 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

CONSTRUCCIÓN DE UN CONVERTIDOR DE POTENCIA DC/DC TIPO BOOST

SANTIAGO ALEJANDRO ACEVEDO PÉREZ

Programa Académico
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA

Daniel González Montoya, PhD(c)

Docente Ocasional

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Mayo 19 de 2016

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad la construcción de un convertidor Boost de 475W, para la implementación de energías renovables fotovoltaicas; esto se logra con la selección de los componentes necesarios para el óptimo funcionamiento de este convertidor. Estos componentes definen unos criterios de funcionamiento los cuales deben estar presentes al momento de la construcción.

Para la construcción se necesita la realización de montajes experimentales y simulaciones previas, las cuales permiten llevar una secuencia de procesos de análisis de cada etapa del funcionamiento del convertidor; a partir de esto se realiza el montaje del IC SG3524 el cual permite generar un PWM a la frecuencia de 100KHz el cual es un parámetro de construcción establecido, posteriormente se ejecuta el montaje del driver IR2110 para verificar que conmuten los transistores Mosfet, puesto que en el convertidor Boost se tiene que asegurar que el transistor Mosfet que trabaja en la parte de alta, si se logre conmutar gracias a la configuración de BOOSTRAP. Los dispositivos mencionados anteriormente permiten el control del funcionamiento de la parte de potencia; pero esta debe llevarse a cabo con la realización del PCB mediante el software EAGLE, al ser un convertidor de 475W se determina que el PCB debe ser a doble capa para que pueda soportar las corrientes que pueda demandar la carga.

Luego de esto se toman los valores experimentales como voltaje de entrada, voltaje de salida, corriente en el inductor según, el ciclo de trabajo (Duty), frecuencia de operación y luego se compara esto con los valores tomados por la simulación en condiciones ideales y en condiciones reales.

Según la comparación de los resultados experimentales con los simulados, del convertidor Boost se puede concluir que los parámetros de diseño y los componentes implementados hacen que este convertidor se desempeñe de forma efectiva.

Palabras clave: convertidor; construcción; análisis; simulación; PCB; modo continuó; modo discontinuó.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

A mis distinguidos asesores, maestros y colaboradores del laboratorio ETI del ITM ya que fueron modelos de gran valor y sabiduría, por sus aportes a mi formación académica y en la realización de este proyecto.

Daniel González Montoya. Candidato a Doctor en Ingeniería Automática. Docente de control y asesor de proyecto. Por su generosa labor de docencia y transmisión de conocimiento para la elaboración de este proyecto.

John Harvy Espinosa. Ingeniero electricista y tecnólogo en electrónica. Docente de electricidad y electrónica del SENA. Por su disposición, acompañamiento y acertados consejos para mi formación.

A mi familia por su comprensión durante el camino que estoy recorriendo para mi formación profesional, por su incesante aliento en los momentos de dificultad y apoyo incondicional.

A mi novia por ser un gran punto de apoyo, por alentarme y acompañarme en todas las etapas de mi formación académica, por su tolerancia infinita y no dejarme desfallecer ante situaciones adversas.

Amigos y compañeros de estudio por su ayuda incondicional y desinteresada, fueron de gran apoyo para mí.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

ITM Instituto Tecnológico Metropolitano.

Lab Laboratorio.

ETI Electrónica, Telecomunicaciones e Informática.

R Resistor.

L Inductor.

C Condensador.

V Voltaje.

A Amperio.

Ω Ohmio.

K Kilo.

M Mega.

G Giga.

W Watios.

μF micro Faradio.

μH micro Henrios.

$\text{m}\Omega$ mili Ohmio.

Hz Hertz.

KHz Kilo Hertz.

MHz Mega Hertz.

GHz Giga Hertz.

F_{max} Frecuencia máxima.

V_{cc} Voltaje de corriente continua.

V_{dd} Voltaje Drenador-Drenador.

Gnd Tierra.

V_{ss} o V_{s} Voltaje Surtidor-Surtidor.

COM Tierra común.

V_{B} Voltaje Bootstrap.

V_{ref} Voltaje de referencia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

V_{in} Voltaje de entrada.

V_{out} o V_o Voltaje de salida.

I_{max} Corriente máxima.

IC Circuito integrado.

GS/s Giga Sample/second o Giga Muestra/segundo.

RL Resistencia de carga.

ESR Resistencia serie equivalente.

DCR Resistencia de corriente directa.

$R_{DS(ON)}$ Resistencia activa entre Surtidor y Drenador.

CMOS semiconductor complementario de óxido metálico.

SMD Tecnología de montaje superficial.

PWM Modulación por ancho de pulso.

FPGA Field Programmable Gate Array

DSP Procesador digital de señales.

Offset Voltaje diferencial.

On activado.

Off Desactivado.

Not Negación.

H_{in} Entrada de alta.

L_{in} Entrada de baja.

H_{out} Salida de alta.

L_{out} Salida de baja.

τ TAU o TAO carga y descarga de un condensador, letra proveniente del griego.

T_{on} Tiempo activo.

ΔT Cambio del tiempo.

Duty Ciclo útil de trabajo.

PNPN Semiconductor de cuatro capas: Ánodo y Cátodo.

SCR Rectificador Controlado de Silicio.

AC Corriente alterna.

DC Corriente directa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

UPS o SAI Sistema de alimentación ininterrumpida.

α alfa.

BJT transistor de unión bipolar.

Mosfet Transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor.

IGBT Transistor bipolar de puerta aislada.

PSIM Software de simulación Powersim.

PCB Placa de circuito impreso.

EAGLE Fácilmente aplicable editor de diseño gráfico.

CC Corriente constante.

CV Voltaje constante.

CR Resistencia constante.

PC Potencia constante.

SI Sistema Internacional.

mm milímetro.

Inch Pulgada.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	9
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Cicloconvertidores	12
2.1.1. Convertidor monofásico-monofásico	12
2.1.2. Convertidor trifásico-monofásico	13
2.1.3. Convertidor trifásico-trifásico	13
2.2. Onduladores	14
2.2.1. Convertidor forward o directo	14
2.2.2. Convertidor Push-pull	15
2.2.3. Convertidor medio puente	15
2.2.4. Convertidor puente completo	16
2.3. Rectificadores	17
2.3.1. Rectificador monofásico de media onda no controlado	17
2.3.2. Rectificador con transformador de toma media no controlado	17
2.3.3. Rectificador en puente no controlado	18
2.3.4. Rectificador trifásico de onda completa no controlado	18
2.3.5. Rectificador monofásico controlado de media onda	19
2.3.6. Rectificador monofásico totalmente controlado	19
2.4. Troceador o chopper	20
2.4.1. Convertidor Buck	20
2.4.2. Convertidor Buck-Boost	21
2.4.3. Convertidor Flyback	21
2.4.4. Convertidor Boost	22
3. METODOLOGÍA	24
3.1. Componentes, equipos y construcción	24
3.1.1. Condensador B32778	24
3.1.2. Inductor 2318-V-RC	25
3.1.3. Reguladores de voltaje fijos LM7815 y LM7805	26
3.1.4. Transistor Mosfet IRLZ34N	26
3.1.5. Sensor de corriente INA225	27
3.1.6. Driver IR2110	27
3.1.7. IC SG3524	28

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.1.8. IC CD4049.....	28
3.2. Equipos.	29
3.2.1. Fuente BK PRECISION 1672.....	29
3.2.2. Fuente BK PRECISION XLN6024.....	29
3.2.3. Carga electrónica BK PRECISION 8502.....	30
3.2.4. Osciloscopio Tektronix MSO 4034B.	30
3.2.5. Protoboard.....	31
3.2.6. Multímetro FLUKE 87V.....	31
3.3. Construcción.....	31
3.3.1. Generador PWM con el IC SG3524.....	31
3.3.2. Driver IR2110 o controlador de Mosfet's.	33
3.3.3. Circuito de potencia Boost.	35
3.3.4. Sensor de corriente INA225.	37
3.4. Simulaciones.	39
3.4.1. Simulación en condiciones ideales.	39
3.4.1. Simulación en condiciones reales.	45
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1. Diseño de la PCB.	51
4.1.1. Diseño del esquemático.....	51
4.1.2. Diseño del Layout.	56
4.2. Resultados experimentales.....	60
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	66
REFERENCIAS.....	68

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la demanda de energía a nivel mundial se ha incrementado de manera exponencial y más aún cuando estamos en un mundo en el que dependemos de los combustibles fósiles y de otros derivados para abastecer las industrias, hogares, transporte, comercio, hospitales y de más necesidades de la vida diaria. En las últimas décadas se ha tomado conciencia del problema que generan los combustibles fósiles en el medio ambiente y a nuestra salud, más aun en los últimos años donde muchos países han visto esto como un problemática a nivel mundial y han tomado conciencia de que las energías renovables son la solución a este problema, tanto así que ya se destinan más recursos para la investigación e implementación de estas nuevas fuentes de energía como son: la hidroeléctrica, eólica, geotérmica, biogás, biomasa, del mar, solar, por hidrógeno y nuclear.

Estas energías renovables para que puedan ser aplicadas en los procesos mentadas anteriormente, necesitan de circuitos convertidores de energía; con el objetivo de suministrar la alimentación necesaria para todo tipo de aplicación, además optimizar la energía generada por las fuentes no convencionales de energía. El objetivo general de la electrónica de potencia está enfocado en controlar y procesar el flujo de potencia de forma tal que esta sea suministrada a la carga de manera óptima, bajo este contexto las fuentes de conmutación conforman una interfaz entre las fuentes de energía y los diferentes tipos de cargas. En la actualidad más del 75% de la potencia generada en el mundo es procesada por medio de elementos de potencia, lo cual evidencia la importancia de las fuentes de conmutación en el procesamiento de la potencia y energías en todo el mundo. (<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13610/1/VelasquezSastoquelvaFrancisco2013.pdf>)

La finalidad de este proyecto es explicar y validar la construcción de un convertidor de potencia DC/DC tipo Boost, donde se muestra cada etapa del circuito, que componentes se utilizaron, el diseño de la PCB, las respectivas simulaciones en

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

condiciones ideales y reales de funcionamiento, y llevar a cabo las medidas experimentales del convertidor con el dispositivo final construido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

La historia de la electrónica de potencia empezó en el año 1900, con la introducción del rectificador de mercurio. Luego aparecieron gradualmente, el rectificador de tanque metálico, el rectificador de tubo al alto vacío de rejilla controlada, el ignitrón, el fanotrón y el tiratrón. Estos dispositivos se aplicaron al control de la energía hasta la década de 1950.

La primera revolución electrónica inicia en 1948 con la invención del transistor de silicio en los Bell Telephone Laboratories por los señores Bardeen, Brattain y Schockley. La mayor parte de las tecnologías electrónicas avanzadas actuales tiene su origen en esta invención. A través de los años, la microelectrónica moderna ha evolucionado a partir de los semiconductores de silicio. La siguiente gran invención fue en 1956, también provino de los Bell Telephone Laboratories: la invención del transistor de disparo PNP, que se define como un tiristor o rectificador controlado de silicio (SCR por sus siglas en inglés).

La segunda revolución electrónica empezó en 1958 con el desarrollo del tiristor comercial por General Electric Company. Ese fue el principio de una nueva era en la electrónica de potencia, desde entonces, se han introducido muy diversos tipos de dispositivos semiconductores de potencia y técnicas de conversión. (Sanchez, 1995)

Como refiere el autor (Galera, 2002) la electrónica de potencia como una de las ramas de la ingeniería eléctrica, en ella se combina la energía, la electrónica y el control. Estudia la conversión y control de la energía eléctrica y sus aplicaciones tratando de maximizar el rendimiento, o lo que es lo mismo, minimizar la disipación de energía.

En la década de los 80 se pasó del concepto de conversión y control en general de la energía eléctrica, al campo de modulación del flujo de energía utilizando convertidores conmutados, dotados de elementos conmutadores estáticos del tipo semiconductores de potencia. Los cuales tienen la capacidad de trabajar a frecuencias de conmutación elevadas y soportar potencias relativamente elevadas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Así que los convertidores de energía eléctrica que se estudia en el ámbito de la electrónica de potencia se denominan convertidores estáticos.

Dentro de los convertidores estáticos se pueden encontrar diferentes clases, según el tipo de energía que convierta. Dependiendo de la conversión que realiza, el circuito recibe un nombre determinado: (Galera, 2002)

2.1. Cicloconvertidores.

“Es el convertidor que proporciona una corriente alterna a partir de otra corriente alterna”. (Galera, 2002) Tradicionalmente la conversión AC-AC se lleva a cabo en dos etapas: primero con un conversor AC-DC con un rectificador y luego otra conversión de DC-AC mediante un inversor, este método es poco eficiente por el factor de potencia que se pierde en las conversiones debido a componentes que disipan potencia en forma de calor. Los cicloconvertidores son circuitos diseñados para convertir voltajes AC-AC, lo que eleva la eficiencia y reduce la cantidad de componentes a usar minimizando espacio. La aplicación típica de estos es en el control de velocidad de motores síncronos y de inducción por medio de variación de la frecuencia. (Cicloconvertidores, 2013)

Otras de las aplicaciones de los cicloconvertidores son:

- Impulsiones de molinos de cemento.
- Control de motores de inducción.
- Propulsión de vehículos.
- Calentamiento por altas frecuencias.
- Molinos para triturar minerales.
- Excavadoras de minas.

En esta familia de cicloconvertidores, existen tres tipos de convertidores AC-AC que son:

2.1.1. Convertidor monofásico-monofásico.

Este rectificador está conformado por dos puentes rectificadores, cada puente está constituido por cuatro tiristores SCR (semiconductor rectificado de silicio) (ver Fig. 1). Cada puente rectificador funcionan de forma complementaria, cuando llega en ciclo positivo de la AC trabaja el puente rectificador (+) de la izquierda y cuando llega el ciclo negativo de la AC trabaja el puente rectificador (-) de la derecha. Así la carga recibe un voltaje AC compuesta por semiciclos del voltaje AC de la fuente, con una frecuencia que es un submúltiplo de la frecuencia de la fuente, esto está dado por el Angulo de disparo de los SCR. (Cicloconvertidores, 2013)

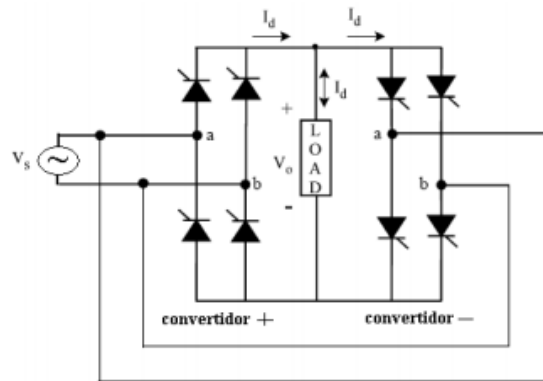


Fig.1 Convertidor monofásico de onda completa.

2.1.2. Convertidor trifásico-monofásico.

Este convertidor tiene el mismo principio de funcionamiento del anterior convertidor. Solo que se está alimentando con tres fases por lo que el puentes rectificadores aumentan de dos SCR a tres (ver Fig. 2). (Cicloconvertidores, 2013)

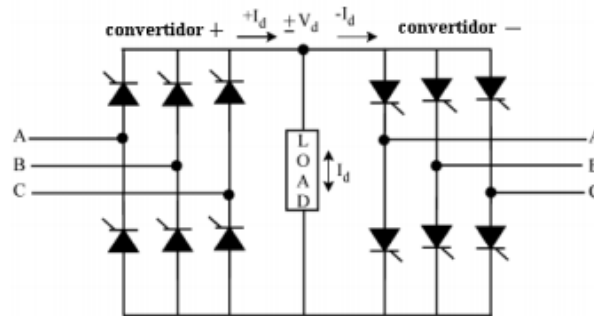


Fig.2 Convertidor de onda completa.

2.1.3. Convertidor trifásico-trifásico.

Este tipo de convertidores son muy utilizados en la variación de velocidad para motores de inducción trifásica, cuando el convertidor es de onda completa se necesitan seis puentes rectificadores para alimentar cada bobina del motor, por lo que se necesita un sistema microprogramado para el control de disparo de los SCRs de cada puente rectificador (ver Fig. 3). (Cicloconvertidores, 2013)

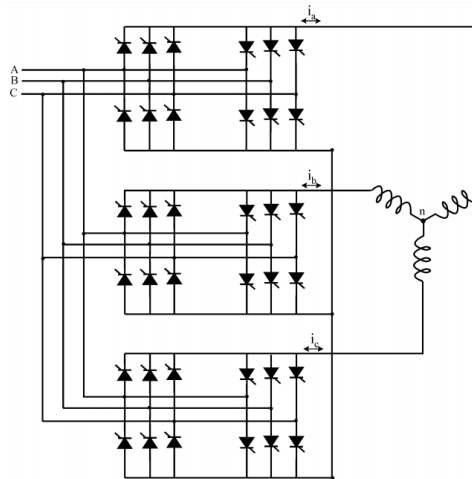


Fig.3 Convertidor de onda completa.

2.2. Onduladores.

Suministra un voltaje AC a partir de un voltaje DC (convertidor DC-AC o inversor). En el primer lugar se troceara la señal, para después obtener su valor medio mediante un condensador. Para obtener la señal senoidal, se coloca a la salida un conversor resonante. (Galera, 2002)

Los onduladores o inversores son convertidores estáticos de energía que convierten la corriente continua CC en corriente alterna CA, con la posibilidad de alimentar una carga en alterna, regulando la tensión, la frecuencia o bien ambas. Más exactamente, los inversores transfieren potencia desde una fuente de continua a una carga de alterna. (Cc, 2013) Este tipo de convertidores cuentan con aislamiento galvánico (transformador de alta frecuencia), ahora partiendo de la topología básica del convertidor Buck, se pueden obtener diversas topologías mediante la implementación de un trasformador. (Convertidor, 2003)

Otras de las aplicaciones de los onduladores son:

- Accionamientos de motores de AC de velocidad ajustable.
- Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)
- Dispositivos de corriente alterna que funcionan a partir de una batería.
- Hornos de inducción.

En esta familia de onduladores, existen cuatro tipos de convertidores DC-AC que son:

2.2.1. Convertidor forward o directo.

Es un convertidor que cuenta con aislamiento galvánico (transformador de alta frecuencia) entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida. Lo que permite proteger la fuente del convertidor si en la salida de este surge algún daño, no se verá afectada

la entrada (ver Fig. 4). Se conoce como convertidor forward o directo por que la fase del bobinado primario es igual en el bobinado secundario pero con diferente amplitud, esto se puede identificar por los puntos en el la parte superior de los bobinados. (Convertidor, 2003)

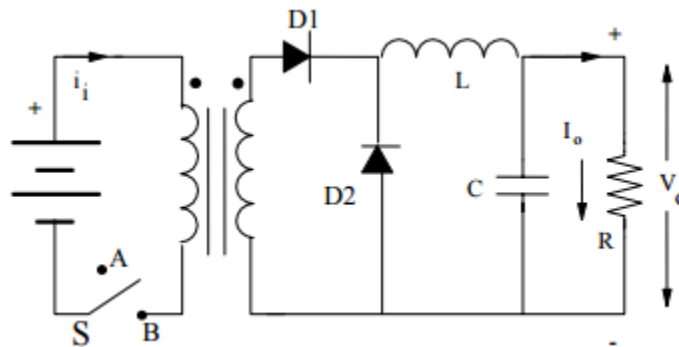


Fig.4 Convertidor forward o directo.

2.2.2. Convertidor Push-pull.

Este convertidor es la unión de dos convertidores tipo forward donde los transistores conmutan de forma complementaria, haciendo que el voltaje suministrado hacia la carga sea del doble del voltaje que puede suministrar un convertidor forward (ver Fig. 5). El voltaje de salida no solo depende del voltaje de la fuente DC sino de la relación de las espitas N_2/N_1 del transformador. (Convertidor, 2003)

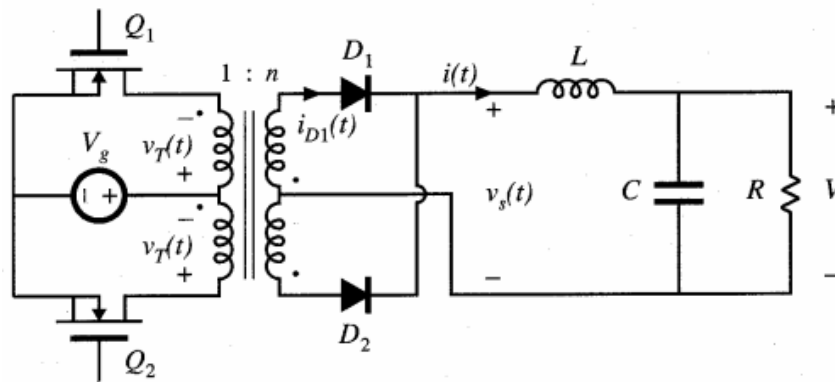


Fig.5 Convertidor Push-pull.

2.2.3. Convertidor medio puente.

Este tipo de convertidor se caracteriza por la cantidad de voltaje que soportan los semiconductores (transistores y diodos) en el tiempo en que no conducen; esto es debido a la energía almacenada de los condensadores que se encuentran en el puente (ver Fig. 6). (Cc, 2013) Este tipo de convertidor tiene la capacidad de

entregar hasta 500W a su salida esto debido a que si observa en la Fig. 6 en el bobinado secundario hay una topología de Push-Pull, por lo que se aprovecha todo el voltaje del bobinado secundario. (Convertidor, 2003)

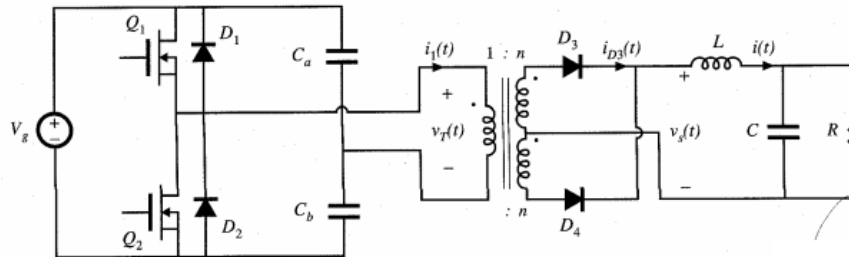


Fig.6 Convertidor medio puente.

2.2.4. Convertidor puente completo.

Este convertidor como su nombre lo indica está conformado por cuatro transistores (Mofet o IGBT) y cuatro diodos de potencia (ver Fig. 7). Los transistores se conmutan de a pares y de forma complementaria; es decir, el transistor Q1 y Q4 se conmutan al mismo tiempo pero en un ciclo diferente a transistor Q2 y Q3, de esta manera se garantiza la máxima transferencia de potencia de la fuente al bobinado primario del transformador y si observa en la Fig. 7 en el bobinado secundario hay una topología de Push-Pull, por lo que se aprovecha todo el voltaje del bobinado secundario haciendo que sea más eficiente que el convertidor de medio puente. (Cc, 2013)(Convertidor, 2003)

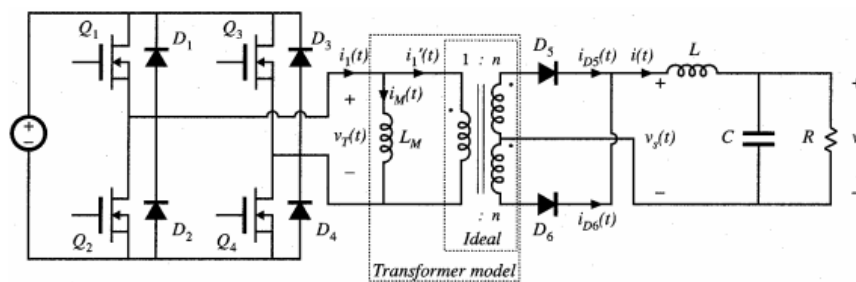


Fig.7 Convertidor puente completo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.3. Rectificadores.

Convierte un voltaje AC a un voltaje DC (convertidor AC-DC). Primeramente se rectifica la señal y luego se filtra, para obtener la señal DC a la salida, se hace pasar la señal por un regulador. (Galera, 2002)

En una primera clasificación se pueden diferenciar los rectificadores de acuerdo con el número de fases del voltaje AC de entrada (monofásico, bifásico, trifásico, hexafásico, etc.). Dentro de estos se pueden diferenciar los rectificadores en función del tipo de conexión de los elementos (media onda y de onda completa). Otra posible clasificación es según su capacidad de ajustar el valor de voltaje DC a la salida, ello depende de si se emplean diodos o tiristores. Los rectificadores no controlados son aquellos que utilizan diodos como elementos de rectificación, en cuanto que los controlados utilizan tiristores o transistores. (Ca, 2013)

Este tipo de convertidores son muy utilizados en fuentes de televisores, computadores, etc.

En esta familia de rectificadores, existen seis tipos de convertidores AC-DC que son:

2.3.1. Rectificador monofásico de media onda no controlado.

Es el rectificador más sencillo que existe, y en consecuencia el más barato. Simplemente es necesario un diodo entre la alimentación de AC y la carga (ver Fig. 8). Podría existir un transformador si se desea aislamiento galvánico entre la red eléctrica y la carga. Este circuito sólo rectifica la mitad de la tensión de entrada; o sea, cuando el ánodo es positivo con respecto al cátodo. (Ca, 2013)

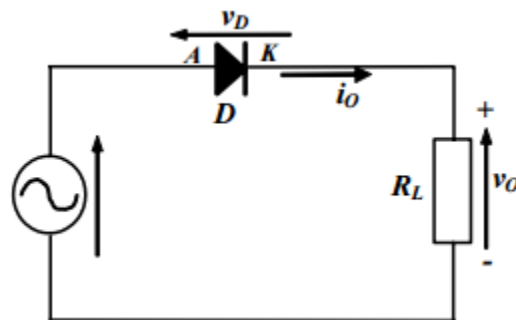


Fig.8 rectificador monofasico de media onda no controlado.

2.3.2. Rectificador con transformador de toma media no controlado.

En este caso, para rectificar la onda completa, se utilizan 2 diodos, en una configuración denominada rectificador con transformador en toma media (ver Fig. 9). El rendimiento de este convertidor es del doble del monofásico de media onda ya que se aprovechan los ciclos positivos y negativos del voltaje AC. (Ca, 2013)

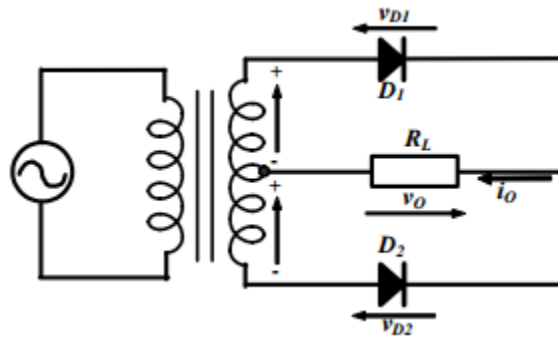


Fig.9 rectificador con transformador de toma media no controlado.

2.3.3. Rectificador en puente no controlado.

En este caso, para rectificar la onda completa, se utilizan 4 diodos, en una configuración denominada puente completo o puente de Graetz. Recibe el nombre de puente rectificador, por estar formado por cuatro diodos conectados en puente y su principal ventaja respecto al rectificador de onda completa con toma media es que no necesita transformador (ver Fig. 10). Nótese que en este caso, conducen siempre dos diodos simultáneamente; si el voltaje AC en la entrada del rectificador es positivo (semiciclo positivo), conducirán D1 y D4 mientras que D2 y D3 estarán polarizados inversamente y, por tanto, estarán bloqueados. Si por el contrario, el voltaje AC es negativo (semiciclo negativo), conducirán D2 y D4. (Ca, 2013)

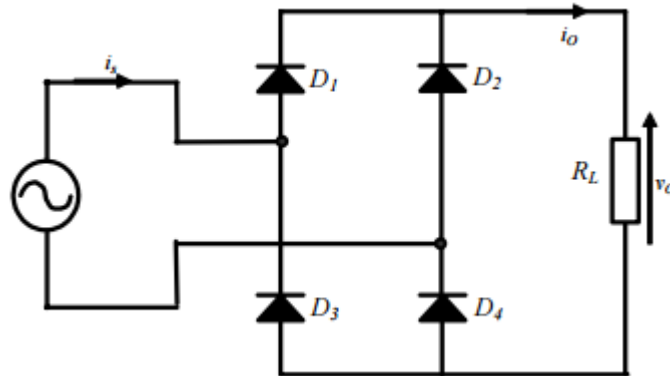


Fig.10 rectificador en puente no controlado.

2.3.4. Rectificador trifásico de onda completa no controlado.

De forma análoga a los casos anteriores, se puede implementar un rectificador trifásico utilizando diodos (ver Fig. 11). Los rectificadores trifásicos se utilizan normalmente en la industria para producir tensión y corriente continuas para grandes cargas. (Ca, 2013)

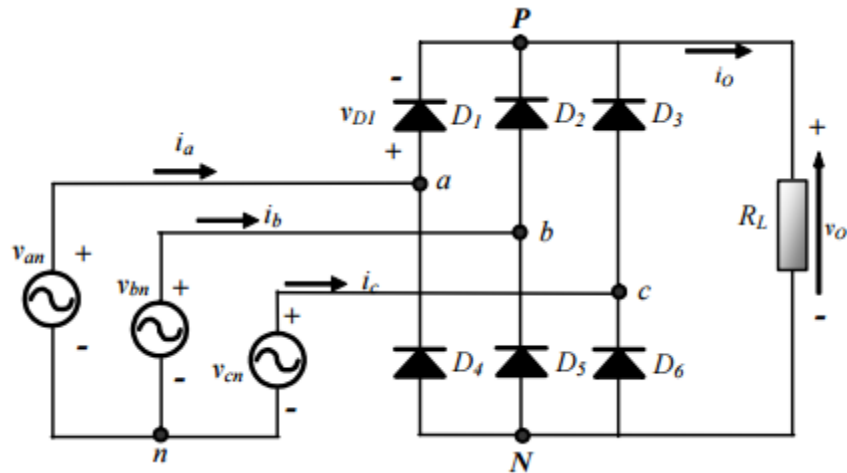


Fig.11 rectificador trifasico de onda completa no controlado .

2.3.5. Rectificador monofásico controlado de media onda.

Durante el semiciclo positivo del voltaje AC de entrada, el voltaje ánodo-cátodo es positivo, de manera que el SCR puede entrar en conducción (ver Fig. 12). Si en el instante α respecto al paso por cero del voltaje AC de entrada, el circuito de control genera un pulso en la puerta del SCR, éste empezará a conducir, haciendo que circule corriente por la carga. (Ca, 2013)

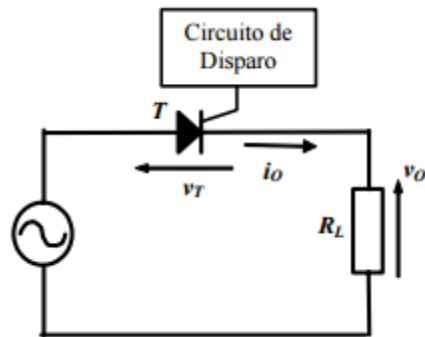


Fig.12 rectificador monofasico controlado de media onda.

2.3.6. Rectificador monofásico totalmente controlado.

En este montaje, los diodos que formaban el puente rectificador no controlado se sustituyen por tiristores tipo SCR, haciendo posible el control de fase de una onda completa de la señal de entrada (ver Fig. 13). (Ca, 2013)

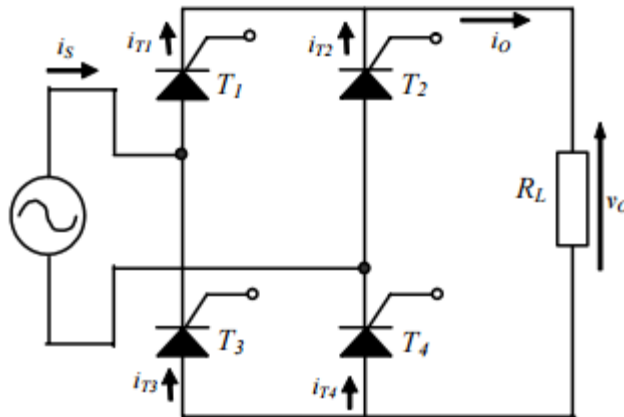


Fig.13 rectificador monofasico totalmente controlado.

2.4. Troceador o chopper.

“Convierte un determinado voltaje DC en otro voltaje DC de bajo rizado”. (Galera, 2002) Se llama convertidor DC-DC a un circuito que convierte un voltaje DC a otro, suelen ser reguladores de conmutación, dando a su salida un voltaje regulado y la mayoría de las veces con limitación de corriente. Se tiende a utilizar frecuencias de conmutación cada vez más elevadas porque permiten reducir la capacidad de los condensadores con el beneficio de ahorro de volumen, peso y precio. Tienen la ventaja de que Simplifican la alimentación de un sistema, porque permiten generar las voltajes donde se necesiten, reduciendo la cantidad de líneas de potencia necesarias. Además permiten un mejor manejo de la potencia, control de corrientes de entrada, reducción de armónicas y un aumento en la seguridad. Tienen gran eficiencia. (DC, 2007). Ya que las principales fuentes de energías renovables producen energía en DC y deben ser optimizadas a valores necesarios por la etapa AC, que representa la inyección a la red, este tipo de convertidores son los más utilizados en la optimización de fuentes alternas de energía.

En esta familia de Troceador o Chopper, existen cuatro tipos de convertidores DC-DC que son:

2.4.1. Convertidor Buck.

El convertidor Buck (o reductor) es un convertidor de potencia que obtiene a su salida un voltaje DC menor que el de su entrada. Es una fuente conmutada con dos dispositivos semiconductores (transistor-diodo o transistor-transistor), un inductor y opcionalmente un condensador a la salida (ver Fig. 14). La forma más simple de reducir una tensión continua (DC) es usar un circuito divisor de voltaje, pero los divisores gastan mucha energía en forma de calor. Por otra parte, un convertidor Buck puede tener una alta eficiencia (superior al 95% con circuitos integrados) y autorregulación. (DC, 2007)

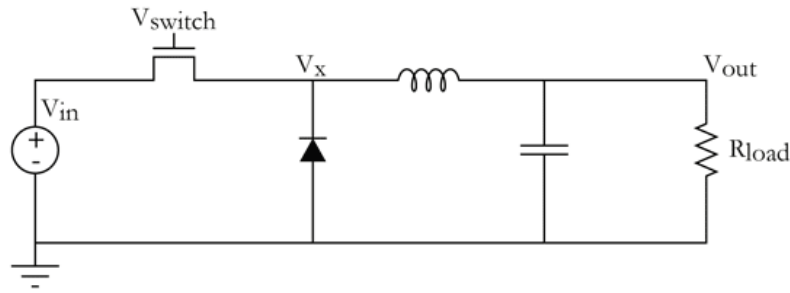


Fig.14 convertidor buck.

2.4.2. Convertidor Buck-Boost.

Existen dos diferentes topologías que se les llama Convertidor Buck-Boost: 1) La topología inversora; el voltaje de salida tiene signo contrario a la entrada. 2) Un Convertidor Buck seguido de un Boost; El voltaje de salida tiene el mismo signo que la entrada y puede ser más alto a bajo que ésta.

El convertidor Buck-Boost es un tipo de convertidor DC-DC cuya magnitud del voltaje de salida es menor o mayor al voltaje de entrada (ver Fig. 15). Es una fuente de poder con un switch y una topología del circuito similar a la de un convertidor Buck o Boost. El voltaje de salida es ajustable basándose en el ciclo de trabajo del transistor cambiante. (DC, 2007)

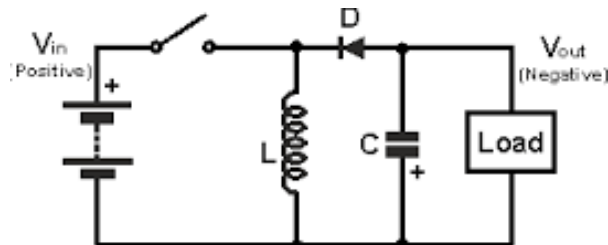


Fig.15 convertidor Buck-Boost.

2.4.3. Convertidor Flyback.

El convertidor Flyback es un convertidor DC-DC con aislamiento galvánico entre la entrada y la(s) salida(s) (ver Fig. 16). Tiene la misma estructura que un convertidor Boost con un transformador en lugar de un inductor. Gracias a ello se pueden alcanzar altos ratios de conversión. Debido a las limitaciones intrínsecas este convertidor solo se usa en aplicaciones de baja potencia. (DC, 2007)

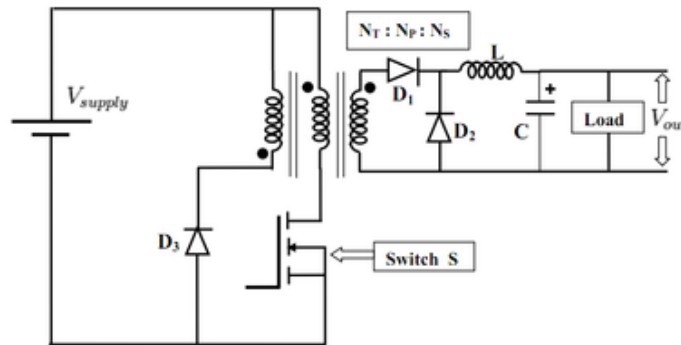
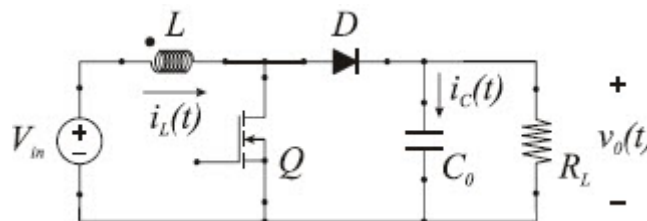


Fig.16 convertidor Flyback.

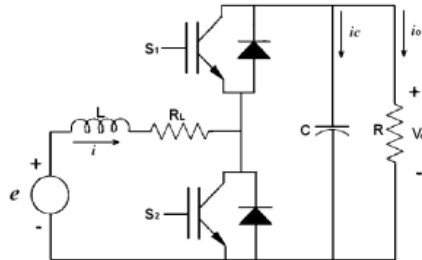
2.4.4. Convertidor Boost.

El convertidor Boost (o elevador) es un convertidor de potencia que obtiene a su salida un voltaje DC mayor que a su entrada. Es un tipo de fuente de alimentación conmutada que contiene al menos dos interruptores semiconductores transistor (MOSFET, IGBT o BJT) y diodo; con esta combinación el convertidor funciona de manera unilateral (ver Fig. 17 a), también está la combinación transistor – transistor la cual permite que el convertidor trabaje de manera bidireccional (ver Fig. 17 b) y tiene al menos un elemento para almacenar energía. Frecuentemente se añaden filtros construidos con inductores y condensadores para mejorar el rendimiento. Un conector de suministro de energía habitual normalmente no se puede conectar directamente a dispositivos como ordenadores, relojes o teléfonos. La conexión de suministro genera un voltaje AC y los dispositivos requieren voltajes DC. La conversión de potencia permite que dispositivos de voltajes DC utilicen energía de fuentes de voltaje AC, este es un proceso llamado conversión AC-DC y en él se usan convertidores AC-DC como rectificadores. La energía también puede provenir de fuentes DC como baterías, paneles solares, rectificadores y generadores DC. El proceso de convertir un voltaje DC a otro diferente es llamado conversión DC-DC. Un convertidor Boost es uno de los tipos de convertidores DC-DC, presenta un voltaje de salida mayor que el voltaje de la fuente, pero la corriente de salida es menor que la de entrada. (DC, 2007)



(a)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



(b)

Fig.17 (a) Convertidor Boost unilateral. (b) Convertidor Boost bilateral.

Este tipo de convertidor es muy utilizado principalmente en control de motores de tracción que se encuentran en carros eléctricos, elevadores que se encuentran en minas, tranvías y metros. También es muy aplicado en energías renovables como el la fotovoltaica donde se necesita convertir niveles de voltajes DC en otros de mayor amplitud, también es muy común en fuentes de poder de computadoras, sistemas distribuidos de potencia y en reguladores de voltaje DC.

Generalmente los sistemas alimentados por baterías necesitan apilar varias baterías en serie para aumentar la tensión, sin embargo a veces no es posible conectar varias baterías en serie por razones de peso o espacio, por esta razón el convertidor Boost es muy útil. (DC, 2007)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

El producto final constara de un convertidor Boost (Elevador) de 475W conmutando en lazo abierto para frecuencias entre 50 a 100KHz, con un correcto sensado de la corriente del inductor, los voltajes de entrada y de salida. Adicionalmente, la documentación de la construcción desde el punto de vista electrónico y con todas las pruebas realizadas al circuito.

En esta sección se dará una explicación detallada de cada componente, también se mostrara cuales equipos se utilizaron para validar el funcionamiento del circuito y finalmente detallar la construcción del convertidor Boost. También, se ilustraran las gráficas de simulación por el software PSIM (Powersim) en condiciones ideales y reales de funcionamiento, por último se mostrara el Printed Circuit Board (PCB) del convertidor Boost y se dará una breve explicación de cómo se realizó por medio del software EAGLE.

3.1. Componentes, equipos y construcción.

Para iniciar con la construcción del convertidor Boost, primero se dará una breve explicación de los componentes que se utilizan en el diseño, luego se muestra cuales equipos se utilizan para el análisis del funcionamiento de cada sección del convertidor y luego se da una explicación del circuito explicando cada etapa. Teniendo en cuenta los siguientes criterios de construcción:

- Voltaje mínimo de entrada (V_{in}) para que el convertidor Boost pueda funcionar de modo auto-alimentado.
- Voltaje máximo de salida (V_{out}) para que el convertidor Boost no se vaya a ver afectado o para que pueda operar de modo auto-alimentado.
- Corriente máxima del circuito (I_{max}) que puede soportar el convertidor Boost.
- Frecuencia de trabajo del convertidor Boost.

Estos criterios están definidos por los límites de trabajo de algunos componentes.

3.1.1. Condensador B32778.

Es un condensador especializado para operar a muy altas frecuencias de conmutación (ver Fig. 18), especial para aplicaciones de convertidores DC-DC de paneles fotovoltaicos o en fuentes de alimentación industriales de alta gama. Es un condensador de 22 μ F a 100V, cuenta con una ESR (resistencia serie equivalente) de 5.4m Ω ; por lo que no afecta sustancialmente el funcionamiento del convertidor Boost añadiéndole impedancias capacitivas. Para observar la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es). www.alldatasheet.es

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota: por este condensador está definido el voltaje de salida (V_o), ya que no se debe de sobrepasar el voltaje máximo de operación para evitar daños en el componente. Por ende, el voltaje máximo de salida $V_o = 100V$.

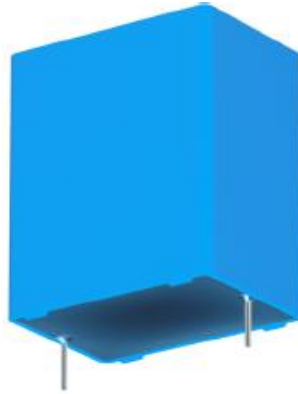


Fig.18 Condensador B32778.

3.1.2. Inductor 2318-V-RC.

Es un inductor especializado para operar a muy altas frecuencias de conmutación (ver Fig. 19), muy utilizado en aplicaciones de convertidores DC-DC y como filtro EMI (interferencias electromagnéticas) y tiene baja emisión de radiación. Es un inductor de $330\mu H$, tiene la capacidad de conducir hasta $5.2A$ y su DCR (resistencia de corriente directa) es de $67m\Omega$; por lo que no afecta sustancialmente el funcionamiento del convertidor Boost añadiéndole impedancias inductivas. Para observar la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es). www.alldatasheet.es

Nota: por este inductor está definida la corriente máxima del circuito (I_{max}), ya que no se debe de sobrepasar la corriente máxima de conducción para evitar daños en el componente. Por tanto, la corriente máxima del circuito $I_{max} = 5.2A$.



Fig.19 Inductor 2318-V-RC.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.1.3. Reguladores de voltaje fijos LM7815 y LM7805.

Como su nombre lo indica, son dispositivos que regulan una entrada de voltaje mayor al de su normal funcionamiento (ver Fig. 20), es decir; en el caso del LM7815 el numero 78 da referencia a que regula voltajes positivos y el numero 15 da referencia al voltaje regulado que puede entregar, este necesita un voltaje mínimo de entrada de 18V para que pueda funcionar, ya que el consume 3V de polarización y entrega los 15V ya regulados. Esto mismo se da en el LM7805, necesita mínimo 8V de entrada para que él pueda entregar los 5V regulados. También tienen un límite de voltaje en sus terminales de entrada máximo de 35V, tienen la capacidad de conducir hasta 1A y su encapsulado es tipo TO-220. Para observar la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es). www.alldatasheet.es

Nota: por este LM7815 está definido el voltaje (V_{in}) de entrada o el voltaje de salida (V_{out}) del convertidor Boost, ya que se necesita un voltaje mínimo de 18V a la entrada o un voltaje máximo de 35V a la salida para que el convertidor pueda funcionar de modo auto-alimentado y así evitar daños en el componente.



Fig.20 Regulador de voltaje.

3.1.4. Transistor Mosfet IRLZ34N.

Es un transistor que permite trabajar a muy altas frecuencias de conmutación en el orden de los MHz (ver Fig. 21), por lo que es ideal para aplicaciones de convertidores DC-DC, tiene gran capacidad de conducción de corriente entre DRAIN y SOURCE, casi de 30A, si tiene un voltaje de alimentación en la GATE de 10V, esto gracias a su encapsulado TO-220. Tiene una $R_{DS(ON)}$ que varía de 35mΩ a 60mΩ dependiendo el voltaje de GATE y la corriente de DRAIN-SOURCE; por lo que no afecta sustancialmente el funcionamiento del convertidor Boost añadiéndole impedancias. Para observar la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es). www.alldatasheet.es

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

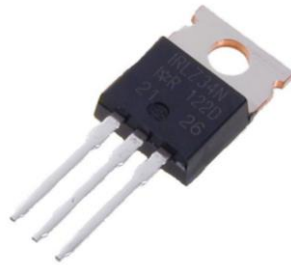


Fig.21 Transistor mosfet.

3.1.5. Sensor de corriente INA225.

Es un amplificador operacional con un encapsulado SMD (dispositivo de montaje superficial) (ver Fig. 22), este dispositivo permite sensor la corriente de manera bidireccional por medio de un voltaje diferencial generado por una R-shunt (resistencia de derivación); esta resistencia normalmente es de muy bajo valor óhmico, alrededor de los 10mΩ, ya que con este valor no afecta el funcionamiento del circuito añadiéndole impedancias. Y así poder obtener a la salida del sensor un voltaje proporcional a la corriente que está circulando por el circuito. Para observar la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es). www.alldatasheet.es



Fig.22 Sensor de corriente.

3.1.6. Driver IR2110.

Como su nombre lo indica este dispositivo permite controlar la conmutación de dos transistores ya sean MOSFET o IGBT de manera complementaria por lo que es ideal para aplicaciones de convertidores DC-DC (ver Fig. 23), su encapsulado es PDIP-14 y es de tecnología CMOS (semiconductor complementario de óxido metálico) por lo que puede trabajar a muy altas frecuencias, alrededor de los MHz. Permite una alimentación de hasta 25V y entregar a su salida (H_{out} o L_{out}) de 10 a 20V y una corriente de 2A, cuenta con un canal flotante o pin de tierra virtual que permite la configuración de Bootstrap para conmutar un MOSFET o IGBT que se encuentra en una configuración donde no está referenciado a tierra o llamado lado de alta. Para observar la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es). www.alldatasheet.es

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig.23 Driver.

3.1.7. IC SG3524.

En esencia es un dispositivo que genera una señal de PWM (modulación por ancho de pulso), es muy utilizado en aplicaciones de control o en convertidores DC-DC (ver Fig. 24). Internamente genera una señal de rampa que es comparada con un voltaje de referencia y de esta manera generar el PWM, también se le puede modificar su frecuencia por medio de un capacitor y una resistencia el cual genera un τ (TAO) haciendo que este dispositivo puede trabajar a frecuencias de 130Hz hasta 700KHz, su encapsulado es PDIP-14 y soporta un voltaje de alimentación máxima de 40V. Para observar la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es).
www.alldatasheet.es

Nota: por este dispositivo está limitada la frecuencia de trabajo del convertidor Boost, ya que no se puede sobrepasar su frecuencia máxima de operación para evitar daños en el componente. Por tanto, la frecuencia máxima de operación $F_{max} = 700\text{KHz}$.

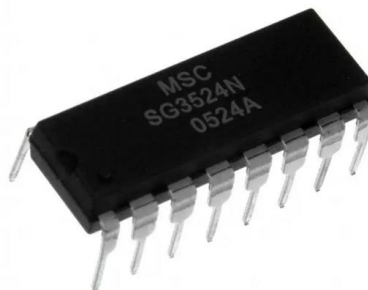


Fig.24 Generador de PWM.

3.1.8. IC CD4049.

Este dispositivo es un juego de compuertas NOT (negador) (ver Fig. 25). Internamente tiene seis compuertas, es de tecnología CMOS (semiconductor complementario de óxido metálico) lo que permite que este dispositivo funcione con voltajes de alimentación de 0 a 18V, si su alimentación es de 15V el interpreta un cero lógico desde 0 a 3V y un uno lógico desde 11 a 15V, funciona a muy altas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

frecuencias; en el orden de los MHz y su encapsulado es PDIP-16. Para observar la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es). www.alldatasheet.es



Fig.25 compuerta NOT.

3.2. Equipos.

Estos son los equipos del laboratorio para el estudio y análisis de cada etapa del convertidor Boost.

3.2.1. Fuente BK PRECISION 1672.

Fuente de alimentación regulada de triple salida con cuatro indicadores digitales (ver Fig. 26). La toma de voltaje de la izquierda y de la derecha son variables de 0 a 32V con capacidad de entregar hasta 3A, la toma de la mitad es de 5V fijos a 1A. Los cuatro indicadores permiten monitorear de manera continua los valores de corriente y voltaje de las dos salidas variables principales. Las salidas variables pueden trabajar de manera independiente o se pueden ajustar en modo serie o paralelo para doblar el voltaje a 64V o la corriente a 6A.



Fig.26 Fuente BK PRECISION 1672.

3.2.2. Fuente BK PRECISION XLN6024.

Fuente de poder programable de 0 a 60V con capacidad de entregar hasta 0 a 24A, esta fuente ofrece hasta 1.440W de energía limpia en una sola salida (ver Fig. 27). Cuenta con protecciones programables de voltaje y corriente para cargas variables, es estable y precisa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig.27 Fuente BK PRECISION XLN6024.

3.2.3. Carga electrónica BK PRECISION 8502.

Las cargas electrónicas programables de DC tienen grado de laboratorio y son perfectas para probar y evaluar una amplia variedad de fuentes de alimentación DC (ver Fig. 28). Esta carga electrónica se puede ajustar en modos de: CC (corriente constante), CV (voltaje constante), CR (resistencia constante) o modo PC (potencia constante), mientras los valores de voltaje, corriente, resistencia y potencia se miden y se muestran en tiempo real. Esta carga electrónica es variable de 0 a 120V y tiene un límite de 0 a 30A, lo que equivale a una potencia de 300W y cuenta con protecciones de sobre voltaje, corriente, potencia y polaridad inversa.



Fig.28 carga electronica BK PRECISION 8502.

3.2.4. Osciloscopio Tektronix MSO 4034B.

Este osciloscopio ofrece herramientas de múltiples funciones para la depuración de señales mixtas (ver Fig. 29). Ofrece hasta 1 GHz de ancho de banda y 5 GS/s (Giga Sample/second) de velocidad de muestreo, la señal mixta del osciloscopio ofrece el rendimiento que se necesita para ver rápidamente detalles en el cambio de la señal, tiene un máximo de 20 canales y se puede analizar las señales análogas y digitales con un solo instrumento. Cuenta con una sonda de corriente que permite medir desde 5A hasta 30A según el rango de medida que se dese tomar.

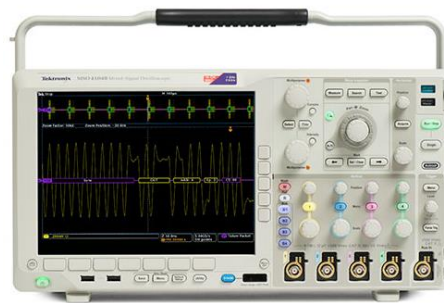


Fig.29 Osciloscopio Tektronix MSO 4034B.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2.5. Protoboard.

Es un tablero con orificios interconectados eléctricamente entre sí, siguiendo un patrón de líneas horizontales y verticales (ver Fig. 30). Este tablero permite hacer el montaje de circuitos de manera didáctica, para hacer un respectivo análisis de estos.

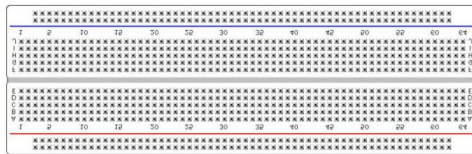


Fig.30 Protoboard.

3.2.6. Multímetro FLUKE 87V.

Es un multímetro autorango con diversas funciones como: voltajes y corrientes de AC y DC el cual mide un verdadero valor eficaz de la señal, mide voltajes hasta un límite de 1000V y tiene capacidad de medir corriente de 10A a 20A por un lapso de 30 segundos, tiene capacidad de medir frecuencias de hasta 200KHz y ciclos de trabajo en %, mide resistencias, diodos, continuidad y cuenta con un termómetro integrado para medir C° y F° (ver Fig. 31).



Fig.31 Multímetro FLUKE 87V.

3.3. Construcción.

La construcción del convertidor Boost se explica por secciones ya que de esta manera se puede explicar y entender más fácil el funcionamiento del convertidor.

3.3.1. Generador PWM con el IC SG3524.

Como se mencionó anteriormente, la señal de PWM es muy importante para la construcción del convertidor Boost; ya que esta es la que proporciona el ciclo de trabajo que se necesita para que el convertidor conmute y de esta manera determinar cuanto voltaje se necesita en la carga, en la Fig. 32, se muestra el circuito. Para observar esta configuración en la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es) y ver página 9. www.alldatasheet.es

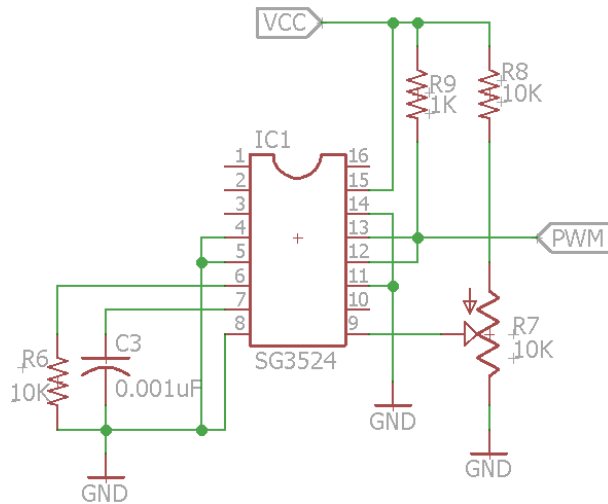


Fig.32 Circuito generador PWM.

Ahora se explica de manera detallada la construcción del circuito. El pin 15 es la alimentación general (VCC) junto con el pin 8 que es tierra (GND) del SG3524 y esto alimenta toda la circuitería interna que está conformada por: amplificadores operacionales, un regulador de voltaje, compuertas lógicas, un oscilador, flip flop's y transistores (ver Fig. 33). El pin 4 y 5 van referenciados a tierra; ya que son pines que van a un amplificador operacional el cual sirve como detector de límite de corrientes, pero en este caso se está deshabilitando, los pines 6 y 7 son muy importantes; ya que por medio de estos se determina la frecuencia de operación y una señal diente de sierra que más tarde es comparada con un voltaje de referencia para generar el PWM, la resistencia R6 es de 10KΩ y el capacitor C3 es de 0.001uF se determina el valor de frecuencia por la ecuación del τ (TAO):

$$\tau = R6 * C3 = 10K\Omega * 0.001\mu F = 100000Hz \quad (1)$$

ahora al pin 9 entra un voltaje que proviene del potenciómetro R7 que tiene un valor de 10KΩ; este es el voltaje de compensación, este se compara en una amplificador operacional junto con la señal diente de sierra dando como resultado un PWM unilateral, ahora los pines 11 y 14 están referenciados a tierra ya que estos son los emisores de dos transistores BJT y los pines 12 y 13 son los colectores (ver Fig. 33); estos transistores son los que entregan el PWM que fue generado por el amplificador operacional, los emisores y colectores de los transistores se unen para tener un mayor dominio del PWM, R9 que tiene un valor de 10KΩ es una resistencia de Pull-up, la cual va conectada con los colectores de los transistores, R8 tiene un valor de 10KΩ y es una resistencia de protección; es decir, cuando el potenciómetro tiene una valor muy bajo de resistencia (casi 0), esto puede ocasionar un corto ya que la alimentación y la tierra se unirían, por eso está de R8 como protección.

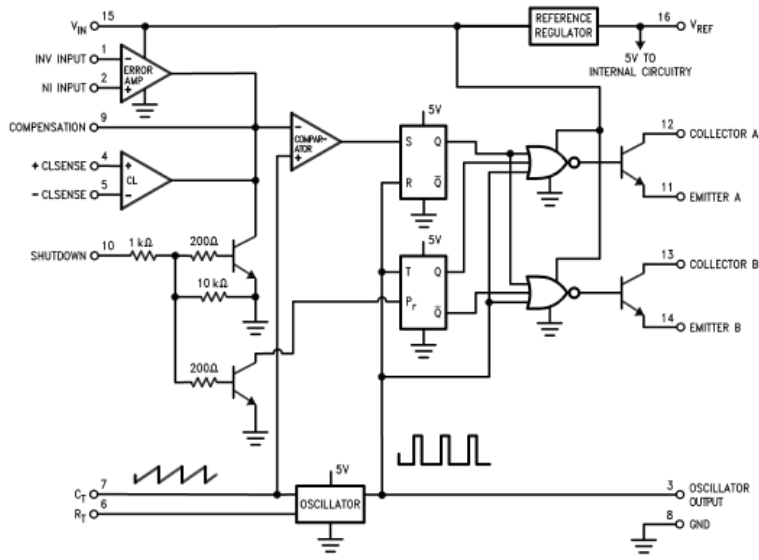


Fig.33 Circuito interno del SG3524.

3.3.2. Driver IR2110 o controlador de Mosfet's.

Este Driver es el que permite la conmutación de los transistores Mosfet Q1 y Q2 de forma complementaria en el circuito de potencia (ver Fig. 38) y esta conmutación está determinada por el PWM, en la Fig. 34 se muestra el circuito. Para observar esta configuración en la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es).
www.alldatasheet.es

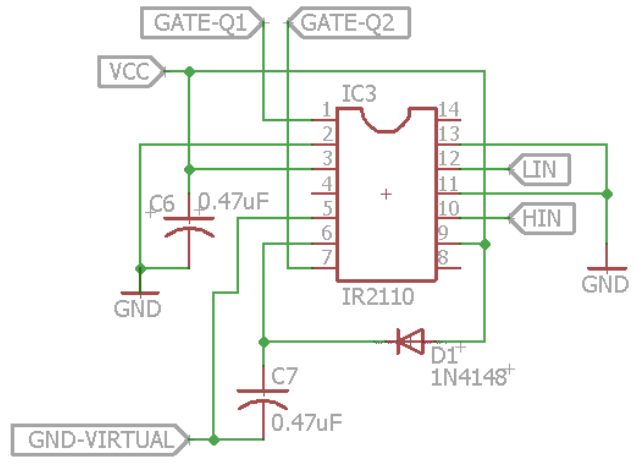


Fig.34 Circuito controlador de Mosfet's.

Ahora se explica de manera detallada la construcción del circuito: el pin 9 es la alimentación lógica general (VDD) junto con el pin 13 que es la tierra lógica (VSS) del IC IR2110 y esto alimenta toda la circuitería interna que está conformada por

compuertas lógicas, un generador de pulsos, flip flop's, transistores y demás componentes (ver Fig. 35).

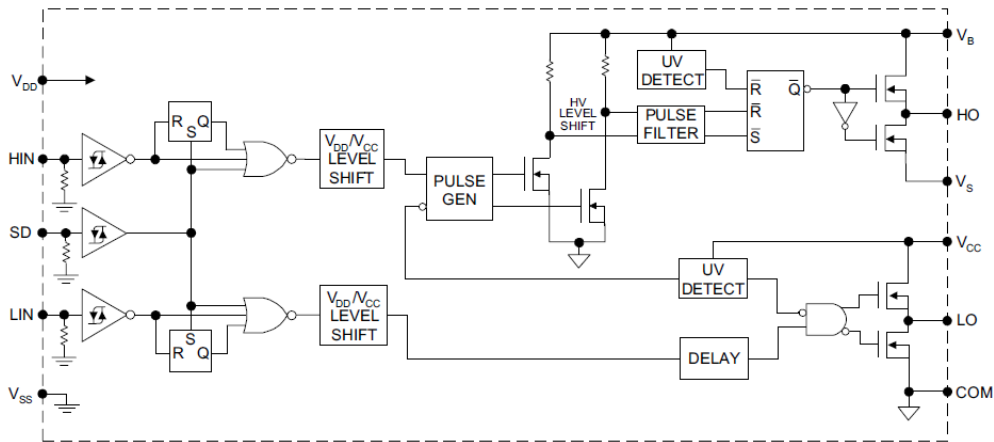


Fig.35 Circuito interno del IR2110.

Los pines 10 y 12 son las entradas del PWM que proviene del SG3524, pero este PWM tiene que pasar por un proceso de desfase; es decir, el pin 10 que es H_{in} (entrada de alta), ahí puede ingresar el PWM de la forma en la que proviene del generador, pero el pin 12 que es L_{in} (entrada de baja) tiene que entrar desfasada con respecto a H_{in} (ver Fig. 36).

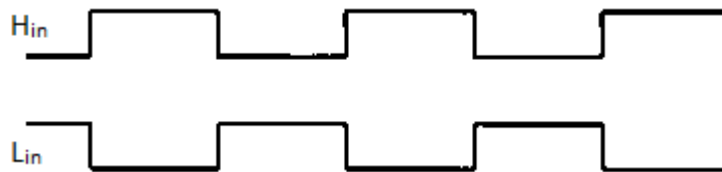


Fig.36 Señales cuadradas desfasadas.

Para poder desfasar el PWM que ingresa al pin 12, hay que negarlo o mejor dicho desfasarlo con una compuerta lógica NOT (negador) el cual es el IC CD4049 (ver Fig. 37).

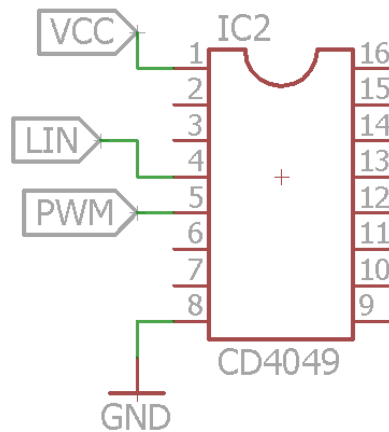


Fig.37 Circuito negador de PWM.

El PWM ingresa por el pin 5 del IC CD4049, el cual es desfasado y sale por el pin 4, de ahí ingresa al pin 12 del IC IR2110, de esta manera se conmutan los transistores Mosfet Q1 y Q2 de forma complementaria en el circuito de potencia (ver Fig. 38), por el circuito lógico interno.

Ahora el pin 11 esta referenciado a tierra, por lo que está inactivo; ya que este, es el que deshabilita las entradas H_{in} y L_{in} cuando sea necesario, el pin 3 es la alimentación (V_{cc}), el capacitor C6 de 0.47uF tiene como función filtrar o desacoplar señales de ruido externas que puedan afectar el voltaje en el pin 3 (ver Fig. 34) y el pin 2 es la tierra (COM) de los transistores y otros bloques lógicos (ver Fig. 35) que permiten mandar la señal de conmutación por el pin 1 al transistor Mosfet Q1 del lado de baja (transistor Mosfet que esta referenciado a tierra) que se encuentra en el circuito de potencia (ver Fig. 38). El pin 6 es la alimentación (V_B) y el pin 5 es una tierra virtual (V_s) de los transistores y otros bloques lógicos (ver Fig. 35) que permiten mandar la señal de conmutación por el pin 7 al transistor Mosfet Q2 del lado de alta (transistor Mosfet que no tiene referencia a tierra) que se encuentra en el circuito de potencia (ver Fig. 38), este voltaje (V_B) y la tierra virtual (V_s) son generados por la configuración de BOOSTRAP que está conformada por el diodo D1 1N4148 que es un diodo de switche rápido y por el capacitor C7 que es de 0.47uF, sin esta configuración no se podría conmutar el transistor Q2.

3.3.3. Circuito de potencia Boost.

Este circuito permite convierte un voltaje DC de menor magnitud a otro voltaje DC de mayor magnitud con una simple pero efectiva configuración de dos transistores Mosfet, una bobina y dos condensadores, la potencia máxima de este convertidor está dada por la siguiente ecuación:

$$I_{max} * V_{out\ max} = 5A * 95V = 475W \quad (2)$$

En la Fig. 38 se muestra el circuito. Para observar esta configuración en base de un artículo dar clic [aquí](#). (Serna-Garcés, Gonzalez Montoya, & Ramos-Paja, 2016)

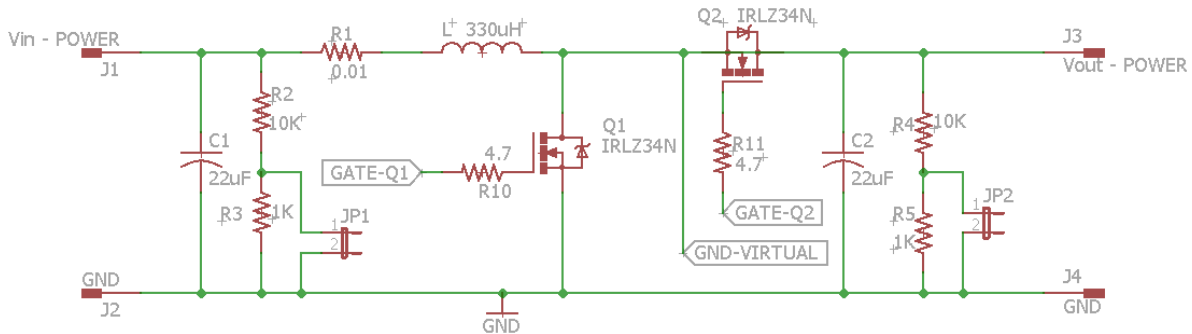


Fig.38 Circuito de potencia Boost.

Ahora se explica de manera detallada la construcción del circuito. La terminal J1 (V_{in} POWER) y la terminal J2 (GND); estas son las terminales donde se conecta el voltaje que se necesita convertir, el condensador C1 de 22uF a 100V filtra el voltaje de entrada, la R1 o [resistencia Shunt](#) de 0.01 Ω ; es la que permite sensar la corriente que pasa a través de la bobina L, esta etapa de sensado se explica más adelante. Los transistores Mosfet Q1 y Q2 como se explicó anteriormente funcionan de forma complementaria; cuando Q1 se encuentra en estado ON (cerrado) Q2 está en estado OFF (abierto), fluye una corriente a través de R1, L y Q1 (ver Fig. 39).

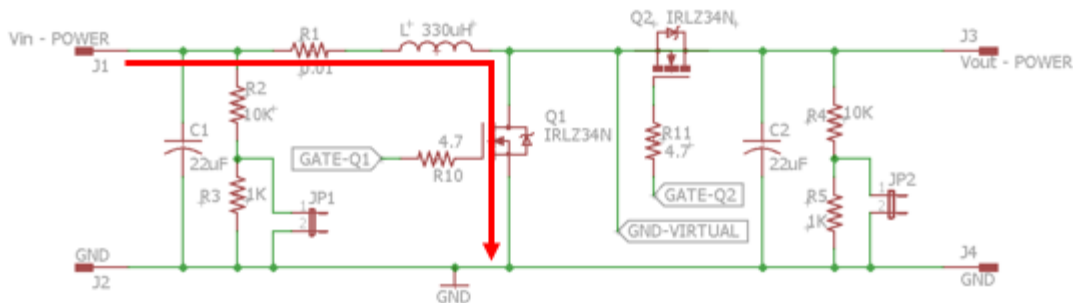


Fig.39 Q1 en estado ON.

La bobina L de 330uH al pasar una corriente a través de ella almacena energía en forma de campo magnético y su polaridad según el sentido de la corriente, es más positiva por donde entra que por donde sale, cuando Q1 pasa al estado OFF (abierto) y Q2 al estado ON (cerrado), la bobina L se opone al cambio brusco de la corriente cambiando su polaridad; esto hace que el voltaje de la entrada se suma con la energía almacenada por la bobina L y esta energía sea transferida por Q2 al condensador C2 de 22uF a 100V, este voltaje del condensador C2 es el mismo voltaje que se encuentra en la salida del convertidor, en las terminales J3 (V_{out}

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

POWER) y J4 (GND); pero con una amplitud mucho mayor al voltaje de entrada (ver Fig. 40).

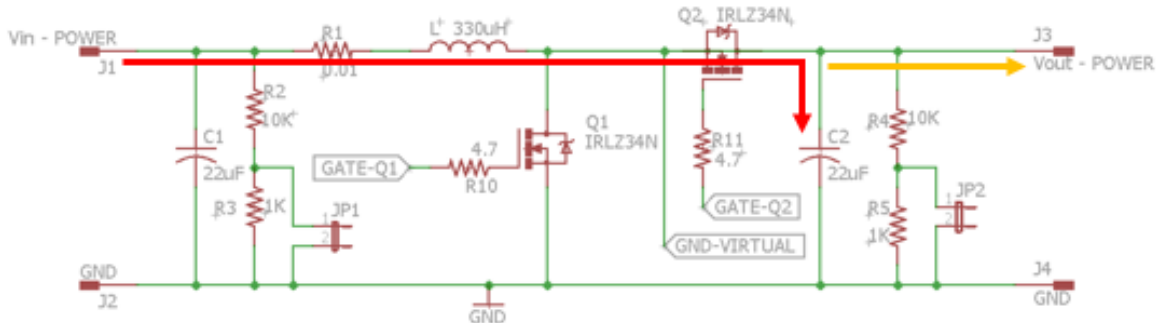


Fig.40 Q2 en estado ON.

Nota: El tiempo de conmutación de los transistores Mosfet y el voltaje de la salida, están determinados por el ciclo útil de trabajo (T_{on}) del PWM.

Las resistencias R2 de 10K Ω , R3 de 1K Ω , R4 de 10K Ω y R5 1K Ω conforman un divisor de tensión que toma una muestra del voltaje de la entrada y de la salida, aproximadamente de un 10%; esto con el fin de sensar estos voltajes e instrumentarlos para que sean adquiridos por sistemas de bajo voltaje (FPGA, DSP, Arduino). Las resistencias R10 y R11 son para la conmutación de Q1 y Q2.

Nota: el circuito de potencia cuenta con puentes (jumper o conectores) que permiten la alimentación de la etapa de control, ya sea de la entrada o la salida del convertidor; haciendo que todo el circuito sea auto-alimentado o por otro lado, la etapa de control se puede alimentar externamente.

3.3.4. Sensor de corriente INA225.

Esta etapa de sensado es muy importante a la hora de controlar el funcionamiento del convertidor Boost, pero como este es a lazo abierto solo se implementara con el fin de mostrar que la señal de salida del sensor tiene la misma forma de la señal de corriente que pasa por la bobina L, en la Fig. 41 se muestra el circuito. Para observar esta configuración en la hoja de datos del componente dar clic [aquí](http://www.alldatasheet.es).
www.alldatasheet.es

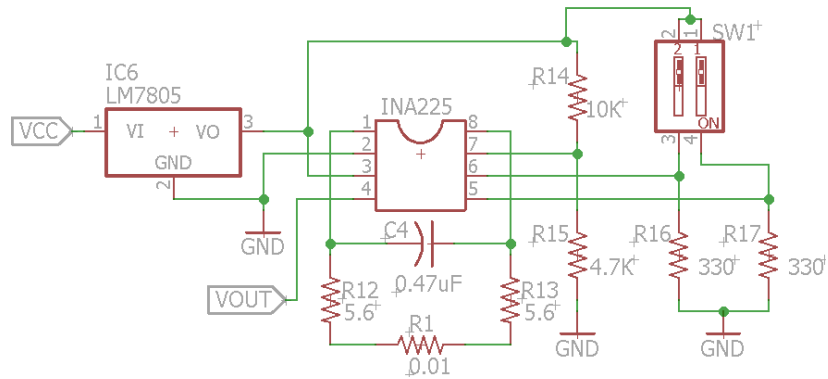


Fig.41 Esquemático sensor de corriente INA225.

Ahora se explica de manera detallada la construcción del circuito. R1 es la resistencia Shunt, como se mencionó anteriormente esta resistencia es muy importante en la etapa de sensado de la corriente; ya que por medio de esta se transfiere un voltaje de entrada a los pines 1 y 8 del INA225, que son las entradas inversora y no inversora de un amplificador operacional (ver Fig. 42). El valor de esta resistencia se debe elegir de forma tal que no represente una pérdida significativa en la etapa de potencia, pero también, no ser tan pequeña para que la señal de diferencia de voltaje que llega al circuito INA225 se vea alterado por ruido de sensado.

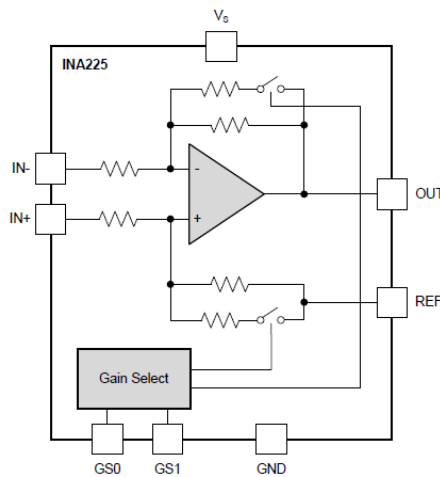


Fig.42 Circuito interno del INA225.

Ahora las resistencias R12 de 5.6Ω, R13 de 5.6Ω y el capacitor C4 de 0.47μF conforman un filtro contra el ruido que proviene del circuito de potencia por la conmutación de los transistores Mosfet, los pines 2 (GND) y 3 (Vs) son la alimentación del INA225, la R14 de 10KΩ y la R15 de 4.7KΩ conforman un divisor de voltaje para un Vref (voltaje de referencia) en el pin 7; esto con el fin de crear un

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

OFFSET para el sensado de la corriente y los pines 5 y 6 son la entrada de una combinación lógica de unos (5V) y ceros (0V) que provienen del dip switch SW1 y las resistencias de Pull-down R16 de 330Ω y R17 de 330Ω; para la configuración manual de la ganancia del INA225, esto con el fin de amplificar el voltaje de salida del pin 4 en una proporción del 25, 50, 100 y 200 veces mayor que al voltaje de entrada. La ecuación que define el voltaje de salida con respecto a la ganancia es la siguiente:

$$V_{osen} = G * V_{shunt} \quad (3)$$

3.4. Simulaciones.

Para hacer las respectivas simulaciones del convertidor Boost se utiliza el software PSIM (powersim), primero observando el comportamiento del convertidor Boost en condiciones ideales y luego en condiciones reales para así comparar estos resultados con los obtenidos experimentalmente. En la siguiente tabla se muestran los parámetros para la respectiva medición de las señales de V_{in} , V_{out} , IL (corriente en la bobina) y V_{pulse} (% del Duty).

% DUTY	FRECUENCIA	VOLTAJE DE ENTRADA	CARGA
30%	100KHz	5V	100Ω
30%	100KHz	10V	100Ω
50%	100KHz	5V	100Ω
50%	100KHz	10V	100Ω
70%	100KHz	5V	100Ω
70%	100KHz	10V	100Ω
50%	50KHz	5V	100Ω
50%	75KHz	5V	100Ω

Tabla 1. Parametros de medida.

Las imágenes 7 y 8 son para observar el cambio del rizado de la corriente, cuando se trabaja a frecuencias más bajas de 100KHz.

PSIM es una herramienta de circuitos desarrollada por la empresa Powersim; este software está especialmente diseñado para simulaciones de electrónica de potencia, control de motores y sistemas dinámicos. (“psim,” n.d.)

3.4.1. Simulación en condiciones ideales.

En estas condiciones se toman los valores ideales de todos los componentes para observar el comportamiento del convertidor, sin presencia de pérdidas de voltajes o

de corrientes por impedancias. En la Fig. 43 se muestra el convertidor Boost para esta simulación.

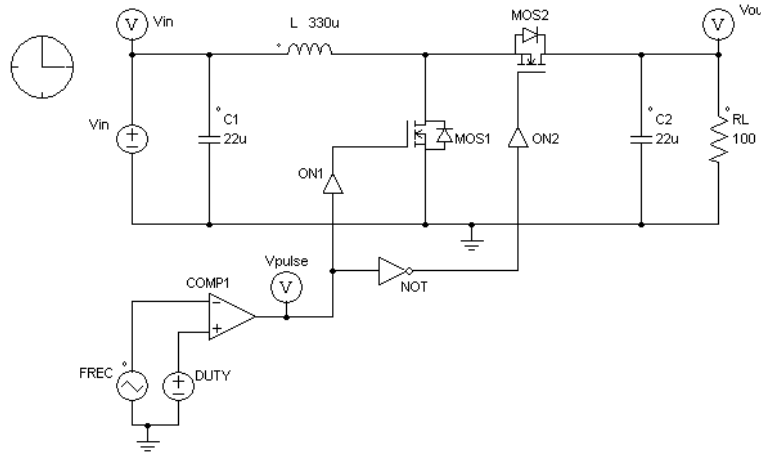


Fig.43 Convertidor Boost ideal.

Se seleccionan los componentes que se necesitan para la simulación como los condensadores C1 y C2 de 22uF, la bobina L de 330uH, los transistores Mosfet que son MOS1 y MOS2 con sus respectivos conmutadores ON1 y ON2 y la compuerta NOT para desfasar la señal al transistor MOS2, el voltaje de entrada V_{in} , la carga RL de 100Ω y el generador de PWM que está conformado por la fuente de señal triangular que es la que define la frecuencia, la fuente DC que es el que define el Duty y el amplificador operacional COMP1. Para observar las señales en el osciloscopio se definen puntos de medida como: V_{in} , V_{out} , IL y Vpulse.

Nota: para definir el punto de medida de la IL se tiene que activar en la ventana de parámetros de la bobona L, con la opción CURRENT FLANG en 1.

Después de establecer el convertidor en PSIM, se definen los parámetros de simulación con el reloj que se encuentra en la parte superior izquierda del circuito (ver Fig. 43), los parámetros son los siguientes (ver Fig. 44).

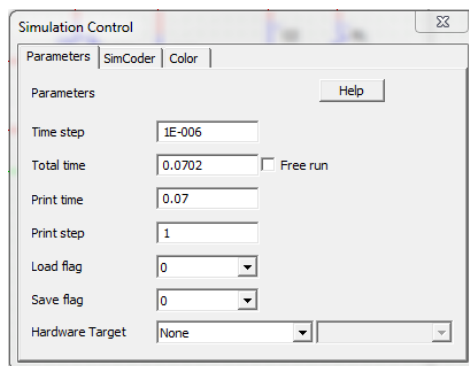


Fig.44 Control de simulacion.

Ahora siguiendo los parámetros de medición de la tabla 1, se simula el convertidor y las gráficas en condiciones ideales son las siguientes:

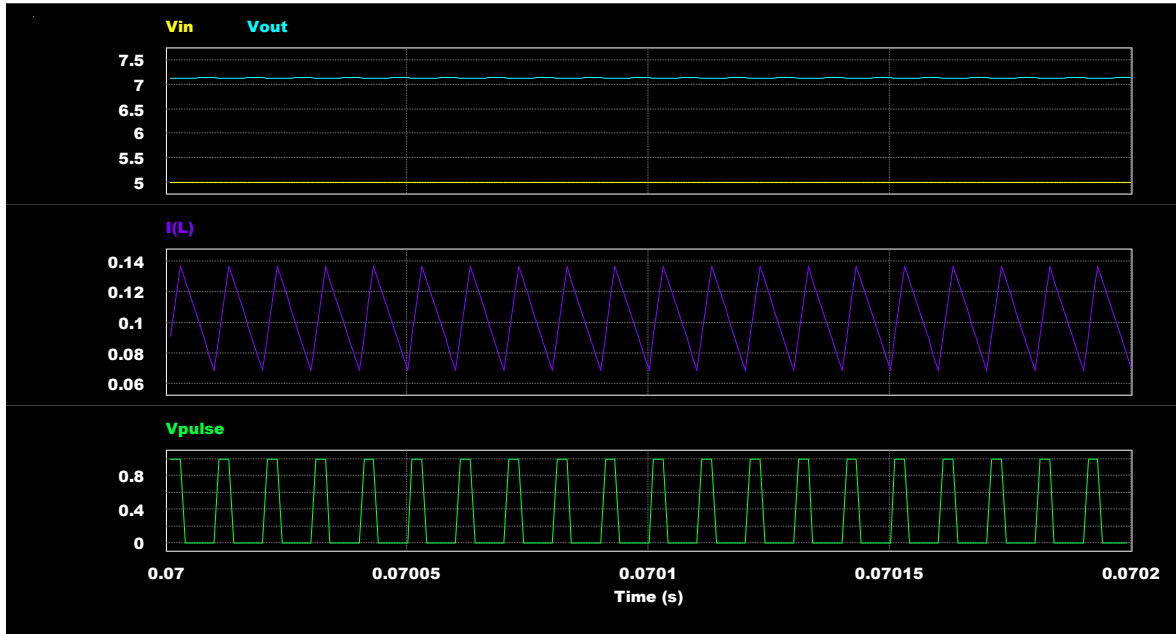


Fig.45 Grafica de simulacion con un Duty del 30% a 100KHz.

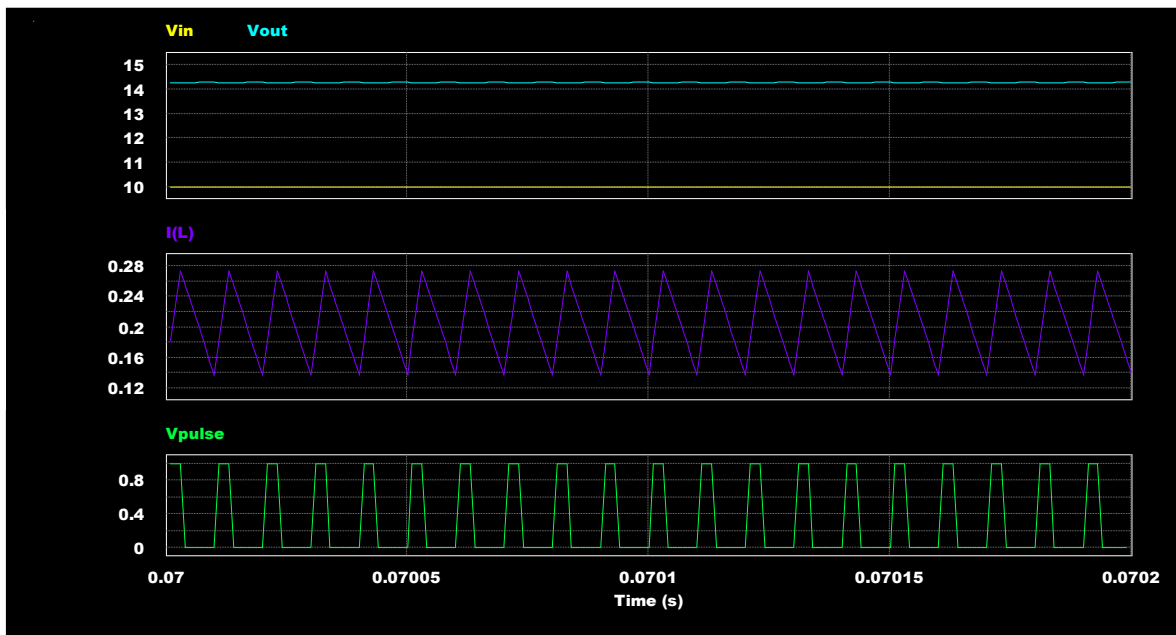


Fig.46 Grafica de simulacion con un Duty del 30% a 100KHz.

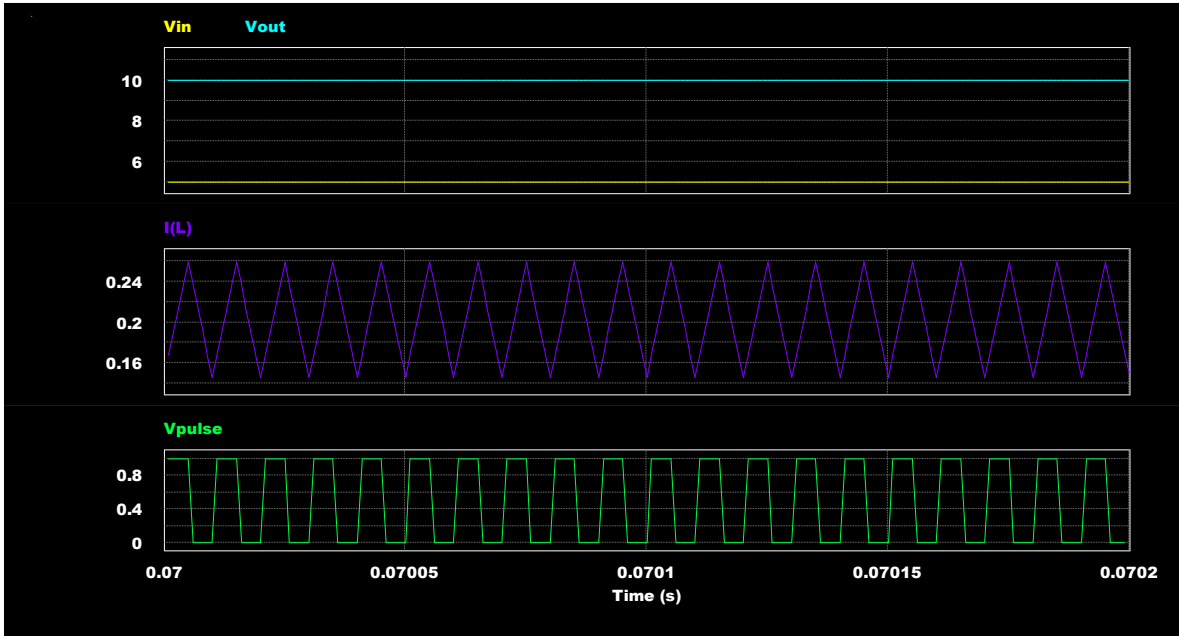


Fig.47 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 100KHz.

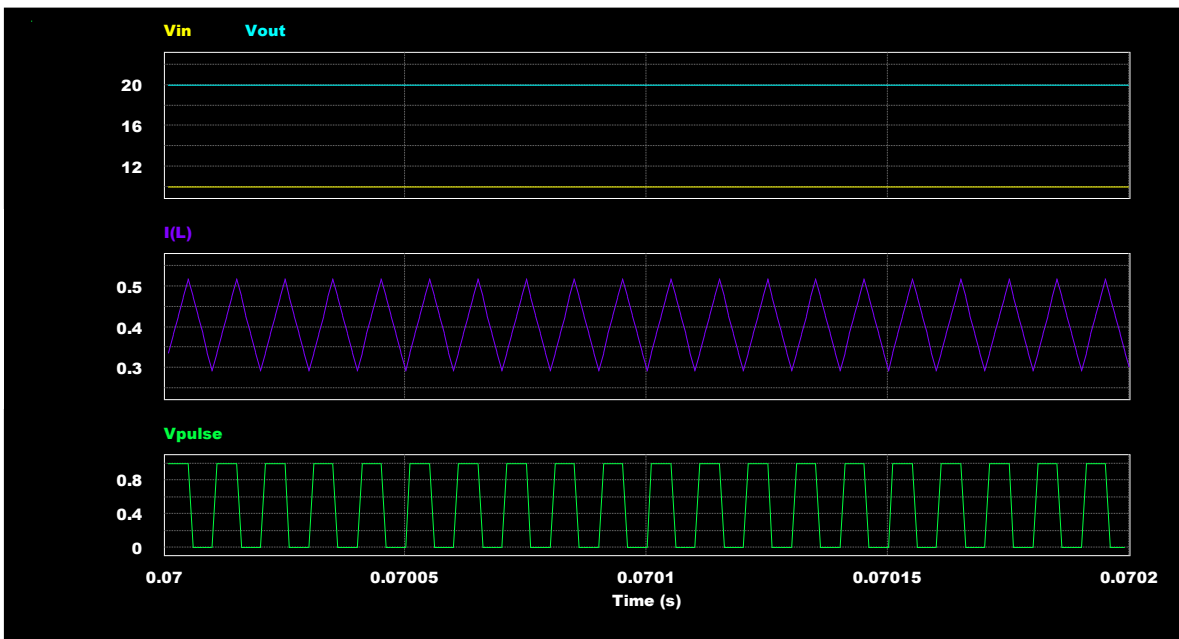


Fig.48 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 100KHz.

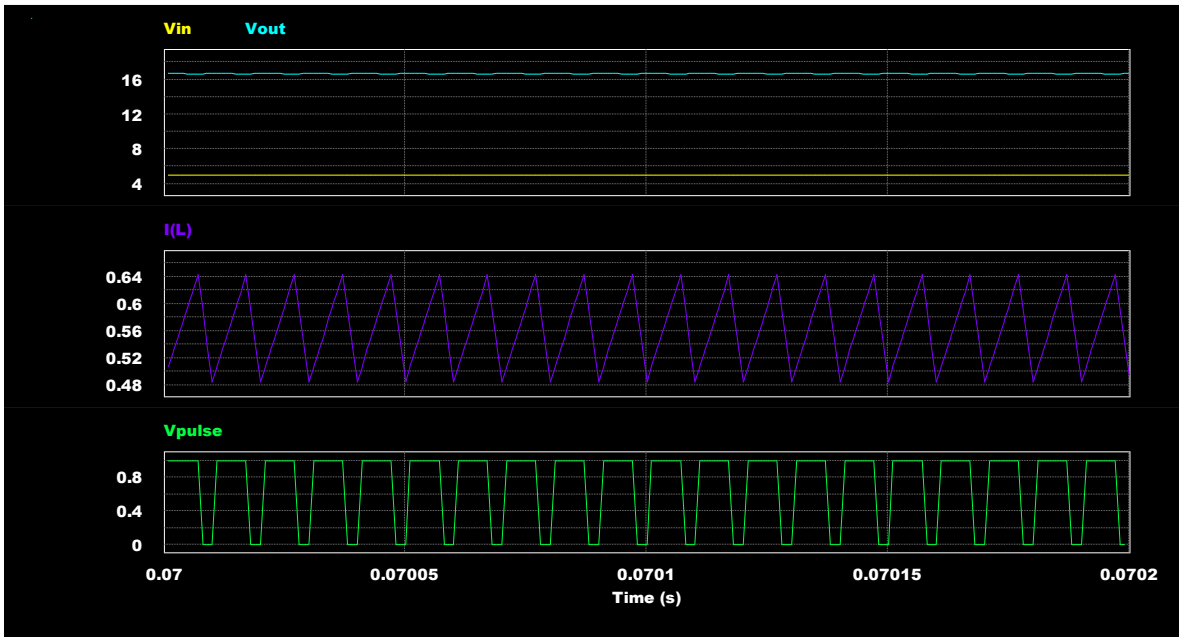


Fig.49 Grafica de simulacion con un Duty del 70% a 100KHz.

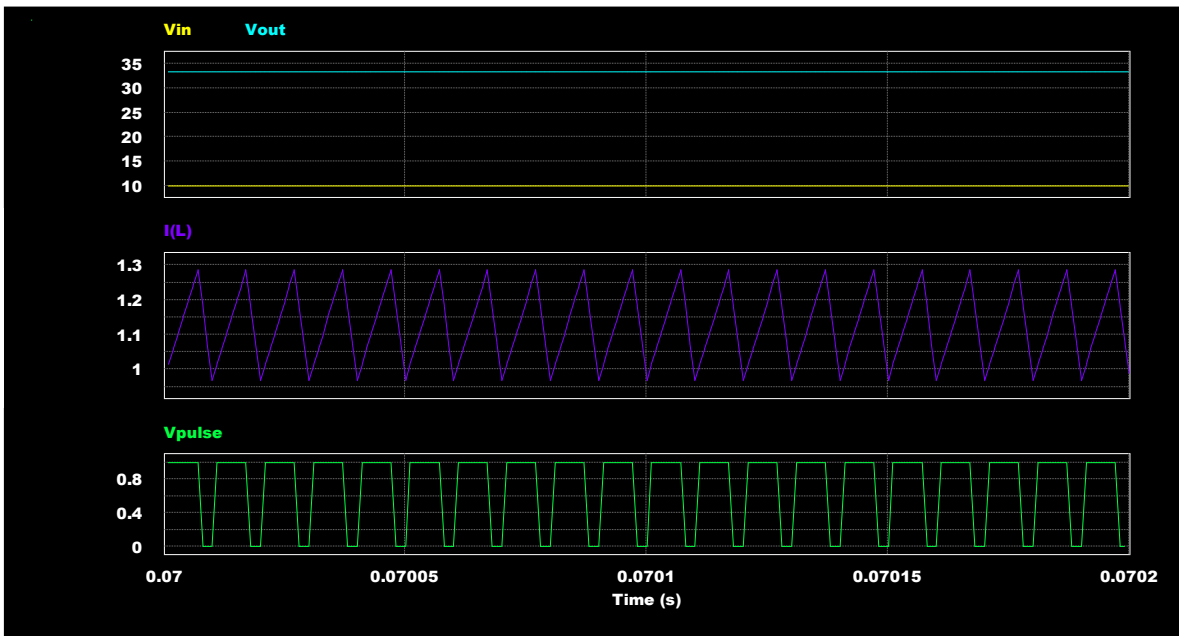


Fig.50 Grafica de simulacion con un Duty del 70% a 100KHz.

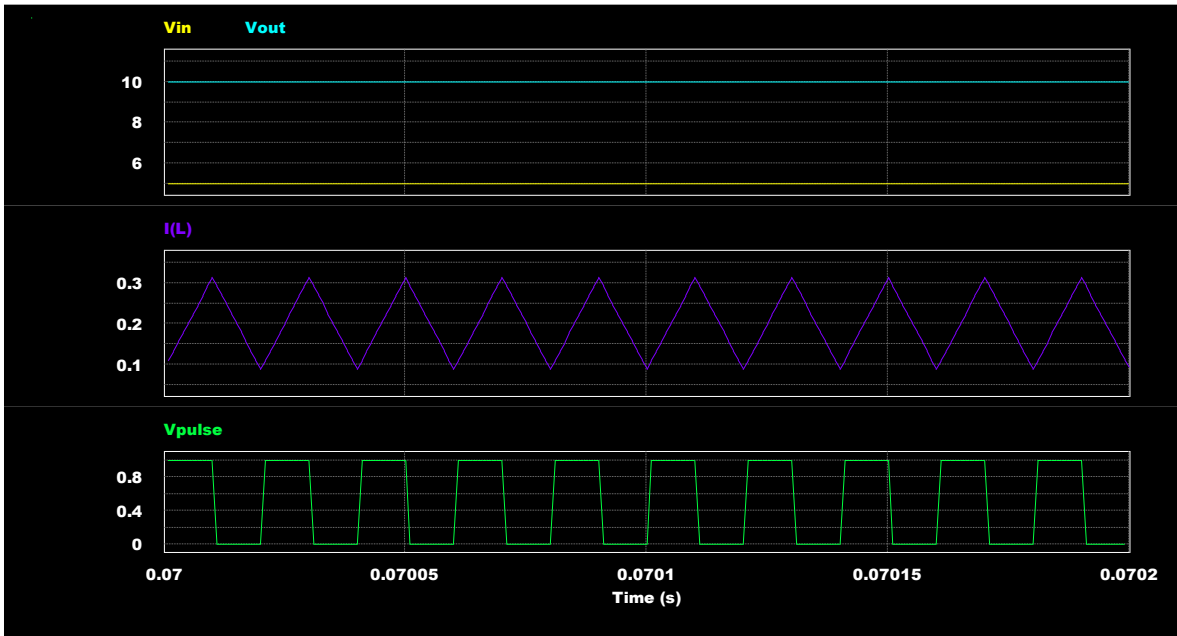


Fig.51 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 50KHz.

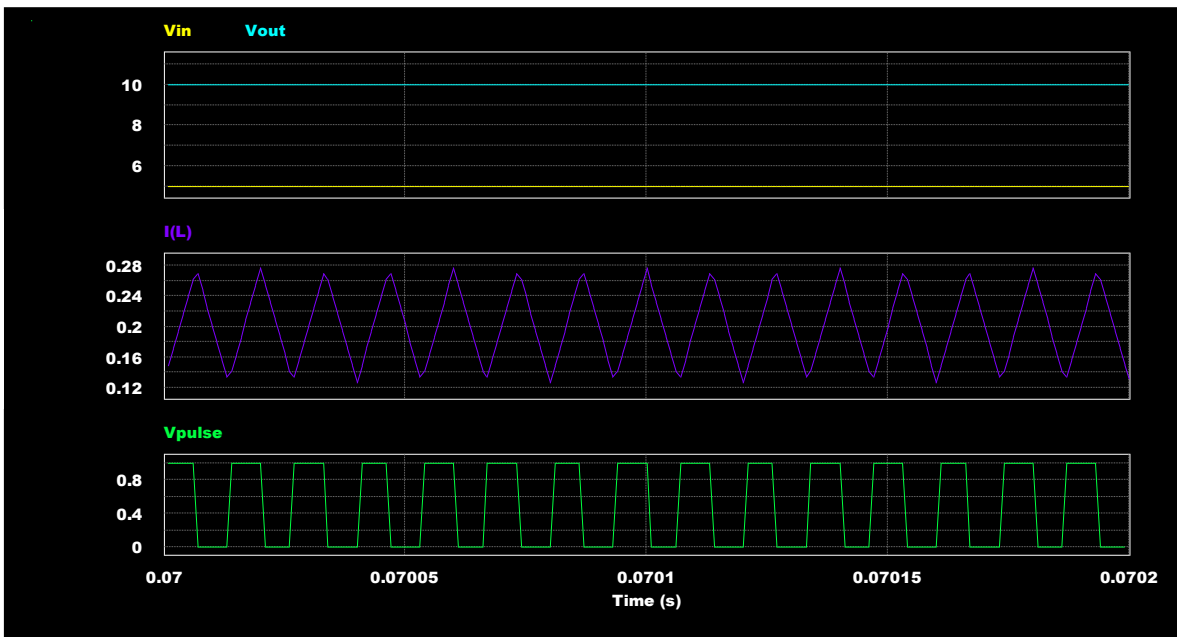


Fig.52 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 75KHz.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

De la figura 45 a la 52 se observar el cambio en el V_{pulse} (% del Duty), como se mencionó anteriormente el Duty determina cuanto voltaje se quiere a la salida del convertidor, esto se puede expresar matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-Duty} \quad (4)$$

Como se espera en condiciones ideales, al implementar la ecuación anterior el V_{out} es exactamente el mismo que se observa en las imágenes. En las figuras 51 y 52 se observa el cambio del rizado de la corriente de acuerdo a la frecuencia, por esto es más práctico trabajar a frecuencias más altas; ya que este rizado se puede minimizar más y obtener una señal de corriente casi continua en el tiempo, nótese que el cambio de la frecuencia no afecta el V_{out} del convertidor.

3.4.1. Simulación en condiciones reales.

En estas condiciones se toman los valores reales de todos los componentes para observar el comportamiento del convertidor, estos valores son:

- ESR y voltaje máximo del condensador.
- DCR y corriente máxima del inductor.
- La $R_{DS(on)}$ y las caídas de voltaje de los transistores Mosfet.
- El valor real de la carga.

En la Fig. 53 se muestra el convertidor Boost para esta simulación.

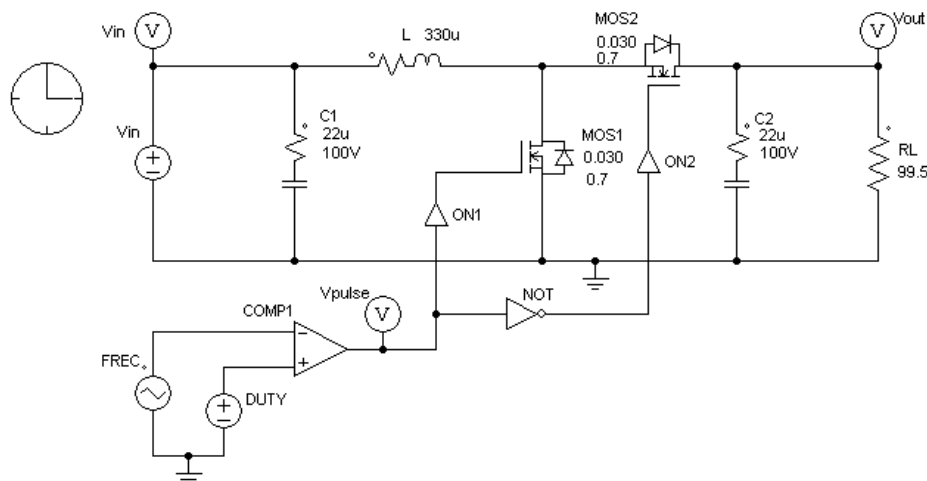


Fig.53 Convertidor Boost real.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ahora se continua con todos los pasos anteriores de la simulación en condiciones ideales, se establece el circuito y se define el control de simulación (ver Fig. 44) para el circuito en condiciones reales. Se toman los mismos parámetros de medición de la tabla 1, se simula el convertidor y las gráficas en condiciones reales son las siguientes:

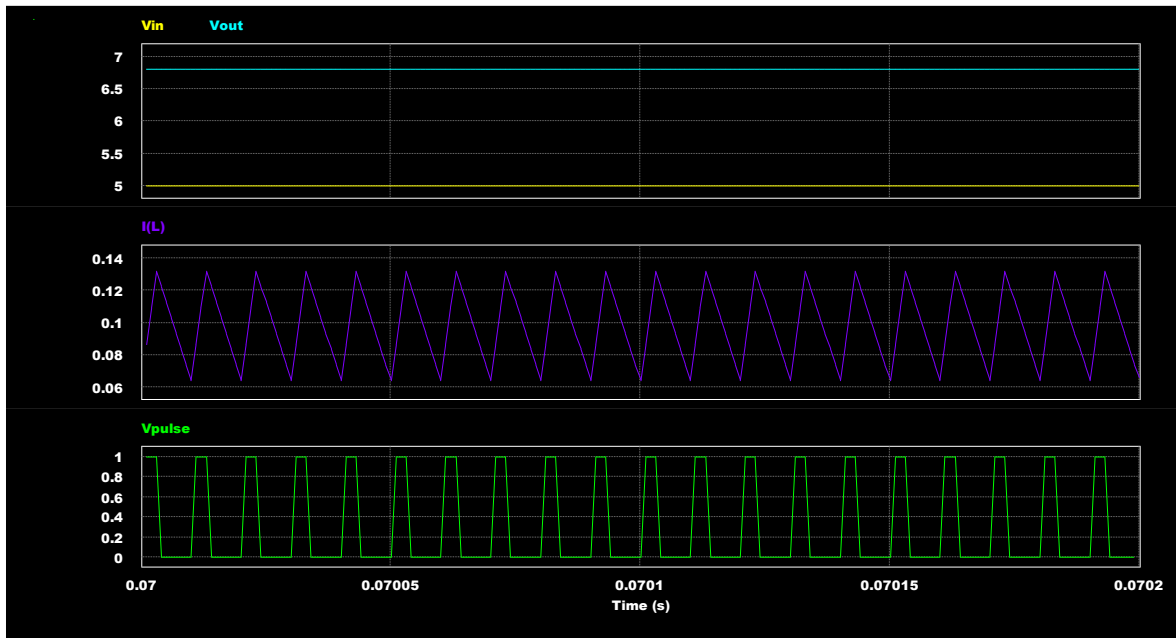


Fig.54 Grafica de simulacion con un Duty del 30% a 100KHz.

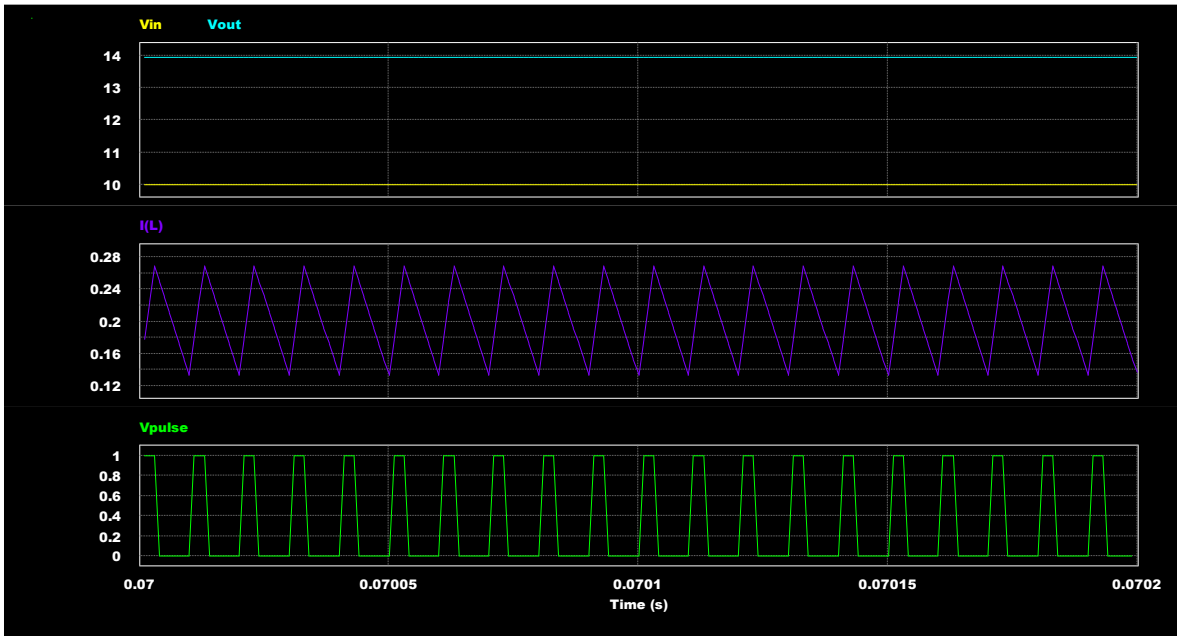


Fig.55 Grafica de simulacion con un Duty del 30% a 100KHz.

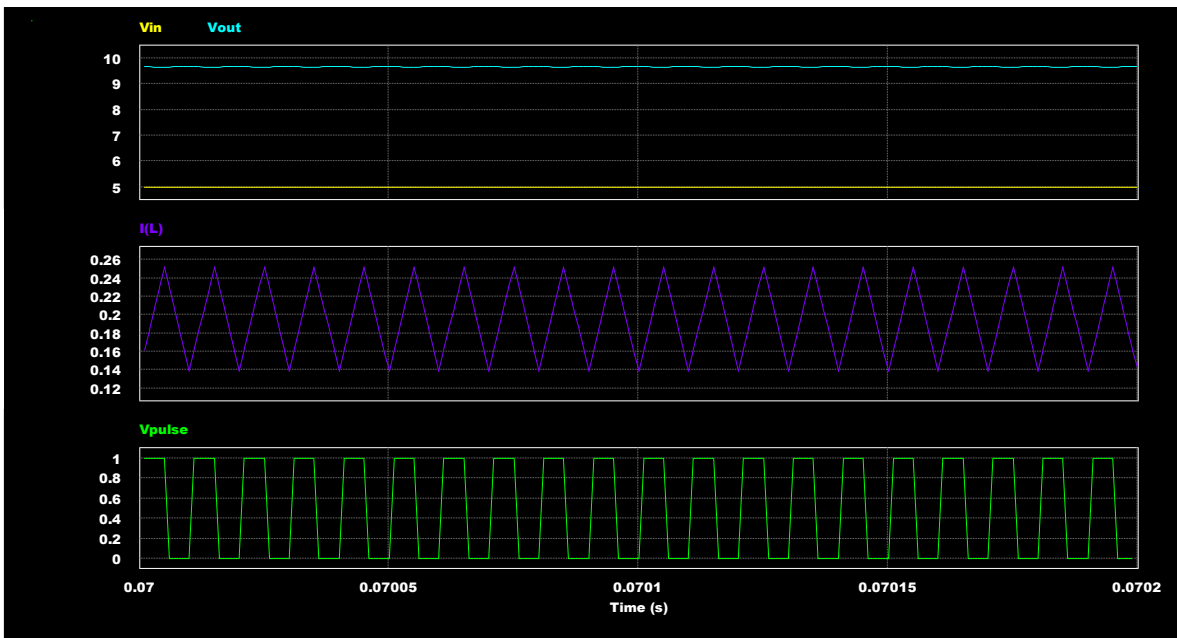


Fig.56 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 100KHz.

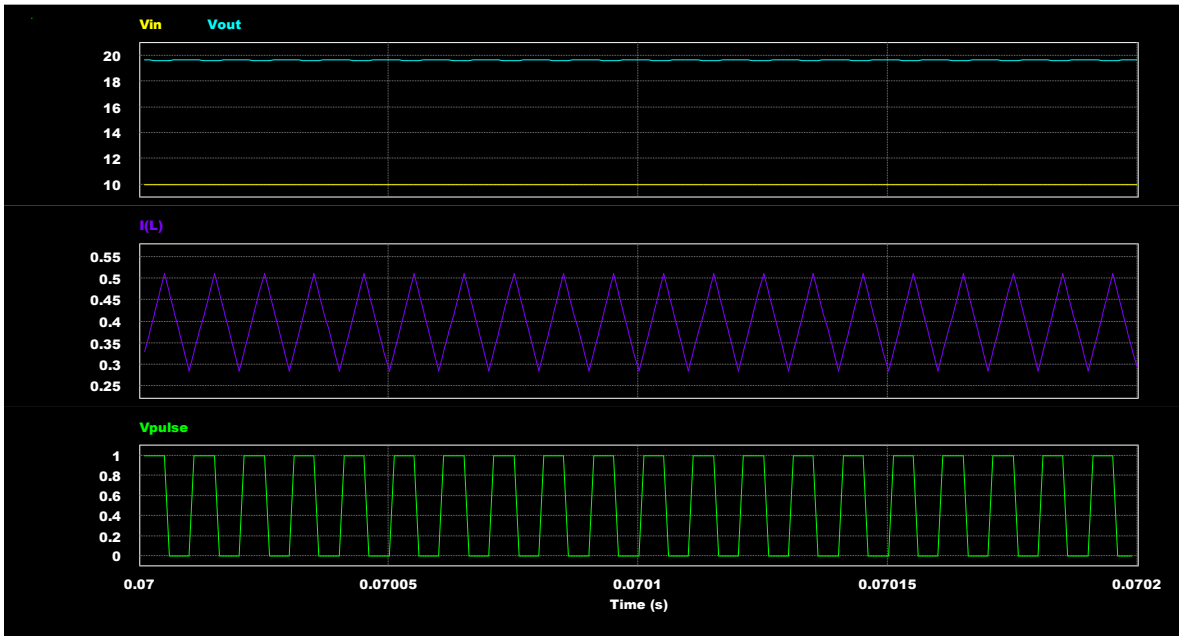


Fig.57 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 100KHz.

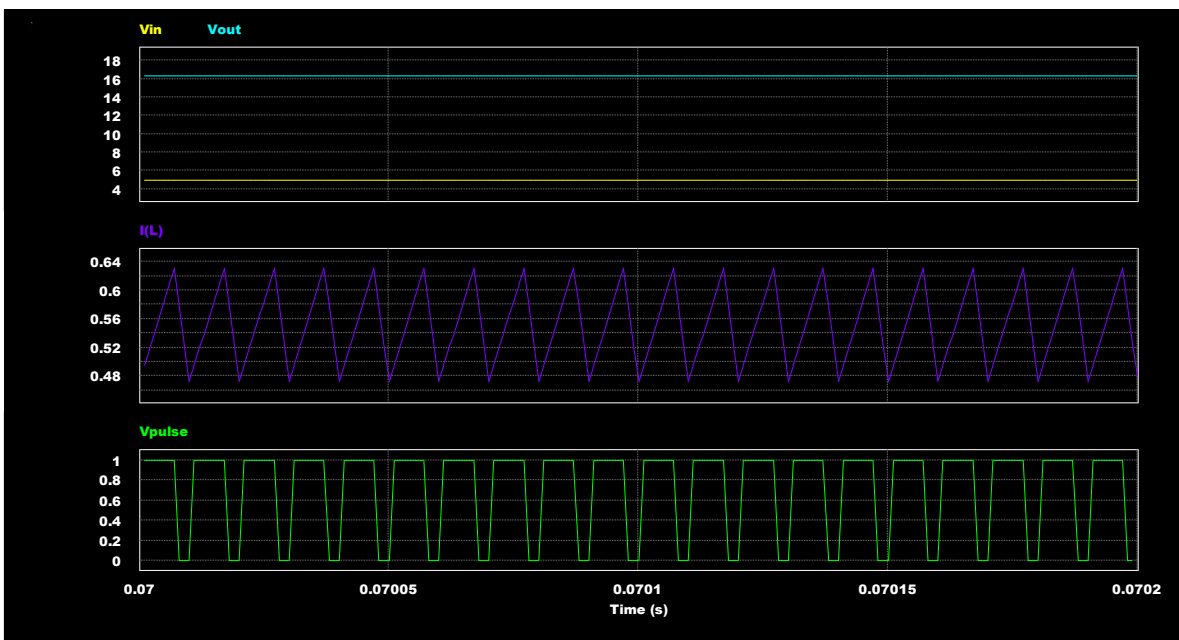


Fig.58 Grafica de simulacion con un Duty del 70% a 100KHz.

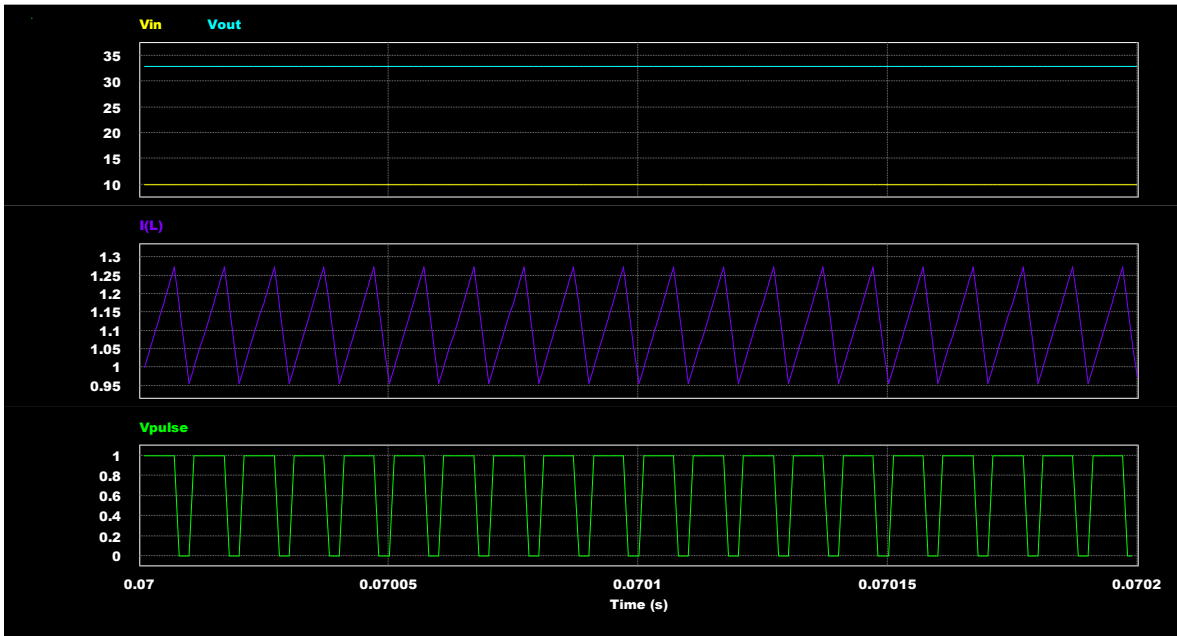


Fig.59 Grafica de simulacion con un Duty del 70% a 100KHz.

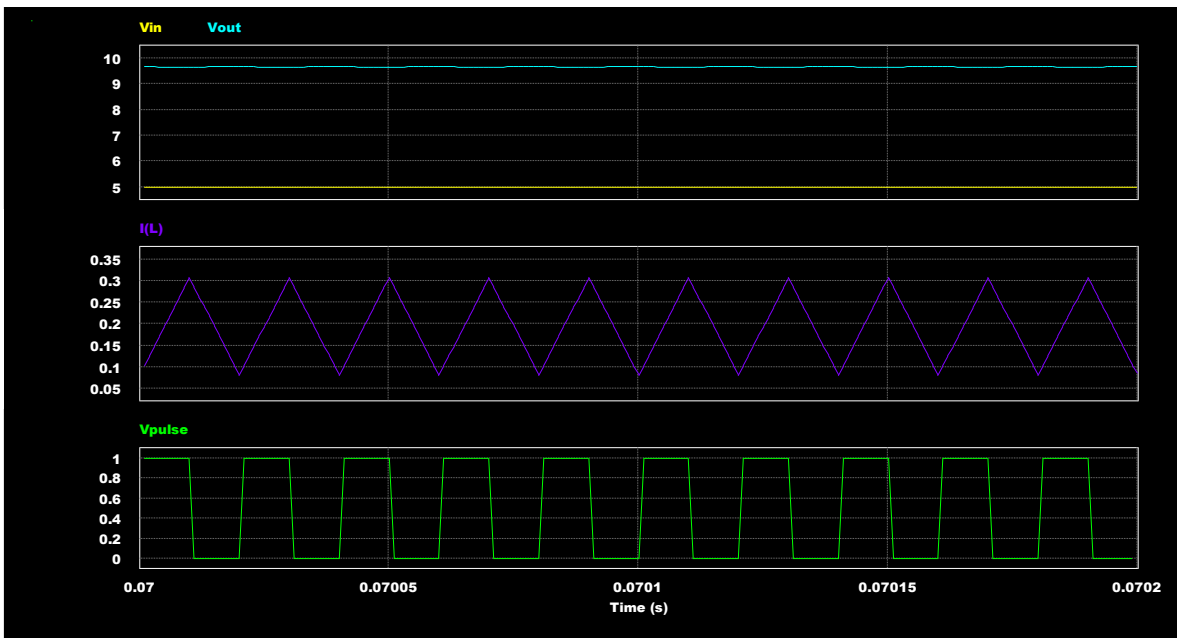


Fig.60 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 50KHz.

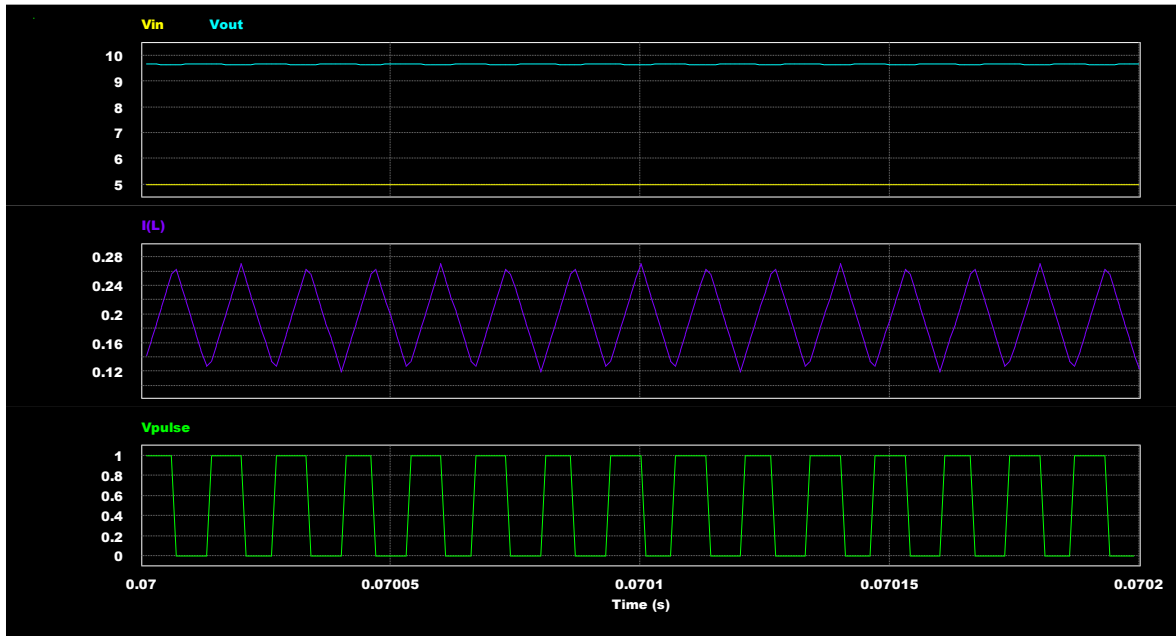


Fig.61 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 75KHz.

De la figura 54 a la 61 si se verifica el voltaje de salida con la ecuación (3), el resultado no dará exactamente igual al de la simulación; esto se debe a que los componentes cuentan con impedancias que provocan pérdidas de energía en el convertidor. Pero la ecuación (3) es muy útil a la hora de determinar cuanto voltaje puede entregar el convertidor Boost en determinados ciclos de trabajo.

En las figuras 60 y 61 se puede observar algo muy similar a las figuras 51 y 52 de la simulación en condiciones ideales, al variar la frecuencia de operación se nota que la amplitud en el rizado de la corriente en el inductor son muy parecidas y que los periodos muy similares, pero al igual que en las condiciones ideales el voltaje de salida no se ve afectado por el cambio de la frecuencia en condiciones reales, solo se ve afectado como se mencionó anteriormente por las impedancias generados por los componentes.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados de la construcción del convertidor Boost de 475W, dando una pequeña explicación del manejo del software EAGLE para la realización de la PCB, teniendo en cuenta parámetros de diseño. Se ilustran figuras donde se identifica cada sección del convertidor y así evidenciar el producto final obtenido por este trabajo.

4.1. Diseño de la PCB.

Para la realización de la PCB, se utiliza el software EAGLE versión 7.4; ya que este programa permite la fabricación de una manera intuitiva y fácil de ejecutar.

EAGLE es un software de diseño electrónico, editor de formato de fácil aplicación gráfica, ideal para diseños de PCB.

Para el diseño de la PCB en el software EAGLE se tienen que ejecutar dos etapas:

- El diseño del esquemático.
- El diseño del Layout.

4.1.1. Diseño del esquemático.

En esta sección se realiza el esquemático con los componentes que se necesitan para la construcción del convertidor, antes de buscar los componentes se tiene que predeterminar el área de trabajo en cuadrículas, con el tamaño predeterminado por el SI (sistema internacional); ya que la mayoría de componentes vienen con sus dimensiones en mm (milímetros), esto se realiza de la siguiente manera, en la parte superior izquierda hay un icono de cuadrícula que se llama Grid, se abre una ventana y se configura de la siguiente manera (ver Fig. 62).

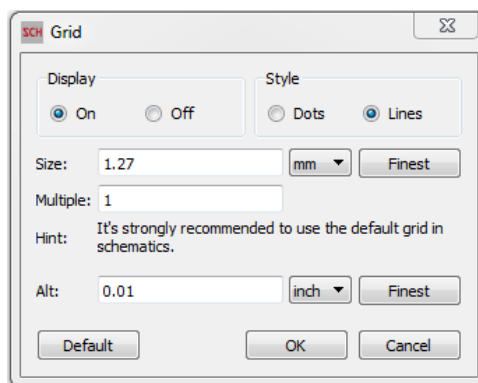


Fig.62 Tamaño de cuadrícula.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Luego de establecer el tamaño de cuadrícula el área de trabajo queda así (ver Fig. 63).

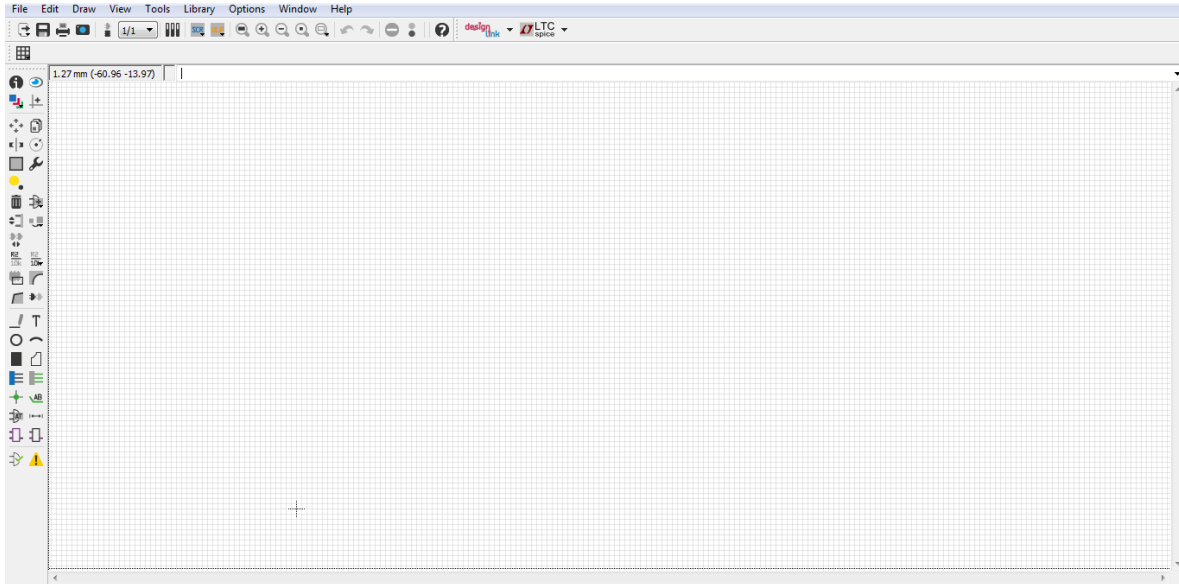


Fig.63 Area de construccion del esquemático.

Como el área de trabajo ya está establecida lo siguiente es buscar los componentes, es muy importante conocer las dimensiones de dicho componente; es decir, la separación entre las terminales (Grid) y las dimensiones físicas (Outline), es bueno apoyarse de un pie de rey para estas medidas o de la hoja de datos del componente, EAGLE facilita esto ya que da una vista previa de los componentes que se están buscando. En la barra de tareas de la izquierda (ver Fig. 63), se busca el icono llamado Add; este icono despliega una ventana que permite buscar los componentes en todas la librerías con las que cuenta EAGLE (ver Fig. 64).

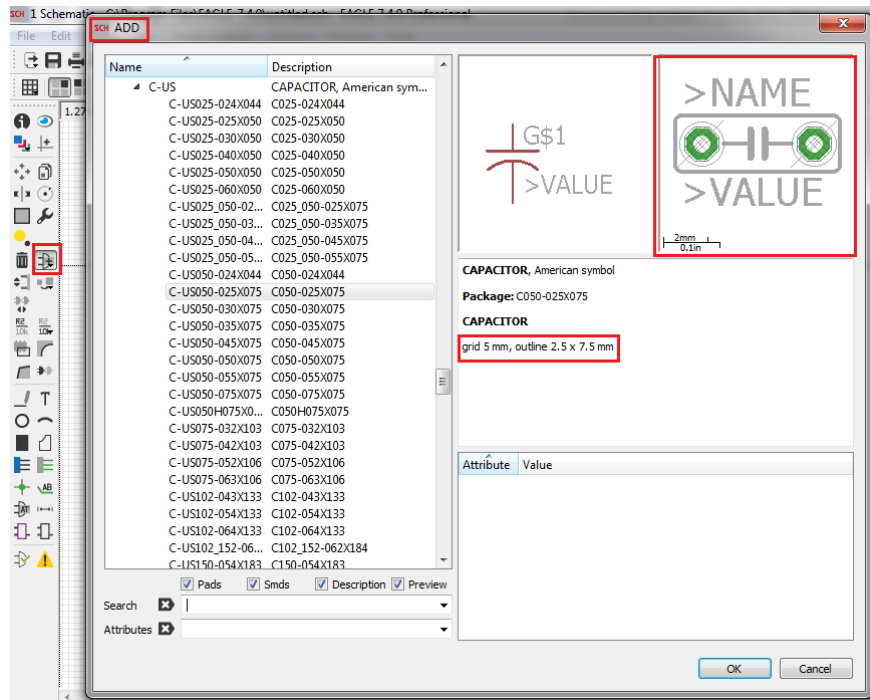


Fig.64 librería de componentes.

Se buscan los componentes necesarios para el diseño del esquemático, después de tener todos los componentes en el área de trabajo, se pueden mover con el icono (Move) o ubicar en el sitio que más se guste y luego unir las componentes con el icono (Net) para dar forma al circuito, es importante tener en cuenta que si varios componentes están unidos a una solo bus, es recomendable nombrar estos buses; de manera que no se vayan a trocar conexiones que puedan afectar el diseño del convertidor, para cambiar el nombre de una conexión o de un componente; simplemente se selecciona con el cursor la pista o el componente, se da clic derecho y se da la opción Name. De esta misma manera se pueden cambiar los valores de los componentes pero en la opción Value, también se pueden hacer conexiones por medio de etiquetas con el icono Label y dando el nombre de referencia que va de dicho componente a otro; esto con el fin de no hacer tantas conexiones y que el circuito se pueda entender, ahora se mostrara cada sección del esquemático por separado; para que se pueda observar mejor.

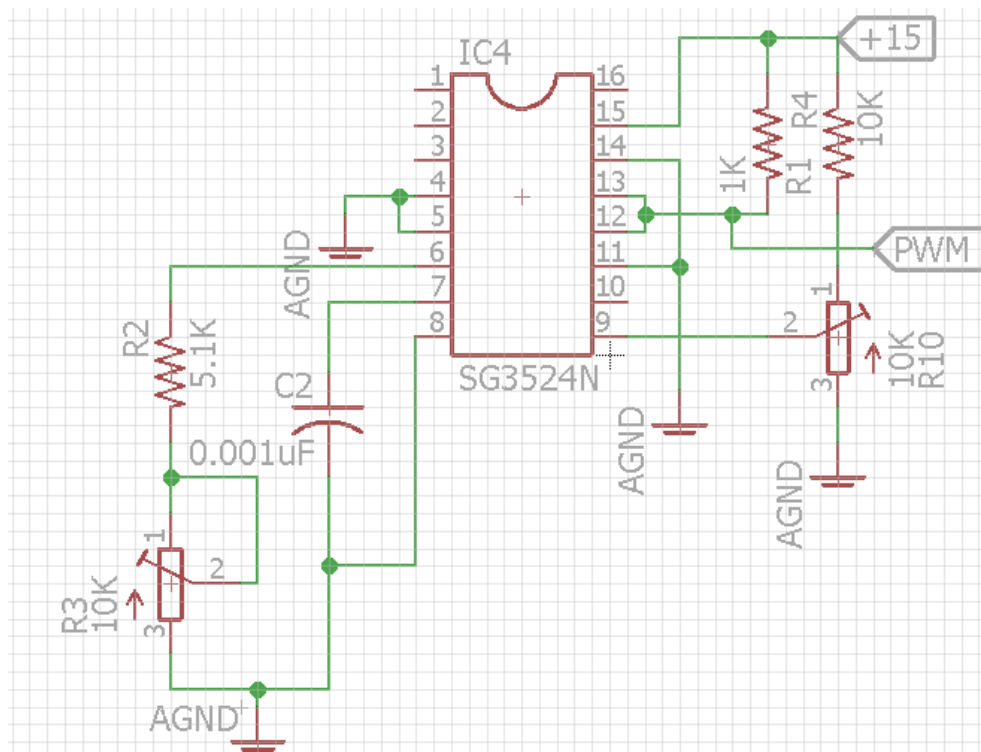


Fig.65 generador de señal PWM.

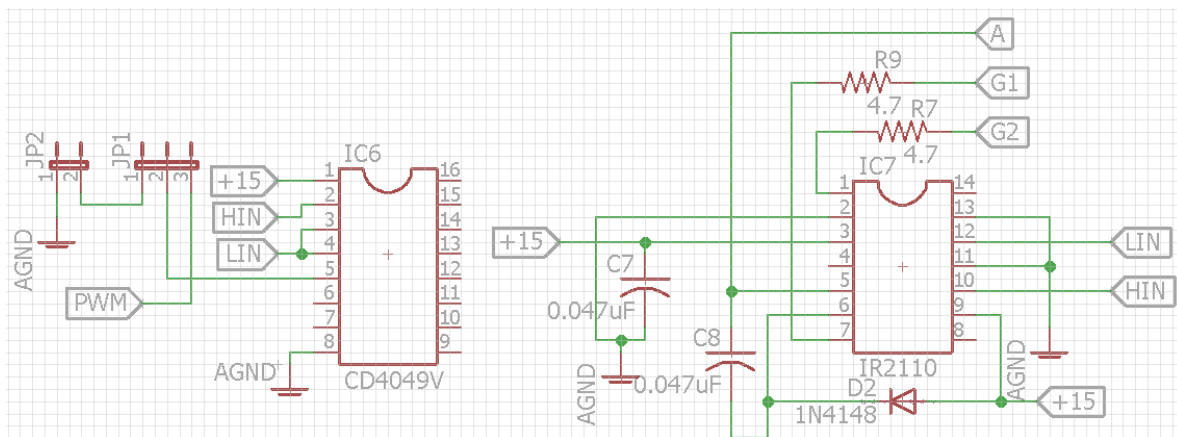


Fig.66 Negador de PWM y controlador de Mosfet's.

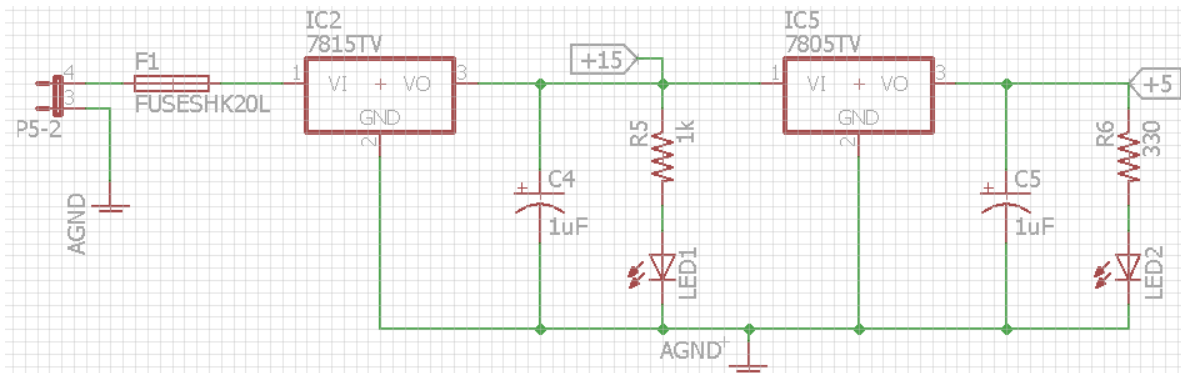


Fig.67 Etapa de regulación.

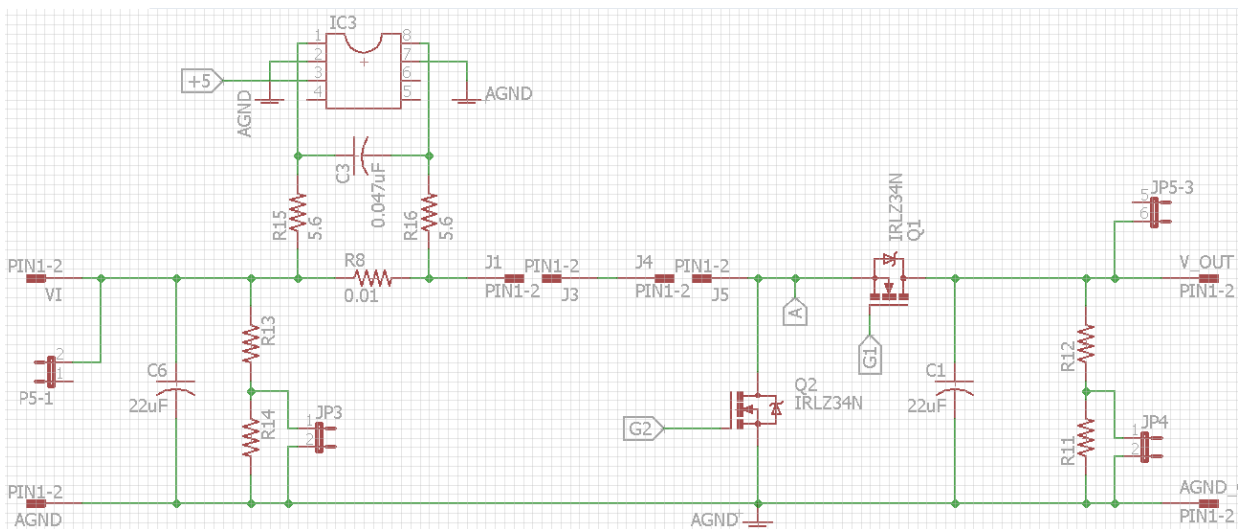


Fig.68 Etapa de potencia y Base tipo dip del sensor de corriente.

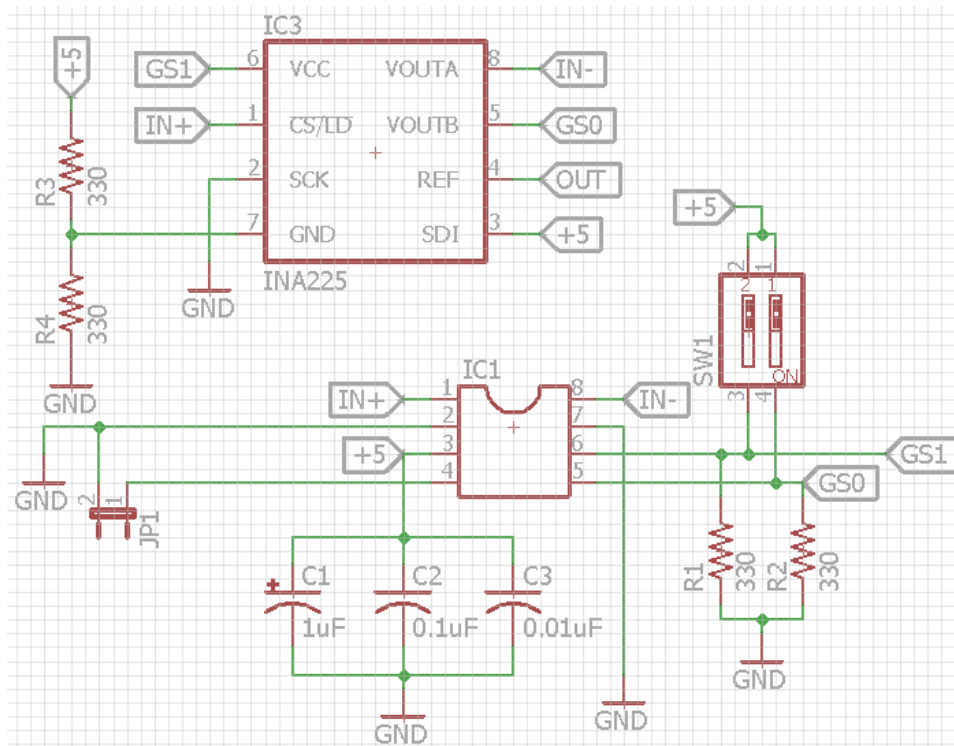


Fig.69 sensor de corriente.

Así con estas imágenes el esquemático del convertidor esta realizado, lo siguiente es realizar el Layout.

4.1.2. Diseño del Layout.

Después de tener definido el esquemático se procede a realizar el Layout, esta etapa es donde se rutean las pistas, se definen los espacios de los componentes para minimizar el tamaño del PCB, se modifican los puntos de soldadura (Pad) de ser necesario y se define si el PCB va a ser de una o dos capas. Para pasar del área de trabajo del esquemático al área de trabajo del Layout, se hace con el icono (Genrate/switch to board) que se encuentra en la barra superior de herramientas, EAGLE automáticamente junta todos los componentes a un lado pero conservando los puntos de unión de un componente a otro, y también hay que generar la cuadrícula con el tamaño en milímetros como se explicó anteriormente (ver Fig. 70).

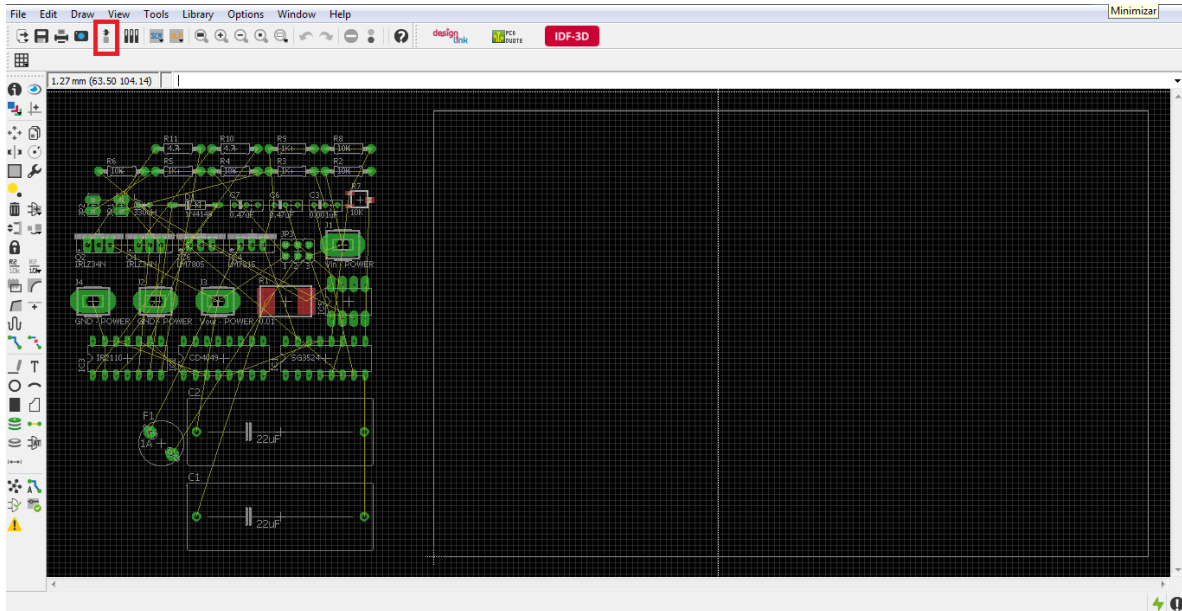


Fig.70 Area de construcción del PCB.

Ahora se organizan los componentes dentro del cuadro gris para así definir el tamaño del PCB, después de tener los componentes organizados se procede a rutear las pistas con el icono (Route) en la barra de herramienta de la izquierda, si se desea borrar una pista mal realizado se procede con el icono (Riput) (ver Fig. 71). Para un mejor diseño del PCB, este se hace a doble capa; esto quiere decir que se contara con pistas en la parte superior (Top) y en la parte inferior (Bottom), es importante tener en cuenta los parámetros de diseño al rutear las pistas, como: no hacer ángulos de 90° o 45° en una pista, no entrar una pista a un punto de soldadura (Pad) de forma tangencial, no unir una pista con otra de manera perpendicular y demás criterios de diseño para rutear el PCB.

(<http://www.granabot.es/Modulos/dpe/Apuntes/Tema%201.6.5.pdf>),

(<https://cuningan.files.wordpress.com/2010/10/calculos-ancho-pista.pdf>)

Es muy importante tener presente que cantidad de corriente va a circular por una pista y así poder dimensionarla de manera que soporte dicha corriente, esto se hace por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Ancho} = \text{Área} / (\text{Alto} * 1,378) \quad (5)$$

Donde el área está definida por otra fórmula:

$$\text{Área} = \left[\frac{I}{K1 * \Delta T^{K2}} \right]^{1/K3} \quad (6)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota: el ancho está definido en milésimas de pulgada y el área en milésimas de pulgada al cuadrado.

Donde:

I = a la máxima corriente que va a circular por la pista.

ΔT = diferencia de temperatura.

$K1$, $K2$ y $K3$ son constantes para el cálculo y tiene diferentes valores dependiendo si la pista es externa o interna.

Teniendo estos parámetros, se rutea el PCB del convertidor y del sensor de corriente; con el icono (Ratsnest) se llena de cobre la capa inferior (Bottom) del convertidor y la capa superior (Top) e inferior (Bottom) del sensor, la ruteada de ambos PCB quedan como se muestra en la Fig. 71 y Fig. 72. (<http://www.granabot.es/Modulos/dpe/Apuntes/Tema%201.6.5.pdf>), (<https://cuningan.files.wordpress.com/2010/10/calculos-ancho-pista.pdf>)

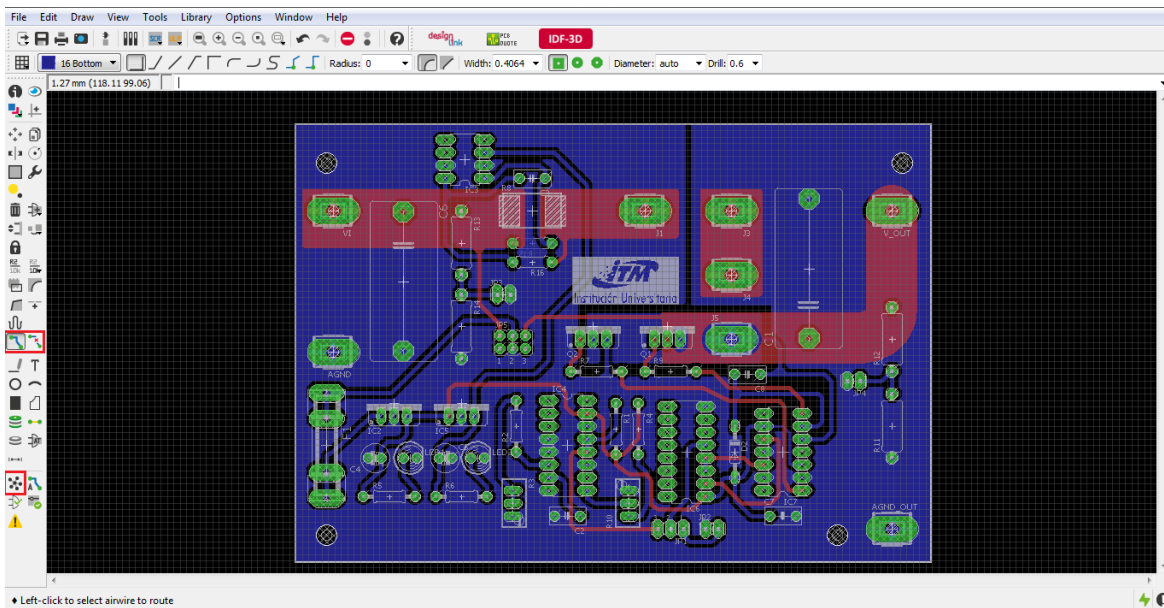


Fig.71 PCB del convertidor Boost.

La mayoría de la capa azul (Bottom) es la tierra del circuito y varias pistas de señales, pero la capa roja (Top) son pistas de potencia por su grosor y otras de señales.

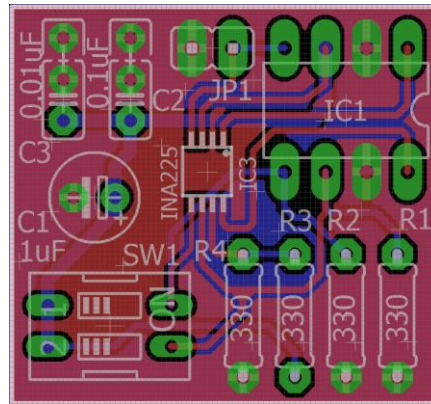


Fig.72 PCB del sensor de corriente.

En el sensor de corriente la mayoría de la capa azul como la roja es tierra, pero hay pistas de señales en ambas capas.

Ya con ambos PCB's definidos se procede con el maquinado de las tarjetas y con la etapa de soldadura, para luego hacer las respectivas mediciones de funcionamiento. La siguiente imagen muestra el montaje real del convertidor Boost (ver Fig. 73).

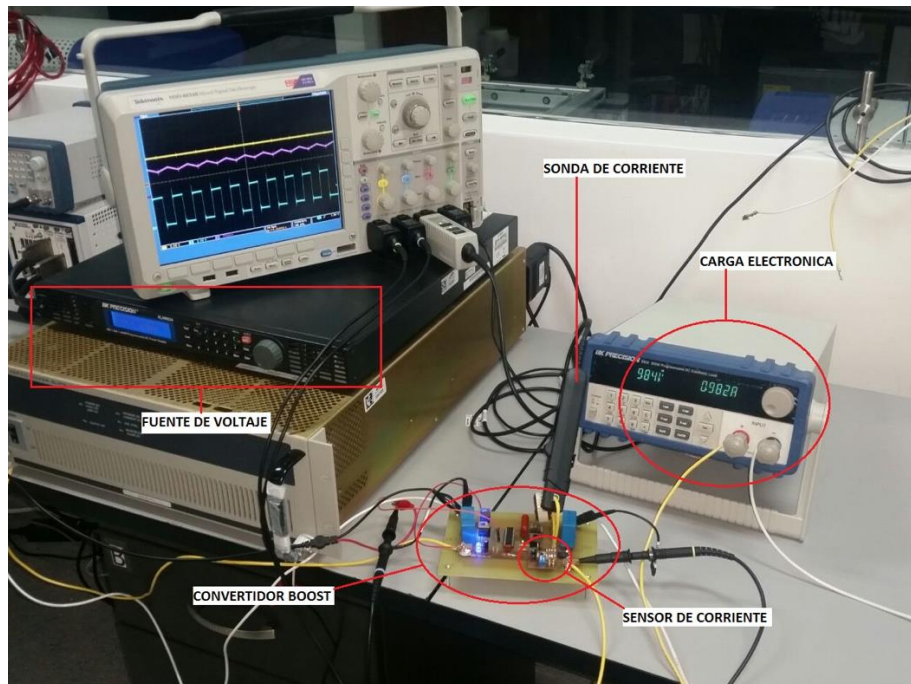


Fig.73 Circuito convertidor Boost.

4.2. Resultados experimentales.

Siguiendo los mismos parámetros de medición mencionados anteriormente en la Tabla 1. Se procede a tomar las señales experimentales del convertidor Boost. Adicionalmente se muestra la señal del sensado de la corriente.

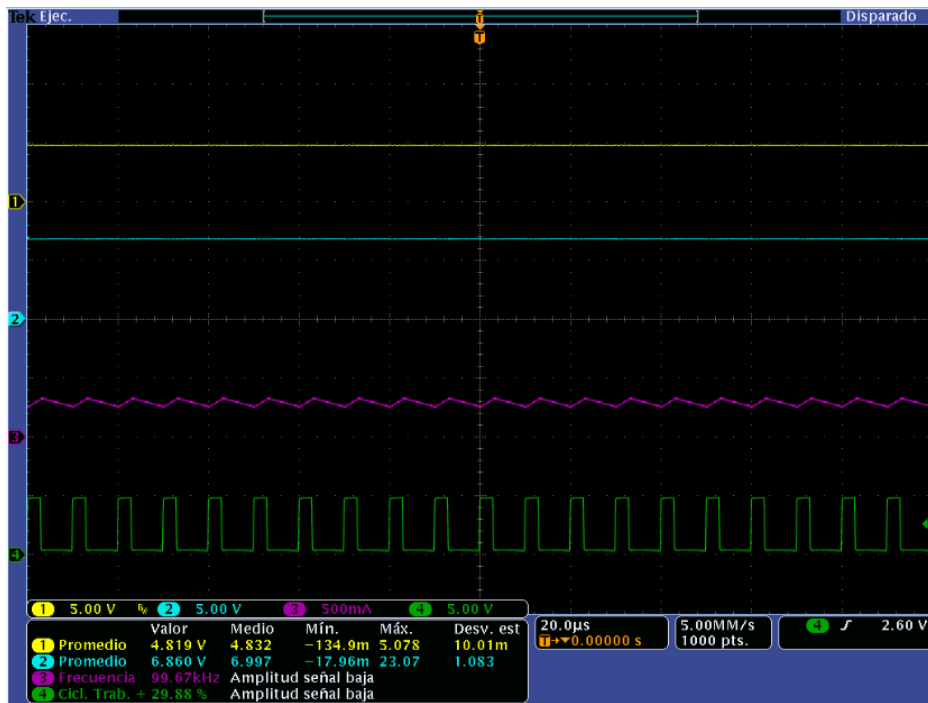


Fig.74 Grafica de simulación con un Duty del 30% a 100KHz.

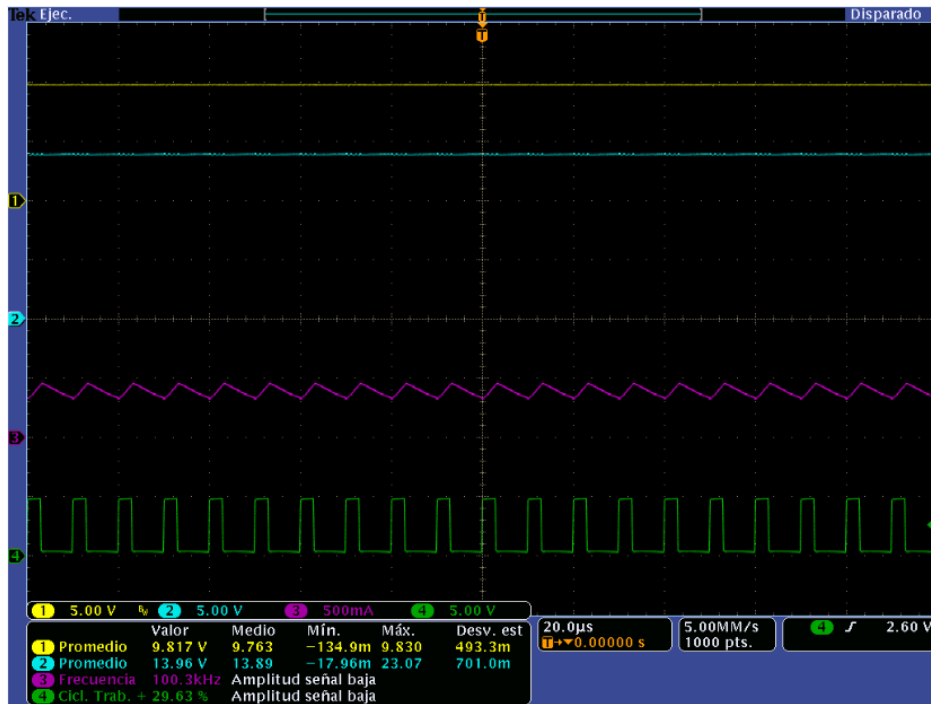


Fig.75 Grafica de simulacion con un Duty del 30% a 100KHz.

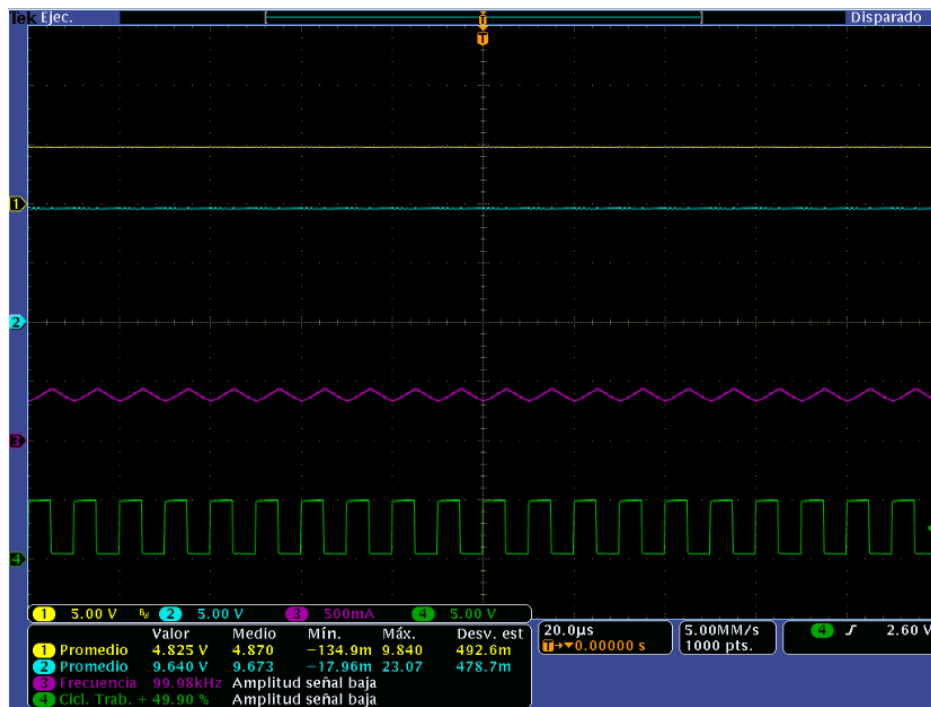


Fig.76 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 100KHz.

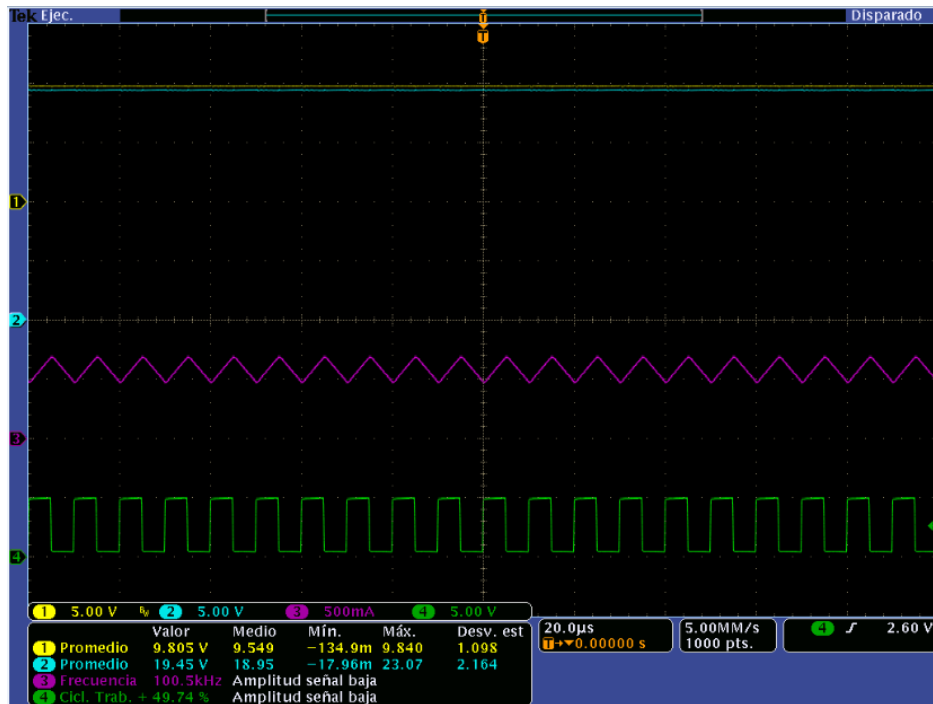


Fig.77 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 100KHz.

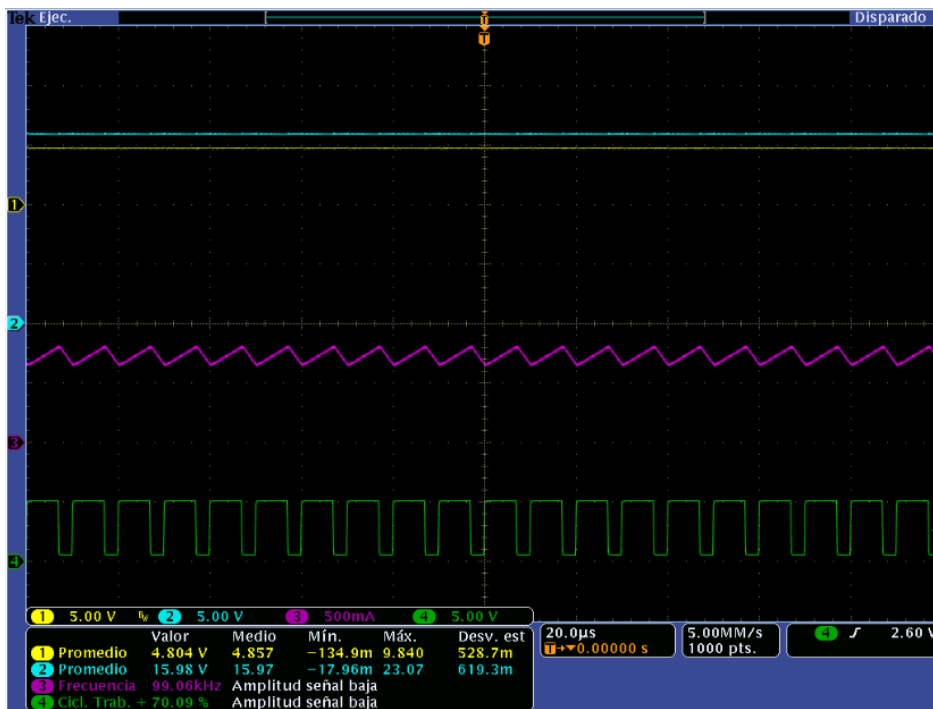


Fig.78 Grafica de simulacion con un Duty del 70% a 100KHz.

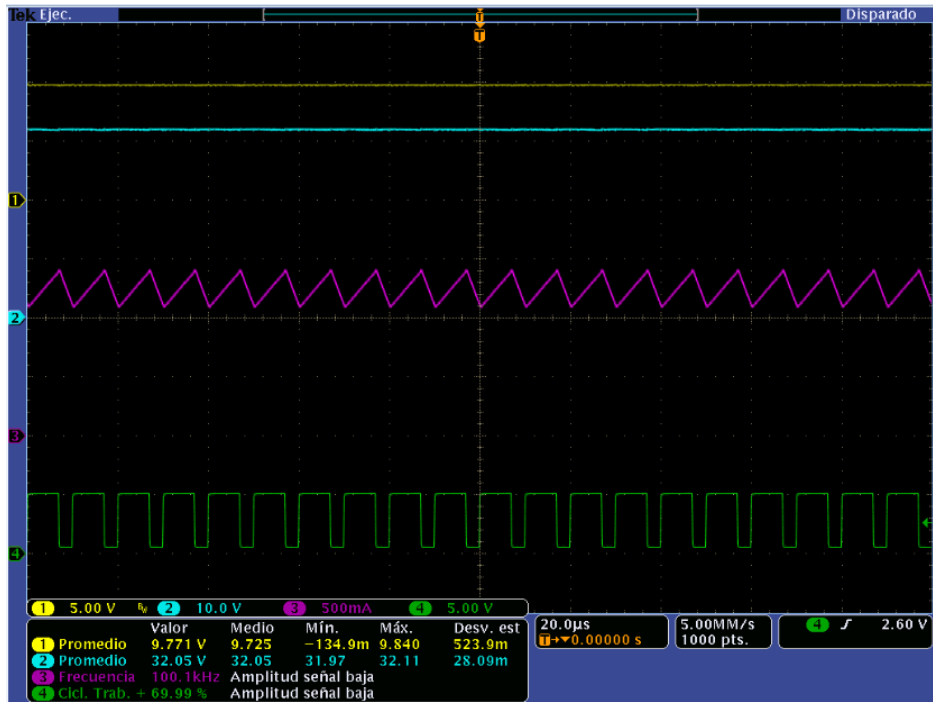


Fig.79 Grafica de simulacion con un Duty del 70% a 100KHz.

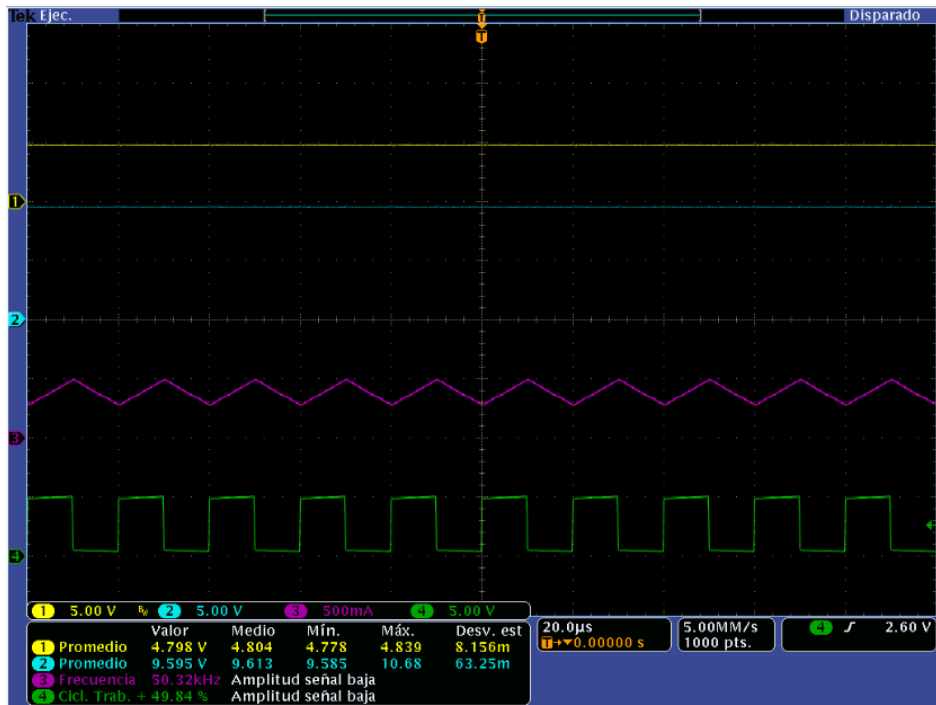


Fig.80 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 50KHz.

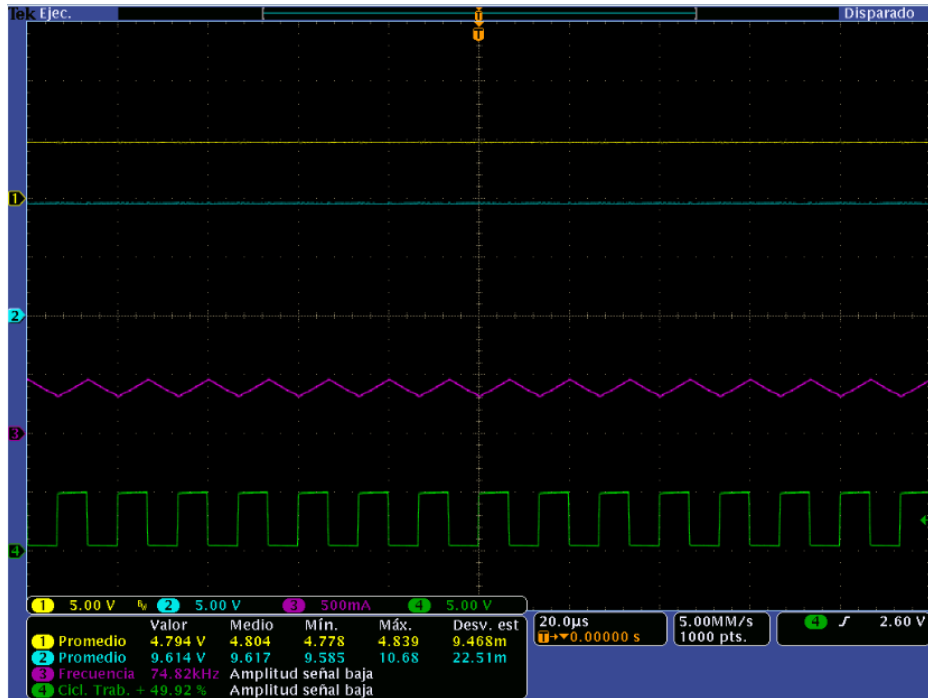


Fig.81 Grafica de simulacion con un Duty del 50% a 75KHz.

Observando las gráficas se determina que el funcionamiento del convertidor Boost es lo que se esperaba, a diferentes cambios de % de Duty y de frecuencia responde de manera adecuada comparado con los resultados de las simulaciones en condiciones reales.

Si se aplica la ecuación (4) que relaciona el voltaje de salida con respecto al de la entrada, el convertidor tiene un excelente desempeño; ya que este tipo de fuentes cuentan con una eficiencia del 95%, por lo que es muy poca la pérdida de energía en calor. La eficiencia del convertidor está dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{W_{out}}{W_{in}} = \frac{Potencia\ de\ salida}{Potencia\ de\ entrada} \quad (7)$$

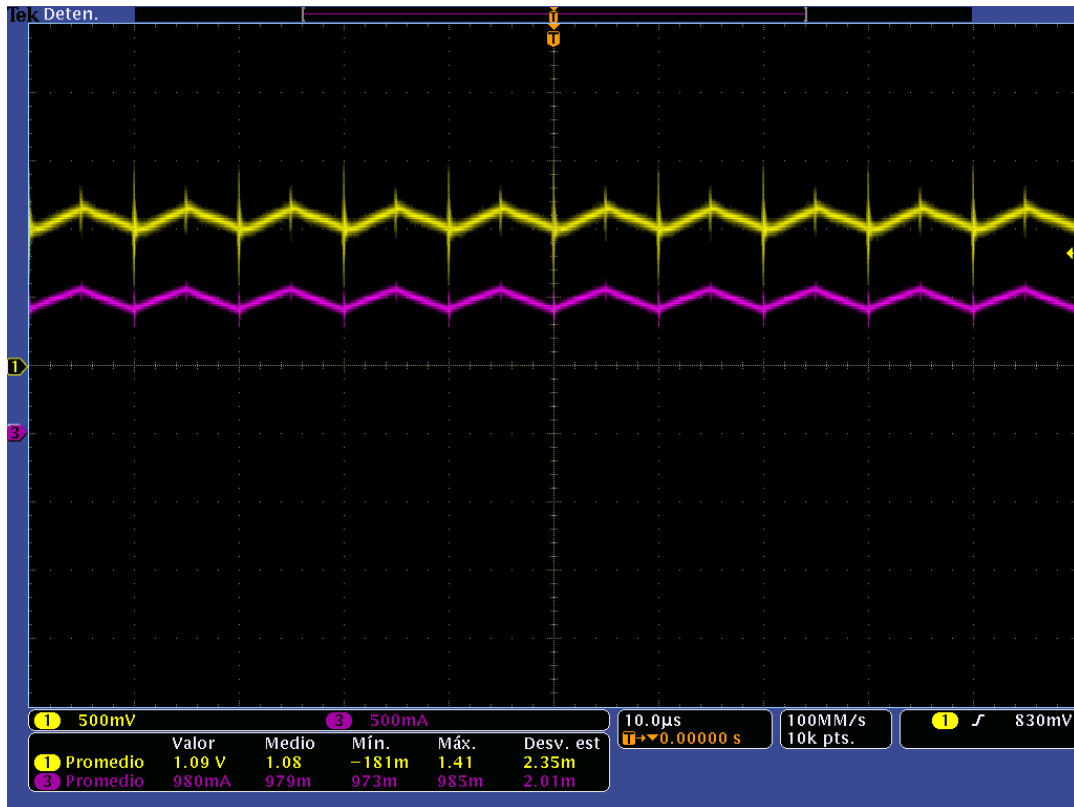


Fig.82 señal del sensor de corriente y de la sonda de corriente.

Como muestra la gráfica, la señal del sensor de corriente (amarilla), tiene la misma forma de onda de la señal de corriente (morada) medida por la sonda. Sus valores promedios son muy aproximados, teniendo en cuenta que el valor promedio del sensor de corriente es en voltaje y relaciona de una forma muy aproximada la corriente que circula por el inductor.

Esta relación está dada por la ecuación **(3)**, con una ganancia de 100:

$$V_{osen} = G * V_{shunt}$$

$$V_{osen} = 100 * 0.0109 = 1.09$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Después de realizar todo el proceso de construcción del convertidor Boost, se puede concluir que los elementos que se seleccionaron para la implementación del circuito, se desempeñan de una manera adecuada y responden acertadamente al cambio de diferentes frecuencias y de ciclos de trabajo con una carga determinada. Es de aclarar que el convertidor final posee un comportamiento bidireccional, esto es un aporte adicional al trabajo, ya que el convertidor tiene pocas probabilidades de entrar en modo discontinuo de conducción, además, puede trabajar como Boost o como Buck.
- Adicionalmente, el convertidor fabricado funciona de modo auto-alimentado con las siguientes características: su voltaje de entrada y de salida no deben ser menores al voltaje de alimentación de control de los Mosfet's, es decir; no puede ser menor a los 18V de alimentación mínima del regulador, pero tampoco sobrepasar el límite de tolerancia de voltaje de este.
- El diseño y construcción del PCB en aplicaciones de electrónica de potencia como en los convertidores de energía, son de gran importancia. Se pudo observar que no se pueden hacer procesos experimentales en Protoboard, debido a la cantidad de corriente que conducen estos convertidores, ocasionando el daño de la Protoboard o mal funcionamiento del circuito por capacitancias parasitas entre las placas de la Protoboard; por esto es importante el diseño y la construcción de manera adecuada del PCB para el análisis y funcionamiento de estos circuitos.
- Se pudo analizar que la señal que entrega el sensor de corriente tiene un pequeño ruido, que es perjudicial para otros equipos al momento de hacer un control para el convertidor; por esta razón se recomienda filtrar esta señal en la entrada del sensor de corriente. Esta implementación se propone como trabajo futuro, para un próximo producto de laboratorio que involucre instrumentación más detallada y control del convertidor Boost.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- En un trabajo a futuro de los convertidores se puede hacer un estudio desde el punto de vista matemático, haciendo el respectivo modelamiento matemático para así llegar a una función de transferencia del circuito, que me permita implementar un control a lazo cerrado, para una mayor eficiencia en el funcionamiento de este.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Ca, C. (2013). Capítulo 3 Convertidores CA / CC - Rectificadores. Retrieved from [http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2_LLAMADOS_FINALIZADOS/2013/REF_40_2013_T%C3%89CNICO_AYUDANTE_MANTENIMIENTO_E_INGENIER%C3%8DA_\(ELECTROELECTR%C3%93NICO\)/MATERIAL_DE_ESTUDIO/CONOCIMIENTOS_ESPEC%C3%8DFICOS/CONVERTIDORES-RECTIFICADORES.PDF](http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2_LLAMADOS_FINALIZADOS/2013/REF_40_2013_T%C3%89CNICO_AYUDANTE_MANTENIMIENTO_E_INGENIER%C3%8DA_(ELECTROELECTR%C3%93NICO)/MATERIAL_DE_ESTUDIO/CONOCIMIENTOS_ESPEC%C3%8DFICOS/CONVERTIDORES-RECTIFICADORES.PDF)
- Cc, C. (2013). Capítulo 5 Convertidores CC / CA - Onduladores o Inversores. Retrieved from [http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2_LLAMADOS_FINALIZADOS/2013/REF_40_2013_T%C3%89CNICO_AYUDANTE_MANTENIMIENTO_E_INGENIER%C3%8DA_\(ELECTROELECTR%C3%93NICO\)/MATERIAL_DE_ESTUDIO/CONOCIMIENTOS_ESPEC%C3%8DFICOS/CONVERTIDORES_CC-CA_ONDULADORES_O](http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2_LLAMADOS_FINALIZADOS/2013/REF_40_2013_T%C3%89CNICO_AYUDANTE_MANTENIMIENTO_E_INGENIER%C3%8DA_(ELECTROELECTR%C3%93NICO)/MATERIAL_DE_ESTUDIO/CONOCIMIENTOS_ESPEC%C3%8DFICOS/CONVERTIDORES_CC-CA_ONDULADORES_O)
- Cicloconvertidores. (2013). CICLOCONVERTIDORES. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Convertidor, A. (2003). Tema 4: ANÁLISIS DE CONVERTIDORES FORWARD, PUSH-PULL, FULL-BRIDGE, HALF-BRIDGE Y FLYBACK. 4.1.-, (Ld). Retrieved from <https://dcconverter2010.wikispaces.com/file/view/PUSH+PULL.pdf>
- DC, C. (2007). Prereporte de Laboratorio Convertidor DC-DC Flyback. Retrieved from <http://flybackucr.tripod.com/Prereporteg04ESPECIAL.pdf>
- Galera. (2002). Simulador Convertidores DC-DC. Retrieved from <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/197pub.pdf>
- psim. (n.d.). Retrieved May 14, 2016, from http://www.potencia.uma.es/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=93

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Retrieved May 14, 2016, from <http://www.alldatasheet.es/>

Sanchez. (1995). *electronica-de-potencia-rashid-espanol*. Retrieved from <https://riverraid17.files.wordpress.com/2010/03/electronica-de-potencia-rashid-espanol.pdf>

Serna-Garcés, S., Gonzalez Montoya, D., & Ramos-Paja, C. (2016). Sliding-Mode Control of a Charger/Discharger DC/DC Converter for DC-Bus Regulation in Renewable Power Systems. *Energies*, 9(4), 245. <http://doi.org/10.3390/en9040245>

<http://www.granabot.es/Modulos/dpe/Apuntes/Tema%201.6.5.pdf>

<https://cuningan.files.wordpress.com/2010/10/calculos-ancho-pista.pdf>

http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13610/1/VelasquezSastoquelva_nFrancisco2013.pdf

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTE 

FIRMA ASESOR 

FECHA ENTREGA: Mayo 19 de 2016

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____ ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: Mayo 19 de 2016

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: Mayo 19 de 2016