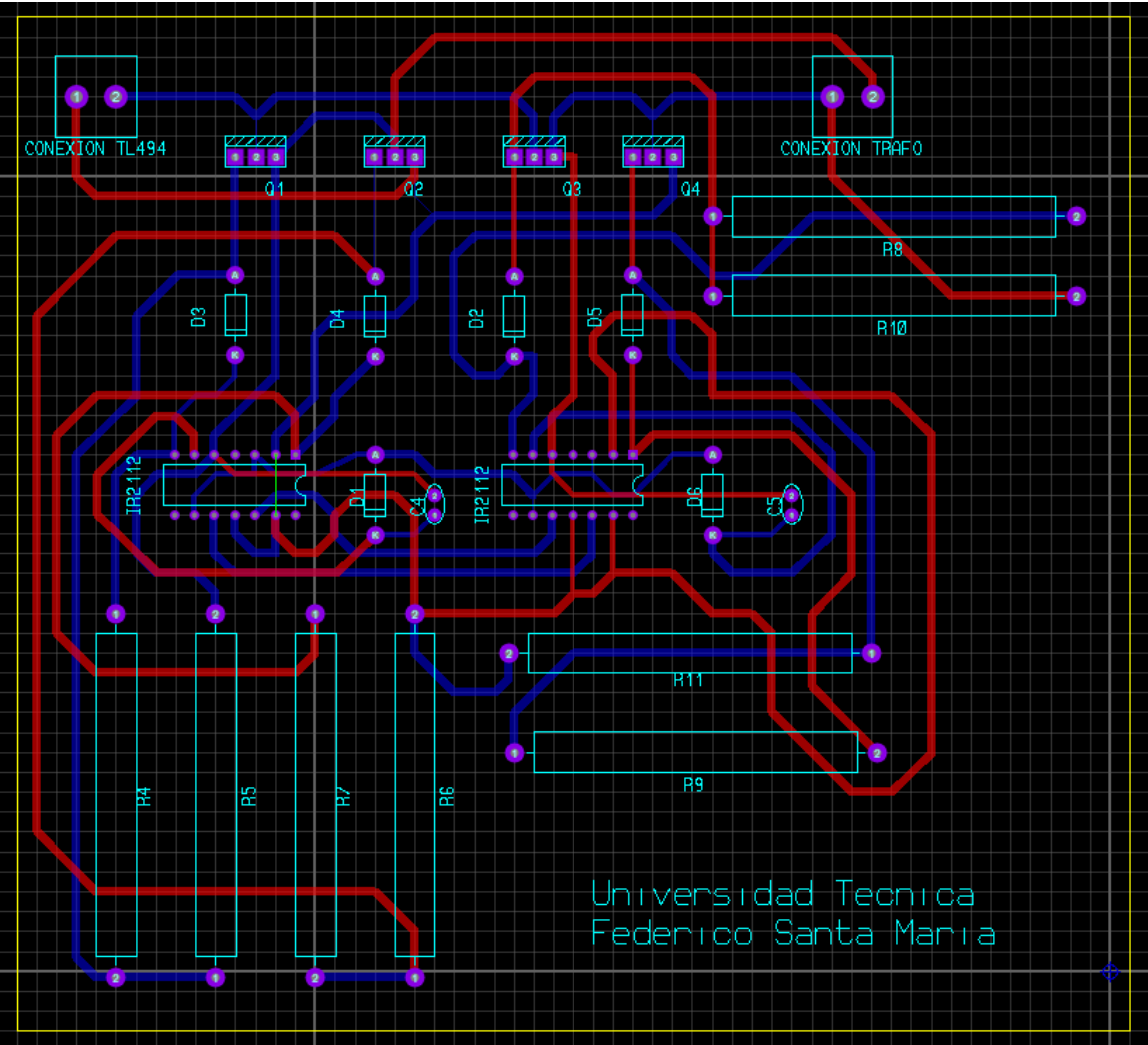
Fuente: elaboración propia, realizada en proteus

Figura 3-11. Diseño PCB del TL494

En la figura 3-11 corresponde a una placa de doble faz donde la única pista que se observa corresponde a la de color rojo y las pistas de color azul se encuentran por el otro lado, se hizo de esta manera debido que la pista roja se encontraba pasando por encima de las pistas azules, así se evito un cortocircuito o que se dañara un componente

3.9 SCHEMATIC CAPTURE Y PCB LAYOUT

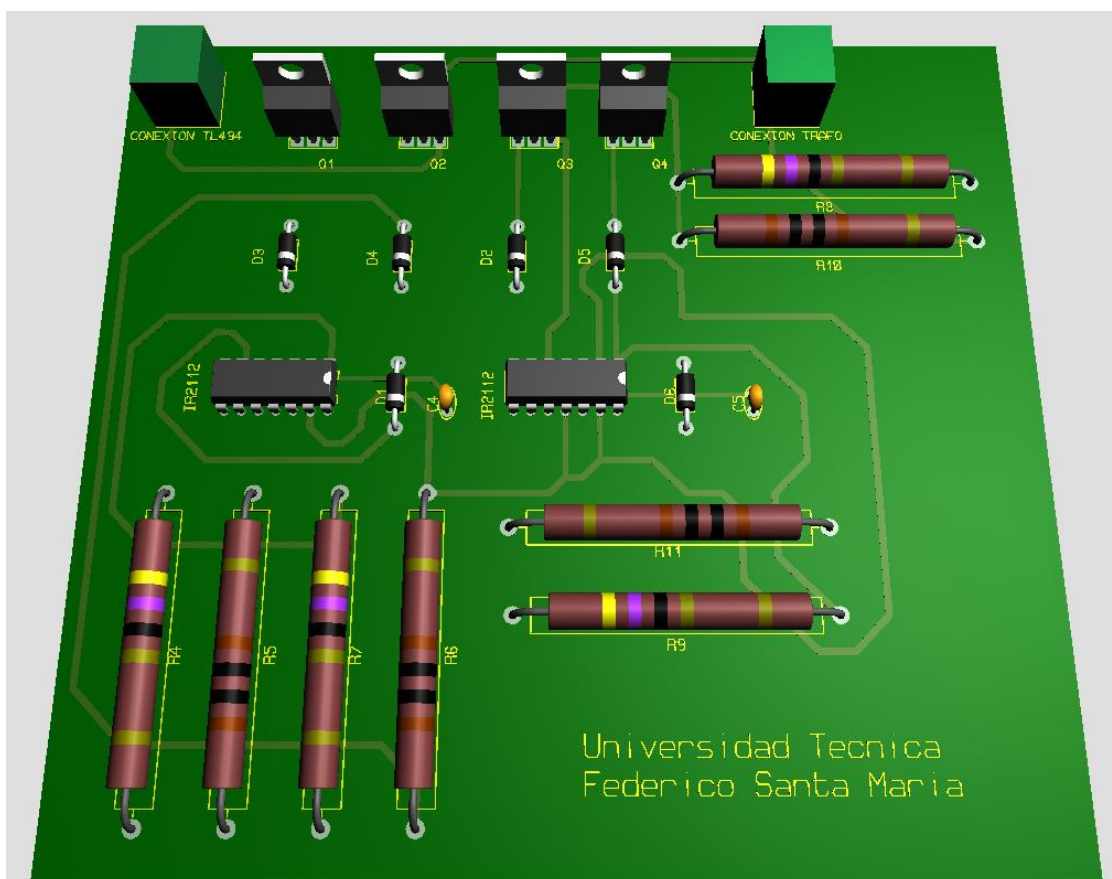
Se puede ver la representación de la figura 3-9 del circuito IR2112 con puente H donde se usan dos caras representadas en azul y rojo. En schematic capture se puede cambiar el grosor de las pistas por lo cual a una mayor corriente la pista es más gruesa, la distancia entre cada pista es con respecto a la tensión, como se trabaja con corriente continua la distancia entre cada pista es irrelevante.



Fuente: elaboración propia, realizada en proteus

Figura 3-12. Captura esquemática IR2112 con puente H

En los circuitos de PCB se suele ver las esquinas en 45° y no el 90° esto debido que se puede generar o emitir interferencias en las señales de alta frecuencia, también se lee en los libros que es más difícil de mantener las puntas en el proceso de quemado con el ácido por lo cual afecta la impedancia de la misma.



Fuente: elaboración propia, realizada en proteus

Figura 3-13. Diseño PCB IR2112 con puente H

3.10 ANALISIS DE COSTOS

Para la realización del presente trabajo se mostrará el costo monetario asociado. Existen materiales que no se encuentran su valor debido que se debe enviar un correo a la empresa para cotizar el componente.

Se puede mencionar que el transformador y la bobina se deben fabricar por lo tanto no se encuentra su costo y tampoco el fabricante. En el capítulo dos se explica su diseño y los calculo que fue necesario para su construcción.

Los valores que se pueden observar en la tabla 3-1 se encuentran en unidad de fomento (UF), lo que corresponde al día miércoles 2 de septiembre del 2020 donde el valor es de CPL \$28.680.

Tabla 3-1. Materiales utilizados para el circuito

		VALOR UF		\$	28.680
Componentes	Cantidad	Precio (CLP)	Precio (UF)	Proveedores	
Alambre esmaltado AWG 17	1	-	-	ELECTRIGOM	
Bobina 1.25 mH	1	-	-	ELECTRIGOM	
Condensador 1 nF	2	\$ 200	0,007	MercadoLibre	
Condensador 10 nF	1	\$ 480	0,017	Victronics	
Condensador 80 uF	1	\$ 600	0,021	Victronics	
Diodo 1N4007	6	\$ 5.820	0,2	MercadoLibre	
Diodo MUR820	2	\$ 7.000	0,24	MercadoLibre	
Driver IR2112	2	\$ 7.600	0,26	MercadoLibre	
MOSFET IRF640	4	\$ 4.800	0,17	MercadoLibre	
Placa de cobre 20x25 cm	3	\$ 5.970	0,21	Mechatronicstore	
Potenciómetro 10 Kohm	1	\$ 800	0,028	MercadoLibre	
PWM TL494	1	\$ 1.890	0,066	MercadoLibre	
Resistencia 1 Kohm - 1w	6	\$ 200	0,007	MercadoLibre	
Resistencia 1 ohm - 2w	1	\$ 100	0,0035	MercadoLibre	
Resistencia 4 Kohm - 1w	1	\$ 100	0,0035	MercadoLibre	
Resistencia 47 ohm - 1w	4	\$ 400	0,014	MercadoLibre	
Transformador ETD 39/20/13	1	-	-	-	
Total		\$ 35.960	1,247		

Fuente: elaboración propia, realizada en excel

3.10.1 Horas Hombres

También denominada mano de obra es la unidad de medida de estimación de cantidad de esfuerzo humano que es necesaria para finalizar la tarea.

Se considera una hora hombre, es igual al esfuerzo necesario para realizar una tarea la cual no es interrumpida en un trabajo. Para lograr el cálculo de horas-hombre del trabajo realizado se tomó como estimación de unas 60 horas trabajadas lo que se consideró en el laboratorio de la universidad y lo trabajado en casa.

Un Técnico Universitario en Electrónica al obtener cuatro años o más de experiencia tiene un valor hora de \$5.530, según la página mifuturo.cl. En la tala 3-2 se muestra el tiempo y el costo de construcción del circuito.

Tabla 3-2. Tiempo total con su respectivo costo asociado

Tarea	Tiempo (Hrs)	Costo asociado (CLP)	Costo asociados (UF)
Tiempo total	60	\$ 331.800	11,57

Fuente: elaboración propia, realizada en excel

CONCLUSION

En este proyecto se pudo aplicar los conocimientos adquiridos en los años de estudio de la carrera Técnico Universitario en Electrónica como Microcontroladores, Electrónica 2 y 3 además Maquinas Eléctricas por nombrar las más destacadas, a través de sus diversos talleres y competencias, lo que conlleva que el alumno pueda solucionar cualquier problema.

Dentro de las diferentes topologías se encuentra el Full Bridge (puente completo) siendo la más eficiente y la que entrega más potencia dentro de todas las fuentes conmutadas. Para lograr los resultados obtenidos el circuito se dividió en tres partes para detectar cualquier inconveniente durante el desarrollo y evitar el número de bus. Todo fue pensado para lograr un mejor desempeño como el uso de los disipadores y la protección a la salida.

Uno de los softwares que permitió el desarrollo y simulaciones fue Proteus que es un programa muy utilizado en la industria que permite tener una comparación de lo simulado con lo práctico así lograr un mejor desempeño. Se investigó en varias plataformas de internet de cómo usar las diferentes herramientas que entrega este programa sobre el desarrollo de la PCB y el esquemático. Se construye un circuito en la CNC de un puente H para evitar algún accidente en la protoboard

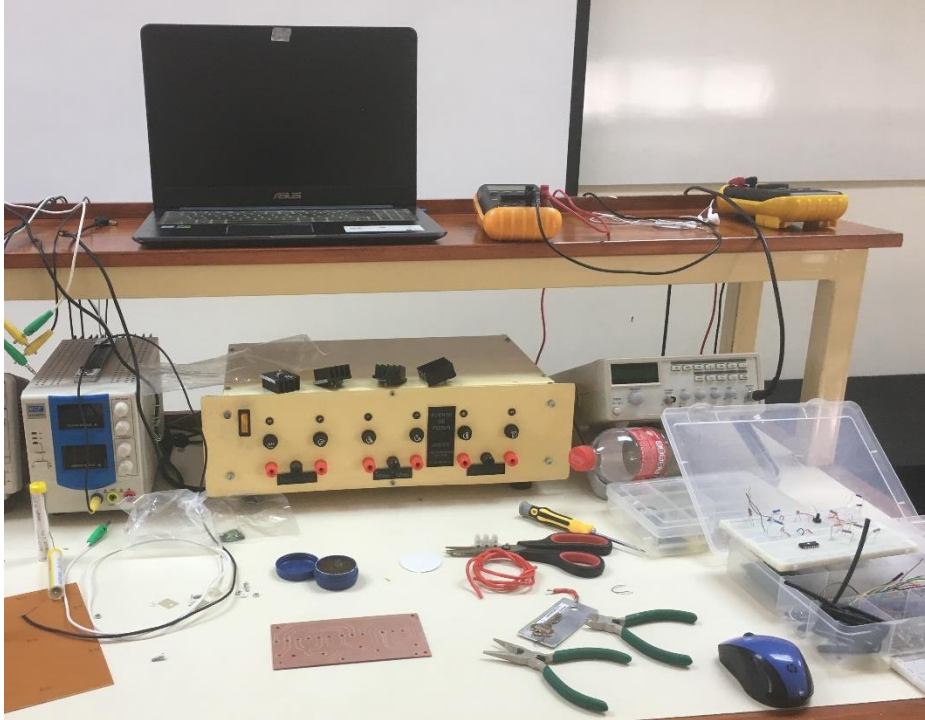
No se debe olvidar que la electrónica siempre se encuentra evolucionando por eso se debe estudiar las nuevas tecnologías que se desarrollan año tras año de esa forma el técnico podrá siempre aportar sus conocimientos.

BIBLIOGRAFIA

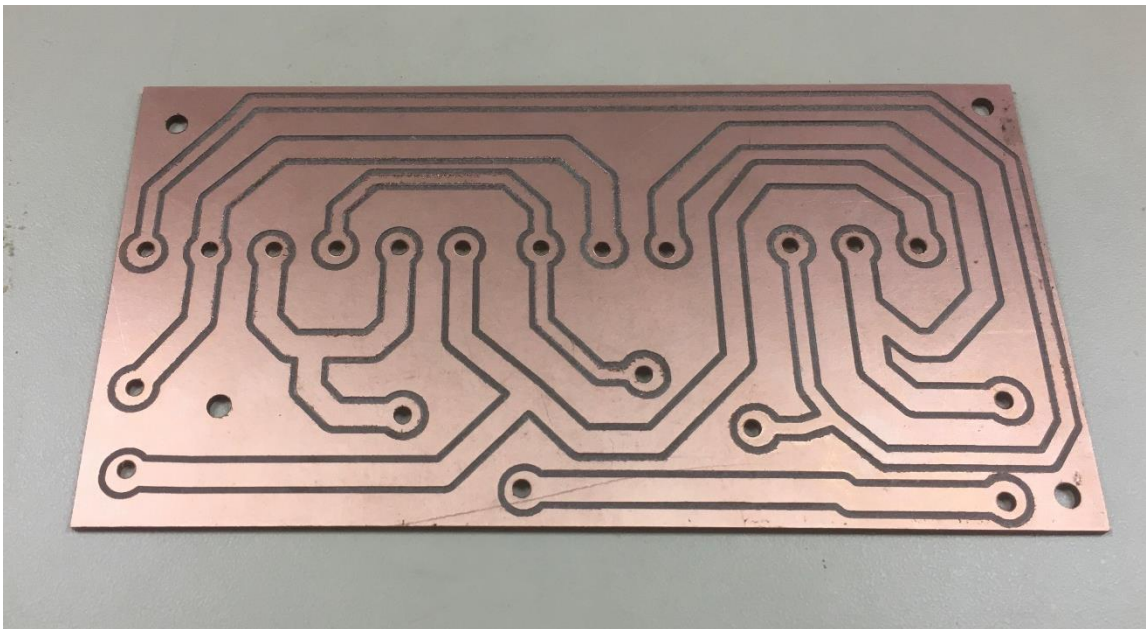
- CENTELSA. (s.f.). *Alambres Magneto*. Obtenido de <https://www.centelsa.com.co/archivos/c3956452.pdf>
- *hARDWARELIBRE*. (s.f.). Obtenido de Transistor 2N2222: <https://www.hwlibre.com/transistor-2n2222/>
- Instruments, T. (2017). *TL494*. Obtenido de https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl494.pdf?ts=1598147125472&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- Nieto, E. (s.f.). *Fidestec*. Obtenido de academia online: <https://fidestec.com/blog/fuentes-de-alimentacion-conmutadas-06/>
- PROTEUS. (2020). *Mediafire*. Obtenido de http://www.mediafire.com/file/j2yi8vtua8arrcc/Proteus_8.8_SP1_FULL.rar/file
- Rectifier, I. I. (s.f.). *Datasheet IR2112*. Obtenido de https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IR2112-DS-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c81cb71685
- *siosac*. (s.f.). Obtenido de Transformadores Electricos: <https://transformadoressiosac.com/definicion-transformador-electrico/>

ANEXOS

En las instalaciones de la universidad se desarrolló un circuito impreso en la CNC que consistía en realizar un puente H con los MOSFET debido que en el protoboard no tendría la resistencia necesaria para soportar una corriente tan elevada.



Debido que la pistas deberían ser de una anchura mínima para la corriente que circulara se optó colocar cables entre el transistor y la PCB para evitar cualquier cortocircuito.



Con resistencia de cerámica en serie y paralelo se verifico que entregan la corriente deseada a su salida y sus formas de onda que se puede apreciar en el capítulo tres.

