

“Diseño y Construcción de un Módulo Didáctico de un Conversor AC/DC – DC/DC con control PWM, para puente completo utilizando IGBT´s destinado al laboratorio de control Eléctrico de la ESPE Extensión Latacunga”

Calapaqui Rober. Reyes Leonel.

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

Abstract— El propósito de este proyecto es el diseño y construcción de un módulo didáctico de un conversor AC/DC – DC/DC con control PWM, para puente completo usando IGBT's, el control se lo realiza mediante la técnica del PWM, el cual se ejecuta de la siguiente manera:

La primera etapa se compone de un conversor AC/DC, el cual nos proporcionara un voltaje DC fijo; la siguiente etapa consta de un conversor DC/DC de puente completo que está diseñado con los transistores IGBT's, los mismos que están en configuración de puente H.

Para la parte de control se utiliza la técnica del PWM, en la cual se emplea dos estrategias para el control de la activación de los interruptores las mismas que se generarán mediante un microcontrolador.

Para tener una buena activación de los transistores IGBT's, se utiliza un driver, ya que este garantiza un mejor control de los transistores IGBT's.

Para verificar el correcto funcionamiento del módulo se utiliza un motor/generador DC de Lab – Volt, existente en el Laboratorio de Control Eléctrico, al cual se le controla la velocidad, sentido de giro y frenado.

El modulo didáctico que se construyó se adapta a las características de los demás módulos existentes en el laboratorio de Control Eléctrico.

Palabras claves— Convertidores de potencia, Transistor bipolar de puerta aislada (IGBT), PWM Bipolar, PWM, driver de Corriente

I. INTRODUCCIÓN

Los convertidores de energía son de gran importancia en la evolución de la electrónica debido a que a través de distintos métodos electrónicos se pueden realizar conversiones bien definidas que proporcionan energía adecuada, de acuerdo a las necesidades de los equipos.

Existen convertidores que procesan la energía (CA-CA, CD-CD) para los distintos equipos electrónicos, que son comúnmente usados en fuentes conmutadas y que entregan un voltaje regulado. El propósito de un convertidor es convertir un voltaje de un nivel a otro según lo requiera el sistema. En el caso de la conversión de la corriente alterna existen parámetros como el factor de potencia, la distorsión armónica total entre otros que cuantifican la propiedad no sinusoidal de una forma de onda.

Durante muchos años se ha buscado la forma de crear un dispositivo que fuese lo suficientemente veloz y que pudiese manejar grandes cargas, pero han surgido nuevas ideas con la unión de un MOSFET como dispositivo de disparo y un BJT de dispositivo de potencia, de esta forma se llegó a la invención del IGBT, el cual es un dispositivo semiconductor que generalmente se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia.

La evolución de los interruptores de estado sólido para el manejo de cargas de mediana y alta potencia, permiten obtener características como: rapidez, bajo consumo de energía, confiabilidad, frecuencia de operación elevada y bajas pérdidas de conmutación.

Actualmente en el laboratorio de control Eléctrico de la ESPE Extensión Latacunga no cuenta con un módulo conversor de potencia en configuración puente completo utilizando IGBT's, para la práctica de los estudiantes.

II. DESARROLLO

1.1. ELEMENTOS SEMICONDUCTORES DE POTENCIA.

Los semiconductores de potencia se han extendido durante las últimas décadas a una amplia gama de aplicaciones. Esta extensión ha sido consecuencia del continuo y rápido desarrollo de la tecnología de semiconductores de potencia, que ha conseguido dispositivos muy potentes, efectivos y fáciles de usar.

Los dispositivos de semiconductores de potencia disponibles se clasifican en tres grupos, de acuerdo con su grado de controlabilidad:

- *Diodos.* Estados de conexión y desconexión controlados por el circuito de potencia.
- *Tiristores.* Son activados mediante una señal de control, pero pueden ser desactivados por medio del circuito de potencia (control por fase) o por un circuito de control externo.
- *Interruptores controlables.* Se conectan y desconectan mediante señales de control.

El **transistor bipolar de puerta aislada (IGBT, del inglés *Insulated Gate Bipolar Transistor*)** es un dispositivo semiconductor que generalmente se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia. Este dispositivo posee la características de las señales de puerta de los transistores de efecto campo con la capacidad de alta corriente y bajo voltaje de saturación del transistor bipolar, combinando una puerta aislada FET para la entrada de control y un transistor bipolar como interruptor en un solo dispositivo. El circuito de excitación del IGBT es como el del MOSFET, mientras que las características de conducción son como las del BJT. Como se muestra en la figura 1 apreciamos el símbolo y curvas características de un IGBT.

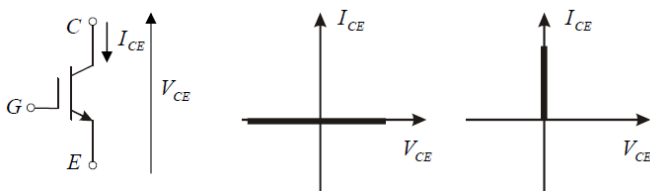


Fig. 1 Símbolo y curvas características de voltaje y corriente un IGBT.

Concepto de convertor.

Un convertor de energía es un sistema o equipo electrónico que tiene por objetivo la conversión de energía eléctrica entre dos formatos diferentes. Por ejemplo, obtener corriente continua a partir de corriente alterna.

El concepto inicial de convertor puede extenderse para incluir aspectos como: eficiencia, reversibilidad, fiabilidad, volumen o tecnología por citar las más importantes. En la figura 2 se muestra la estructura básica de un convertor.

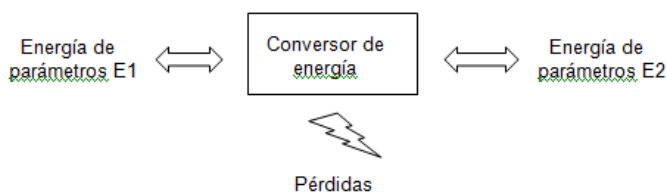


Fig. 2 Estructura básica de un convertor de energía.

Convertor DC/DC de puente completo.

En ocasiones, la forma de onda de la tensión que se desea imponer en la carga hace necesaria la utilización de una topología de convertor que sea reversible (esto es, que la potencia fluya indistintamente de la entrada a la salida o viceversa), o bien que permita obtener señales alternas a partir de una tensión continua.

Un convertor DC-DC en puente completo, a diferencia de los convertidores buck, boost, buck-boost y Cúk, permite el flujo de potencia en los dos sentidos.

La tensión de salida y la intensidad de salida pueden variar su polaridad de forma independiente, permitiendo su funcionamiento en los cuatro cuadrantes del plano.

La figura 3 muestra un convertor DC-DC en puente completo. La entrada consiste en una tensión continua V_D fija, proporcionando a la salida una tensión también continua V_0 controlable en magnitud y polaridad.

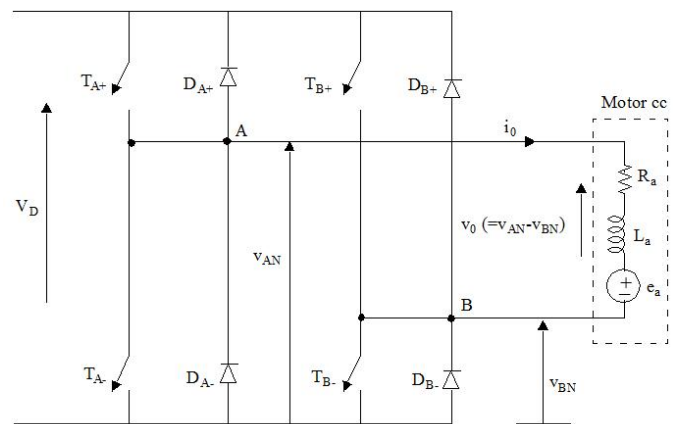


Fig. 3 Topología de un convertor DC / DC en puente completo.

El convertor de puente completo consiste en dos patas, A y B. Cada pata consta de dos interruptores y sus diodos antiparalelos. Los dos interruptores en cada pata se conmutan de manera que cuando una de ellas está en su estado inactivo, el otro interruptor está encendido.

Por tanto, los dos interruptores nunca están apagados al mismo tiempo. En la práctica, ambos están apagados durante un breve intervalo que se conoce como tiempo de borrado, para evitar un cortocircuito de la entrada de DC.

Cabe notar que si los interruptores del convertor en cada pata se conmutan de manera que ambos interruptores en una pata no estén apagados simultáneamente, la corriente de salida i_0 en la figura 3 fluirá en forma continua.

MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSOS PWM

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. Ver figura 4.

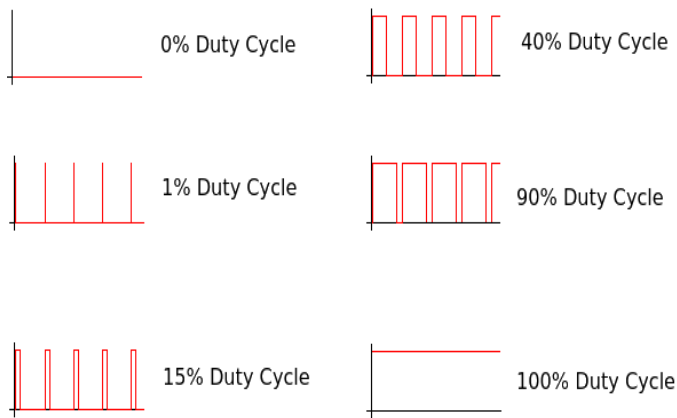


Fig. 4 Ciclos de trabajo de una señal PWM.

Modulación por ancho de pulsos por conmutación bipolar

La modulación bipolar permite obtener tensiones de salida tanto positivas como negativas (el valor medio estará en función del ciclo de trabajo de los interruptores o, lo que viene a ser lo mismo, de la duración relativa al periodo de cada secuencia de funcionamiento).

En este tipo de conmutación los interruptores (T_{A+} , T_{B-}) y (T_{A-} , T_{B+}) se tratan como parejas, es decir, los interruptores de cada par se activan y desactivan a la vez. Una de las dos parejas estará siempre activada.

Las señales que gobiernan la conmutación se generan comparando una señal triangular (v_{tri}) con una tensión de control ($v_{control}$). Cuando $v_{control} > v_{tri}$, la pareja (T_{A+} , T_{B-}) se encuentra activada. Sí, es la pareja (T_{A-} , T_{B+}) la que está activada.

Las relaciones de trabajo de interruptores se obtienen a partir de las formas de onda representadas en la figura 5.

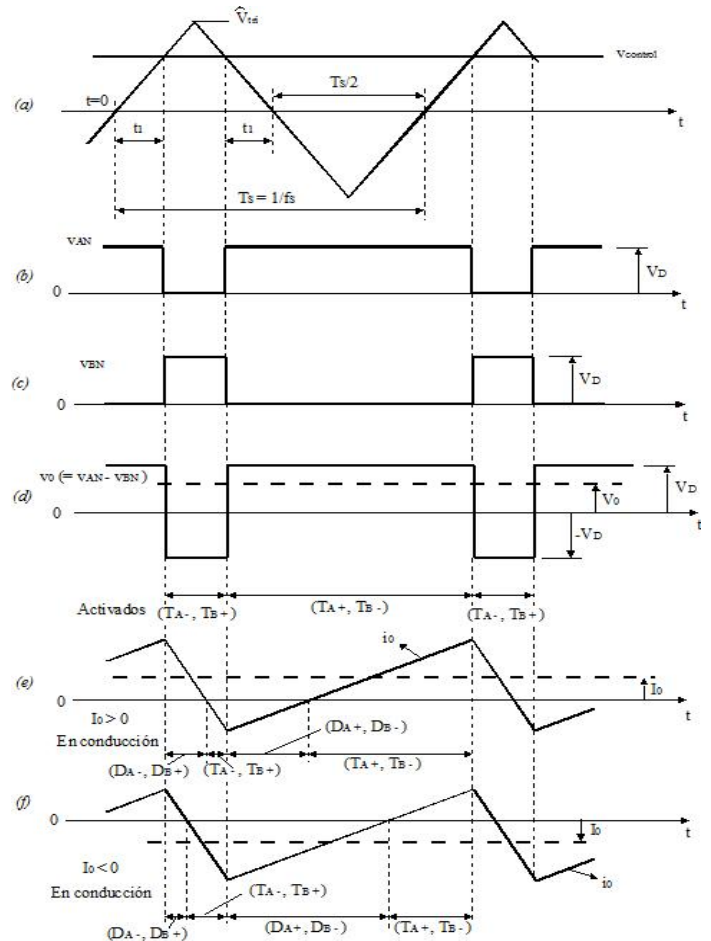


Fig. 5 Formas de onda de un control PWM con conmutación por voltaje bipolar.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.

ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO DIDÁCTICO.

El módulo del convertor AC/DC – DC/DC con control PWM, para puente completo será utilizado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en las prácticas del Laboratorio de Control Eléctrico. Por lo que el sistema debe ser robusto desde el punto de vista físico y eléctrico para que pueda soportar las posibles fallas dentro del proceso de aprendizaje.

Este módulo nos servirá para el control de un motor DC con excitación independiente de 175 wattios - 1800rpm - 120Vdc - 2.8Amp.

El equipo para el laboratorio está compuesto de dos módulos. El módulo principal es el módulo de control de generación del PWM, para poder controlar el driver para el funcionamiento de los IGBT's, además posee como estructura,

una gaveta de hierro que presenta medidas estándares, que es compatible con los módulos ya existentes en el laboratorio, en la parte delantera, se encuentra una placa de acrílico, donde se encuentran los elementos electrónicos y mecánicos, contiene señalización que indican las diferentes opciones de funcionamiento del módulo.

El otro módulo contiene los IGBT's en configuración de Puente H, el driver de accionamiento de los IGBT's; además cumple los estándares del módulo anterior.

Finalmente se utilizará un módulo de adquisición de datos la cual nos permitirá el monitoreo de señales eléctricas, el análisis de armónicos, medición de la velocidad entre otras características que permite dicho módulo.

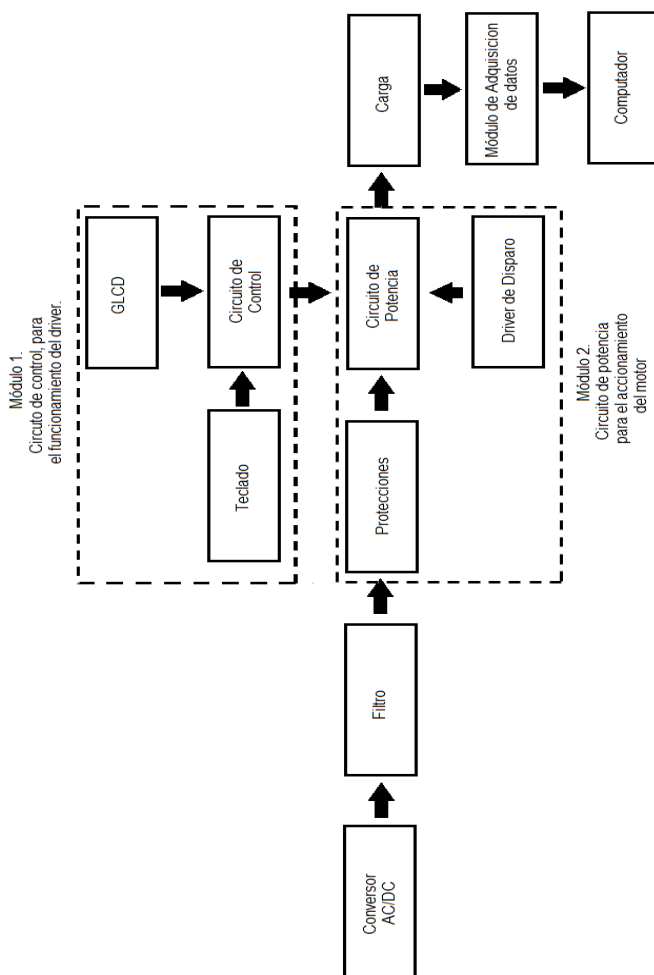


Fig. 6 Diagrama de bloques del módulo convertidor AC/DC – DC/DC con control PWM.

Funcionamiento de los modos de conmutación.

El módulo convertidor AC/DC – DC/DC, en puente completo está formado por dos medios puentes, estos a su vez formados por dos semiconductores de potencia totalmente controlados.

Para el diseño se utiliza IGBT's, tal y como se muestra en la figura 7.

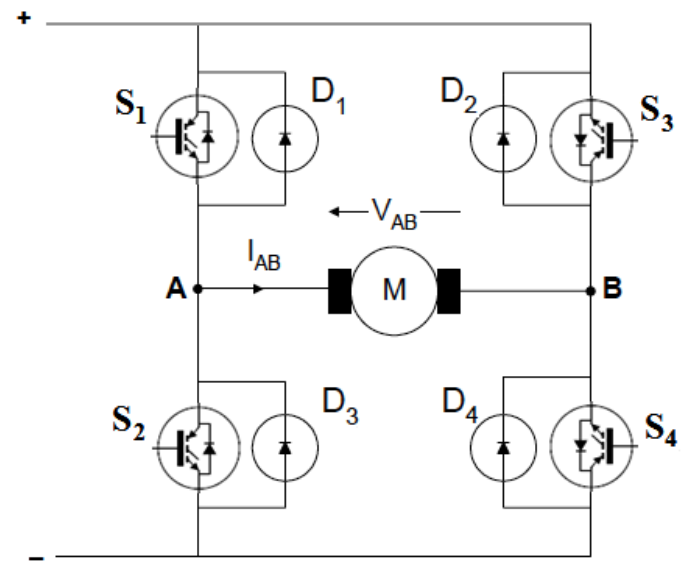


Fig. 7. Esquema de un Circuito de un Puente H

La tensión en la carga V_{AB} puede ser + V_{cc}, -V_{cc}, dependiendo del estado de los interruptores. Las figuras 8(a) y 8(b) muestran los circuitos equivalentes para las posibles combinaciones de los interruptores.

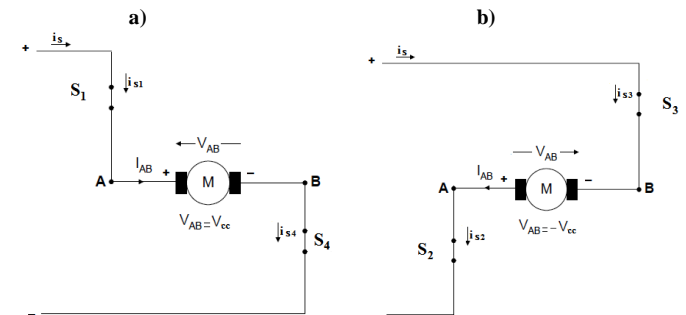


Fig. 8 Circuitos equivalentes del puente: a) S1 y S4 cerrados, b) S2 y S3 cerrados.

Para el funcionamiento como motor en un sentido de giro se conmutan los pares de IGBT's (S1, S4), mientras que los pares IGBT's (S2, S3) permanecen abiertos, para realizar la inversión de giro se conmutan los pares de IGBT's (S2, S3), mientras que los pares de IGBT's (S1, S4), permanecerán abiertos.

Funcionamiento de la etapa de control.

Para esta etapa se dispuso un control de tipo digital, no se utiliza la comparación de señales, ni de circuitos recortadores, etc. por lo cual ese tipo de control se vuelve más sencillo.

Esta etapa está compuesta por de un Microcontrolador ATME16A que genera las señales PWM a una frecuencia de 2Khz, dicha señal es de control PWM bipolar y PWM.

Estas señales permiten determinar el tiempo T_{on} (tiempo de conducción) y el T_{off} (tiempo de apagado), para las secuencia de conmutación de los elementos de potencia (IGBT's).

A continuación en la figura 9 se indica el diseño de la parte de control implementada, en donde se observa los elementos y circuitos integrados utilizados para el correcto funcionamiento de esta etapa.

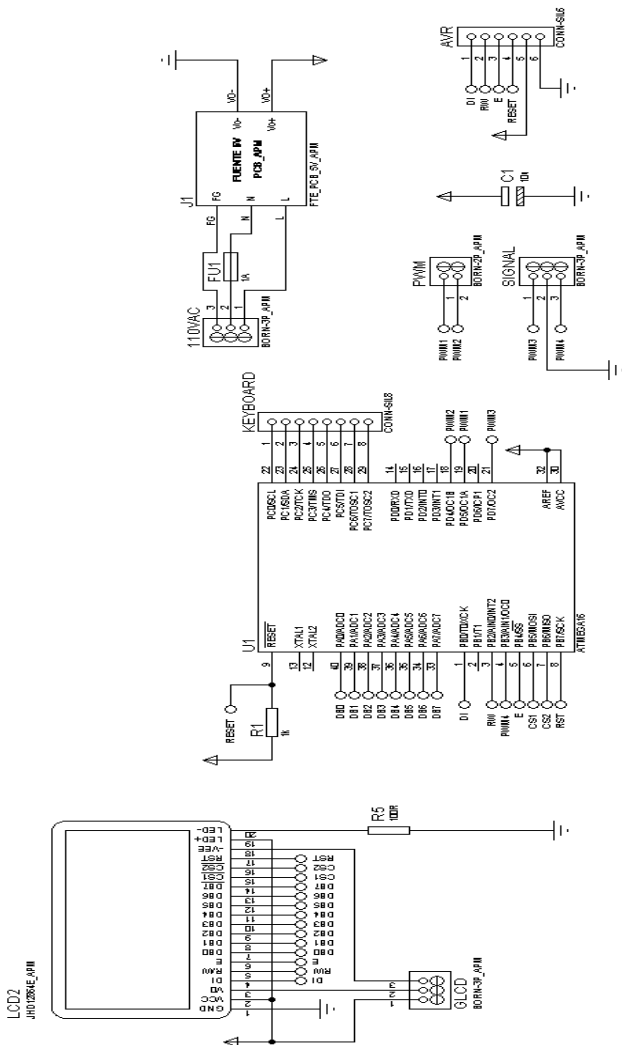


Fig 9. Diagrama implementado del circuito de control.

Implementación de la etapa de potencia.

Para la implementación de la etapa de potencia utilizamos 4 IGBT's STGP7NC60HD, estos soportan un voltaje de colector a emisor de 600 V, una corriente de 25 A, cada uno con diodos en anti paralelo de respuesta rápida denominados diodos de libre circulación, en configuración puente H. Para asegurar un buen funcionamiento de los IGBT's y que no tengan un exceso de temperatura se montaron sobre un dissipador de aluminio de 10 X 12 cm. Ver la figura 10.

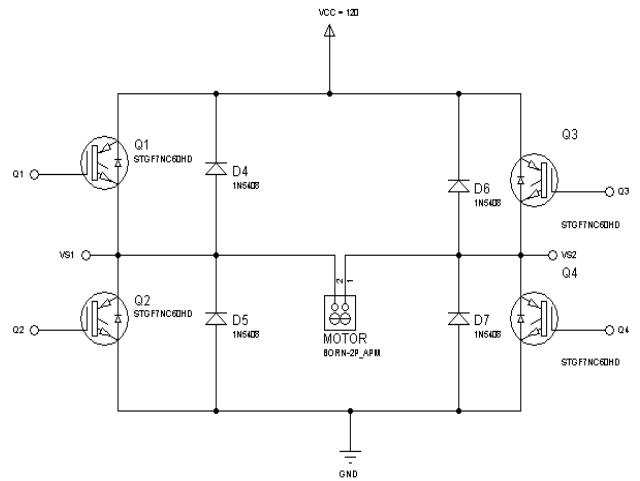


Fig. 10 Diseño del Puente H con los transistores de potencia IGBT's STGP7NC60HD

Como se observa en la figura 10, para la etapa de potencia se requiere una fuente de corriente continua, la fuente que utilizamos es de 120 Vcc. Su alimentación es a través de una fuente trifásica de corriente alterna.

Control del puente H utilizando el Circuito Integrado IR2130.

Es importante señalar que el manejo de este puente se hizo con la mayor precaución debido a que se manejan voltajes y corrientes de niveles altos que representan un peligro ocasionando daños.

La terminal +Vcc de la fuente alimenta al colector de los dos IGBT's de las ramas de arriba, y la terminal -Vcc alimenta al emisor de los dos IGBT's de las ramas de abajo. Como se muestra en la figura 11.

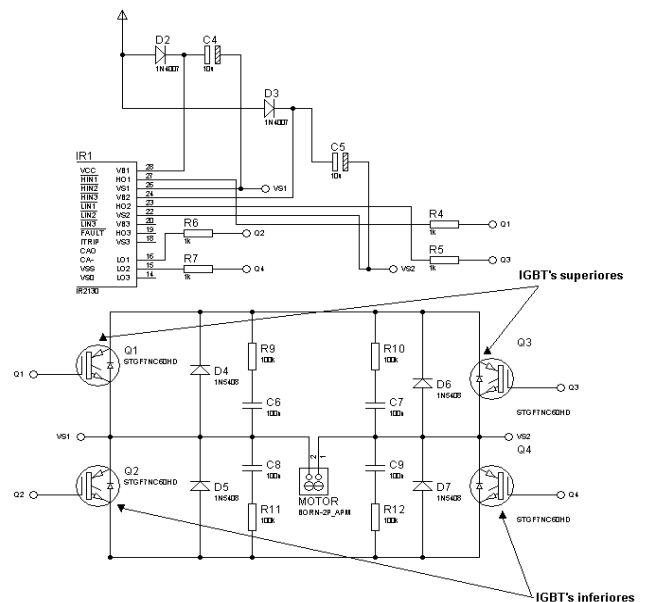


Fig. 11 Circuito de conexión en Puente H con el driver IR2130

Todas las consideraciones anteriormente mencionadas son necesarias para la implementación del circuito de potencia, como se muestra en la figura 12.

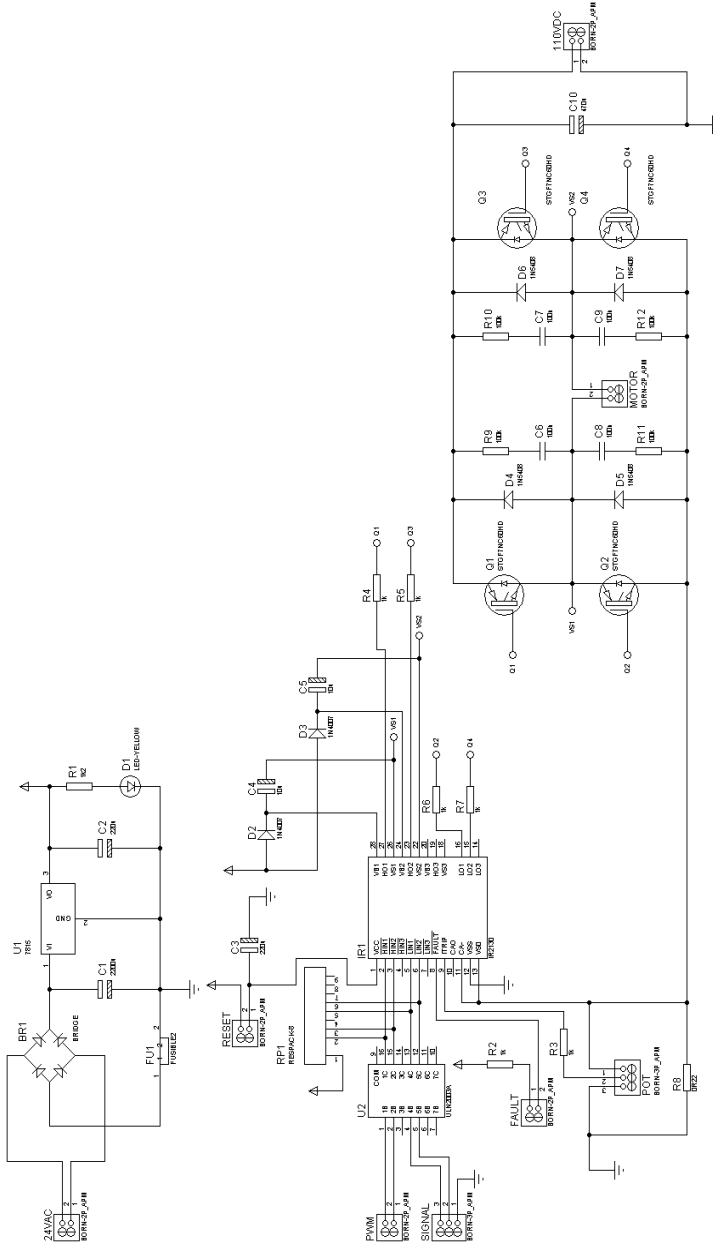


Fig. 12 Esquema del circuito de potencia implementado.

Construcción del módulo convertor AC/DC – DC/DC.

Para la construcción del módulo convertor AC/DC – DC/DC con control PWM, para puente completo se hizo lo siguiente:

Primero se diseñó la parte de control tomando en cuenta los elementos que van a formar parte de la placa, para luego hacer un diseño de las pistas que van a unir los distintos elementos en la placa de cobre.

El diseño de las pistas, así como la distribución de los elementos en la placa de cobre se realizó en el programa ARES 7.9 Profesional de Proteus. Y finalmente con todas las etapas del módulo completas se procedió a la implementación de las mismas, como se puede observar en las figuras 13 y 14 donde apreciamos las fotos de los módulos de control y potencia respectivamente armados.

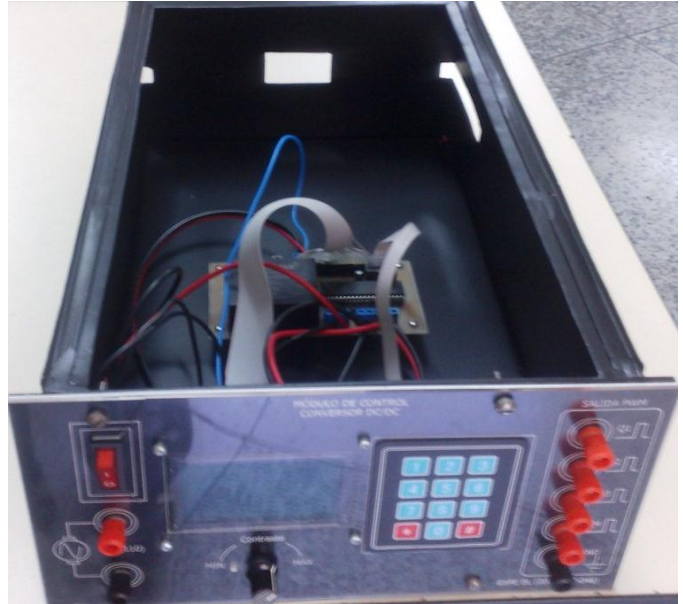


Fig. 13 Módulo de Control implementado

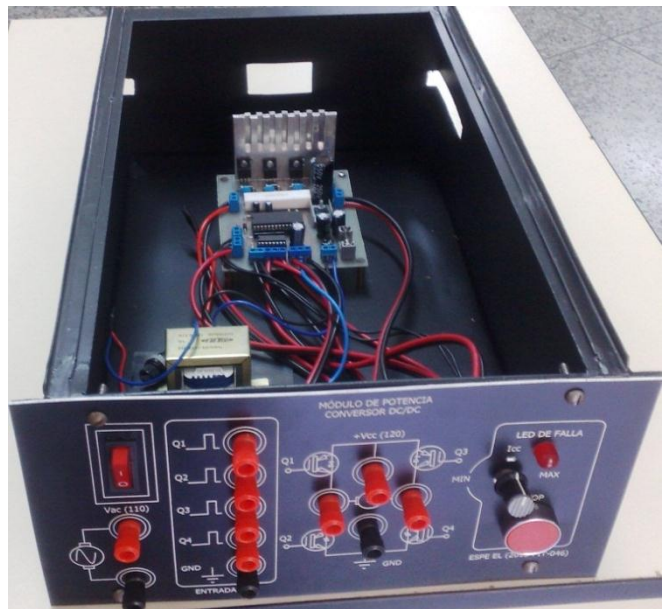


Fig. 14 Módulo de Potencia implementado

PRUEBAS EXPERIMENTALES

Resultados del diseño.

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas en el laboratorio con el accionamiento del motor/generador DC, Inicialmente se presentan las señales de entrada al (IR2130) que serán aplicadas a las compuertas de los IGBT's del puente H. Después se muestran los resultados de la implementación del módulo conversor puesto en marcha con voltaje sin carga. Por último, se presentan los resultados de la puesta en marcha del módulo conversor, con carga.

Para obtener los datos de voltaje, corriente, velocidad del motor en RPM, análisis de armónicos, y las diferentes formas de señales sobre el funcionamiento del módulo conversor, se utilizó la interfaz para la adquisición de datos DAI.

- La frecuencia de funcionamiento es de 2Khz, por lo tanto los armónicos aparecerán a partir de dicha frecuencia.
- La corriente de consumo del sistema es aproximadamente de 1.8 Amp.

SEÑALES DE ENTRADA DEL IR2130.

Como se muestra en la figura 15. Existen 2 señales por fase es decir hay 6 señales de entrada que corresponden 3 a señales positivas y 3 negadas las primeras tres son positivas HIN01, HIN02, HIN03, las 3 señales restantes corresponden a las negadas LIN01, LIN02, LIN03. Pero en el diseño utilizamos 2 señales positivas y 2 negativas, porque el diseño del puente es de 4 IGBT's.



Figura 15. Resultados de los pulsos cuadrados para las entradas HIN01 y LIN01 del IR2130

Pruebas realizadas con el motor sin torque.

Giro derecha, Técnica PWM.

Las primeras pruebas que se realizaron fueron con el motor sin carga, trabajando en vacío.

En la tabla 1 se puede observar que la máxima corriente que consume la carga es de 0.44 Amp con un voltaje de 107.62 V.

TABLA 1
Mediciones del módulo conversor, giro derecha, Técnica PWM

Alimentación E1 (V)	% T	Voltaje de motor E2 (V)	Corriente de motor I2 (A)	Potencia de motor (VA)	Torque (NM)	Velocidad (RPM)
120	0	0	0	0	0	0
116,05	0,2	21,25	0,33	8,41	0	212,16
114,94	0,4	43,4	0,38	18,54	0	464,27
114,02	0,6	65,75	0,41	29,18	0	721,82
112,88	0,8	87,25	0,43	39,26	0	964,34
111,71	1,0	107,62	0,44	47,62	0	1187,14

Giro del motor, Técnica PWM bipolar.

Con esta técnica el motor gira en el sentido horario, de 0.5T a 1.0T y antihorario de 0.1T a 0.5T.

En la tabla 2 se puede observar que la máxima corriente que consume la carga es de 0.47 Amp en antihorario y 0.4 Amp en horario.

TABLA 2
Mediciones del módulo conversor, Técnica PWM bipolar.

Alimentación E1 (V)	% T	Voltaje de motor E2 (V)	Corriente de motor I2 (A)	Potencia de motor (VA)	Torque (NM)	Velocidad (RPM)
115,14	0,1	-89,33	-0,47	43,76	0	-956,12
116,09	0,2	-67,26	-0,43	34,88	0	-720,96
116,6	0,3	-45,04	-0,39	25,45	0	-473,01
117,15	0,4	-28,67	-0,36	18,61	0	-288,19
118,49	0,5	-1,22	-0,1	8,64	0	-0,08
117,26	0,6	13,8	0,3	12,34	0	141,36
116,64	0,7	37,25	0,35	20,7	0	398,11

116,16	0,8	54,52	0,38	27,58	0	597,53
115,13	0,9	76,2	0,4	34,03	0	843,29

116,09	0,5	-0,57	-0,02	8,56	0	-1,05
113,9	0,6	-	-	-	-	-
111,33	0,7	29,36	1,59	52,61	0,99	190,72
108,41	0,8	48,64	1,63	87	0,99	430,53
106,76	0,9	68,66	1,65	117,58	0,99	667,33

Giro derecha, técnica PWM. Torque de 1.0 NM.

En 0.2T no tenemos ninguna medición, porque no existe la velocidad necesaria para poder generar el torque de 1.0 NM.

TABLA 3

Mediciones del módulo conversor, giro derecha, técnica PWM. Torque 1.0 NM.

Alimentación E1 (V)	% T	Voltaje de motor E2 (V)	Corriente de motor I2 (A)	Potencia de motor (VA)	Torque (NM)	Velocidad (RPM)
120	0	0	0	0	0	0
116,45	0,2	-	-	-	-	-
111,72	0,4	41,18	1,62	68,55	1	336,67
109,41	0,6	61,61	1,65	103,68	1	581,55
106,71	0,8	81,09	1,68	137,45	1	812,47
104,99	1	100,12	1,69	169,64	1	1029,01

Giro del motor, Técnica PWM bipolar. Torque de 1.0 NM

En 0.4T y 0.6T no tenemos ninguna medición, porque no existe la velocidad necesaria para poder generar el torque de 1.0 NM.

TABLA 4

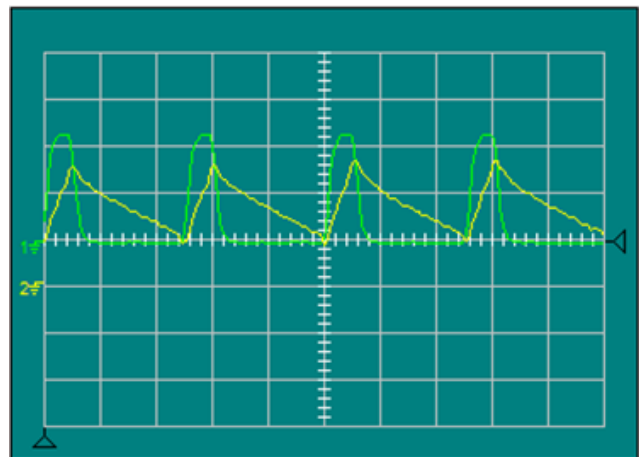
Mediciones del módulo conversor, Técnica PWM bipolar. Torque 1.0 NM

Alimentación E1 (V)	% T	Voltaje de motor E2 (V)	Corriente de motor I2 (A)	Potencia de motor (VA)	Torque (NM)	Velocidad (RPM)
105,96	0,1	-81,28	-1,75	144,4	-1	813,42
108,06	0,2	-61,09	-1,71	109,17	-1	570,28
109,84	0,3	-41,43	-1,67	75,85	-1	332,48
114,8	0,4	-	-	-	-	-

SEÑALES ELÉCTRICAS DEL MÓDULO CONVERSOR AC/DC - DC/DC.

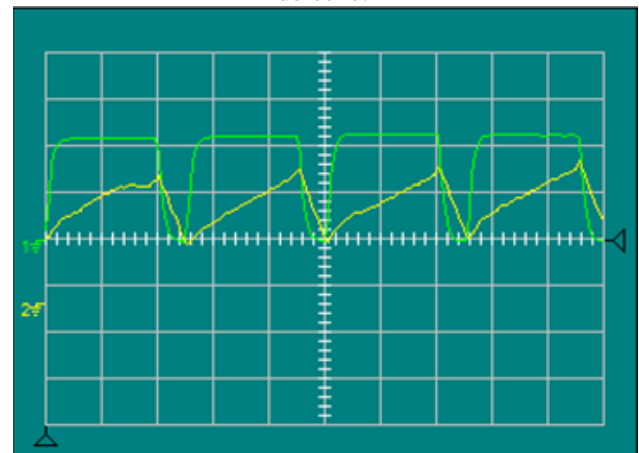
En este segmento se observan los diferentes porcentajes de control de la señal, así como sus formas de onda de voltaje y corriente en el motor.

Con estas formas de onda se comprueba con la práctica, todo la teoría mencionada anteriormente.



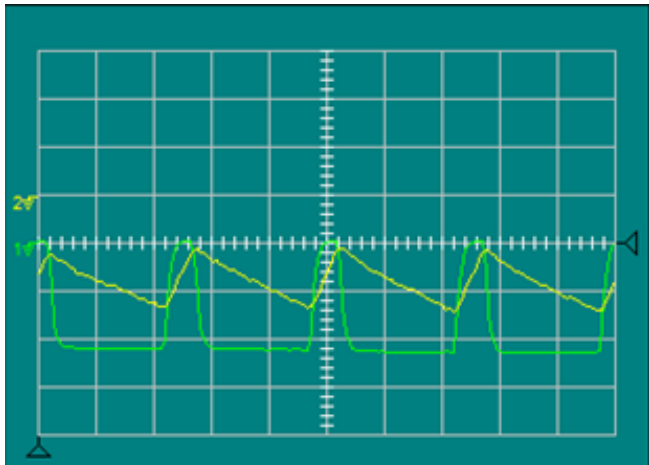
Canal	Entrada	EFL	PRO	f(Hz)	Escala
1	E2 (V)	46,93	21,25	1987,67	50 V/div.
2	I2 (A)	0,40	0,39	1990,56	0,2 A/div.

Figura 16. Voltaje y Corriente del motor a 0.2T, a 2Khz, giro derecho.



Canal	Entrada	EFI.	PRO	f(Hz)	Escala
1	E2 (V)	96,76	88,09	1984,96	50 V/div.
2	I2 (A)	0,43	0,42	1987,13	0,2 A/div.

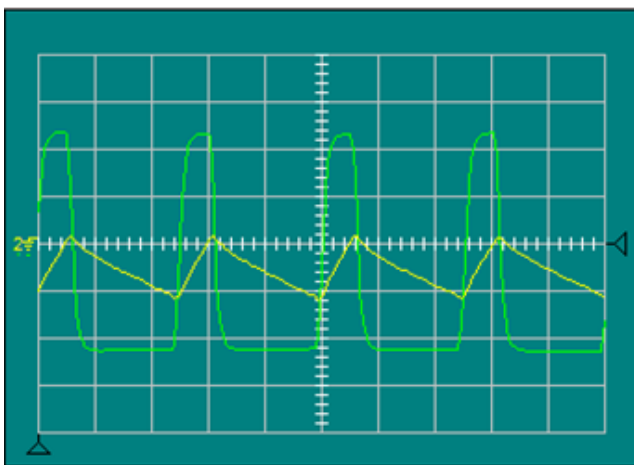
Figura 17. Voltaje y Corriente del motor a 0.8T, a 2Khz, giro derecho.



Canal	Entrada	EFI.	PRO	f(Hz)	Escala
1	E2 (V)	99,77	-90,69	1984,46	50 V/div.
2	I2 (A)	0,39	-0,38	1974,84	0,2 A/div.

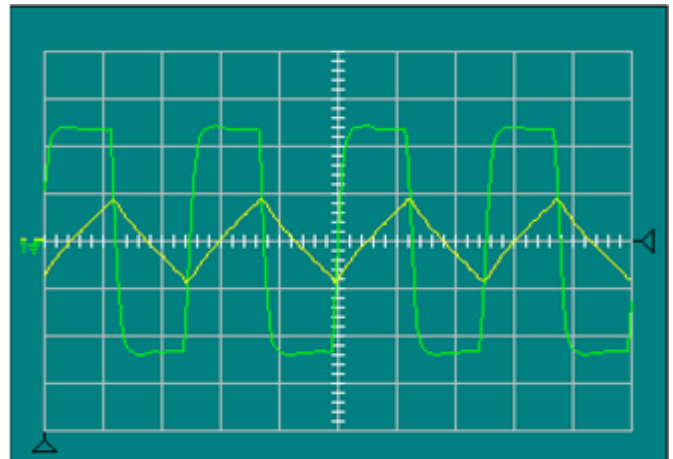
Figura 18. Voltaje y Corriente del motor a 0.8T, a 2Khz, giro izquierdo.

Señales técnica PWM bipolar sin torque.



Canal	Entrada	EFI.	PRO	f(Hz)	Escala
1	E2 (V)	107,18	-57,60	1984,43	50 V/div.
2	I2 (A)	0,41	-0,36	1977,38	0,5 A/div.

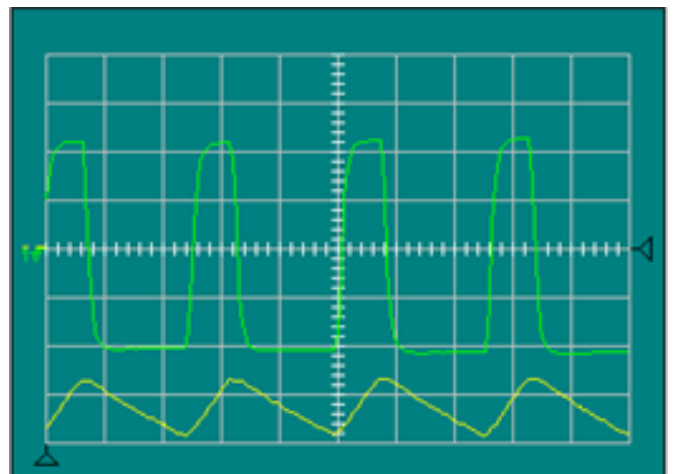
Figura 19. Voltaje y Corriente del motor a 0.25T, a 2Khz, giro izquierdo.



Canal	Entrada	EFI.	PRO	f(Hz)	Escala
1	E2 (V)	110,62	-0,75	1983,96	50 V/div.
2	I2 (A)	0,25	-0,02	1984,49	0,5 A/div.

Figura 20. Voltaje y Corriente del motor a 0.5T, a 2Khz, motor parado.

Señales, técnica PWM bipolar con torque 1.0 NM.



Canal	Entrada	EFI.	PRO	f(Hz)	Escala
1	E2 (V)	100,44	-42,24	1956,18	50 V/div.
2	I2 (A)	1,68	-1,67	1961,52	0,5 A/div.

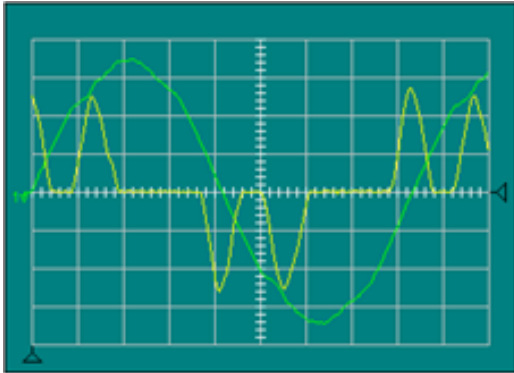
Figura 21. Voltaje y Corriente del motor a 0.2T, a 2Khz, giro izquierdo.

Análisis de armónicas.

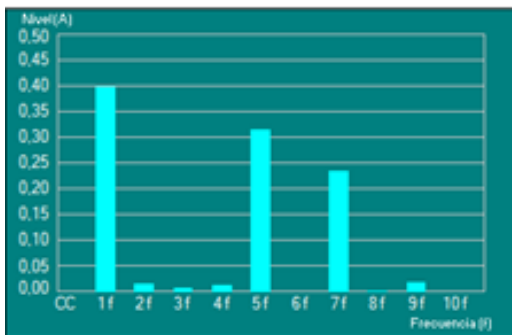
Para el análisis de armónicas se utilizó el software LVDAM-EMS.

Señales de voltaje y corriente de línea con torque de 0.5 NM a 0.5T.

a)



b)



c)

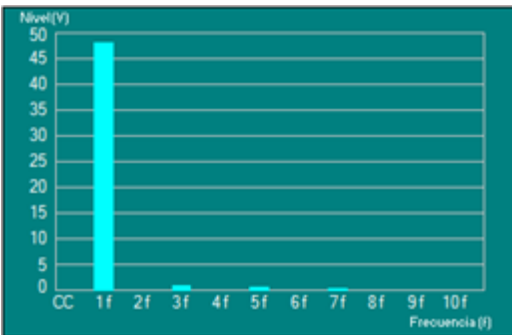


Figura 22. Señales con torque de 0.5 NM a 0.5T: a) Voltaje / Corriente, b) Armónicos presente en la corriente, c) Armónicos presente en voltaje

CONCLUSIONES.

- Se ha cumplido el objetivo principal de este proyecto el cual fue la construcción del módulo convertidor AC/DC – DC/DC con control PWM, para puente completo utilizando IGBT's, operando y funcionando adecuadamente, el cual será destinado al laboratorio de Control Eléctrico.
- Se realizó un estudio teórico de los diferentes convertidores de potencia AC/DC – DC/DC, así como

sus distintos tipos de protecciones, de tal manera que se obtuvo el conocimiento completo sobre el funcionamiento de los distintos tipos de convertidores.

- Realizado un estudio teórico de todos los transistores IGBT's, se obtuvo el conocimiento necesario, de tal manera que se diseñó la parte de potencia con los IGBT's más adecuados.
- Revisado todos los equipos y módulos del laboratorio de Control Eléctrico y en función de los mismos; el diseño y construcción de los módulos se acoplan completamente al laboratorio, tanto en su parte manipulable y su parte funcional, con los equipos existentes sin ningún requerimiento adicional.
- En función del estudio realizado de los microcontroladores se pudo determinar al microcontrolador adecuado, para la aplicación en la parte de control, siendo el microcontrolador Atmega 16A el más indicado; ya que este nos proporciona las salidas suficientes para los pulsos PWM de control.
- Se concluye que en base al análisis anterior y de los interruptores de estado sólido, el circuito de potencia se diseñó de tal manera que su configuración es de puente completo, el cual tendrá el diseño de funcionalidad, adicionándole todo el sistema de protecciones.
- En función de la investigación realizada, se escogió para la parte de control al microcontrolador apropiado, que garantiza las correctas señales PWM que ingresarán al driver IR2130 para que éste nos asegure un correcto disparo de los transistores IGBT's.
- Revisado en su totalidad y armado la parte de potencia y de control, quedo totalmente operativo para la realización de prácticas para los estudiantes.
- Se realizaron las pruebas necesarias y suficientes para comprobar el correcto funcionamiento de la parte de control y potencia, de acuerdo a los objetivos planteados.

REFERENCIAS

- [1]. MUHAMMAD. H. RASHID "Electrónica de Potencia Convertidores, Aplicaciones y Diseño "3ra Edición 2009
- [2]. S. MARTINEZ, J.A. GUALDA "Electrónica de Potencia Componentes, Topologías y Equipos" 2006. Pág. 100.
- [3]. RASHID, M. (1995) "Electrónica de Potencia; Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones", Capítulo 9 "Pulsadores en CD". 2ª edición Pearson Educación.
- [4]. BHAG S .GURU, HUSEVIN R. HIZIROGLU "Máquinas y Transformadores "2da Edición 1995.
- [5]. MIGUEL A PEREZ GARCIA, JUAN C ALVAREZ ANTON."Instrumentación Electrónica " 2004

[6]. FILTROS. “Tipos” [Documento HTML]. 10 de
Marzo del 2013
<http://blog.artegijon.com/toni/files/2007/11/tema-9.pdf>

[7]. MODULACIÓN. “Tipos” [Documento HTML]
17 de Abril del 2013

http://www.dspace.epn.edu.ec/modulacion_pwm_pmdc_v4.pdf