

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



## Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO INVERSOR TRIFÁSICO ACOPLADO A UN EMULADOR DE BANCO DE BATERÍAS PARA LA INCORPORACIÓN DE ENERGÍA A UNA RED DE ENTRENAMIENTO DE CIELE

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

#### **AUTOR:**

Oscar Angel Revelo Ger.

#### **DIRECTOR:**

MSc. Jhonny Javier Barzola Iza.

#### **ASESORES:**

PhD. José Alex Restrepo Zambrano.

MSc. Francisco Roberto Naranjo Cobo.

Ibarra, 2019



# UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## 1.- IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>	
<b>Cedula de Identidad</b>	040172554-4
<b>Apellidos y Nombres</b>	Revelo Ger Oscar Angel
<b>Direccion</b>	Avenida 17 de julio
<b>Email</b>	<a href="mailto:Oscarrevelo2012@hotmail.es">Oscarrevelo2012@hotmail.es</a>
<b>Telefono Movil</b>	0969307881
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>Título</b>	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO INVERSOR TRIFÁSICO ACOPLADO A UN EMULADOR DE BANCO DE BATERÍAS PARA LA INCORPORACIÓN DE ENERGÍA A UNA RED DE ENTRENAMIENTO DE CIELE
<b>Autor</b>	Revelo Ger Oscar Angel
<b>Fecha</b>	Febrero del 2019
<b>Programa</b>	Pregrado
<b>Título por el que Aspira</b>	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
<b>Director</b>	MSc. Jhonny Barzola

## 2.- AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Oscar Angel Revelo Ger, con cédula de identidad No. 040172554-4, en calidad de autor y titulares de los derechos Patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de materia y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia de la ley de Educación Superior artículo 144.

## 3.- CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad Técnica del Norte, en caso de reclamación por parte de terceros.



.....  
Firma

Nombre: Oscar Angel Revelo Ger

Cédula: 040172554-4

Ibarra, Febrero del 2019.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

#### **CESIÓN DE DERECHS DE AUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACION A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Revelo Ger Oscar Angel, con cedula de identidad No. 040172554-4, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, articulo 4, 5 y 6 en calidad de autor del trabajo de grado denominado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO INVERSOR TRIFÁSICO ACOPLADO A UN EMULADOR DE BANCO DE BATERÍAS PARA LA INCORPORACIÓN DE ENERGÍA A UNA RED DE ENTRENAMIENTO DE CIELE”**. Que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes mencionada, aclarando que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no ha sido previamente presentando para ningún grado o calificación profesional. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma

Nombre: Oscar Angel Revelo Ger

Cédula: 040172554-4

Ibarra, Febrero del 2019.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

**MSc. Jhonny Barzola**

**CERTIFICA**

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante; Revelo Ger Oscar Angel certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO INVERSOR TRIFÁSICO ACOPLADO A UN EMULADOR DE BANCO DE BATERÍAS PARA LA INCORPORACIÓN DE ENERGÍA A UNA RED DE ENTRENAMIENTO DE CIELE”**. Para la obtención de título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobando la defensa, impresión y empastado.

.....  
**MSc. Jhonny Barzola**  
**DIRECTOR DE TESIS**

## DEDICATORIA

El presente proyecto de tesis lo dedico en primer lugar a DIOS por darme paciencia, fuerza y sobre todo sabiduría, para poder llegar asta este momento tan importante de mi formación profesional, permitiéndome culminar con éxito una nueva etapa en mi vida.

A mis padres y hermanos, por ser el pilar fundamental de apoyo Incondicional, no tan solo económico, sino también moral, brindándome sus consejos, oraciones y buenos deseos mismos que me ayudaron a ser una persona de bien.

A mis familiares y amigos que de una o de otra manera, compartieron sus vivencias y conocimientos a lo largo de todo este período académico.

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a DIOS por brindarme la vida, por acompañarme en todo el proceso de mi vida universitaria, por darme unos excelentes padres, quienes me han inculcado y brindado sus valores, su apoyo, su ejemplo. Por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación.

Agradezco a la Universidad Tecnica del Norte por haberme acogido y permitirme formarme en mi vida profesional, a sus docentes que compartieron sus conocimientos a lo largo de todo el proceso universitario.

Agradezco a mi tutor y asesores quienes me ayudaron a culminar con éxito este proyecto de tesis, por el tiempo y la buena voluntad que invirtieron en las etapas del desarrollo del mismo.

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño, construcción y funcionamiento de todas las partes que involucran un módulo inversor trifásico, acoplado a un emulador de banco de baterías, con el objetivo de simular el bus de corriente continua de una fuente de energía renovable convencional. Con la finalidad de incorporar energía a la red de entrenamiento existente en la parte posterior de las instalaciones de la Carrera de Electricidad (CIELE) de la Universidad Técnica del Norte.

El módulo diseñado e implementado, tiene la capacidad de convertir hasta una potencia de 2000 W, a 220 VAC, lo cual, es suficiente para satisfacer la carga instalada en la red de entrenamiento mediante un funcionamiento de forma aislada. El prototipo se encuentra conformado por el emulador de banco de baterías y los componentes tanto de control, como de accionamiento y de potencia del inversor; así mismo de componentes adicionales que brindarán protección y seguridad a los dispositivos más sensibles.

Entre los elementos de control se encuentran: la tarjeta de control o (DSP), el LAUNCHXL-F28379D misma que se encargará de realizar el control y generación de pulsos PWM y enviarlos a las tarjetas de accionamiento por medio de una tarjeta de interfaz adicional, conformada por un buffer (SN74LS540N), quien se encargará de enviar los datos unidireccionalmente desde la DSP hasta las tarjetas de accionamiento.

Las tarjetas de accionamiento fueron implementadas con la ayuda de una fuente DC-DC y componentes electrónicos adicionales que garantizarán el correcto funcionamiento, de tal manera que formen un aislamiento entre la parte de fuerza y de control por medio de optoacopladores, los cuales se encargarán de controlar y realizar los accionamiento de compuerta necesarios en los módulos IGBT, quienes otorgarán la señal de salida del inversor.

Entre los componentes de potencia que conforman el inversor se encuentran el puente rectificador trifásico, quien es el encargado de suministrar la alimentación a las barras de cobre del bus DC y al mismo tiempo al capacitor electrolítico encargado de rectificar completamente la forma de onda emitida por el puente rectificador y así emular el banco de baterías. Finalmente, los módulos IGBT por medio del accionamiento que reciben; entregarán potencia en las barras de salida desde el emulador de baterías, realizando así, el proceso de conversión de energía DC-AC.

Por último, el componente adicional implementado en este proyecto es el banco de transformadores mismos que se encargarán de aislar y brindar protección a los componentes electrónicos de todo el módulo inversor de posibles perturbaciones producidas en la red.

## ABSTRACT

This project consists of the design, construction and operation of all parts involving a three-phase inverter module, coupled to a battery-side emulator, with the aim of simulating the DC bus of a power source. Conventional renewable. With the purpose of incorporating energy into the existing training network in the back of the facilities of the electricity Race (cicle) of the Technical University of the North.

The module designed and implemented, has the capacity to convert up to a power of 2000 W, to 220 VAC, which is sufficient to satisfy the load installed in the training network by means of an isolated operation. The prototype is formed by the battery bank emulator and the components of both control, drive and power of the inverter; As well as additional components that provide protection and safety to the most sensitive devices.

Among the control elements are: the control card O (DSP), the LAUNCHXL-F28379D itself that will take charge of the control and generation of PWM pulses and send them to the drive cards by means of an additional interface card, conformed by a buffer (SN74LS540N), who will be responsible for sending the data unidirectionally from the DSP to the drive cards.

The drive cards were implemented with the help of a DC-DC source and additional electronic components that guarantee the correct operation, in such a way that they form an isolation between the force part and the control by means of Optocouplers, which will be in charge of controlling and carrying out the necessary gate actuators in the IGBT modules, which give the output signal of the inverter.

Among the power components that make up the inverter are the three-phase Rectifier bridge, which is responsible for the supply of supplies to the copper bars of the DC bus and at the same time to the electrolytic capacitor in charge of rectifying Completely the waveform emitted by the bridge rectifier and thus emulate the battery bank. Finally, the IGBT modules by means of the drive they receive will deliver power to the output barring from the battery emulator, thus performing the DC-AC power conversion process.

Finally, the additional component implemented in this project is the same transforming bank that will be responsible for isolating and providing protection to the electronic components of the entire inverter module from possible disturbances in the network.

## Tabla de contenidos

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN .....	ii
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	iii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	iv
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
TABLA DE CONTENIDOS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
INTODUCCIÓN.....	xvii
A.1 ANTECEDENTES .....	xvii
A.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	xvii
PROBLEMA .....	xviii
A.3 JUSTIFICACIÓN .....	xviii
A.4 ALCANCE.....	xix
A.5 VIABILIDAD DEL TRABAJO.....	xix
A.6 OBJETIVO GENERAL .....	xx
A.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	xx
CAPITULO 1 .....	1
1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1

1.1 INVERSOR ELÉCTRICO .....	1
1.2 Clasificación de los inversores .....	2
1.2.1 Según el tipo de aplicación.....	2
1.2.1.1 Inversores para sistemas fotovoltaicos autónomos.....	2
1.2.1.2 Inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a la red .....	3
1.2.2 Según el tipo de carga.....	3
1.2.2.1 Inversor monofásico .....	3
1.2.2.2 Inversor trifásico .....	4
1.2.3 Según el tipo de alimentación .....	4
1.2.3.1 VSI (Voltage Supply Inverter), alimentación con fuente de tensión para alimentar el inversor .....	4
1.2.3.2 CSI (Current Supply Inverter), alimentación con Fuente de corriente alterna para alimentar el inversor.....	5
1.2.4 Según el tipo de conmutación .....	5
1.2.4.1 Inversores conmutados por línea (red alterna).....	5
1.2.4.2 Inversores auto conmutados .....	6
1.2.5 Según estructura de etapa de potencia .....	6
1.2.5.1 Medio puente .....	6
1.2.5.2 Puente completo.....	6
1.2.6 Según función de la forma de tensión de la onda de salida.....	6
1.2.6.1 De onda cuadrada .....	7
1.2.6.2 De onda modificada.....	7
1.2.6.3 De onda senoidal.....	7

1.3 Aplicaciones de los inversores .....	7
1.4 Componentes Principales del Inversor .....	7
1.4.1 Elemento de Control .....	8
1.4.2 Control PWM.....	9
1.4.3 Tarjetas de accionamiento de IGBT .....	10
1.4.3.1 Aislamiento .....	10
1.4.4 Módulo IGBT .....	10
1.5 Rectificador .....	12
1.5.1 Clasificación de Rectificadores .....	12
1.5.1.1 Rectificadores de acuerdo con las características de voltaje.....	12
1.5.1.2 Rectificadores monofásicos tipo puente .....	13
1.5.1.3 Rectificadores controlados monofásicos de onda completa .....	13
1.5.1.4 Rectificadores trifásicos tipo puente .....	14
1.5.1.4 Circuito Convertidor Trifásico Completo .....	14
1.5.2 Rectificadores de acuerdo con el tipo de rectificación.....	15
1.5.2.1 Rectificadores de Media Onda .....	15
1.5.2.2 Rectificadores de Onda Completa .....	15
1.5.3 Rectificadores de acuerdo con su forma de control .....	15
1.5.3.1 Rectificadores Controlados .....	15
1.5.3.1 Rectificadores No Controlados.....	16
1.6 Aplicación de los Rectificadores.....	17
1.7 Banco de Baterías .....	17

1.7.1 Emulador de banco de baterías .....	18
1.7.1.1 Definición de Emulación .....	18
1.7.2 Componentes del Emulador de banco de baterías .....	18
1.7.2.1 Transformador de aislamiento.....	19
1.7.2.2 Características y Magnitudes de funcionamiento de transformadores de aislamiento .....	19
1.7.3 Puente Rectificador Trifásico .....	20
1.7.3.1 Aplicaciones.....	20
1.7.3.2 Características Principales .....	21
1.7.4 Capacitor.....	21
1.7.4.1 Capacitores de enlace DC .....	21
1.7.4.2 Aplicaciones de los Capacitores .....	22
1.7.5 Barras de Bus DC.....	22
CAPITULO 2 .....	24
2. Desarrollo de la propuesta tecnológica.....	24
2.1 Introducción .....	24
2.2 Análisis del Objetivo .....	24
2.3 Ubicación física.....	24
2.4 Desarrollo del proyecto.....	24
2.4.1 Aspectos técnicos.....	25
2.4.2 Diagrama de flujo.....	26
2.5 Simulaciones y Diseño .....	26
2.5.2 Diseño del inversor trifásico en AutoCAD .....	28

2.5.2.1 Diseño de tarjetas de accionamiento .....	30
2.6 Montaje de elementos en tarjetas de control .....	31
2.6.1 Lista de materiales utilizados en tarjetas de accionamiento .....	31
2.6.2 Diseño de tarjeta de interfaz .....	34
2.6.2.1 Montaje de elementos en tarjeta de interfaz.....	35
2.6.2.2 Montaje de elementos en tarjeta de interfaz.....	35
2.6.3 Montaje de dispositivos de potencia .....	36
2.6.4 Conexiones de dispositivos de control.....	39
2.6.4.1 Conexiones entre DSP y tarjeta interfaz.....	39
2.6.4.2 Conexiones entre tarjeta interfaz y tarjetas de Accionamiento. ....	40
2.6.4.3 Conexiones entre tarjetas de Accionamiento y módulos IGBT. ....	40
2.7 Código de programación .....	41
2.8 Instalación y conformación del módulo inversor trifásico a la red de entrenamiento de CIELE. ....	50
CAPITULO 3.....	53
3. Pruebas de funcionamiento y resultados.....	53
3.1 Verificación individual de funcionamiento. ....	53
3.1.1 Verificación de funcionamiento de placas de accionamiento.....	53
3.1.2 Verificación de funcionamiento de placas de accionamiento con módulos IGBT. ....	53
3.1.3 Verificación de funcionamiento de banco de transformadores. ....	55
3.1.4 Verificación de funcionamiento de modulo rectificador trifásico.....	55
3.2 Practicas y Resultados. ....	56
Conclusiones.....	63

Recomendaciones .....	65
Anexos .....	69
Anexo A. Hojas de datos de elementos principales.....	69
Anexo B. Diagrama de placas de Accionamiento.....	89
Anexo C. Diagrama de placa interfaz.....	90
Anexo D. Diseño y construcción de modulo inversor trifásico.....	91
Anexo E. Prácticas de laboratorio .....	93

### **Índice de figuras**

Figura 1. Sistema fotovoltaico conectado a la red .....	1
Figura 2. Proyecto de superred de energías renovables europea. ....	2
Figura 3. Diagrama de bloques de un inversor autónomo .....	2
Figura 4. Sistema fotovoltaico conectado a la red .....	3
Figura 5. Inversor puente monofásico. ....	3
Figura 6. Inversor puente Trifásico.....	4
Figura 7. Inversores alimentados con fuente de voltaje.....	5
Figura 8 .Tarjeta de control, Tarjetas de accionamiento y modulo IGBT. inversor .....	8
Figura 9. Placa de LAUNCHXL-F28379D .....	8
Figura 10. Descripción general de placa LAUNCHXL-F28379D.....	9
Figura 11. Descripción general de placa de accionamiento de GBT .....	10
Figura 12. Modulo IGBT FF200R12KE4HOSA1-ND .....	11
Figura 13. Rectificador Trifásico tipo puente de onda completa con carga resistiva.....	12
Figura 14. Rectificador Monofásico de Onda Completa .....	13
Figura 15. Rectificador Monofásico de Onda Completa .....	13
Figura 16. Rectificador trifásico tipo puente de Onda Completa.....	14
Figura 17. Convertidor Controlado Trifásico Completo.....	14

Figura 18. Rectificador de Media Onda con señales de entrada y salida .....	15
Figura 19. Estructura de Componentes del Emulador de Banco de Baterías .....	18
Figura 20. Diagrama de Transformador de Aislamiento .....	19
Figura 21. Diagrama de puente Rectificador Trifásico (VUO160-12NO7-ND). .....	20
Figura 22. Capacitor de enlace de 1000 micro faradios a 450V .....	22
Figura 23. Barras de cobre .....	23
Figura 24. Diagrama de flujo de inversor trifásico y emulador de banco de baterías .....	26
Figura 25. Subsistema de 6 señales de pulso PWM .....	27
Figura 26. Simulación de señales de inversor trifásico con carga RL en conexión Y.....	28
Figura 27. Diseño en 2D modulo inversor trifásico y emulador de banco de baterías.....	29
Figura 28. Diseño en 3D de modulo inversor trifásico y emulador de banco de baterías.....	30
Figura 29. Diseño de tarjetas de control en Kicad .....	30
Figura 30. Tarjetas de control .....	31
Figura 31. Montaje de optoacopladores .....	33
Figura 32. Montaje de dispositivos .....	33
Figura 33. Montaje total de dispositivos .....	34
Figura 34. Diseño de tarjeta interfaz .....	34
Figura 35. Placa de interfaz .....	35
Figura 36. Placa de interfaz con componentes.....	35
Figura 37. Readecuación de dispositivos .....	36
Figura 38. Pasta térmica y características.....	37
Figura 39. Medición de barras de bus DC	
Figura 40. Montaje de barras de bus DC.....	37
Figura 41. Readecuación de dispositivos .....	38
Figura 42. Disposición de dispositivos de potencia. ....	38
Figura 43. Pines de conexión DSP y Tarjeta interfaz .....	39
Figura 44. Acoplamiento entre DSP y tarjeta interfaz .....	39
Figura 45. Conexión de pines tarjetas interfaz y tarjetas de control.....	40

Figura 46. Conexión de pines tarjetas de accionamiento y módulos IGBT .....	40
Figura 47. Pruebas de funcionamiento de modulo inversor trifásico.....	50
Figura 48. Pintura y readecuación de tablero eléctrico.....	50
Figura 49. Instalación de tablero eléctrico .....	51
Figura 50. Instalación de banco trifásico en tablero eléctrico .....	51
Figura 51. Instalación de módulo inversor trifásico en tablero eléctrico.....	52
Figura 52. Readecuación de conexiones en módulos exteriores.....	52
Figura 53. Pruebas de funcionamiento de tarjetas de control.....	53
Figura 54. Pruebas de funcionamiento de tarjetas de control.....	54
Figura 55. Ch 3 escala 5.0mA, Ch 4 escala 100V, Level 106.525V, escala principal 5.000us .....	54
Figura 56. Pruebas de funcionamiento de banco de transformadores.....	55
Figura 57. Pruebas de funcionamiento de puente inversor trifásico. ....	55
Figura 58. Conexión de equipos y materiales en Inversor .....	56
Figura 59. Onda de voltaje de salida.....	57
Figura 60. Ch 4, escala 100V, escala principal 2.000ms. ....	57
Figura 61. Onda de voltaje de salida vs corriente.....	58
Figura 62. Ch 2 escala 100V/, Ch 3 escala 200mA/, nivel 49.9800V, escala principal 2.000ms.....	58
Figura 63. Onda de voltaje vs corriente con carga resistiva .....	59
Figura 64. Ch 2 escala 100V/, Ch 3 escala 1.00A/, Pos 2.86250 A, nivel 49.9800V, escala principal 5.000ms.....	59
Figura 65. Arranque de motor trifásico desde salidas de IGBT .....	60
Figura 66. Señales de voltaje vs corriente fases A y B.....	61
Figura 67. Señales de voltaje vs corriente en fases A y B con voltaje máximo en bus DC ..	62
Figura 68. Señales de voltaje vs corriente en barra de bus DC.....	62
Figura 69. Readecuación de tablero eléctrico previo a la instalación de transformadores monofásicos.....	91
Figura 70. Readecuación de conexión en transformadores monofásicos.....	91
Figura 71. Montaje de elementos en placa de accionamientos de IGBT .....	91

Figura 72. Revisión de conexiones y cableado en componentes de inversor .....	92
Figura 73. Montaje de elementos en placa de accionamientos de IGBT .....	92
Figura 74. Prueba de generación de pulsos en vacío.....	92

### **Índice de tablas**

Tabla 1. Características del Módulo IGBT FF200R12KE4HOSA1-ND .....	11
Tabla 2. Clasificación de Rectificadores Controlados.....	16
Tabla 3. Magnitudes y Características de Transformadores de Aislamiento .....	19
Tabla 4. Características del Puente Rectificador VUO160-12NO7-ND.....	21
Tabla 5. Valores de magnitudes electricas aplicables a elementos de inversor y emulador	25
Tabla 6. Elementos y dispositivos para tarjetas de accionamiento .....	31
Tabla 7. Descripción de puntos de conexión.....	40

# INTODUCCIÓN

## A.1 ANTECEDENTES

Hoy en día la energía eléctrica ha tomado un papel importante en el campo de la ingeniería, así como para la innovación de nuevas tecnologías, aplicación en diversos campos, lo que permite resaltar sus nuevas formas de producción. Se está hablando de la producción de energía eléctrica mediante la conversión de energías alternativas o más conocidas como renovables, las cuales año tras año ha surgido mayor interés por parte de varios países a nivel mundial. Entre ellos el nuestro, que mediante el Plan Maestro de Electrificación (PME) y por medio del (MEER) como entidad principal encargada de dirigir, apoyar e incentivar a la creación de nuevos proyectos de producción de energía eléctrica.

Entre las energías alternativas apoyadas por el Plan Maestro de Electrificación, se tiene la solar y la eólica, pero para su aplicación es necesario la utilización de equipos y elementos de electrónica tales como inversores de corriente y elementos de almacenamiento de energía, como son los bancos de baterías.

Según (Hidalgo, J,2011) Gracias a los avances tecnológicos y a las necesidades generadas se han desarrollado nuevos dispositivos de conmutación que permiten un mejor diseño e implementación de inversores. Por otro lado, el incremento del uso de fuentes de energía renovables producirá cortes eléctricos no previsibles, por lo cual se necesitarán equipos que prevean estos problemas como los UPS (Fuentes de poder Ininterrumpidas), que son una aplicación importante de los inversores.

En concordancia, los inversores se han abierto campo a múltiples aplicaciones, las cuales una de ellas es aplicada para la inversión de energía desde bancos de baterías para sistemas auxiliares de almacenamiento, y en otros casos para la utilización de inversión de energía almacenada o producida por fuentes de generación renovable, tales como paneles fotovoltaicos, o derivadas de la energía solar.

## A.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según (Menacho, A.,.2013) Afirma que las redes de distribución de energía eléctrica, están conformadas por un sinnúmero de elementos y dispositivos propensos a fallas e

interrupciones, esto debido a diversos factores, fenómenos y procesos que transcurren desde el punto de generación, hasta el punto de entrega a la carga, donde entidades tanto públicas como privadas, ya sean estas hospitales, clínicas, aeropuertos y entidades bancarias, sufran inconvenientes; por lo que la no utilización de sistemas auxiliares ininterrumpidos de almacenamiento de energía, causaría un gran número de incidentes y aspectos negativos tales como la pérdida de información, daño de equipos y elementos sensibles de medicina, no activación de alarmas de seguridad, etc.

Actualmente en aspectos estudiantiles que van encaminados a la rama técnica, han surgido varios inconvenientes, esto debido al desconocimiento y la falta de práctica por parte de los estudiantes en cuanto a la manipulación de equipos y sistemas, que a la larga generará repercusiones negativas en su vida profesional. La Carrera de Ingeniería Eléctrica (CIELE) ubicada en la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, cuenta con aulas y laboratorios dedicados al estudio y desarrollo de trabajos eléctricos, pero debido a que no posee todos los equipos referentes a conversión de energía, así como la identificación física y visual de elementos electrónicos de potencia, emulación de un banco de baterías entre otros, no se puede complementar los conocimientos teóricos impartidos con sus respectivas prácticas de laboratorio.

## **PROBLEMA**

¿Cómo diseñar e implementar un módulo inversor trifásico acoplado a un emulador de banco de baterías, para la incorporación de energía a una red de entrenamiento de CIELE?

### **A.3 JUSTIFICACIÓN**

La importancia del diseño y la implementación de un módulo inversor acoplado a un emulador de baterías para la incorporación de energía a una red de entrenamiento en CIELE, tiene como finalidad la complementación de dispositivos y equipos necesarios para la realización de prácticas en los laboratorios de CIELE, que además le ayudara a repotenciar la red de entrenamiento existente en dichas instalaciones, logrando tener un sistema de Transmisión HVDC de energía auxiliar que brinde continuidad de servicio eléctrico, el cual proporcionará a que la carrera cuente con más y mejores equipos y beneficie de manera directa a sus estudiantes.

Al llevar a cabo este proyecto otorgará a que los estudiantes refuercen y complementen sus conocimientos teóricos con los prácticos, debido a que se podrá contar con sistemas orientados a realizar pruebas referentes a rectificación y conversión de energía, así como sistemas que brinden continuidad de servicio eléctrico, además de la identificación física, visual de elementos electrónicos de potencia y emulación de un banco de baterías, entre otros, que les será de gran ayuda familiarizarse desde su formación estudiantil con elementos que se encontrarán en su futura vida profesional.

#### **A.4 ALCANCE**

Mediante este proyecto se desea realizar el diseño y la construcción de un módulo inversor trifásico, el cual estará acoplado a un emulador de banco de baterías, quien será conformado por tres transformadores monofásicos de aislamiento, los cuales se encargarán de separar la energía, de la fuente del sistema de alimentación convencional, y conformar de esta manera un sistema aislado; para luego conectarse con un banco de rectificadores, permitiendo así entre estos, emular un banco de baterías. Además, se construirá un sistema de conversión de energía mediante la utilización de transistores de potencia IGBT, los que se encontraran acoplados al emulador de banco de baterías, conformando así un solo sistema, para luego transferir esta energía a una red de entrenamiento de la Carrera de Ingeniería Eléctrica CIELE.

#### **A.5 VIABILIDAD DEL TRABAJO**

El diseño y la implementación del proyecto se lo realizará en las instalaciones de la Carrera de Ingeniería Eléctrica CIELE, con el objetivo de satisfacer la red de entrenamiento existente, con elementos y dispositivos referentes a la electrónica de potencia, los cuales, serán adquiridos por su costo económico razonable y debido a la necesidad presente ya que permitirán que la Carrera de Ingeniería Eléctrica CIELE cuente con más implementos en sus laboratorios y beneficie de manera directa a sus estudiantes.

Los elementos y equipos a ser implementarse en este proyecto aportaran al fortalecimiento en la parte de electrónica de potencia ya que se diseñará y construirá un módulo inversor de corriente, acoplado a un emulador de banco de baterías, el cual ayudará a realizar prácticas concernientes a esa rama, así como la aplicación de estos, en sistemas de Transmisión HVDC o en Sistemas auxiliares de energía.

Para la parte del diseño y construcción del módulo inversor y el emulador de banco de baterías, se contará con el apoyo y supervisión de los docentes que conforman la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica del Norte, quienes aportarán y complementarán la información obtenida en la previa investigación Bibliográfica, con sus conocimientos y experiencia adquirida en el transcurso de su vida profesional.

## **A.6 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un prototipo inversor trifásico acoplado a un emulador de banco de baterías para la incorporación de energía a una red de entrenamiento de CIELE y la realización de prácticas estudiantiles.

## **A.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Estudiar los sistemas y dispositivos de electrónica de potencia que intervienen en procesos de inversión y almacenamiento de energía para la utilización de los más adecuados en el desarrollo de este proyecto.
2. Diseñar un prototipo inversor trifásico de 220 Vac a 2000 W y un emulador de banco de baterías para la alimentación de una red de entrenamiento en CIELE.
3. Construir un inversor trifásico de 220 Vac a 2000W y un emulador de banco de baterías que satisfaga las necesidades del inversor y la carga instalada en una red de entrenamiento de CIELE.
4. Realizar un protocolo de prácticas el cual permita verificar el correcto funcionamiento del sistema.

# CAPITULO 1

## 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1 INVERSOR ELÉCTRICO

Un inversor eléctrico es un dispositivo que convierte una potencia de DC (corriente continua) ya sea de un sistema de generación fotovoltaico, como de sistemas de acumulación de energía o baterías, en una potencia de señal AC (corriente alterna, con la finalidad de alimentar dispositivos que consumen este tipo de energía ya sea de una forma directa o como medio de energía auxiliar. Esta afirmación se corrobora con la definición planteada según el Diccionario Autoritario de los términos estándares de la IEEE (2000), la cual manifiesta que el inversor es un convertidor de energía eléctrica que cambia la corriente continua (C.C) a corriente alterna (C.A). donde la corriente alterna convertida puede ser requerida de cualquier valor de voltaje y frecuencia con el uso apropiado de elementos de conmutación y circuitos de control. Tal como se muestra en la figura 1.

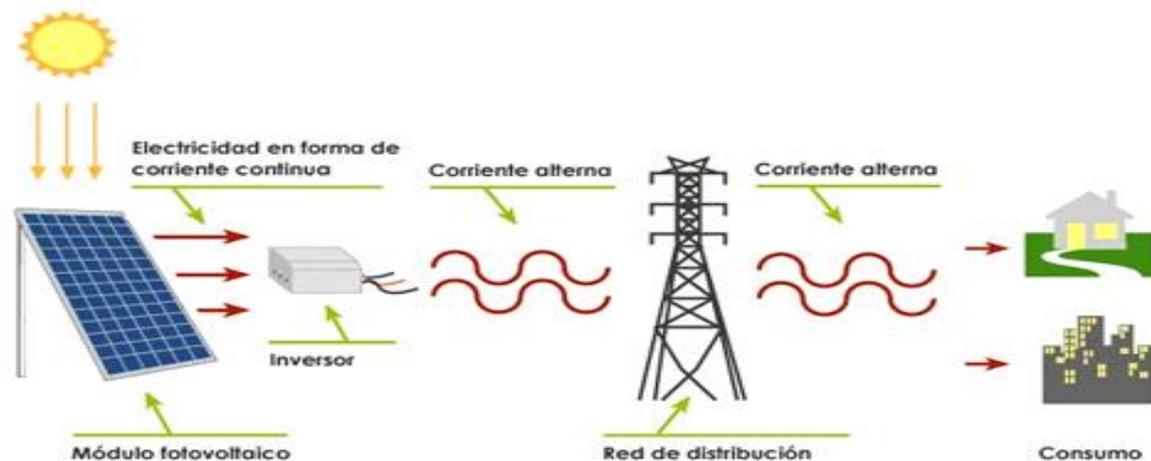
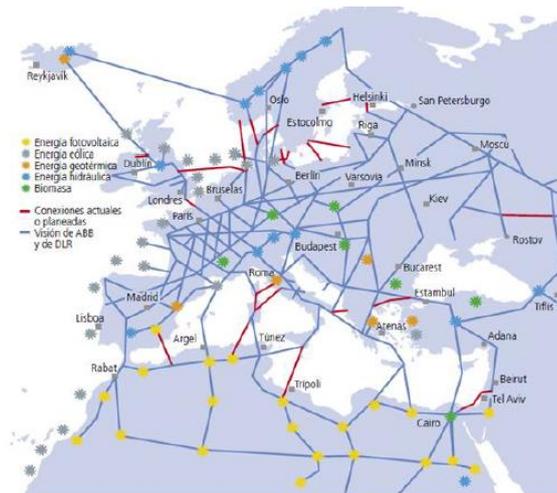


Figura 1. Sistema fotovoltaico conectado a la red  
Fuente: (Aragón, 2013)

En la actualidad los inversores (Convertidores) de Electrónica de Potencia son muy utilizados debido a que los podemos encontrar en cualquier lugar donde sea necesario cambiar parámetros de la energía eléctrica como son (Tensión, Intensidad o Frecuencia), es por ello hoy se ha dado paso a la implantación de la Corriente Continua en las redes inteligentes o Smart Grids e inclusive en la creación de superredes, donde gobierna la energía Renovable. (Figura 2). (Monterrubio, 2013).



**Figura 2. Proyecto de superred de energías renovables europea.**  
**Fuente: (Monterrubio, 2013).**

## 1.2 Clasificación de los inversores

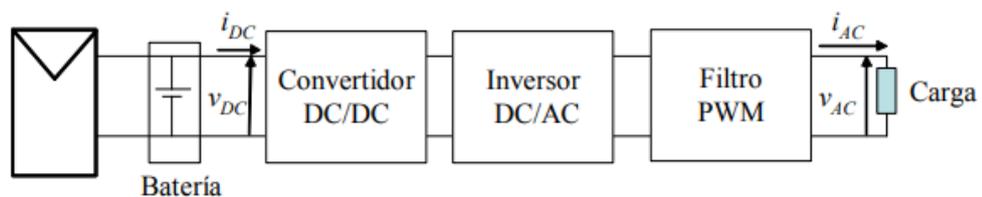
Según (Trujillo, Pozo, & Triviño, 2011) los inversores se pueden clasificar dependiendo de varios parámetros, donde considera que los más básicos son los siguientes:

### 1.2.1 Según el tipo de aplicación

Según (Vernavá, Electronica de Potencia conversion CC/CA, 2004) los inversores de acuerdo con el tipo de aplicación se clasifican en los siguientes:

#### 1.2.1.1 Inversores para sistemas fotovoltaicos autónomos

La energía eléctrica producida a partir de la conversión fotovoltaica son utilizadas para cubrir una demanda eléctrica en lugares donde carecen de red eléctrica, (Figura 3) donde resulta más conveniente y económico, la implementación de sistemas fotovoltaicos. Los principales lugares de aplicación se da en sistemas de bombeo de agua, sistemas profesionales como repetidoras de radio, Tv, telefonía móvil y sistemas para electrificaciones en viviendas.



**Figura 3. Diagrama de bloques de un inversor autónomo**  
**Fuente: (Abella, 2015)**

### 1.2.1.2 Inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica tienen como objeto incrementar y aportar producción de energía eléctrica inyectándola directamente a la red. A continuación se muestra en la figura 4 un sistema fotovoltaico básico conectado a la red.

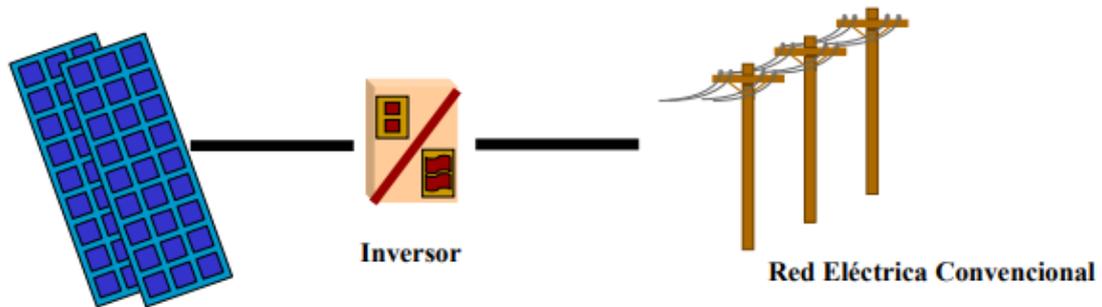


Figura 4. Sistema fotovoltaico conectado a la red  
Fuente: (Aguilera, J. 2012)

### 1.2.2 Según el tipo de carga

Según el tipo de carga son considerados como los mas principales:

#### 1.2.2.1 Inversor monofásico

Un inversor monofásico se puede deducir en su forma más simple convierte energía eléctrica de DC en AC, (figura 5) entregando a su salida una señal monofásica la cual permita satisfacer cargas pequeñas, dependiendo de la aplicación para el cual fue construido y del control implementado en el mismo. (Vernavà, Gibbons, & Novello, 2006).

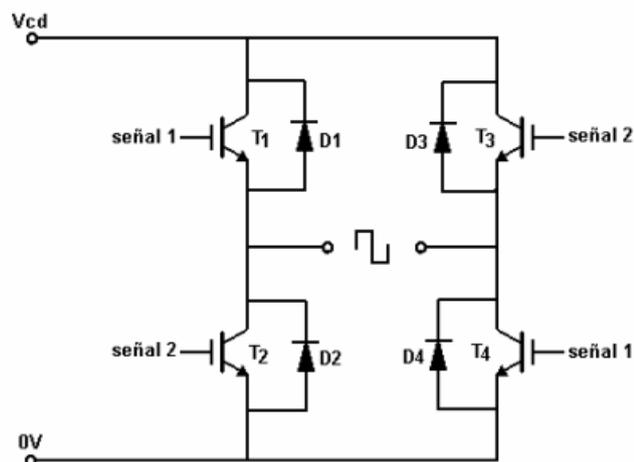


Figura 5. Inversor puente monofásico.  
Fuente: (Sandoval, 2013)

### 1.2.2.2 Inversor trifásico

Los inversores trifásicos tienen como objetivo generar energía eléctrica en corriente alterna, derivada de una fuente de energía eléctrica en corriente continua, presentando magnitudes y frecuencias requeridas. Estos se encuentran conformados por elementos de electrónica de potencia quienes se encargan de operar de acuerdo con los requerimientos, ya sea como interruptores operado en corte o saturando con una secuencia necesaria permitiendo tener a sus salidas tres tensiones simétricas y balanceadas. Su esquema se lo muestra en la figura 6. (Pereira-Colombia Patente nº ISSN: 0122-1701, 2008).

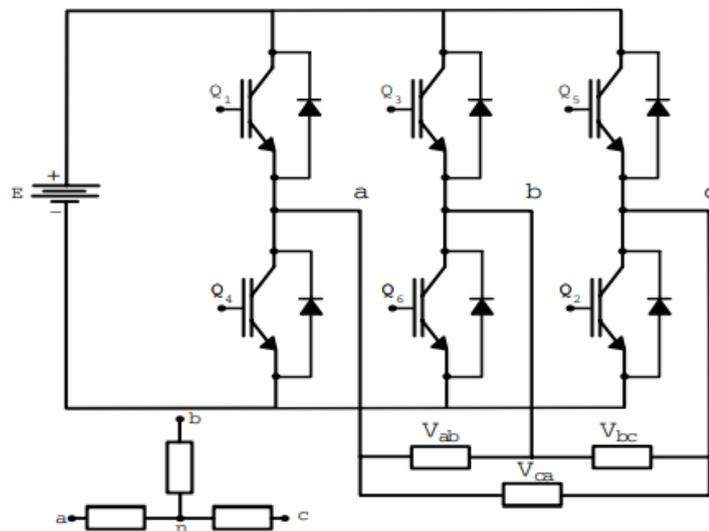


Figura 6. Inversor puente Trifásico  
Fuente: (Pereira-Colombia Patente nº ISSN: 0122-1701, 2008)

### 1.2.3 Según el tipo de alimentación

Entre los principales según el tipo de alimentación se tiene inversores de :

#### 1.2.3. 1 VSI (Voltaje Supply Inverter), alimentación con fuente de tensión para alimentar el inversor

Un inversor alimentado por voltaje (VSI) es conocido cuando su voltaje de entrada se conserva constante, y la corriente es variable. (Salazar, 2013).

Este tipo de inversores son generalmente conformados por elementos de conmutación los cuales no requieren un apagado especial como son: los BT, MOSFET, IGBT, GTO entre otros. (Vernavá, 2004).

A continuación, en la figura 7 se muestra su clasificación:



Figura 7. inversores alimentados con fuente de voltaje  
Fuente: Autor

### 1.2.3.2 CSI (Current Supply Inverter), alimentación con Fuente de corriente alterna para alimentar el inversor

Se dice que en los inversores con alimentación de fuente de corriente (CSI); la corriente de entrada se mantiene constante y el voltaje variable, además de que este tipo de inversores son utilizados para aplicaciones con excitación en motores AC de alta potencia o en excitadores de control vectorial. (Torres, Murillo, & Restrepo, 2008).

### 1.2.4 Según el tipo de conmutación

según (Aragon, 2013), los tipos de inversores y su conexión dependerán básicamente a la potencia y su principio de funcionamiento. Es por ello que se puede clasificarlos de la siguiente manera.

#### 1.2.4.1 Inversores conmutados por línea (red alterna)

según (Wildi, 2007), Los inversores operados por línea su circuito es muy parecido al de un rectificador, en donde su conmutación se realiza por medio de voltajes de línea del lado de AC en el inversor. Este tipo de inversores están compuestos por un puente de tiristores, los cuales son utilizados principalmente en la automatización y en grandes plantas fotovoltaicas, teniendo como principales ventajas una alta fiabilidad, un costo relativamente bajo en comparación con los auto conmutados y una alta funcionabilidad para trabajar con grandes potencias. Este tipo de inversores tienen como principal desventaja que generan reactivos y un alto grado de distorsión de armónicos, por lo que podrían producir fallos en la red. (Aragon, 2013).

#### **1.2.4.2 Inversores auto conmutados**

En concordancia con (Wildi, 2007) los inversores auto conmutados poseen medios de conmutación dentro del inversor de potencia.

Para este caso los inversores auto conmutados se basan básicamente de un puente compuesto por materiales semiconductores los cuales se los puede conectar y desconectar, mediante mecanismos de control y protecciones. La principal ventaja que ofrecen es la alta seguridad ante cortocircuitos, además de generar una tensión y una corriente totalmente en fase, similares a los de la Red, e incluso tienen la capacidad de poder compensar potencia reactiva, ya sea adelantando o atrasando la corriente con respecto al voltaje presentado por la red. La desventaja que presentan estos inversores es la de un menor rendimiento, producen mayores pérdidas y su precio es mayor en comparación con los conmutados por línea. (Aragon, 2013).

#### **1.2.5 Según estructura de etapa de potencia**

En concordancia con (Delgado, 2012), los inversores según estructura de etapa de potencia se pueden clasificar en:

##### **1.2.5.1 Medio puente**

Este tipo de inversores son utilizados básicamente en aplicaciones de baja potencia, debido a que rectifican únicamente el semiciclo positivo de la tensión de entrada, por lo general se encuentran conformados por una fuente monofásica y un único tiristor que se encuentra en serie con la carga, además es claro recalcar que son mayormente utilizados como rectificadores ya que poseen mayores ventajas que con aplicación de diodos. (Pozo, 2012).

##### **1.2.5.2 Puente completo**

El inversor en puente completo está conformado por 4 o 6 interruptores de potencia (transistores) controlados, que hoy en día por lo general son utilizados los IGBT, donde cada fase del inversor estará compuesta de dos IGBT, uno en la parte superior y el otro en la parte inferior, permitiendo que en la salida se produzca una señal de tensión alterna, todo esto logrado por medio del proceso denominado conmutación; el cual se da a partir de la activación y desactivación de los dispositivos IGBT. (Ramirez, 2014).

#### **1.2.6 Según función de la forma de tensión de la onda de salida**

Según (Vernavá, Electronica de Potencia conversion CC/CA, 2004) la clasificación de inversores por la función de la forma de tensión de onda son los siguientes:

### **1.2.6.1 De onda cuadrada**

Este tipo de inversores son considerados los más económicos debido que su construcción es la más simple, esto debido a que la potencia en DC de entrada tiene muy poca modulación o filtrado, por lo que su onda resultante podría tener una gran cantidad de armónicos. Esta estaría entre el 40% con un rendimiento de 50-60%.

### **1.2.6.2 De onda modificada**

Para este caso los inversores mejoran su eficiencia en comparación con los anteriores ya que presentan un TDH del 20%, presentando rendimiento mayor al 90%. Estos por lo general son utilizados para impresoras láser, microondas entre otros.

### **1.2.6.3 De onda senoidal**

Estos tipos de inversores son mayormente complejos, debido a que presentan un filtrado de la señal generada, por lo que son la mejor opción para la alimentación de cargas en AC, debido a que no presentan mayor problema en relación con la TDH la estabilidad de la tensión. Sus principales aplicaciones son para equipos electrónicos como equipos de telecomunicaciones, o instrumentación muy sensible. Para el caso de los motores la onda que llega al motor deberá ser lo más sinusoidal posible, ya que de no serlo presentaría dificultades como la no producción de giro, y el exceso de calentamiento de las bobinas y carcasa reduciendo así su rendimiento.

## **1.3 Aplicaciones de los inversores**

Los inversores son utilizados para una amplia gama de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación de ordenadores, hasta grandes aplicaciones industriales e inversión de grandes potencias; según lo manifiesta (Pereira-Colombia Patente nº ISSN: 0122-1701).

Las aplicaciones más comunes de los inversores de potencia son los siguientes:

- Fuentes de alimentación de Corriente Continua (C.C).
- Fuentes de alimentación ininterrumpida.
- Calefacción por inducción.
- Aire Acondicionado.
- Variadores de frecuencia.

## **1.4 Componentes Principales del Inversor**

Un inversor de potencia consiste principalmente en subdivisiones o etapas de potencia, tales como un controlador electrónico y circuitos auxiliares que serán necesarios para el aislamiento, filtrado de salida, detección de voltaje y corriente. (Quing & Hornik, 2013)

En la figura 8 se muestran los componentes y dispositivos que conforman el inversor:

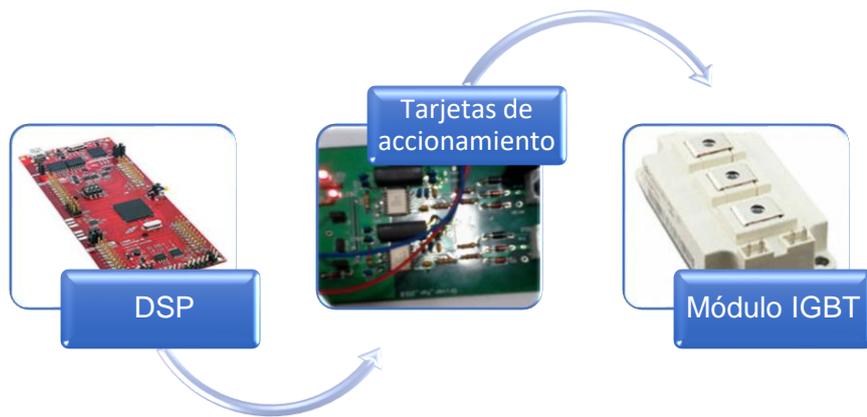


Figura 8 . Tarjeta de control, Tarjetas de accionamiento y modulo IGBT. inversor  
Fuente: Autor

#### 1.4.1 Elemento de Control

El elemento de control seleccionado es el LAUNCHXL-F28379D, (figura 9) debido a que cumple con las características optimas de funcionalidad necesarias para las señales de control de los IGBT.

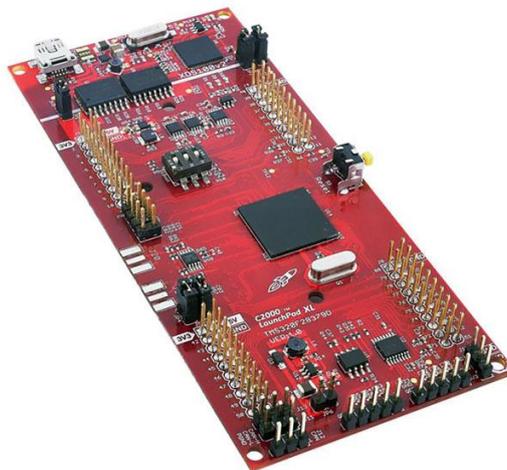


Figura 9. Placa de LAUNCHXL-F28379D  
Fuente: <http://www.ti.com/tool/LAUNCHXL-F28379D>

#### LAUNCHXL-F28379D

El Delfino™ TMS320F2837xD, (figura 10) es un potente microcontrolador de punto flotante (MCU) de 32 bits diseñado para Aplicaciones avanzadas de control de circuito

cerrado, como motores industriales; Inversores solares y digitales, Vehículos eléctricos y transporte; detección y procesamiento de señales. (Texas Instruments, 2018)

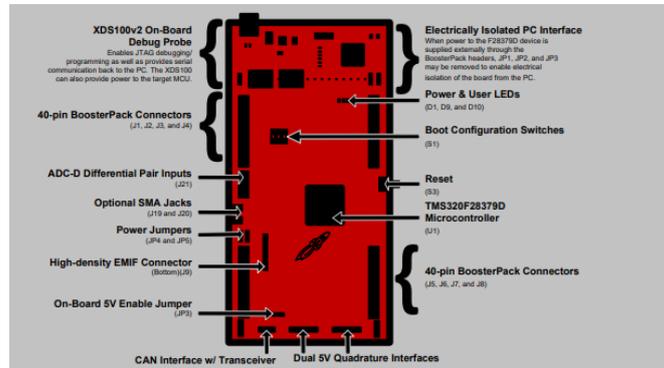


Figura 10. Descripción general de placa LAUNCHXL-F28379D  
Fuente: (Texas Instruments, 2018)

### 1.4.2 Control PWM

Una señal de modulación por ancho de pulso (PWM) es un método utilizado para generar señales analógicas utilizando una fuente digital. En la actualidad las señales PWM son utilizadas para una amplia gama de aplicaciones de control, entre las más principales tenemos: el control de motores de CC, control de válvulas, bombas, sistemas hidráulicos etc. Las señales PWM están conformadas por dos componentes, uno de ellos es el ciclo de trabajo, y el otro es la frecuencia. (National Instruments, 2018).

#### a) Ciclo de Trabajo:

El ciclo de trabajo se define como la cantidad de tiempo en que la señal se encuentra en un estado encendido (alto), como porcentaje del tiempo total en cumplirse un ciclo.

#### b) Frecuencia:

La frecuencia se encarga de determinar la rapidez del PWM para completar un ciclo, es decir que tiempo se demora en cambiar entre los estados alto y bajo; por ejemplo, 1000Hz será cumplir 1000 ciclos en un segundo, entre encendido y apagado de la señal dada.

### 1.4.3 Tarjetas de accionamiento de IGBT

En la figura 11. se muestra la placa que consta de un conjunto de elementos encargados de controlar, proteger y separar la parte de potencia y la parte de control, dichos elementos son conformados por resistencias, capacitores, diodos, optoacopladores, convertidores dc-dc y conectores.



Figura 11. Descripción general de placa de accionamiento de GBT  
Fuente: (Restrepo A. PHD, 2018)

#### 1.4.3.1 Aislamiento

Para garantizar un funcionamiento correcto, la parte electrónica de bajo voltaje y baja potencia debe estar aislada de la potencia de alto voltaje y alta potencia. Por lo que el aislamiento de la parte de potencia a la parte electrónica a menudo es tomado por los sensores, y para el aislamiento de la parte electrónica a la parte de potencia se realiza a menudo a las señales PWM antes de ingresar al circuito de conducción (Quing & Hornik, 2013).

#### 1.4.4 Módulo IGBT

Los transistores (IGBT), de las siglas (*insulated gate bipolar transistor*) que significan, transistor de puerta aislada, son dispositivos semiconductores de potencia, los cuales hoy en día son muy utilizados en la industria, ya sea en procesos de regulación o de control; Las características que presenta este dispositivo son beneficiosas para casi la mayoría de aplicaciones ya que reúne las características de los transistores MOSFET y BJT, además su impedancia de entrada es sumamente elevada, por lo que no hay corriente en su entrada, al mismo tiempo su control se lo realiza por voltaje. Los IGBT tienen la capacidad de operación a altas velocidades y controlando elevadas corrientes, por lo general estos pueden soportar voltajes entre los 600V y 1700V y corrientes entre los 100A y 300A. Muy utilizado en el control de Motores Eléctricos. (Hermosa, 2012).

Debido a las características importantes que presenta este dispositivo, tanto en magnitudes eléctricas de voltaje como de corriente, se ha decidido utilizarlo para la realización de este proyecto. A continuación, se presenta en la figura 12, el modelo específico como lo es el FF200R12KE4HOSA1-ND



Figura 12. Módulo IGBT FF200R12KE4HOSA1-ND  
Fuente: (infineon, 2013)

Las características eléctricas que presenta el MODULO IGBT FF200R12KE4HOSA1-ND se presentan en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Características del Módulo IGBT FF200R12KE4HOSA1-ND

Technische Information / Technical Information				
IGBT-Module IGBT-modules		<b>FF200R12KE4</b>		
62mm C-Serien Modul mit Trench/Feldstopp IGBT4 und Emitter Controlled Diode 62mm C-series module with trench/fieldstop IGBT4 and Emitter Controlled diode				
<b>IGBT, Wechselrichter / IGBT, Inverter</b>				
<b>Höchstzulässige Werte / Maximum Rated Values</b>				
Kollektor-Emitter-Sperrspannung Collector-emitter voltage	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$V_{CES}$	1200	V
Kollektor-Dauergleichstrom Continuous DC collector current	$T_C = 100^{\circ}\text{C}, T_{vj\max} = 175^{\circ}\text{C}$ $T_C = 25^{\circ}\text{C}, T_{vj\max} = 175^{\circ}\text{C}$	$I_{C\text{nom}}$ $I_C$	200 240	A A
Periodischer Kollektor-Spitzenstrom Repetitive peak collector current	$t_p = 1\text{ ms}$	$I_{C\text{RM}}$	400	A
Gesamt-Verlustleistung Total power dissipation	$T_C = 25^{\circ}\text{C}, T_{vj\max} = 175^{\circ}\text{C}$	$P_{tot}$	1100	W
Gate-Emitter-Spitzenspannung Gate-emitter peak voltage		$V_{GES}$	+/-20	V
<b>Charakteristische Werte / Characteristic Values</b>				
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 200\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}$ $I_C = 200\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}$ $I_C = 200\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$V_{CE\text{sat}}$	min. 1,75 typ. 2,00 max. 2,05 V V V
Gate-Schwellenspannung Gate threshold voltage	$I_C = 7,60\text{ mA}, V_{CE} = V_{GE}, T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$		$V_{GEth}$	5,2 5,8 6,4 V
Gateladung Gate charge	$V_{GE} = -15\text{ V} \dots +15\text{ V}$		$Q_G$	1,80 $\mu\text{C}$
Interner Gatewiderstand Internal gate resistor	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$		$R_{G\text{int}}$	3,8 $\Omega$
Eingangskapazität Input capacitance	$f = 1\text{ MHz}, T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}, V_{CE} = 25\text{ V}, V_{GE} = 0\text{ V}$		$C_{ies}$	14,0 nF
Rückwirkungskapazität Reverse transfer capacitance	$f = 1\text{ MHz}, T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}, V_{CE} = 25\text{ V}, V_{GE} = 0\text{ V}$		$C_{res}$	0,50 nF

Fuente: (infineon, 2013)

## 1.5 Rectificador

En la rama de electrónica de Potencia, el rectificador es un dispositivo que cumple la función de rectificar un voltaje de una fuente alterna de entrada, a un voltaje de salida en corriente continua. Todo esto es logrado por medio de la utilización de diodos rectificadores o dispositivos controlados conocidos comúnmente como Tiristores. Una primera clasificación de los rectificadores estará dada de acuerdo con las características de voltaje, ya sea en sistema monofásico o trifásico.

También se podría clasificar de acuerdo con el tipo de Rectificación se clasifican los de media onda y onda completa. Finalmente se clasificarían por los Rectificadores controlados y no controlados. (Betanzos, 2010). A continuación en la figura 13, se muestra un modelo de rectificador trifásico.

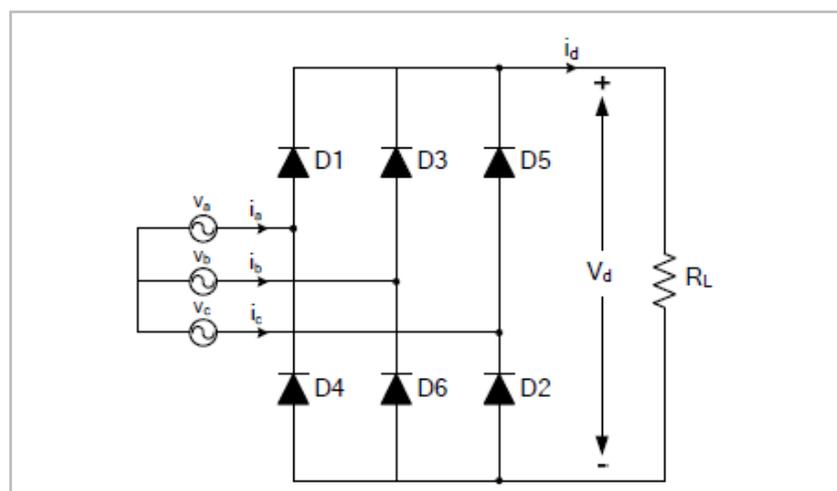


Figura 13. Rectificador Trifásico tipo puente de onda completa con carga resistiva  
Fuente: (Betanzos, 2010).

### 1.5.1 Clasificación de Rectificadores

#### 1.5.1.1 Rectificadores de acuerdo con las características de voltaje

Los rectificadores de acuerdo con las características de alimentación se conocen dos grupos los cuales dependerán de las líneas de alimentación, siendo estos monofásicos, cuando se encuentran alimentados por una fase y neutro y los trifásicos cuando son alimentados por tres fases. (Guerrero, 2013).

### 1.5.1.2 Rectificadores monofásicos tipo puente

Los Rectificadores monofásicos tipo puente, se subdividen en dos tipos como los de media onda y de onda completa, en la figura 14. se muestra un Rectificador monofásico tipo puente de onda completa el cual posee algunas ventajas sobre el de media onda, como la utilización de toda la energía enviada por la fuente dándole utilidad a los semiciclos negativos. (Federico, 2002).

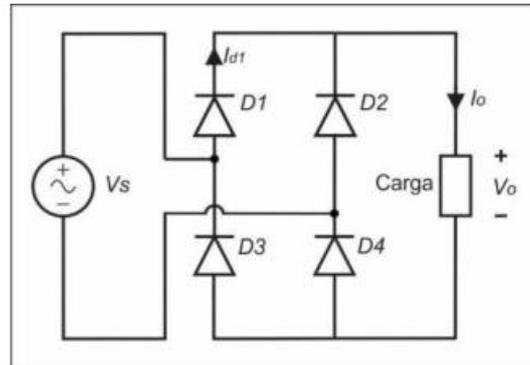


Figura 14. Rectificador Monofásico de Onda Completa  
Fuente: (Ferney, 2015)

### 1.5.1.3 Rectificadores controlados monofásicos de onda completa

Como ya se mencionó anteriormente los rectificadores controlados se componen de tiristores los cuales son semiconductores controlables que se puede variar el ángulo de disparo mediante la variación del valor medio de la tensión continua, (figura 15) además se afirma que estos tipos de inversores pueden actuar como inversores dependiendo el valor máximo del voltaje. (Torres & Villaseñor, 2013)

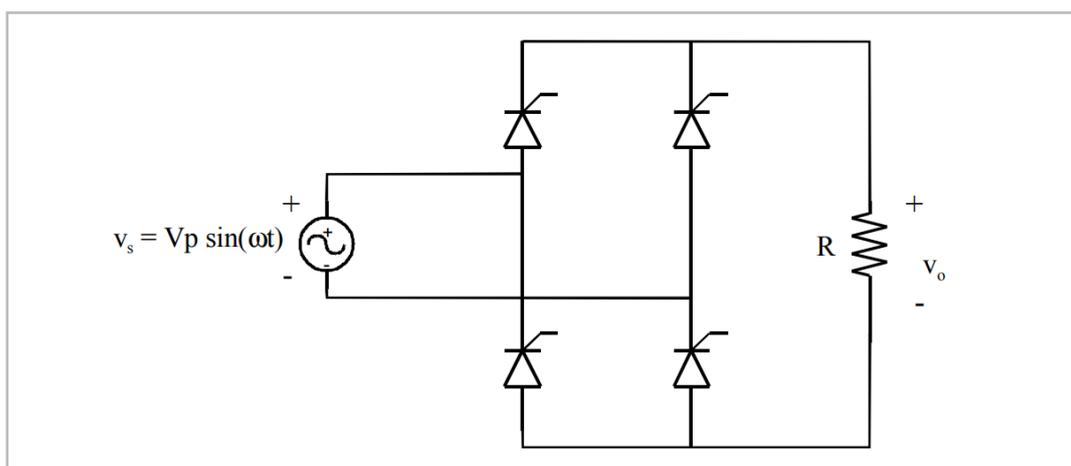


Figura 15. Rectificador Monofásico de Onda Completa  
Fuente: (Patent No. ISBN:84-205-3179-0, 2001)

#### 1.5.1.4 Rectificadores trifásicos tipo puente

Al igual que el rectificador monofásico tipo puente, (figura 16) el rectificador trifásico es basado en el mismo principio, teniendo tres líneas de voltaje a su entrada, además este tipo de rectificador es muy utilizado en aplicaciones donde se requiere alta potencia, ya que es muy eficiente en requerimientos tanto de voltaje como de corriente. (Vasquez, 2018).

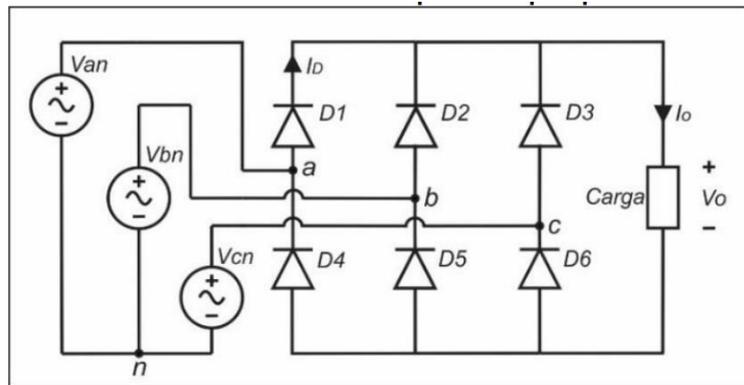


Figura 16. Rectificador trifásico tipo puente de Onda Completa  
Fuente: (Ferney, 2015)

#### 1.5.1.4 Circuito Convertidor Trifásico Completo

Como ya se mencionó existe una breve diferencia entre rectificador y convertidor, esto es debido a que los rectificadores utilizan únicamente diodos y los convertidores utilizan tiristores con circuitos de control, es por ello que al hablar de un convertidor trifásico completo presenta cierta diferencia de funcionamiento con un rectificador, esto es debido a que los tiristores se disparan a intervalos controlados de tiempo dependiendo de los requerimientos de funcionamiento del convertidor y de la aplicación para el cual fue creado. Por lo general estos son muy utilizados en aplicaciones Industriales hasta niveles de 220KW. (Rodriguez, Campos, Salas, & Vasquez, 2005). Tal como se muestra en la figura 17.

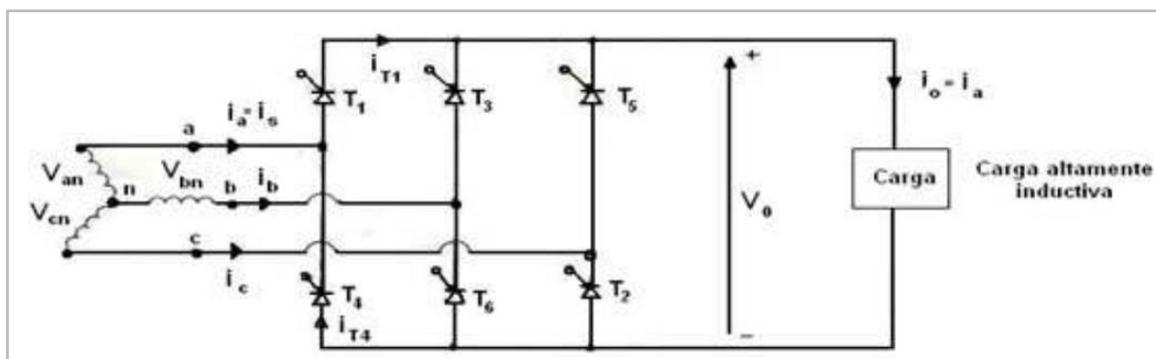


Figura 17. Convertidor Controlado Trifásico Completo  
Fuente: (Rodriguez, Campos, Salas, & Vasquez, 2005)

## 1.5.2 Rectificadores de acuerdo con el tipo de rectificación

### 1.5.2.1 Rectificadores de Media Onda

Según (Sanchez, 2014), un rectificador de media onda, cumple la función de eliminar la parte negativa o positiva de una señal de corriente o de Voltaje en alterna, dependiendo de la necesidad, para convertirla en una nueva señal en continua, esto se produce debido al funcionamiento natural de un diodo, dado que cuando la tensión se encuentra en el semiciclo positivo, el diodo se encuentra polarizado directamente, es por ello que dejara conducir la corriente, pero cuando la tensión se encuentra en el semiciclo negativo, no deja que fluya la corriente, debido a que el diodo estará polarizado inversamente, este proceso se encuentra justificado mediante la aplicación de la segunda Ley de Kirchhoff.

Tal como se corrobora en la figura 18.

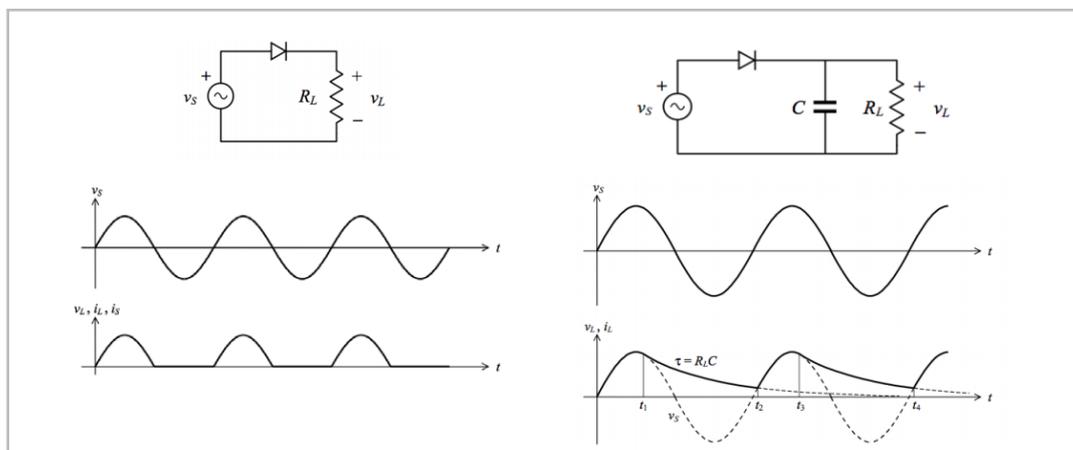


Figura 18. Rectificador de Media Onda con señales de entrada y salida  
Fuente: (Morcillo, 2011)

### 1.5.2.2 Rectificadores de Onda Completa

Los Diodos Rectificadores son elementos fabricados a partir de los Semiconductores, los cuales tienen la propiedad de conducir la corriente estando en el estado de Polarización Directa y de no Conducir cuando se encuentra en el estado de Polarización Inversa.

Existen dos tipos de circuitos rectificadores de Onda Completa, uno de ellos es el rectificador de Tap Central y el otro es el Rectificador tipo Puentes. (McGraw, 2000).

## 1.5.3 Rectificadores de acuerdo con su forma de control

### 1.5.3.1 Rectificadores Controlados

Los rectificadores controlados son conocidos también como convertidores (CA-CD), ya que utilizan dispositivos controlados por fase, como son los tiristores; en dichos elementos se varía el voltaje de salida mediante el control del ángulo de retardo o disparo del tiristor.

Además, los rectificadores controlados por fase se dice que son más sencillos y económicos, presentando una eficiencia que supera el 95% debido a ello son muy utilizados en aplicaciones industriales tales como en propulsores de velocidad variable. (Hermosa, 2012).

Además, según (Rodríguez, Campos, Salas, & Vasquez, 2005), los tiristores utilizados en los rectificadores los podemos controlar mediante un ángulo de disparo desde cero hasta ciento ochenta grados, todo esto aplicándole un pulso corto de compuerta y desactivándose por medio de su conmutación natural.

A continuación en la tabla 2, se muestra una clasificación de rectificadores controlados.

**Tabla 2. Clasificación de Rectificadores Controlados**

Clasificación rectificadores controlados			
Conexión del secundario del transformador	Tipos	Implementación del rectificador	
		Totalmente controlado (SCR's)	Semicontrolado (Diodos + SCR's)
Conmutación paralela (Conexión en Y)	Media Onda	✓	---
	Onda completa o Doble	✓	✓
Conmutación serie (Conexión en Δ)		✓	✓

Fuente: (Lobo de la Serena, 2014)

### 1.5.3.1 Rectificadores No Controlados

Los rectificadores no controlados son dispositivos que permiten convertir la energía de corriente alterna AC en corriente continua CC, el cual tiene como principal elemento al diodo que es un semiconductor, es denominado no controlado debido a que no se puede controlar la potencia de salida, en otras palabras, si ingresa una tensión de entrada con valor fijo, la tensión de salida también es fija y dependiente de la de entrada. (Rescalvo, Jauregi, Prieto, & Prieto, 2014).

En un sistema balanceado los voltajes entre las líneas y neutro serán:

$$v_{an} = V_m \sin(\omega t)$$

$$v_{bn} = V_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$v_{cn} = V_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

Y los voltajes entre líneas serán

$$v_{ab} = \sqrt{3}V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$v_{ab} = \sqrt{3}V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$v_{ca} = \sqrt{3}V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

### 1.6 Aplicación de los Rectificadores

Según la publicación de la Revista, (Benning, 2018), desde hace muchos años atrás hasta la actualidad la utilización de los rectificadores en el aspecto industrial como comercial han tenido una gran importancia y utilización en sistemas de potencia auxiliares, ya que han servido para proteger equipamientos frente a fallos de potencia, además de ser muy utilizados en aplicaciones de monitoreo y control de procesos de producción, suministros en equipos de medida, Telemetría, Telecomunicación y sistemas de Radio, entre otros que a continuación mencionaremos:

- ✓ Hospitales.
- ✓ Centrales Electricas y Subestaciones.
- ✓ Plantas Químicas.
- ✓ Plantas Petroquímicas.
- ✓ Equipo Ferroviario.
- ✓ Sistemas de Petróleo y Gas.

### 1.7 Banco de Baterías

Las baterías son dispositivos capaces de almacenar y proporcionar energía eléctrica en CC, por medio de la conversión de energía química, todo esto por medio de un fenómeno que involucra la transferencia de electrones de un material a otro, dicha energía química vuelve a convertirse en energía eléctrica cuando a su salida se conecta un dispositivo de consumo en corriente continua. (Fowler, 1994).

Las baterías hoy en día tienen múltiples aplicaciones, tal como lo menciona (Perez, 2015), quien es un investigador del Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM): "A nivel de plantas de energía fotovoltaica, existen algunos ejemplos de almacenamiento a pequeña escala utilizados para

reducir la variabilidad de esta energía, o efecto de aplanamiento de picos de potencia (peak shaving) situación que se produce particularmente durante días nublados”. Además de otros usos tal como lo menciona (Lira, 2015). Los bancos de baterías se usan en centrales eléctricas para respaldar la actuación de las protecciones: “Si hay algún corte de electricidad en alguna subestación todo el accionamiento de las protecciones y desconectores son normalmente manejados por baterías de respaldo”.

## 1.7.1 Emulador de banco de baterías

### 1.7.1.1 Definición de Emulación

Según el diccionario la palabra emulación proviene del latín *aemulatio*, *-onis*. el cual significa un deseo de igualar o superar acciones o desventajas que posee otro. Esta palabra proviene del verbo emular, el cual es un verbo transitivo que se define como parodiar, imitar, remedar o copiar actos o acciones, con la finalidad de nivelar o incluso superar acciones o características de otro. (E-Cultura Group, 2016).

En este proyecto se realizará un prototipo inversor acoplado a un emulador de banco de baterías; dicho emulador será conformado por dispositivos eléctricos y electrónicos, todo esto con la finalidad de tener un equipo que represente un banco de baterías, y que además cuente con algunas ventajas sobre los bancos de baterías convencionales, tales como durabilidad, reducción de mantenimiento y el principal lograr una mayor potencia eléctrica.

### 1.7.2 Componentes del Emulador de banco de baterías

A continuación, en la figura 19, se muestra la estructura de los elementos que conforman el Emulador de Banco de Baterías.

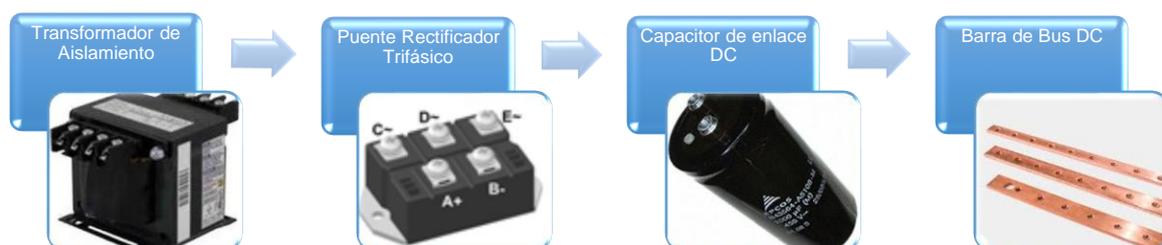


Figura 19. Estructura de Componentes del Emulador de Banco de Baterías  
Fuente: Autor

### 1.7.2.1 Transformador de aislamiento

Los Transformadores de Aislamiento o (TDA), hoy en día son utilizados para sustituir una conexión a tierra, con la finalidad de atenuar perturbaciones generadas en los sistemas de distribución, dándole mayor seguridad y protección a equipos sensibles, Además estos transformadores pueden trabajar con tensiones alternas a 50Hz o 60Hz con eficiencias de un 97%.

Entre sus aplicaciones más usuales están, la alimentación principal de energía eléctrica, utilización en convertidores de potencia o como parte de fuentes de alimentación conmutadas, instrumentos de precisión, etc. (Daura, 2014).

A continuación, en la figura 20, se presenta el diagrama de conexión y en la tabla 3. los datos de placa del transformador de aislamiento que será aplicado en este proyecto.

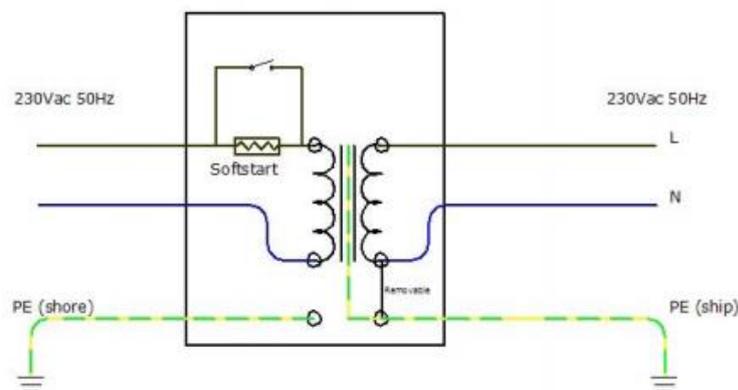


Figura 20. Diagrama de Transformador de Aislamiento  
Fuente: (Victron energy, 2005)

### 1.7.2.2 Características y Magnitudes de funcionamiento de transformadores de aislamiento

Tabla 3. Magnitudes y Características de Transformadores de Aislamiento

Características y Magnitudes nominales	Valores
Potencia nominal	1KVA
Voltaje de Entrada	120/220V
Voltaje de Salida	120/220V
Corriente de Entrada	16 A
Corriente de Salida	16 A

Frecuencia	60HZ
Protección IP	20
Aislamiento Clase	F
Material de Devanados	Cobre

Fuente: Autor

### 1.7.3 Puente Rectificador Trifásico

Como ya se mencionó un rectificador tiene como función principal, convertir un voltaje de una fuente alterna de entrada, a un voltaje de salida en corriente continua, ya sea este de alimentación de red monofásica o trifásica.

Es necesario aclarar que el Puente Rectificador Trifásico se encargara de rectificar el voltaje de la red, siendo el componente principal del emulador de Banco de Baterías que se va a construir, por lo que en la figura 21, se muestra el tipo de rectificador a utilizar con su respectivo diagrama.

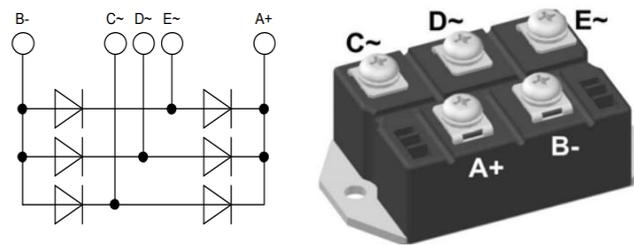


Figura 21. Diagrama de puente Rectificador Trifásico (VUO160-12NO7-ND).  
Fuente: Datasheet VUO160-12NO7-ND

#### 1.7.3.1 Aplicaciones

- ✓ Diodo para la rectificación principal.
- ✓ Para configuraciones de puente de tres fases.
- ✓ Suministros para equipos de corriente continua.
- ✓ Rectificadores de entrada para inversor PWM.
- ✓ Fuentes de Alimentación de CC para Baterías.
- ✓ Suministro de campo para motores de CC.

### 1.7.3.2 Características Principales

En la Tabla 4, se presenta las principales características que ofrece el puente rectificador trifásico (VUO160-12NO7-ND), mismo que fue seleccionado por cumplir con los requerimientos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 4. Características del Puente Rectificador VUO160-12NO7-ND

<b>Rectifier</b>				<b>Ratings</b>			
Symbol	Definition	Conditions		min.	typ.	max.	Unit
$V_{RSM}$	<i>max. non-repetitive reverse blocking voltage</i>		$T_{WJ} = 25^{\circ}C$			1300	V
$V_{RRM}$	<i>max. repetitive reverse blocking voltage</i>		$T_{WJ} = 25^{\circ}C$			1200	V
$I_R$	<i>reverse current</i>	$V_R = 1200$ V	$T_{WJ} = 25^{\circ}C$			200	$\mu A$
		$V_R = 1200$ V	$T_{WJ} = 150^{\circ}C$			2	mA
$V_F$	<i>forward voltage drop</i>	$I_F = 60$ A	$T_{WJ} = 25^{\circ}C$			1.10	V
						1.40	V
		$I_F = 180$ A	$T_{WJ} = 125^{\circ}C$			1.00	V
						1.39	V
$I_{DAV}$	<i>bridge output current</i>	$T_C = 110^{\circ}C$	$T_{WJ} = 150^{\circ}C$			175	A
		rectangular $d = \frac{1}{3}$					

Fuente: (OIXYS, 2013)

### 1.7.4 Capacitor

Los capacitores son dispositivos pasivos utilizados para varias aplicaciones, referentes a la acumulación de electricidad; estos se encuentran constituidos por dos placas conductoras en paralelo, las cuales pueden ser de aluminio y un material dieléctrico que se encuentra entre ellas, que podría ser el aire, papel, cerámica o vidrio. (Alexander & Sadiku, 2013).

#### 1.7.4.1 Capacitores de enlace DC

El capacitor de enlace DC es un elemento que será utilizado en la parte de las barras del bus DC del emulador de banco de baterías, ya que cumple con los propósitos de compensar la diferencia de potencia entre la potencia requerida por el inversor que se desea implementar y el puente rectificador trifásico, además de disminuir la propagación de armónicos, permitiendo así proteger a los dispositivos sensibles que conforman el inversor. Que para este caso serán los módulos IGBT, el capacitor seleccionado cumple con los requerimientos necesarios para este proyecto ya que su voltaje de funcionamiento es de 450 voltios y de 1000 micro faradios, mismos que serán suficientes para cumplir con la función de emular un banco de baterías.

En la figura 22, se presenta la imagen del capacitor a ser implementado en el proyecto.



Figura 22. Capacitor de enlace de 1000 micro faradios a 450V  
Fuente: (Epcos, 2012)

Los capacitores de enlace DC presentan una baja impedancia frente a las corrientes producidas por el inversor, el cual permite mitigar la inductancia de dispersión situada en la carga que en ocasiones puede llegar a ser muy grande, ocasionando ineficiencia. (Arias, 2014).

#### 1.7.4.2 Aplicaciones de los Capacitores

- Para casos de filtros de alimentadores de corriente, usándolos para almacenar la carga y corregir el voltaje de salida y las posibles fluctuaciones de corriente en la salida rectificada.
- Para circuitos utilizados que conducen corriente alterna, pero no corriente continua.
- Fuentes de alimentación.
- Arranque de motores.
- Circuitos temporizadores.
- Filtros de circuitos de radio y TV.

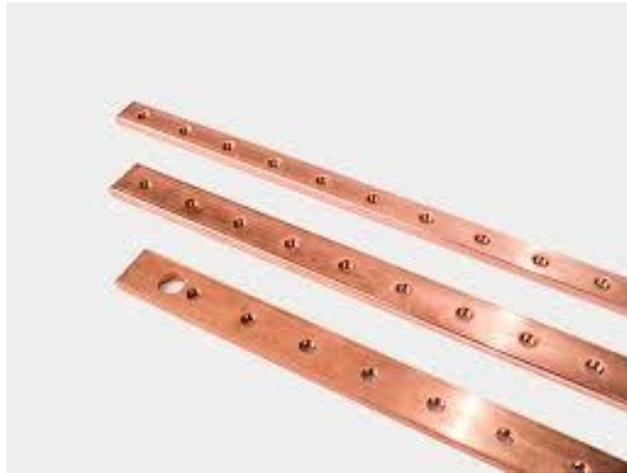
#### 1.7.5 Barras de Bus DC

El bus DC es usualmente una barra de cobre la cual permite la unión y distribución ordenada y adecuada de la energía eléctrica, de dos o más equipos o componentes eléctricos. (Vanegas, 2016).

El bus DC está compuesto por dos barras de cobre, por el cual circulará el voltaje en DC, tanto en positivo (+) como negativo (-) convertido por el rectificador del emulador de banco de baterías; además a estas barras se conectará el capacitor de enlace, para así tener una señal lo más pura posible en DC, y así ser enviada a los módulos IGBT del inversor.

En tableros o aparatos que sea necesaria la utilización de borneras, en la cuales se maneje dos tipos de voltajes o distinta clase de corriente, es decir voltaje en AC y DC deberá de existir una clara separación entre los grupos de barras correspondientes y su respectiva identificación entre positivo y negativo.

Las barras de cobre elegidas para este proyecto (figura 23), tienen la capacidad de soportar una corriente de 125 amperios, lo cual cumplen con un valor relativamente adecuado para las características de este proyecto.



**Figura 23. Barras de cobre**  
**Fuente: Autor**

## **CAPITULO 2**

### **2. Desarrollo de la propuesta tecnológica**

Proceso en el cual se determina los pasos a seguir, de forma ordenada el desarrollo del proyecto a ejecutarse, con la finalidad de cumplir los objetivos propuestos.

#### **2.1 Introducción**

La implementación de un módulo inversor trifásico permitirá complementar la red de entrenamiento SMART GRID; con un sistema a escala que emule un sistema básico de transmisión HVDC. Además de formar parte como un sistema de energía alternativa o auxiliar, acoplándose a la red de entrenamiento, por medio de un sistema de transferencia automático.

Este proyecto es realizado con el afán de mejorar el aprendizaje, mediante la realización de prácticas de laboratorio, generando mayor conocimiento en sistemas de inversión de energía eléctrica y como complemento a las redes SMART GRID.

#### **2.2 Análisis del Objetivo**

El diseño y construcción de un módulo inversor trifásico acoplado a una red de entrenamiento en CIELE tiene como objetivo complementar y repotenciar a dicha red con un sistema de energía auxiliar, además de lograr un mejor aprendizaje en temas referentes a inversión de energía eléctrica y sistemas de transmisión HVDC, permitiendo corroborar los conocimientos teóricos con los prácticos en los estudiantes de CIELE.

#### **2.3 Ubicación física**

La implementación de módulo inversor se realizó en la parte posterior de las instalaciones del edificio de CIELE, lugar donde se encuentra ubicada la red de entrenamiento SMART GRID, en la Universidad Técnica del Norte.

#### **2.4 Desarrollo del proyecto**

El trabajo de grado se implementó en la red de entrenamiento de CIELE ubicada en la Universidad Técnica del Norte. Donde se instalará un tablero que alojara a los componentes tanto del inversor trifásico, como de un sistema de transferencia automático ya que serán complementarios para la inclusión de la energía producida por el inversor hacia la red SMART GRID.

El diseño del modelo del inversor trifásico fue realizado en el software de AutoCAD el cual permitió distribuir los elementos de forma ordenada en el espacio designado, además se

realizó la simulación del inversor y rectificador no controlado, para la emulación de un banco de baterías, con transformadores de aislamiento en el software de Matlab, con la finalidad de bosquejar los posibles valores a ser obtenidos al momento de la implementación y puesta en funcionamiento de los dispositivos en conjunto.

Además de la realización de una tarjeta de interfaz para la protección y transmisión de datos entre el DSP y las tarjetas de accionamiento de los módulos IGBT, y un código de programación PWM de un controlador DSP.

#### 2.4.1 Aspectos técnicos

Los valores de las magnitudes eléctricas de los Elementos y/o dispositivos del proyecto se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de magnitudes eléctricas aplicables a elementos de inversor y emulador

<b>Elementos y/o dispositivos</b>	<b>Magnitud eléctrica</b>	<b>Valores nominales</b>
Banco de Transformadores Monofásicos	Voltaje nominal	110 – 220 VAC
	Potencia nominal	3 KVA
Puente Rectificador Trifásico	Voltaje de entrada en AC	110 – 220 VAC
	Corriente nominal	200 A
Barra de bus DC	Voltaje en DC	315 VDC
	Corriente nominal	125 A
Tarjetas de control y DSP	Voltaje en DC	4.5 – 5.5 VDC
Capacitor bus DC	Voltaje nominal	450 VDC
Módulos IGBT	Voltaje nominal	1200 VDC
	Potencia nominal	3.375 VA

Fuente: Autor

## 2.4.2 Diagrama de flujo

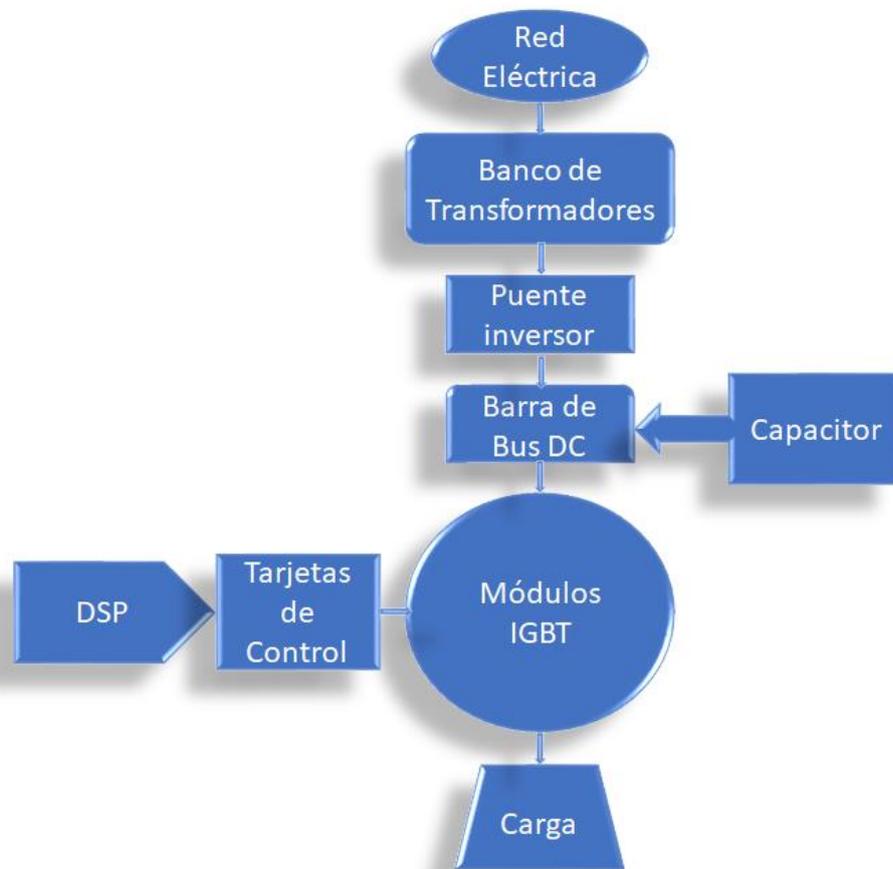


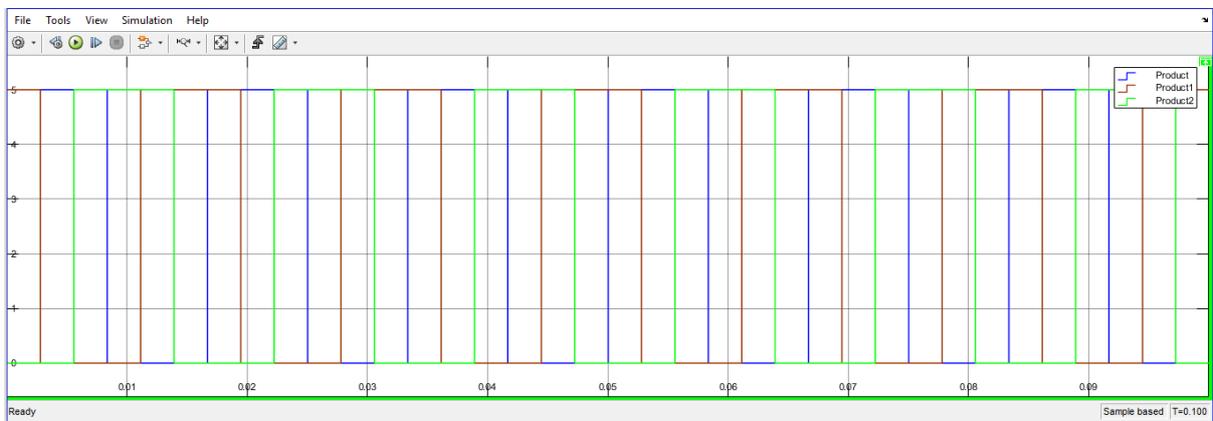
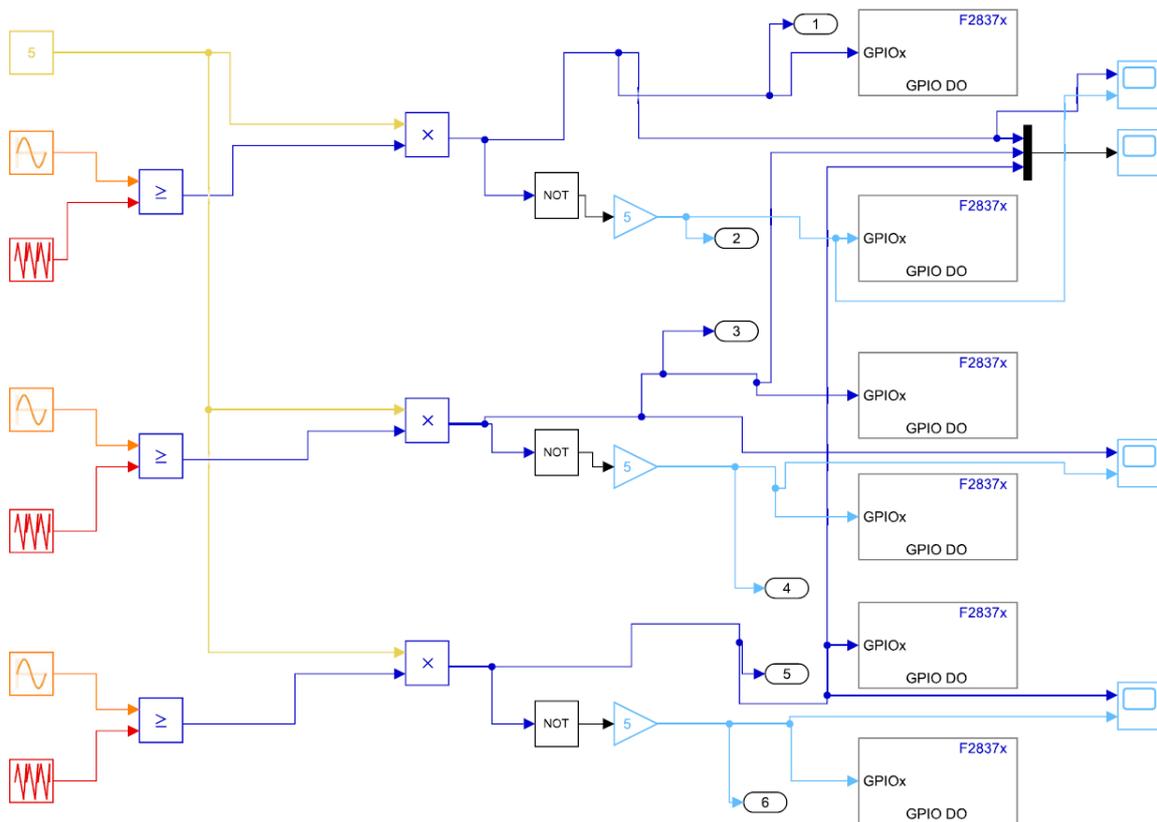
Figura 24. Diagrama de flujo de inversor trifásico y emulador de banco de baterías  
Fuente: Autor

## 2.5 Simulaciones y Diseño

A continuación, se muestran las etapas más relevantes durante las simulaciones del proyecto y los resultados aproximados que se desea obtener luego de la implementación.

### 2.5.1 Simulación de un inversor trifásico en la plataforma Simulink de Matlab

En la figura 25 se muestra un subsistema de bloques que simulan 6 señales de pulso PWM, las mismas que se desean generar para la aplicación en el módulo inversor trifásico. Cada señal generada se corrobora con la imagen de un osciloscopio, mismos que se encuentran en la parte inferior del diagrama.



**Figura 25. Subsistema de 6 señales de pulso PWM**  
Fuente: Autor

De igual manera en la figura 26, se muestra el sistema completo de un inversor trifásico, donde se incluye el subsistema de bloque de 6 señales PWM señalado en la figura anterior, los cuales son conectados a los IGBT. Además, se incluye una fuente de CC la misma que dotara de energía a la barra DC que alimentara a los IGBT.

También se incluyó una carga trifásica RL conectada en Y a las salidas AC de los IGBT, con el propósito de mostrar los valores de las señales resultantes luego de aplicar las señales PWM.

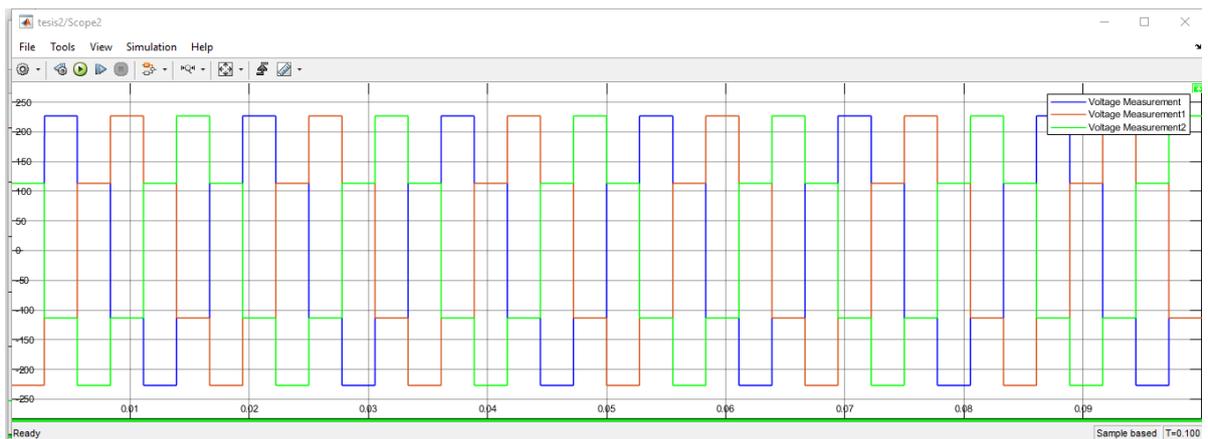
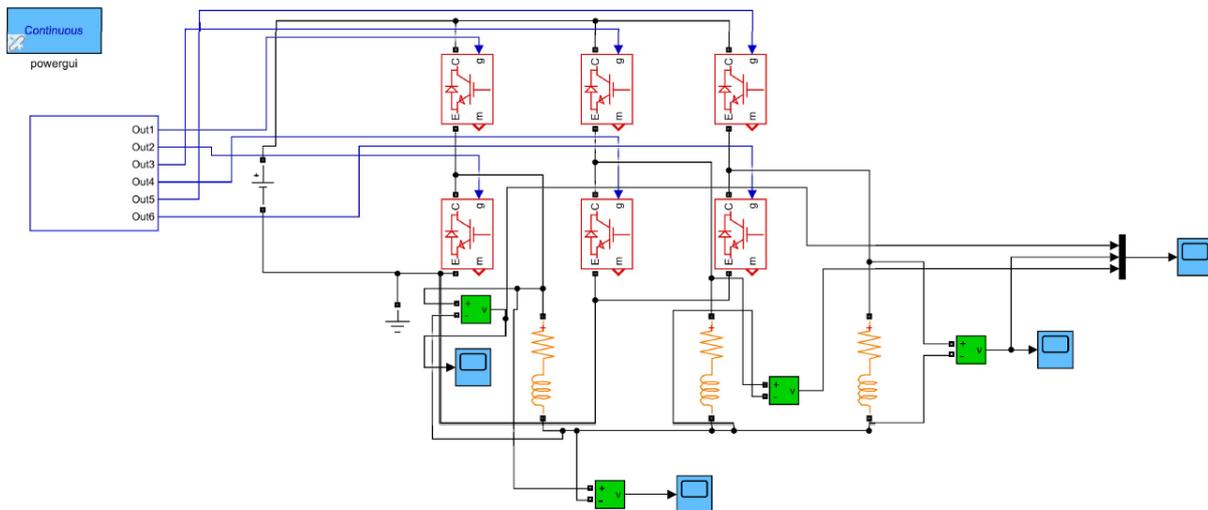


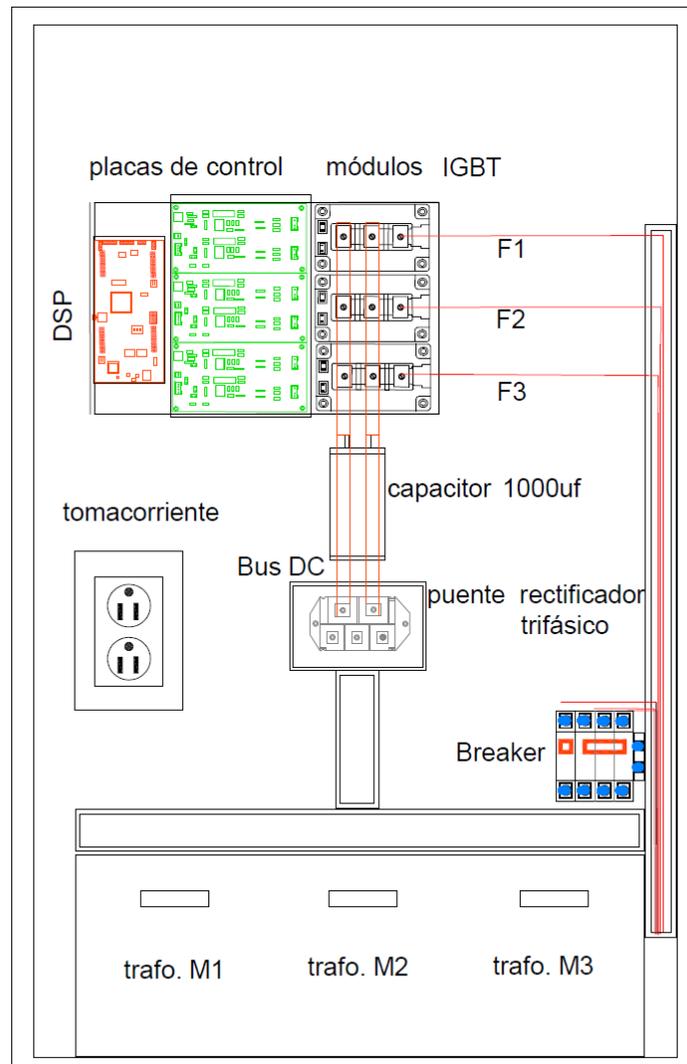
Figura 26. Simulación de señales de inversor trifásico con carga RL en conexión Y.  
Fuente: Autor

## 2.5.2 Diseño del inversor trifásico en AutoCAD

Previo a la implementación de los elementos del inversor trifásico, se realizó el diseño físico en el software de AutoCAD con dimensiones reales. Para ello se aplicó el formato 3D para darle mayor realismo, permitiendo así distribuir e identificar la posición y dimensiones reales de cada elemento, dichas dimensiones fueron tomadas de las hojas de datos de los fabricantes; de igual manera se realizó la distribución del inversor en el espacio designado en el tablero eléctrico con las medidas exactas, ya que en el mismo tablero se asignó un espacio

para la colocación de un sistema de transferencia automática, mismo que permitirá la utilización de las salidas del inversor.

En la figura 27 se puede observar la primera etapa del diseño, donde los elementos fueron realizados en formato 2D para tener una visualización previa del modelo.



**Figura 27. Diseño en 2D modulo inversor trifásico y emulador de banco de baterías.**  
Fuente: Autor

En la figura 28 se muestra el diseño terminado en formato 3D, el cual será implementado de forma física en el tablero eléctrico. El diseño fue elegido debido a que permitía cumplir con los requerimientos estructurales y técnicos dentro del margen de seguridad y prioridades de sensibilidad exigidos por los componentes de electrónica a ser utilizados para este proyecto.

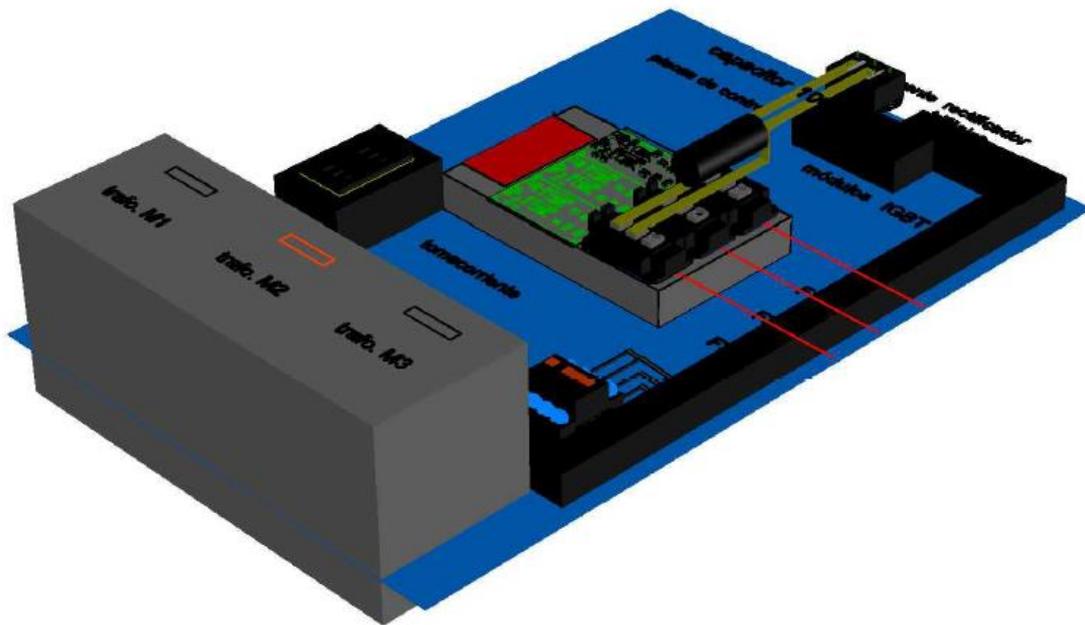


Figura 28. Diseño en 3D de modulo inversor trifásico y emulador de banco de baterías.  
Fuente: Autor

### 2.5.2.1 Diseño de tarjetas de accionamiento

El diseño de las tarjetas se realizó utilizando el software Kicad, el cual es un programa con una plataforma que ofrece un sinnúmero de herramientas y configuraciones que facilitan la creación de pistas PCB.

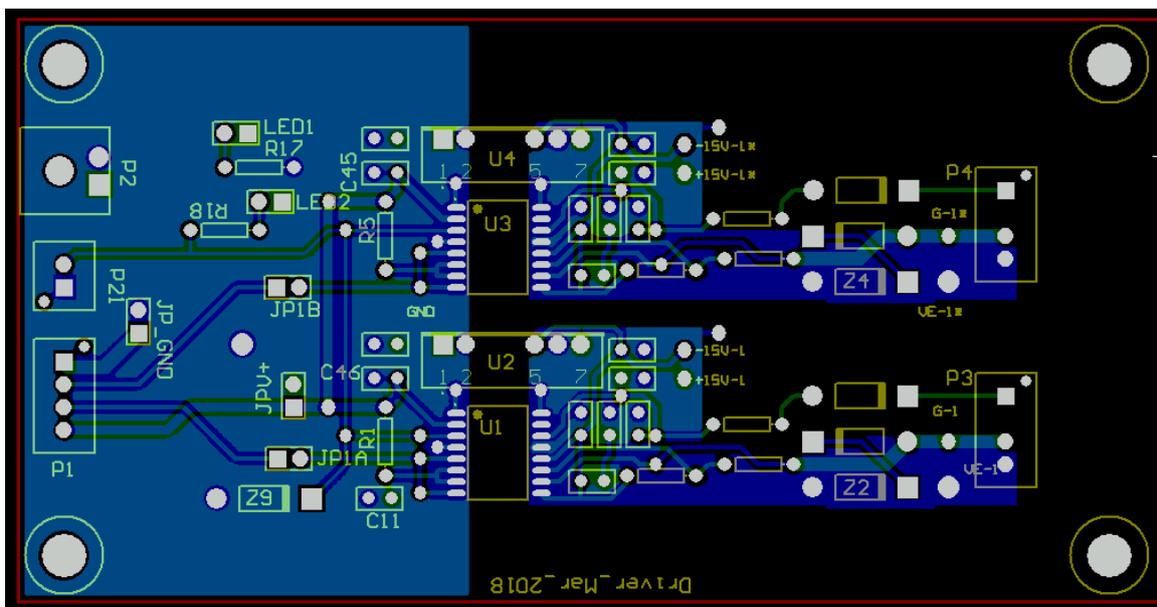


Figura 29. Diseño de tarjetas de control en Kicad  
Fuente: (Restrepo A. PHD, 2018)

## 2.6 Montaje de elementos en tarjetas de control

A continuación, en la figura 30, se presenta las tarjetas de control con las respectivas pistas, estando aptas para realizar el montaje de los elementos y dispositivos que los conformaran.

En este caso se han utilizado 3 placas de características similares, debido a que cada una se encargará de controlar a un IGBT respectivamente.



Figura 30. Tarjetas de control  
Fuente: (Restrepo A. PHD, 2018)

### 2.6.1 Lista de materiales utilizados en tarjetas de accionamiento

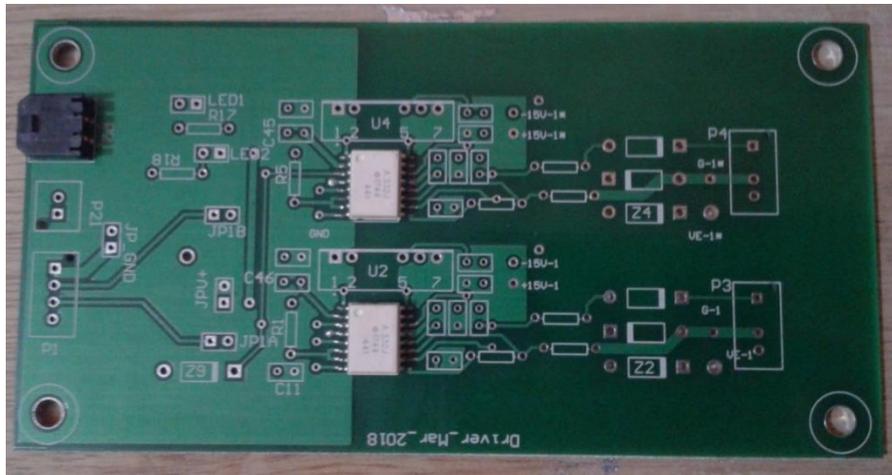
Tabla 6. Elementos y dispositivos para tarjetas de accionamiento

Elemento y/o dispositivo	Características
	<p><b>Diodo Estándar Orificio pasante 1000V 1 A DO-204AL (DO-41)</b></p>
	<p><b>Resistencias de orificio pasante Axial Película de carbono 330, 430, 510 Ohms, 10 Ohms, 100 Ohms, 47K ±5% 0.25 W, 1/4 W</b></p>
	<p><b>4 posiciones, Cabecera, Conector, 0.098" (2.50 mm), Orificio pasante, Estaño</b></p>
	<p><b>Conector de carcasa rectangular 4 posiciones Receptáculo Natural 0.098" (2.50 mm)</b></p>

	<b>2 posiciones, Cabecera, Conector, 0.098" (2.50 mm), Orificio pasante, Estaño</b>
	<b>Conector de carcasa rectangular 2 posiciones Receptáculo Blanco 0.098" (2.50 mm)</b>
	<b>Indicación led: discreta 617 nm Rojo, Verde 2 V Radial</b>
	<b>2 (1 x 2) Position Shunt Conector Open Top, Grip 0.100" (2.54mm) Gold</b>
	<b>2 posiciones, Cabecera, Conector, 0.118" (3.00 mm), Orificio pasante, ángulo recto, Estaño</b>
	<b>Conector de carcasa rectangular 2 posiciones Receptáculo Negro 0.118" (3.00 mm)</b>
	<b>(4.7<math>\mu</math>F, 100nF, 0.47 <math>\mu</math>F, 100pF)-20%, +80%, 50 V, Capacitores cerámicos, Y5V (F), Radial</b>
	<b>2.5A Gate Driver Optical Coupling 5000Vrms 1 Channel 16-SO</b>
	<b>Zener Diode 17V 500mW <math>\pm</math>5% Through Hole DO- 35</b>
	<b>Zener Diode 3.3V 1W <math>\pm</math>5% Through Hole DO-41</b>
	<b>Convertor CC/CC Módulo aislado 2 Salida 15 V -15 V 67 mA, 67 mA Entrada 4.5 V 5.5 V</b>

Fuente: Autor

Al contar con los materiales y/o dispositivos se procede a soldar los materiales a las placas, iniciando el montaje de los optoacopladores, debido a su sensibilidad y evitar inconvenientes al momento del montaje de los demás dispositivos. Tal como muestra la figura 31.



**Figura 31. Montaje de optoacopladores**  
Fuente: Autor

Ya realizado el montaje de los optoacopladores en las 3 placas de control, se procede a soldar los demás materiales, tomando las debidas precauciones con la finalidad de no causar daños en los dispositivos más sensibles.



**Figura 32. Montaje de dispositivos**  
Fuente: Autor

Finalmente se muestra en la figura 33, el resultado ya terminado del montaje de todos los elementos en las tres tarjetas de control.



Figura 33. Montaje total de dispositivos  
Fuente: Autor

## 2.6.2 Diseño de tarjeta de interfaz

Para el diseño de la tarjeta de interfaz se utilizó el programa PCB Wizard, debido a que es un software de fácil utilización y cuenta con un sinnúmero de herramientas necesarias para el desarrollo de este circuito. (Figura 34)

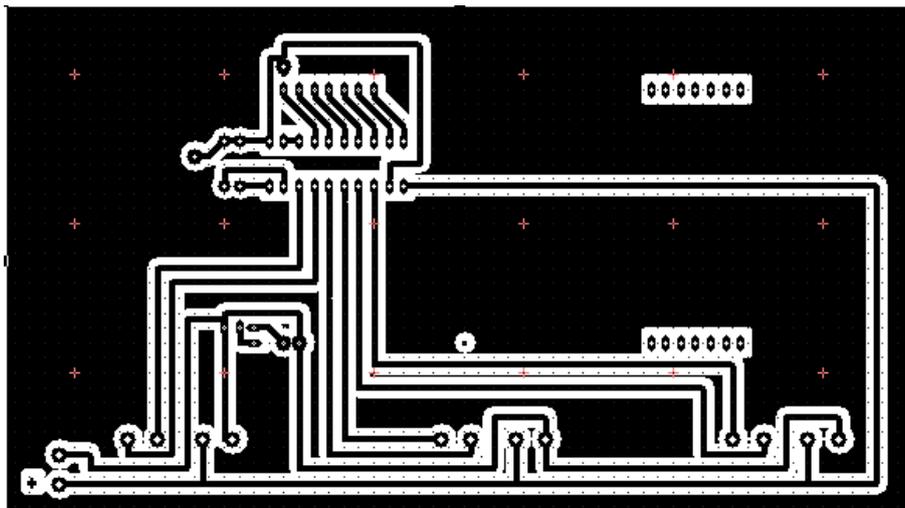


Figura 34. Diseño de tarjeta interfaz  
Fuente: Autor

### 2.6.2.1 Montaje de elementos en tarjeta de interfaz

Ya realizado los procesos necesarios en la placa de la tarjeta interfaz, (figura 35) está lista para el montaje de los elementos.

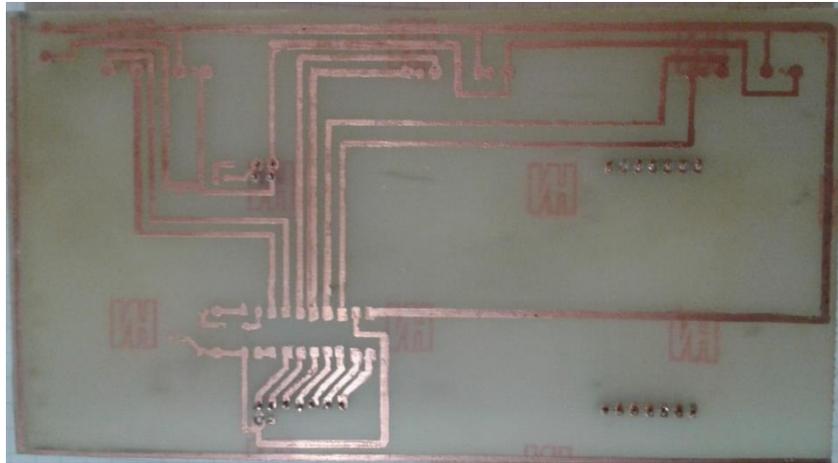


Figura 35. Placa de interfaz  
Fuente: Autor

### 2.6.2.2 Montaje de elementos en tarjeta de interfaz

En la figura 36, se muestra la placa de interfaz con sus componentes ya implementados, teniéndola lista para su acoplamiento con el DSP.

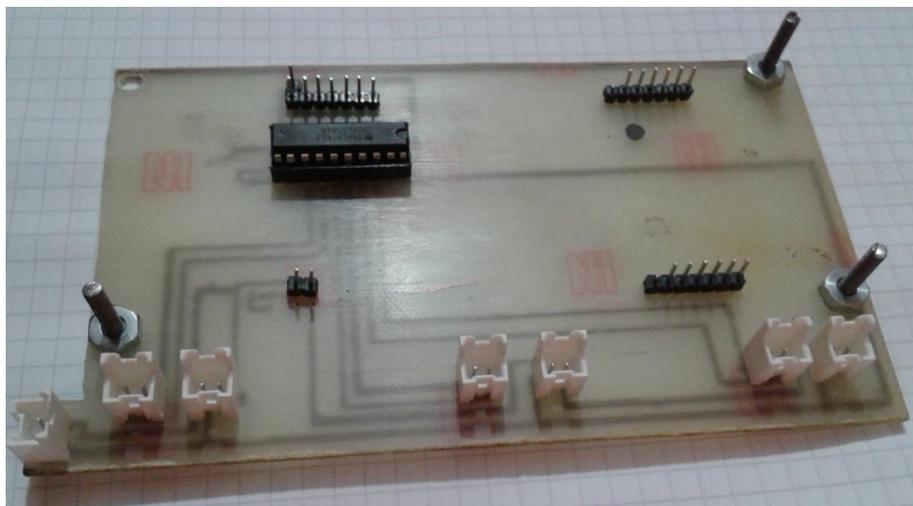


Figura 36. Placa de interfaz con componentes  
Fuente: Autor

### 2.6.3 Montaje de dispositivos de potencia

Finalizado la etapa de diseño y montaje de los elementos en las tarjetas de control como en la tarjeta de interfaz, se procede a la readecuación de los elementos que serán utilizados como base para el montaje de los dispositivos de potencia tal como el puente inversor trifásico, así como los módulos IGBT.

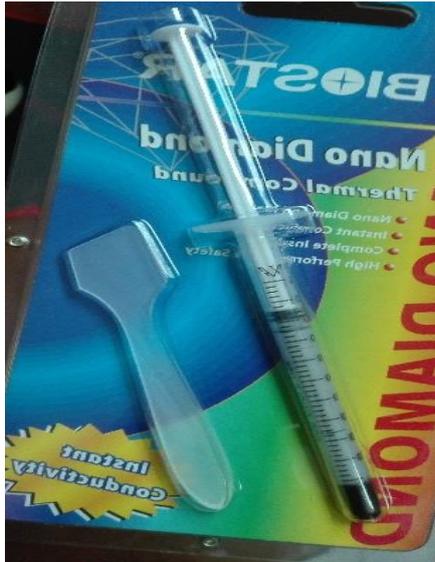
Como base de montaje para los elementos se utilizó disipadores de calor, esto debido a que no solo permitirá tener una buena organización, sino que también ayudará a desprender el exceso de calor emitido por los dispositivos.

En la figura 37 se muestra la perforación de orificios para el ajuste con tornillos de los dispositivos de potencia, además de la readecuación de las barras de bus DC de acuerdo con las medidas dispuestas según el diseño realizado en AutoCAD.



**Figura 37. Readecuación de dispositivos**  
Fuente: Autor

Previo al montaje de los módulos IGBT y del puente inversor trifásico a los disipadores de calor respectivos se utilizó un elemento adicional llamado pasta térmica, quien cumplirá con la función de ayudar a disipar de una manera más rápida, transmitiendo el calor generado por los dispositivos de potencia hacia los disipadores. Las características del elemento se muestran en la figura 38.



Características térmicas:

- Conductividad térmica  $>2.5\text{W/m-K}$ .
- Resistencia térmica  $< 0.0087\text{ }^\circ\text{C-in/W}$ .

Figura 38. Pasta térmica y características  
Fuente: Autor

Ya realizado el montaje de los módulos IGBT y del puente rectificador trifásico en sus respectivos disipadores, se procede a la readecuación y medición de las barras de bus DC para luego realizar el respectivo montaje y ajuste entre los dispositivos. Tal como lo corrobora las figuras 39 y 40 respectivamente.

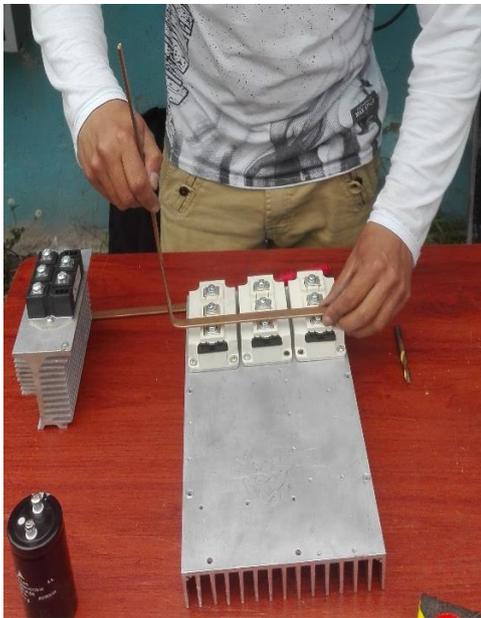


Figura 39. Medición de barras de bus DC  
Fuente: Autor

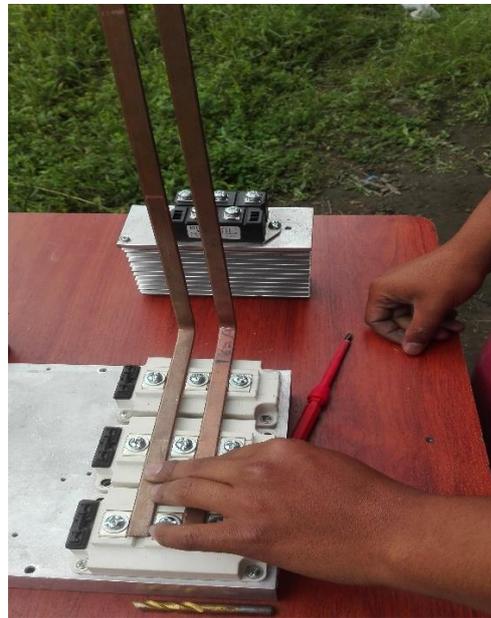
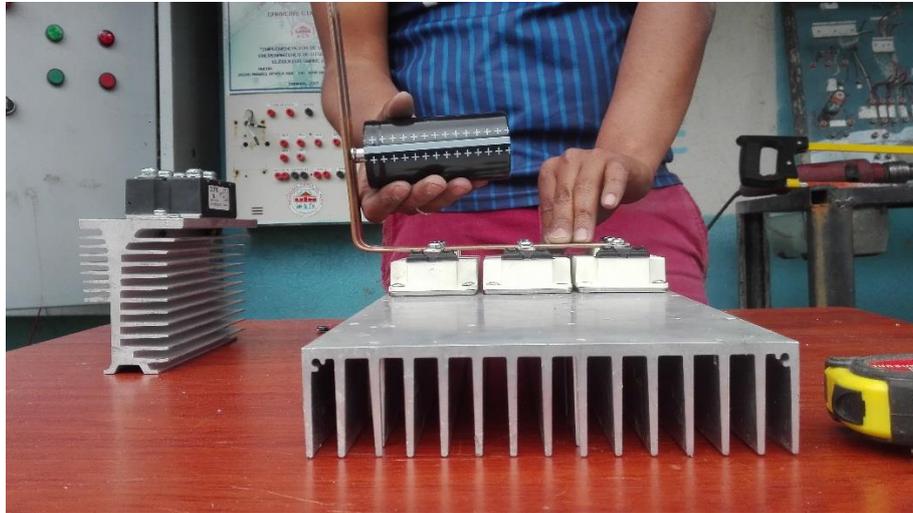


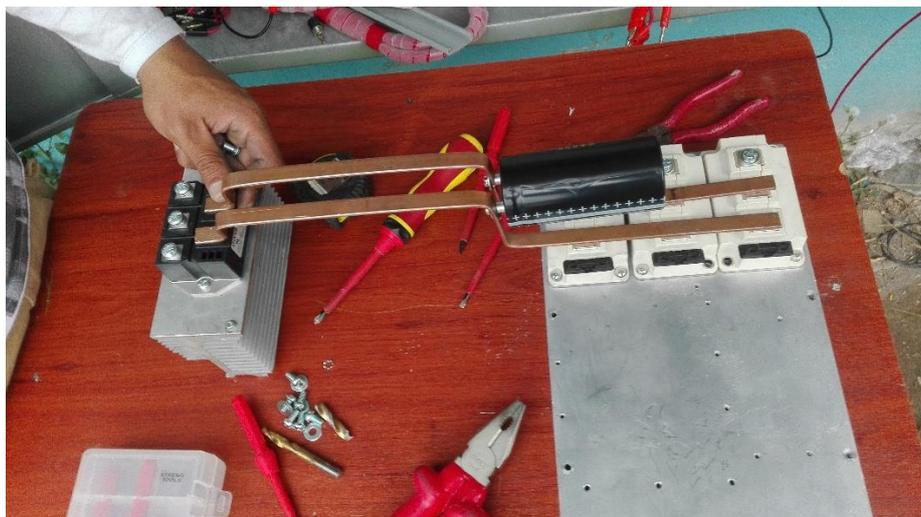
Figura 40. Montaje de barras de bus DC  
Fuente: Autor

El siguiente paso es proceder a montar el capacitor electrolítico a las barras de bus DC tomando en consideración la distancia adecuada, tanto entre la separación de barras como el espacio dejado hasta los módulos IGBT. Ya que es muy considerable que el capacitor este lo más cerca posible con los módulos IGBT.



**Figura 41. Readección de dispositivos**  
Fuente: Autor

Finalmente, en la figura 42 se muestra la disposición final de los dispositivos de potencia acoplados en un solo modulo, tal como se bosquejo en el diseño realizado en AutoCAD.



**Figura 42. Disposición de dispositivos de potencia.**  
Fuente: Autor

## 2.6.4 Conexiones de dispositivos de control

### 2.6.4.1 Conexiones entre DSP y tarjeta interfaz

Las conexiones entre el DSP y la tarjeta de interfaz, tiene como finalidad, transmitir unidireccionalmente los pulsos generados por el PWM. Para ello se utiliza los pines PWM del DSP (PO0, PO1, PO2, PO3, PO4, PO5) como señales de control los cuales se conectarán con los pines del SN74LS541N (P7, P6, P5, P4, P3 y P2) respectivamente y el pin P26 como señal de encendido y apagado del pin P1 del buffer SN74LS541N. todo esto se corrobora en la figura 43.

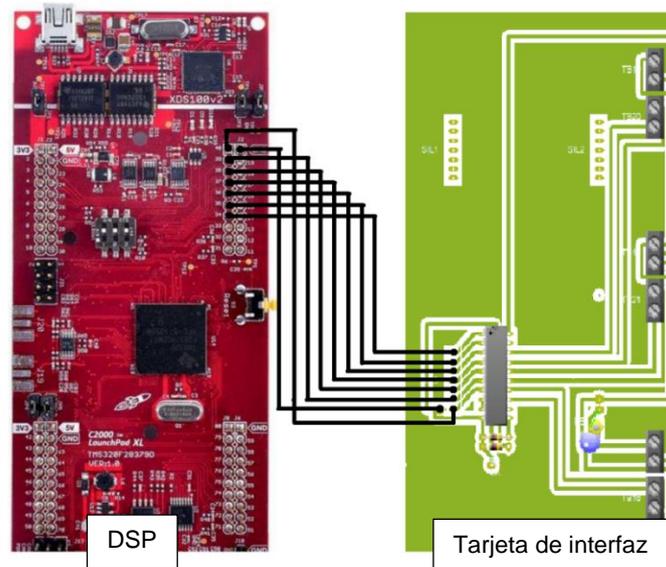


Figura 43. Pines de conexión DSP y Tarjeta interfaz  
Fuente: Autor

A continuación, se muestra el acoplamiento final entre el DSP y la tarjeta interfaz tal como será implementado en el módulo inversor trifásico.

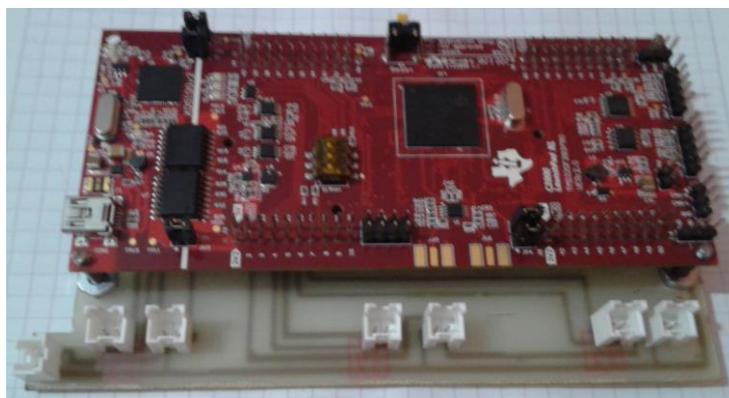


Figura 44. Acoplamiento entre DSP y tarjeta interfaz  
Fuente: Autor

### 2.6.4.2 Conexiones entre tarjeta interfaz y tarjetas de Accionamiento.

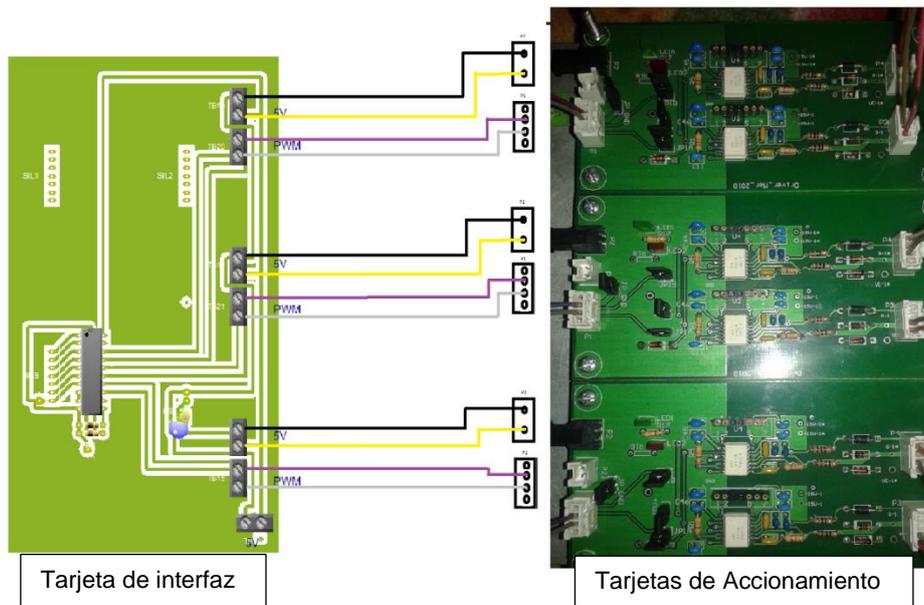


Figura 45. Conexión de pines tarjetas interfaz y tarjetas de control  
Fuente: Autor

### 2.6.4.3 Conexiones entre tarjetas de Accionamiento y módulos IGBT.

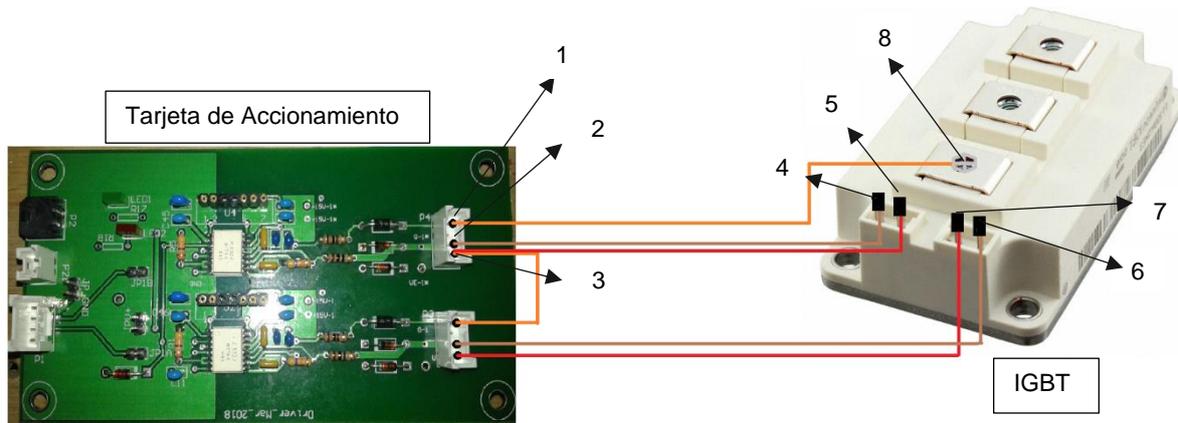


Figura 46. Conexión de pines tarjetas de accionamiento y módulos IGBT  
Fuente: Autor

Tabla 7. Descripción de puntos de conexión

1. Colector	5. Emisor 1 IGBT
2. Compuerta	6. Compuerta 2 IGBT
3. Emisor	7. Emisor 2 IGBT
4. Compuerta 1 IGBT	8. Colector IGBT

Fuente: Autor

## 2.7 Código de programación

### Introducción

Para lograr las señales de control obtenidas mediante las simulaciones en Matlab, la tarjeta DSP debe ser programada de tal manera que cumpla con dichos requerimientos en su lenguaje de programación, mismo que es realizado en el software de Texas instruments como lo es Code composer studio. A continuación, se muestra las líneas de código utilizadas para este fin.

```
// FILE: Lab2_cpu01.c

// Pin configuration
// DACOUTA/ADCINA0 -> J3.30 ADCINA0
// DACOUTB/ADCINA2 -> J3.29 ADCINA2/CMPIN1P
// DACOUTC/ADCINB1 ->
//
// ADCINA3 -> J3.26
// GPIO32 -> J1.2
// GPIO0 (EPWM1A)
// GPIO1 (EPWM1B)
//////////////////////////////////////////////////////////////////
#include "F28x_Project.h" // Device Header File and Examples Include File
#include <math.h>

#define M_PI 3.1415926535897932385
#define M_2PI 6.2831853071795864769
#define M_2PI_3 2.0943951023931954923
#define PWM_PRD 5000

#define RAMP_TIME 120000

// Comparator
//
// Defines
//
//definitions for selecting DACH reference
#define REFERENCE_VDDA 0
#define REFERENCE_VDAC 1
//definitions for COMPH input selection
#define NEGIN_DAC 0
#define NEGIN_PIN 1
//definitions for CTRIPH/CTRIPOUTH output selection
#define CTRIP_ASYNC 0
#define CTRIP_SYNC 1
#define CTRIP_FILTER 2
#define CTRIP_LATCH 3
//definitions for selecting output pin
#define GPIO_CTRIP_PIN_NUM 14 //OUTPUTXBAR3 is mux'd with GPIO14
#define GPIO_CTRIP_PER_NUM 6 //OUTPUTXBAR3 is peripheral option 6 for
//GPIO14
#define GPIO_CTRIPOUT_PIN_NUM 15 //EPWM8B is mux'd with GPIO15
#define GPIO_CTRIPOUT_PER_NUM 1 //EPWM8B is peripheral option 1 for GPIO15

// Function Prototypes
void ConfigureADC(void);
void ConfigureEPWM1(void);
void ConfigureEPWM2(void);
void ConfigureEPWM3(void);
void ConfigureDAC(void);
void SetupADCEpwm(void);
interrupt void adca1_isr(void);

// Variables
#define RESULTS_BUFFER_SIZE 256
```

```

Uint16 AdcaResults[RESULTS_BUFFER_SIZE];
Uint16 AdcbResults[RESULTS_BUFFER_SIZE];
Uint16 AdccResults[RESULTS_BUFFER_SIZE];
Uint16 resultsIndex;
Uint16 ToggleCount = 0;
Uint16 dacOffset;
Uint16 dacOutput;
Uint16 sineEnable = 0;
extern int QuadratureTable[40];

Uint16 AD1,AD2,AD3,AD4,seed;

void main(void)
{
    Uint16 mflag,index,dutyA,dutyB,dutyC,dacOutput;
    float ang,dang;
    float freq,vol,df;
    unsigned long i;

    // Initialize System Control
    InitSysCtrl();
    EALLOW;
    ClkCfgRegs.PERCLKDIVSEL.bit.EPWMCLKDIV = 1;
    EDIS;

    // Initialize GPIO
    InitGpio(); // Configure default GPIO
    InitEPwm1Gpio();
    InitEPwm2Gpio();
    InitEPwm3Gpio();
    EALLOW;
    GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO18 = 1; // Used as input to ADC
    GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO31 = 1; // Drives LED LD2 on controlCARD
    GpioCtrlRegs.GPBDIR.bit.GPIO32 = 1; // Test out
    GpioCtrlRegs.GPADIR.bit.GPIO24 = 1;
    EDIS;
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIO18 = 0; // Force GPIO18 output LOW
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIO31 = 1; // Turn off LED
    GpioDataRegs.GPBDAT.bit.GPIO32 = 1;
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIO24 = 0;

    // Clear all interrupts and initialize PIE vector table
    DINT;
    InitPieCtrl();
    IER = 0x0000;
    IFR = 0x0000;
    InitPieVectTable();

    // Map ISR functions
    EALLOW;
    PieVectTable.ADCA1_INT = &adca1_isr; // Function for ADCA interrupt 1
    EDIS;

    // Configure the ADC and power it up

```

```

ConfigureADC();

// Configure the ePWM
ConfigureEPWM1();
ConfigureEPWM2();
ConfigureEPWM3();

// Configure DAC-A
ConfigureDAC();

// Setup the ADC for ePWM triggered conversions on channel 0
SetupADCEpwm();

//
// Configure GPIO14 to output CTRIP1H/EPWM TRIP4
//
    GPIO_SetupPinMux(GPIO_CTRIP_PIN_NUM, GPIO_MUX_CPU1, GPIO_CTRIP_PER_NUM);

//
// Configure GPIO15 to output CTRIPOUT1H
//
    GPIO_SetupPinMux(GPIO_CTRIPOUT_PIN_NUM, GPIO_MUX_CPU1,
                    GPIO_CTRIPOUT_PER_NUM);

// Initialize results buffer
for(resultsIndex = 0; resultsIndex < RESULTS_BUFFER_SIZE; resultsIndex++)
{
    AdcaResults[resultsIndex] = 0;
    AdcbResults[resultsIndex] = 0;
}
resultsIndex = 0;

// Enable PIE interrupt
PieCtrlRegs.PIEIER1.bit.INTx1 = 1;

// Enable global interrupts and higher priority real-time debug events
IER |= M_INT1;           // Enable group 1 interrupts
EINT;                   // Enable Global interrupt INTM
ERTM;                   // Enable Global real-time interrupt DBGm

// Sync ePWM
EALLOW;
CpuSysRegs.PCLKCR0.bit.TBCLKSYNC = 1;
EDIS;

// Start ePWM
EPwm1Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = TB_COUNT_UPDOWN;           // Un-freeze and
enter up-count mode
EPwm2Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = TB_COUNT_UPDOWN;           // Un-freeze and
enter up-count mode
EPwm3Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = TB_COUNT_UPDOWN;           // Un-freeze and
enter up-count mode

ang=0;
dang=0.037699111843077518862; //0.012*M_PI

```

```

i = 0;
seed=0;
freq=0;
df=6000.0/RAMP_TIME;
mflag=0;
do {
    do{
        }while(seed!=2);
        seed=0;
        //dang=6.2831853071795864769e-4*freq;
        freq+=df;
        if(freq>60) freq=60;
        vol=0.015*freq;

        //i++;
        //GpioDataRegs.GPBDAT.bit.GPIO32 = 1;
        GpioDataRegs.GPBDAT.all = GpioDataRegs.GPBDAT.all ^ 0x1;
        dutyA=(Uint16)((float)(PWM_PRD/2)*(1.0+0.9*sin(ang)));
        dutyB=(Uint16)((float)(PWM_PRD/2)*(1.0+0.9*sin(ang-M_2PI_3)));
        dutyC=(Uint16)((float)(PWM_PRD/2)*(1.0+0.9*sin(ang+M_2PI_3)));
        //GpioDataRegs.GPBDAT.bit.GPIO32 = 0;

        EPwm1Regs.CMPA.bit.CMPA = dutyA;
        EPwm2Regs.CMPA.bit.CMPA = dutyB;
        EPwm3Regs.CMPA.bit.CMPA = dutyC;

        DacRegs.DACVALS.all = dutyA/2;
        ang+=dang;
        if(ang>M_2PI)
        {
            ang=-M_2PI;
            //GpioDataRegs.GPCTOGGLE.bit.GPIO71 = 1;
        }
        //GpGpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIO31 = 0;    // Turn on LED
        //GpioDataRegs.GPBDAT.bit.GPIO32 = 0;
        //DELAY_US(1000 * 500);    // ON delay
        //GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIO31 = 1;    // Turn off LED
        //GpioDataRegs.GPBDAT.bit.GPIO32 = 1;
        //DELAY_US(1000 * 500);    // OFF delay

    } while(1);
}

void ConfigureEPWM1(void)
{
    EALLOW;
    // Setup TBCLK
    EPwm1Regs.TBPRD = PWM_PRD;
    EPwm1Regs.TBPHS.bit.TBPHS = 0x0000;
    EPwm1Regs.TBCTR = 0x0000;

    // Set Compare values
    EPwm1Regs.CMPA.bit.CMPA = 500;

    // Setup counter mode

```

```

EPwm1Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = TB_FREEZE;
EPwm1Regs.TBCTL.bit.PHSEN = TB_DISABLE;
EPwm1Regs.TBCTL.bit.PRDL = TB_SHADOW;
EPwm1Regs.TBCTL.bit.SYNCOSEL = TB_CTR_ZERO;
EPwm1Regs.TBCTL.bit.HSPCLKDIV = TB_DIV1;
EPwm1Regs.TBCTL.bit.CLKDIV = TB_DIV1;

// Setup shadowing
EPwm1Regs.CMPCTL.bit.SHDWAMODE = CC_SHADOW;
EPwm1Regs.CMPCTL.bit.SHDWBMODE = CC_SHADOW;
EPwm1Regs.CMPCTL.bit.LOADAMODE = CC_CTR_ZERO;
EPwm1Regs.CMPCTL.bit.LOADBMODE = CC_CTR_ZERO;

// Set actions
EPwm1Regs.AQCTLA.bit.CAU = AQ_SET;
EPwm1Regs.AQCTLA.bit.CAD = AQ_CLEAR;

EPwm1Regs.DBCTL.bit.OUT_MODE = DB_FULL_ENABLE;
EPwm1Regs.DBCTL.bit.POLSEL = DB_ACTV_LO; //DB_ACTV_HIC;
EPwm1Regs.DBFED.bit.DBFED = 150;
EPwm1Regs.DBRED.bit.DBRED = 150;

EDIS;
}

void ConfigureEPWM2(void)
{
    EALLOW;
    // Assumes ePWM clock is already enabled
    EPwm2Regs.TBPRD = PWM_PRD;
    EPwm2Regs.TBPHS.bit.TBPHS = 0x0000;
    EPwm2Regs.TBCTR = 0x0000;

    // Set Compare values
    EPwm2Regs.CMPA.bit.CMPA = 500;

    // Setup counter mode
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = TB_FREEZE;
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.PHSEN = TB_ENABLE;
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.PRDL = TB_SHADOW;
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.SYNCOSEL = TB_SYNC_IN;
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.HSPCLKDIV = TB_DIV1;
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.CLKDIV = TB_DIV1;

    // Setup shadowing
    EPwm2Regs.CMPCTL.bit.SHDWAMODE = CC_SHADOW;
    EPwm2Regs.CMPCTL.bit.SHDWBMODE = CC_SHADOW;
    EPwm2Regs.CMPCTL.bit.LOADAMODE = CC_CTR_ZERO;
    EPwm2Regs.CMPCTL.bit.LOADBMODE = CC_CTR_ZERO;

    // Set actions
    EPwm2Regs.AQCTLA.bit.CAU = AQ_SET;
    // count
    EPwm2Regs.AQCTLA.bit.CAD = AQ_CLEAR;
    // count

```

```

EPwm2Regs.DBCTL.bit.OUT_MODE = DB_FULL_ENABLE;
EPwm2Regs.DBCTL.bit.POLSEL = DB_ACTV_LO; //DB_ACTV_HIC;
EPwm2Regs.DBFED.bit.DBFED = 150;
EPwm2Regs.DBRED.bit.DBRED = 150;

// Interrupt where we will change the Compare Values
EPwm2Regs.ETSEL.bit.SOCAEN = 0;
EPwm2Regs.ETSEL.bit.SOCASEL = 2; //pag. 1737 of SPRUHX5E.PDF
EPwm2Regs.ETSEL.bit.SOCAEN = 1;
EPwm2Regs.ETPS.bit.SOCAPRD = 1;
EDIS;
}

void ConfigureEPWM3(void)
{
    EALLOW;
    // Setup TBCLK
    EPwm3Regs.TBPRD = PWM_PRD;
    EPwm3Regs.TBPHS.bit.TBPHS = 0x0000;
    EPwm3Regs.TBCTR = 0x0000;

    // Set Compare values
    EPwm3Regs.CMPA.bit.CMPA = 500;

    // Setup counter mode
    EPwm3Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = TB_FREEZE;
    EPwm3Regs.TBCTL.bit.PHSEN = TB_ENABLE;
    EPwm3Regs.TBCTL.bit.PRDLN = TB_SHADOW;
    EPwm3Regs.TBCTL.bit.SYNCSEL = TB_SYNC_IN;
    EPwm3Regs.TBCTL.bit.HSPCLKDIV = TB_DIV1;
    EPwm3Regs.TBCTL.bit.CLKDIV = TB_DIV1;

    // Setup shadowing
    EPwm3Regs.CMPCTL.bit.SHDWAMODE = CC_SHADOW;
    EPwm3Regs.CMPCTL.bit.SHDWBMODE = CC_SHADOW;
    EPwm3Regs.CMPCTL.bit.LOADAMODE = CC_CTR_ZERO;
    EPwm3Regs.CMPCTL.bit.LOADBMODE = CC_CTR_ZERO;

    // Set actions
    EPwm3Regs.AQCTLA.bit.CAU = AQ_SET;

    EPwm3Regs.AQCTLA.bit.CAD = AQ_CLEAR;

    EPwm3Regs.DBCTL.bit.OUT_MODE = DB_FULL_ENABLE;
    EPwm3Regs.DBCTL.bit.POLSEL = DB_ACTV_LO; //DB_ACTV_HIC;
    EPwm3Regs.DBFED.bit.DBFED = 150;
    EPwm3Regs.DBRED.bit.DBRED = 150;

    EDIS;
}

void ConfigureDAC(void)
{
    EALLOW;

```

```

    DacRegs.DACCTL.bit.DACREFSEL = 1;           // Use ADC references
    DacRegs.DACCTL.bit.LOADMODE = 0;           // Load on next SYSCLK
    DacRegs.DACVALS.all = 0x0800;             // Set mid-range
    DacRegs.DACOUTEN.bit.DACOUTEN = 1;        // Enable DAC
    EDIS;
}

// Write ADC configurations and power up the ADC for both ADC A and ADC B
void ConfigureADC(void)
{
    EALLOW;
    AdcaRegs.ADCCTL2.bit.PRESCALE = 6;        // Set ADCCLK divider to /4
    AdcaRegs.ADCCTL2.bit.RESOLUTION = 0;      // 12-bit resolution
    AdcaRegs.ADCCTL2.bit.SIGNALMODE = 0;      // Single-ended channel
    conversions (12-bit mode only)
    AdcaRegs.ADCCTL1.bit.INTPULSEPOS = 1;     // Set pulse positions to late
    AdcaRegs.ADCCTL1.bit.ADCPWDNZ = 1;        // Power up the ADC
    //
    AdcbRegs.ADCCTL2.bit.PRESCALE = 6;        // Set ADCCLK divider to /4
    AdcbRegs.ADCCTL2.bit.RESOLUTION = 0;      // 12-bit resolution
    AdcbRegs.ADCCTL2.bit.SIGNALMODE = 0;      // Single-ended channel
    conversions (12-bit mode only)
    AdcbRegs.ADCCTL1.bit.INTPULSEPOS = 1;     // Set pulse positions to late
    AdcbRegs.ADCCTL1.bit.ADCPWDNZ = 1;        // Power up the ADC
    //
    AdccRegs.ADCCTL2.bit.PRESCALE = 6;        // Set ADCCLK divider to /4
    AdccRegs.ADCCTL2.bit.RESOLUTION = 0;      // 12-bit resolution
    AdccRegs.ADCCTL2.bit.SIGNALMODE = 0;      // Single-ended channel
    conversions (12-bit mode only)
    AdccRegs.ADCCTL1.bit.INTPULSEPOS = 1;     // Set pulse positions to late
    AdccRegs.ADCCTL1.bit.ADCPWDNZ = 1;        // Power up the ADC
    DELAY_US(1000);                           // Delay for 1ms to allow ADC
    time to power up
    EDIS;
}

void SetupADCEpwm(void)
{
    EALLOW;
    AdcaRegs.ADCSOC0CTL.bit.CHSEL = 2;        // SOC0 will convert pin A2
    AdcaRegs.ADCSOC0CTL.bit.ACQPS = 14;      // Sample window is 100 SYSCLK
    cycles
    AdcaRegs.ADCSOC0CTL.bit.TRIGSEL = 7;      // Trigger on ePWM2 SOCA/C
    AdcaRegs.ADCINTSEL1N2.bit.INT1SEL = 0;    // End of SOC0 will set INT1
    flag
    AdcaRegs.ADCINTSEL1N2.bit.INT1E = 1;      // Enable INT1 flag
    AdcaRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;    // Make sure INT1 flag is
    cleared
    //
    AdcbRegs.ADCSOC0CTL.bit.CHSEL = 3;        // SOC0 will convert pin B3
    AdcbRegs.ADCSOC0CTL.bit.ACQPS = 14;      // Sample window is 100 SYSCLK
    cycles
    AdcbRegs.ADCSOC0CTL.bit.TRIGSEL = 7;      // Trigger on ePWM2 SOCA/C
    //
    AdccRegs.ADCSOC0CTL.bit.CHSEL = 3;        // SOC0 will convert pin B3

```

```

    AdccRegs.ADCSOC0CTL.bit.ACQPS = 14;          // Sample window is 100 SYSCLK
cycles
    AdccRegs.ADCSOC0CTL.bit.TRIGSEL = 7;        // Trigger on ePWM2 SOCA/C
    EDIS;
}

interrupt void adca1_isr(void)
{
    // Read the ADC result and store in circular buffer
    AdcaResults[resultsIndex] = AdcaResultRegs.ADCRESULT0;
    AdcbResults[resultsIndex] = AdcbResultRegs.ADCRESULT0;
    AdccResults[resultsIndex++] = AdccResultRegs.ADCRESULT0;
    if (RESULTS_BUFFER_SIZE <= resultsIndex)
    {
        resultsIndex = 0;
    }

    // Toggle GPIO18 so we can read it with the ADC
    if (ToggleCount++ >= 15)
    {
        GpioDataRegs.GPATOGGLE.bit.GPIO18 = 1;
        ToggleCount = 0;
    }

    // Write to DACB to create input to ADC-A0
    if (sineEnable != 0)
    {
        dacOutput = dacOffset + ((QuadratureTable[resultsIndex % 0x20] ^ 0x8000)
>> 5);
    }
    else
    {
        dacOutput = dacOffset;
    }
    //DacbRegs.DACVALS.all = dacOutput;

    // Return from interrupt
    AdcaRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;      // Clear ADC INT1 flag
    PieCtrlRegs.PIEACK.all = PIEACK_GROUP1;    // Acknowledge PIE group 1 to
enable further interrupts
    seed=2;
}

//
// InitCMPSS - Initialize CMPSS1 and configure settings
//
void InitCMPSS(void)
{
    EALLOW;

    //
    //Enable CMPSS
    //
    Cmpss1Regs.COMPCTL.bit.COMPDAE = 1;

```

```

//
//NEG signal comes from DAC
//
Cmpss1Regs.COMPCTL.bit.COMPHSOURCE = NEGIN_DAC;

//
//Use VDDA as the reference for DAC
//
Cmpss1Regs.COMPDACCTL.bit.SELREF = REFERENCE_VDDA;

//
//Set DAC to midpoint for arbitrary reference
//
Cmpss1Regs.DACHVALS.bit.DACVAL = 2048;

//
// Configure CTRIPOUT path
// Asynch output feeds CTRIPH and CTRIPOUTH
//
Cmpss1Regs.COMPCTL.bit.CTRIPHSEL = CTRIP_ASYNCH;
Cmpss1Regs.COMPCTL.bit.CTRIPOUTHSEL = CTRIP_ASYNCH;

//
// Configure CTRIPOUTH output pin
// Configure OUTPUTXBAR3 to be CTRIPOUT1H
//
OutputXbarRegs.OUTPUT3MUX0T015CFG.bit.MUX0 = 0;

//
//Enable OUTPUTXBAR3 Mux for Output
//
OutputXbarRegs.OUTPUT3MUXENABLE.bit.MUX0 = 1;
EDIS;
}

// end of file

```

**Autor:** Restrepo A. PHD

Una vez terminado las conexiones y cableado entre los pines del DSP, tarjeta de interfaz, tarjetas de control y módulos IGBT, se procede a grabar el DSP con el código de programación PWM, para finalmente realizar las pruebas de funcionamiento de modulo inversor trifásico.



**Figura 47. Pruebas de funcionamiento de modulo inversor trifásico**  
Fuente: Autor

## **2.8 Instalación y conformación del módulo inversor trifásico a la red de entrenamiento de CIELE.**

- 1. Readecuación del tablero a implementarse:** Se procedió a realizar la limpieza y readecuación del tablero a ser utilizado, previamente fue limpiado, lijado y reestructurado de acuerdo con las medidas tomadas para la implementación de los proyectos que se encontraran internamente en el mismo; y por último se procedió a pintar tanto la parte interna como externa.



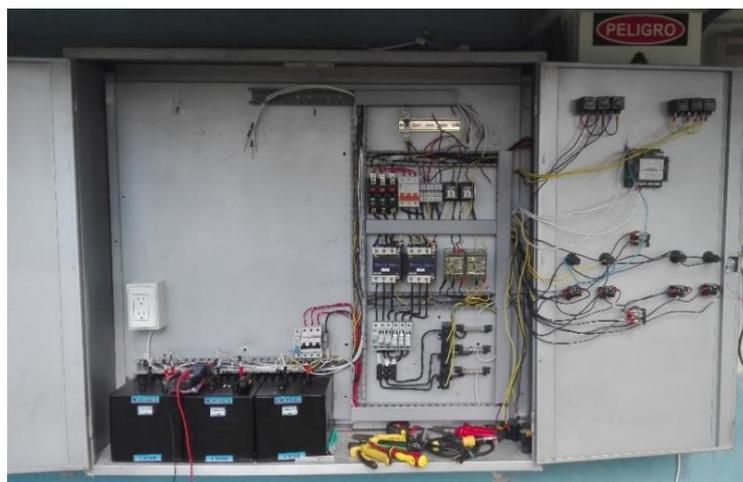
**Figura 48. Pintura y readecuación de tablero eléctrico**  
Fuente: Autor

- 2. Instalación del tablero eléctrico:** se instaló el tablero eléctrico en el espacio asignado en el área física donde se encuentra la red de entrenamiento de CIELE. Donde posteriormente se instalará los transformadores de aislamiento con el banco de baterías y a su vez el inversor, ocupando el espacio reservado para este fin.



**Figura 49. Instalación de tablero eléctrico**  
Fuente: Autor

- 3. Instalación de banco trifásico de transformadores:** Al tener instalado el tablero en el área designada se realiza la medición, readecuación e instalación del banco trifásico de transformadores, mismo que está conformado por 3 transformadores monofásicos de 1KV.



**Figura 50. Instalación de banco trifásico en tablero eléctrico**  
Fuente: Autor

- 4. Implementación de módulo inversor trifásico en tablero eléctrico:** La implementación del módulo inversor trifásico se lo realizó luego de concluir las pruebas de funcionamiento básicas, las cuales consistieron en el encendido de una bombilla eléctrica y posteriormente en el arranque de un motor de inducción trifásico de ¼ HP. El montaje final se lo puede observar en la figura 51.



**Figura 51. Instalación de módulo inversor trifásico en tablero eléctrico**  
Fuente: Autor

- 5. Readecuación de módulos externos con modulo inversor:**

La actividad consistió en realizar las conexiones necesarias para obtener una alimentación de 220V trifásica, misma que será necesaria para energizar el banco de transformadores los cuales alimentaran al puente rectificador trifásico y por consiguiente las barras del Bus DC. Tal como se muestra en la figura 52.



**Figura 52. Readecuación de conexiones en módulos exteriores**  
Fuente: Autor

## CAPITULO 3

### 3. Pruebas de funcionamiento y resultados.

Para la realización de las pruebas de funcionamiento se realizó una previa verificación de funcionalidad de los componentes principales del inversor trifásico, para luego entrar a realizar la verificación de resultados de manera conjunta. A continuación, se detalla los procesos realizados para cada dispositivo y/o elemento.

#### 3.1 Verificación individual de funcionamiento.

##### 3.1.1 Verificación de funcionamiento de placas de accionamiento

La verificación del funcionamiento se lo realizo mediante la medición de voltaje en DC (figura53), en las salidas de las tarjetas de control, básicamente entre la salida del DC-DC y el negativo, verificando el valor estimado que oscilará entre los 15VDC. Cuyo valor será el encargado de controlar la compuerta del IGBT.

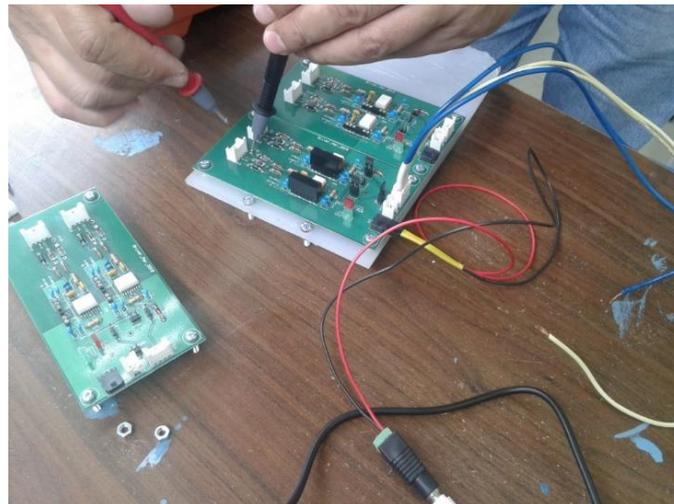
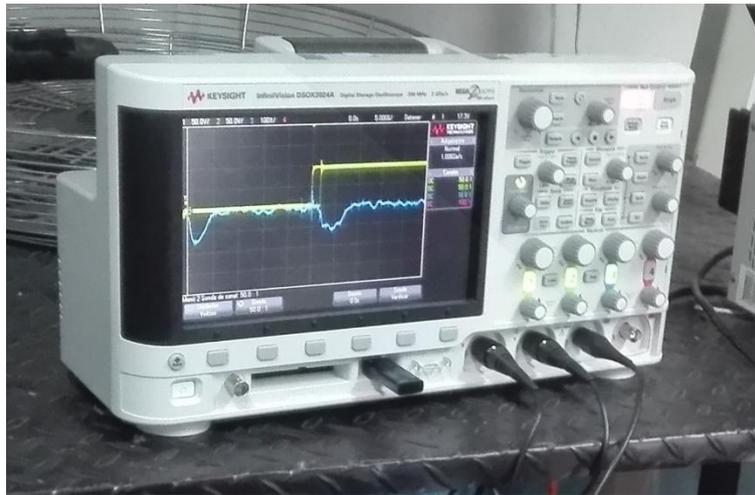


Figura 53. Pruebas de funcionamiento de tarjetas de control  
Fuente: Autor

##### 3.1.2 Verificación de funcionamiento de placas de accionamiento con módulos IGBT.

Mediante la verificación del funcionamiento entre las placas de accionamiento y los módulos IGBT, se logró corregir algunos inconvenientes que surgieron durante el proceso, a continuación, mencionaremos el problema y la solución de este, para así tener al inversor en óptimas condiciones para realizar las pruebas con carga.

El inconveniente se produjo al momento de retirar una de las placas de accionamiento de uno de los módulos IGBT, a consecuencia de un cortocircuito producido por un mal aislamiento o mala referenciación de tierras; dejando en circuito abierto al IGBT, entre la compuerta y el emisor, provocando que exista un consumo de corriente excesivo en la parte de las barras del Bus DC si aún haber colocado ningún tipo de carga, dicho inconveniente se lo puede corroborar en las figuras 58 y 59.



**Figura 54. Pruebas de funcionamiento de tarjetas de control**  
Fuente: Autor



**Figura 55. Ch 3 escala 5.0mA, Ch 4 escala 100V, Level 106.525V, escala principal 5.000us**  
Fuente: Autor

El problema fue resuelto gracias a la asistencia técnica y colaboración de los docentes, la solución al problema era implementar un puente por medio de un cable, cortocircuitando la compuerta y el emisor del módulo IGBT logrando que se estableciera el sistema y se solucionara dicha falla.

### 3.1.3 Verificación de funcionamiento de banco de transformadores.

Ya realizadas las conexiones internas pertinentes en cada uno de los transformadores monofásicos que conforman el banco de transformadores se procede a alimentar el primario de cada uno de los mismos para la comprobación y medición del voltaje de salida, mismo que se encargará de alimentar de manera aislada el módulo de puente rectificador. (Figura 56).



Figura 56. Pruebas de funcionamiento de banco de transformadores.  
Fuente: Autor

### 3.1.4 Verificación de funcionamiento de modulo rectificador trifásico.

Esta prueba consistió en verificar el voltaje en DC a las salidas del rectificador, con la finalidad de conocer el valor exacto que alimentara al bus DC, (figura 57). Donde se obtuvo como resultado un valor de 122 voltios en DC al alimentar a la entrada con 120 voltios en AC; pero para el caso de la alimentación trifásica en DC, el resultado oscila entre 298 y 300 VDC.

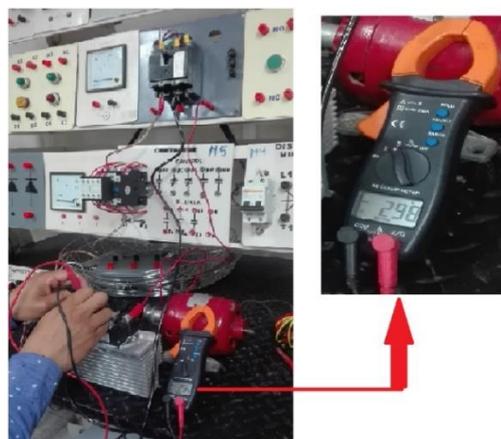


Figura 57. Pruebas de funcionamiento de puente inversor trifásico.  
Fuente: Autor

### 3.2 Practicas y Resultados.

#### **Prueba #1 Practica con DSP, tarjetas de accionamiento y módulos IGBT**

##### **Objetivo:**

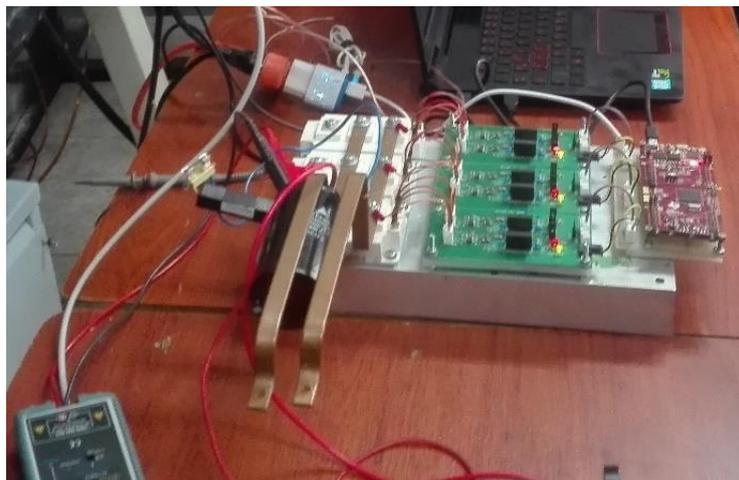
La realización de esta práctica tiene como objetivo verificar el funcionamiento en conjunto del módulo inversor trifásico, corroborando su funcionamiento mediante la visualización de señales en osciloscopio y anexándole una carga significativa a las salidas de los IGBT.

##### **Materiales y equipos:**

1. Osciloscopio.
2. Puntas de prueba aisladas.
3. Pinza de corriente.
4. Resistencia tipo tiza de 220 ohmios a 20W.
5. Fusible de 1A
6. Foco de 20W
7. Variador de voltaje.

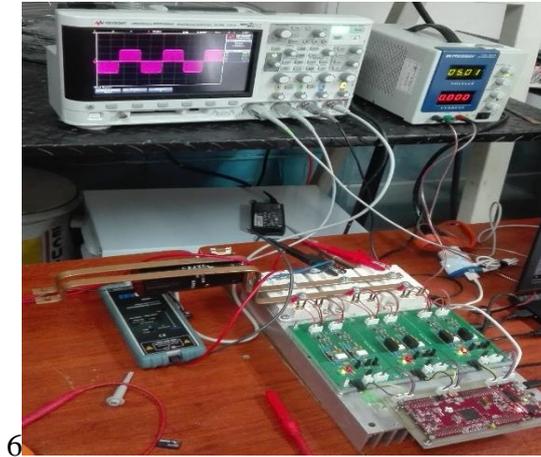
##### **Desarrollo:**

1. El primer paso para la realización de esta práctica consistió en conectar la resistencia tipo tiza de 20W con un fusible de un amperio en serie con el positivo del capacitor electrolítico, esto con la finalidad de proteger contra una sobre corriente o un posible cortocircuito en los IGBT. (figura 58)

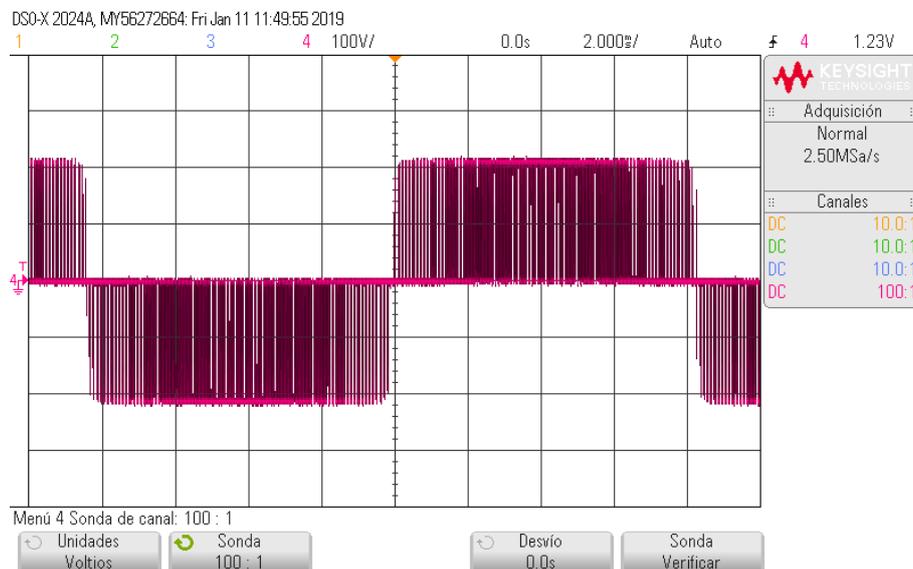


**Figura 58. Conexión de equipos y materiales en Inversor**  
Fuente: Autor

- Una vez conectado y verificado las conexiones de los equipos, se alimenta el puente rectificador, mediante la ayuda de un variador de voltaje, con la finalidad de aumentar el voltaje poco a poco en el bus DC y al mismo tiempo verificar el incremento de la onda de voltaje de salida de los IGBT, en la pantalla del osciloscopio, tal como se muestra en las figuras 59 y 60.



**Figura 59. Onda de voltaje de salida**  
Fuente: Autor



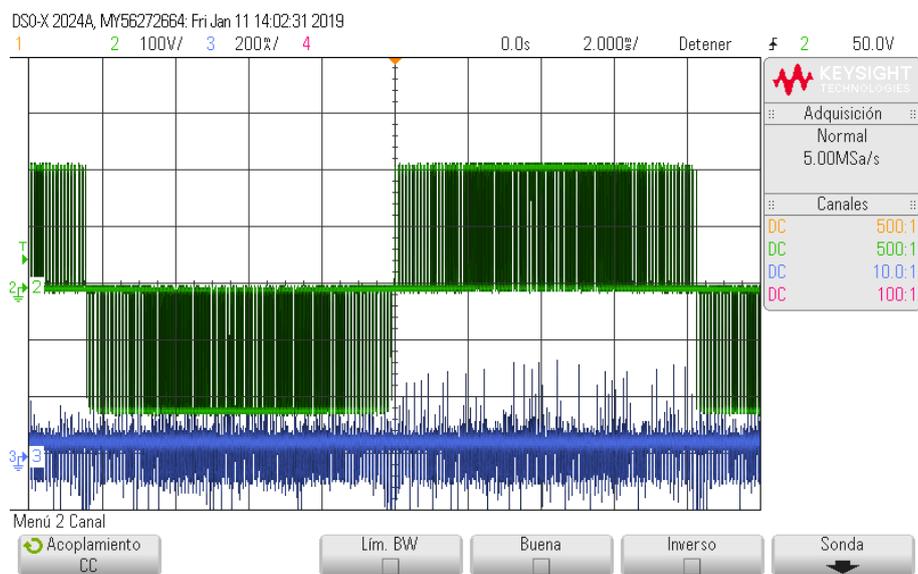
**Figura 60. Ch 4, escala 100V, escala principal 2.000ms.**  
Fuente: Autor

- Luego de verificar la onda de voltaje y su magnitud a las salidas de los IGBT, el siguiente paso es determinar la variación de la onda de corriente en el bus DC, con respecto a la variación de voltaje que es inyectado; para ello se conectara una pinza

de corriente en la barra positiva del bus DC y se procede a incrementar el voltaje mediante el variador. Los resultados obtenidos se los refleja en las figuras 61 y 62.



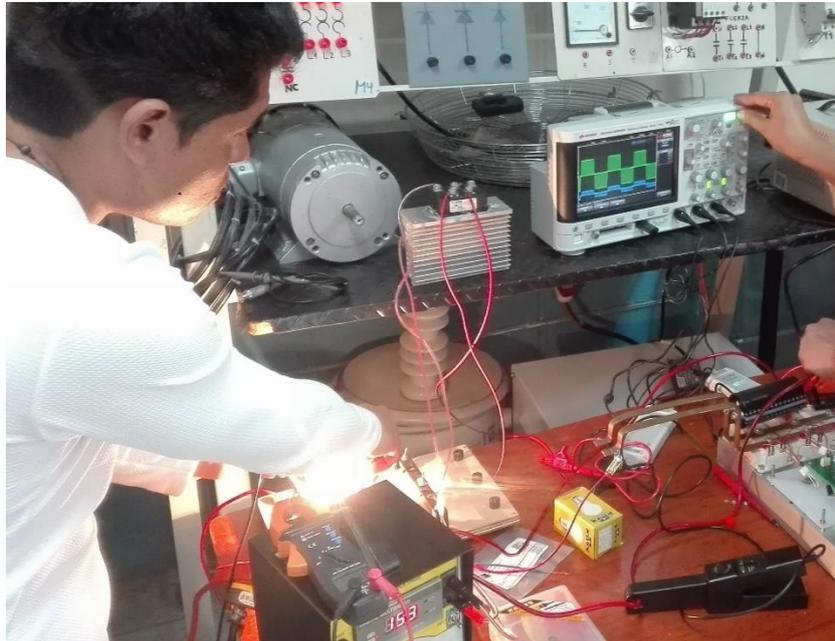
**Figura 61. Onda de voltaje de salida vs corriente**  
Fuente: Autor



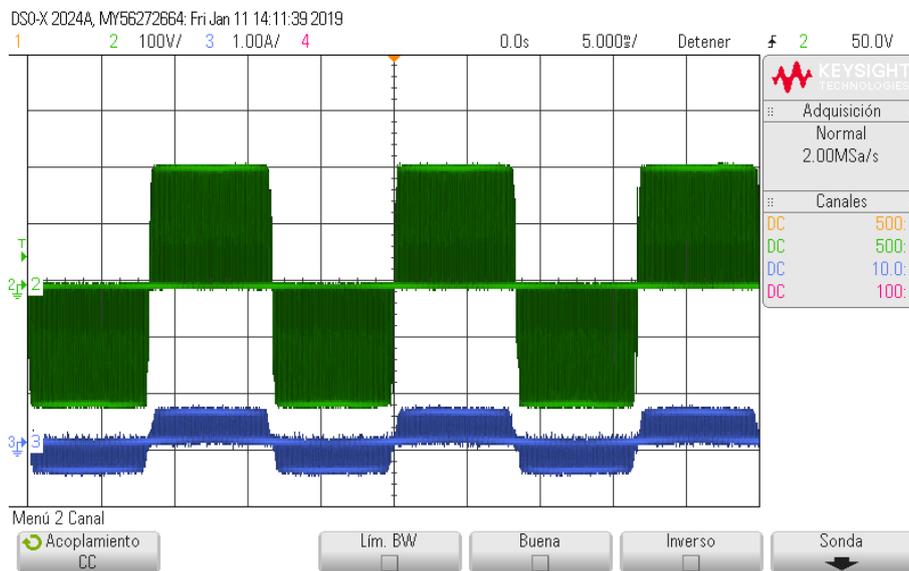
**Figura 62. Ch 2 escala 100V/, Ch 3 escala 200mA/, nivel 49.9800V, escala principal 2.000ms.**  
Fuente: Autor

4. Para finalizar la prueba, se conecta un foco de 15W a 120V, a las salidas de los módulos IGBT y se alimenta con 120 voltios el puente rectificador, mediante el variador de voltaje, verificando el correcto funcionamiento del inversor trifásico y determinando

los valores de las ondas tanto de voltaje como de corriente en el osciloscopio. Todo esto se lo corrobora en las figuras 63 y 64.



**Figura 63. Onda de voltaje vs corriente con carga resistiva**  
Fuente: Autor



**Figura 64. Ch 2 escala 100V/, Ch 3 escala 1.00A/, Pos 2.86250 A, nivel 49.9800V, escala principal 5.000ms.**  
Fuente: Autor

## Practica #2

### Practica con DSP, tarjetas de accionamiento, módulos IGBT y motor trifásico

#### Objetivo:

La práctica tiene como objetivo verificar el funcionamiento en conjunto del módulo inversor trifásico, corroborando su funcionamiento mediante la visualización de señales en osciloscopio y anexándole un motor trifásico de 200W a las salidas de los IGBT.

#### Materiales y equipos:

1. Osciloscopio.
2. Puntas de prueba aisladas.
3. Pinza de corriente.
4. Motor trifásico 200W.
5. Fusible de 10 A.
6. Variador de voltaje.

#### Desarrollo:

1. El primer paso para la realización de esta práctica, consistió en revisar que las señales de control de los IGBT, sean las mas adecuadas. Esto se realizo con la ayuda del osciloscopio y puntas aisladas de prueba; cave recalcar que para realizar esta medición, las barras de bus DC deben estar sin alimentacion, con la finalidad de evitar inconvenientes.
2. El segundo paso para esta practica, es la conexión de un motor trifásico de 200W a las salidas de los modulos IGBT, por medio de la utilización de un breaker trifásico, mismo que brindara proteccion y seccionamiento en la salida de los IGBT. Tal como se muestra en la figura 65.

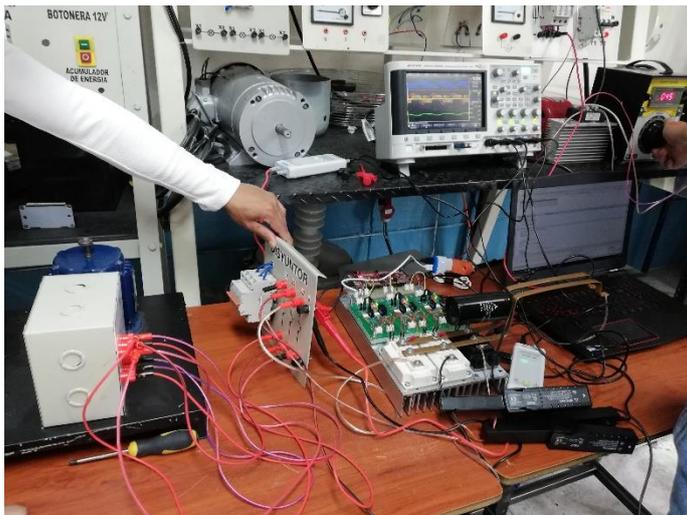
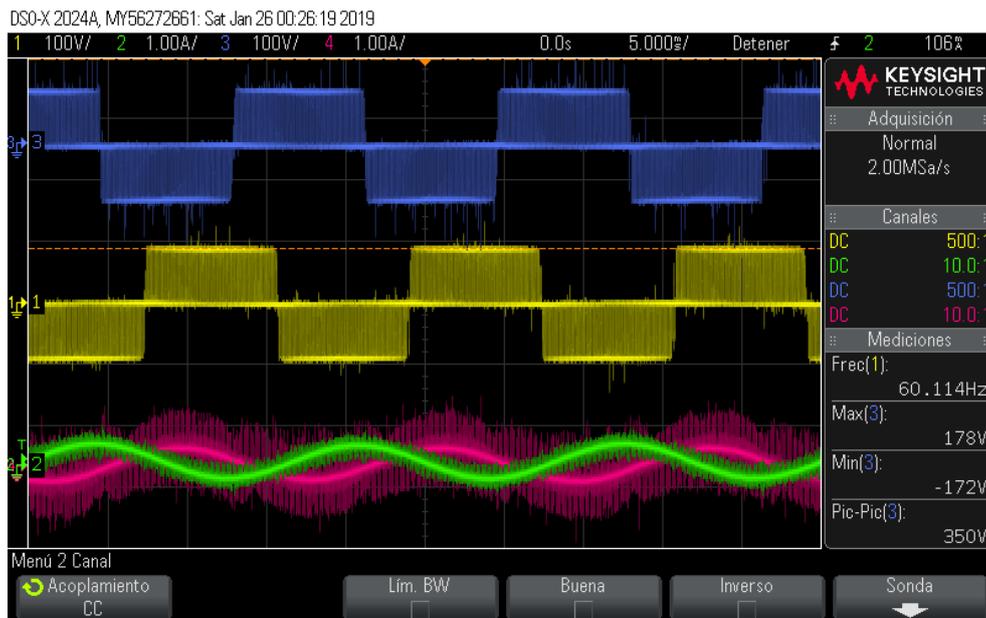


Figura 65. Arranque de motor trifásico desde salidas de IGBT

Fuente: Autor

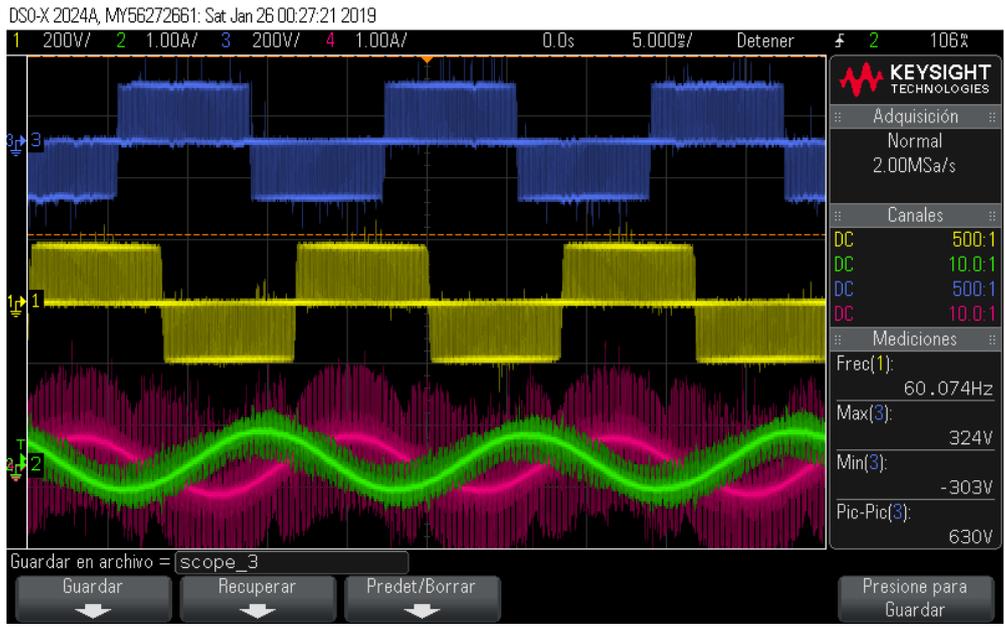
- Una vez realizado la conexión del motor trifásico se alimenta la barra de bus DC, mediante la inyección de voltaje al modulo rectificador con la ayuda de un variador de voltaje. El valor de voltaje inyectado al rectificador es de 120VAC , mismo que fueron suficientes para realizar el arranque del motor trifásico en vacio.
- Como cuarto paso se realizo las mediciones en el osciloscopio de las formas de onda de las salidas de los modulos IGBT, tanto de voltaje como de corriente, en dos de las tres salidas. Mismas que se las muestra en la figura 66.



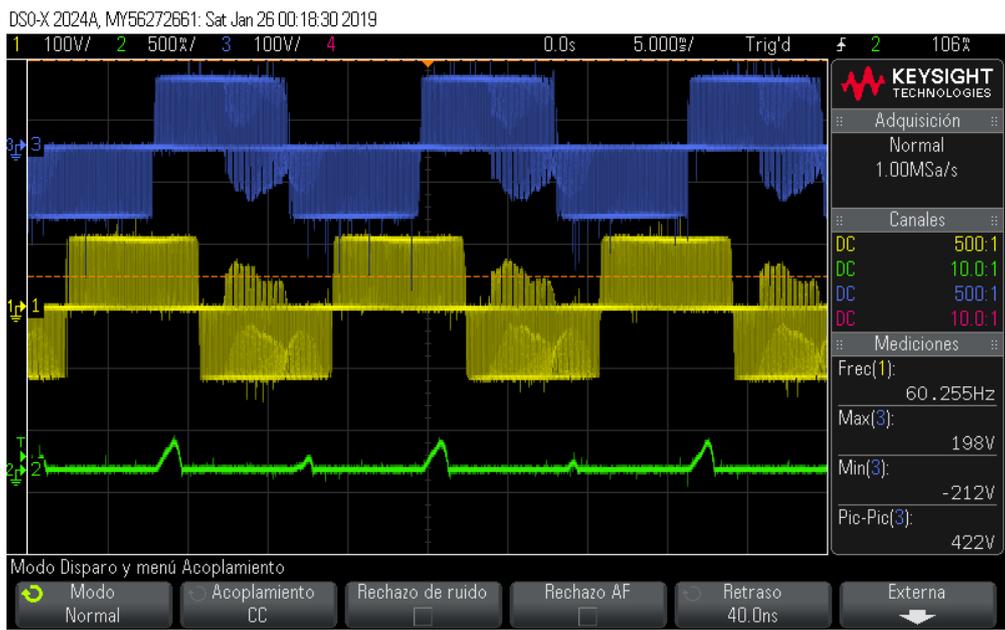
**Figura 66. Señales de voltaje vs corriente fases A y B**  
Fuente: Autor

La primera forma de onda (color azul), ubicada en la parte superior, indica el voltaje obtenido de la fase A, la segunda forma de onda (color amarillo) indica el voltaje de la fase B. Al mismo tiempo se conecto dos pinzas de corriente a las fases A y B (color verde) (color rojo) para medir el incremento de corriente con forme se incrementa el voltaje en el bus DC. Esto se puede comprobar entre los resultados de forma de onda de corrientes en las figuras 66 y 67 ya que la primera (figura 66) el voltaje se encuentra al mínimo por lo tanto el valor de las corrientes es bajo; y en la segunda (figura 67) el voltaje inyectado por variador de voltaje es el máximo por lo tanto las ondas de corriente tanto en la fase A como fase B incrementan . El valor de la frecuencia es aproximada a 60Hz simulando el valor existente en la red convencional.

Ademas se realizo la medición de corriente en la barra positiva del bus DC, al momento que el motor se encontraba en funcionamiento, logrando observar la carga y descarga del capacitor tal como se muestra en la figura 68.



**Figura 67. Señales de voltaje vs corriente en fases A y B con voltaje máximo en bus DC**  
Fuente: Autor



**Figura 68. Señales de voltaje vs corriente en barra de bus DC**  
Fuente: Autor

## Conclusiones

- ❖ Mediante un previo estudio acerca de los sistemas, dispositivos y equipos de electrónica de potencia aplicables en los procesos de inversión, rectificación y almacenamiento de energía; y además de la asistencia y asesoramiento técnico recibido por parte de los docentes de CIELE, se logró el desarrollo del proyecto, obteniendo resultados positivos de funcionamiento.
- ❖ El modelo inversor trifásico propuesto forma parte de un inicio, para la inclusión de nuevos proyectos donde se involucre materias referentes a la electrónica de potencia y cómo no a energías renovables, todo esto debido a que el diseño realizado presenta ciertas facilidades para realizar cambios e innovaciones, mismos que ayudaran a los estudiantes a obtener más conocimientos y a mostrar más interés en los mismos.
- ❖ El diseño del prototipo se tuvo que realizar con base en el tamaño y características de los elementos y dispositivos seleccionados, conformando un modelo compacto con simetría y de acuerdo con las distancias apropiadas entre componentes para obtener una mayor eficacia de funcionamiento. Para ello se utilizó el software AutoCAD, mismo que facilitó la creación de varios diseños, permitiendo escoger el más óptimo, para finalmente proceder al ensamblado del inversor.
- ❖ El inversor trifásico que se diseñó, es un sistema de lazo abierto por lo que se podría realizar mejoras en el ámbito de seguridad, mediante la inclusión de un sensor de corriente en la barra del bus DC, mismo que ayudaría a prestar mayor eficiencia y confiabilidad en el sistema desarrollado entre las etapas de control y potencia.
- ❖ La implementación del inversor trifásico a la red de entrenamiento de CIELE, trae beneficios para los estudiantes de la carrera de electricidad ya que permitirá fomentar un mayor conocimiento en acoplamiento de sistemas inversores de energía, con sistemas SMART GRID, lo que ayudara a dinamizar y mejorar sus conocimientos prácticos con los nuevos sistemas energéticos que serán aplicados en el futuro.

- ❖ El modelo de inversor trifásico cuenta, con la implementación de un banco de transformadores de aislamiento, monofásicos, de 1KVA cada uno, esto con la finalidad de brindar un aislamiento adecuado y una mayor seguridad a los dispositivos que conforman el inversor, evitando problemas de polaridad y posibles perturbaciones provocadas en la red eléctrica convencional.
- ❖ La decisión de implementar un emulador de banco de baterías, en lugar de un banco de baterías real, se da luego de un previo análisis, entre el costo y la vida útil de las baterías reales, ya que su correcta funcionalidad implicaría costos adicionales en mantenimientos periódicos, mientras que con la implementación de un emulador el mantenimiento sería casi nulo.
- ❖ El protocolo de prácticas propuestas en la parte de anexos, tienen como finalidad familiarizar al usuario, con el modelo implementado, logrando adquirir mayores conocimientos en temas de conversión y rectificación de energía.

## Recomendaciones

- ❖ Cada uno de los componentes y placas desarrolladas deben cumplir procesos de estudio, revisión y aprobación con la finalidad de conformar un prototipo con estética, confiable y manejable, además de que sea de fácil modificación en caso de existir proyectos futuros que mejoren las características o brinden mayor seguridad al prototipo implementado.
- ❖ Para brindar mayor seguridad y durabilidad a los componentes del módulo inversor trifásico y evitar inconvenientes de funcionalidad. El diseño propuesto cuenta con protecciones adicionales tanto a la entrada del bus DC, como a las salidas de los IGBT, por ello se utilizó fusibles capaces de actuar oportunamente en caso de ocurrir sobrecargas o cortocircuitos. Además de la utilización e instalación de transformadores de aislamiento conectados en la red de alimentación, con la finalidad de evitar inconvenientes por la mala calidad de energía y posibles perturbaciones producidas en la red.
- ❖ En la implementación de proyectos donde se utilicen dispositivos vulnerables es indispensable contar con los suficientes repuestos, esto con la finalidad de evitar contratiempos, tal como sucedió en este caso, debido a que la mayoría de los elementos fueron conseguidos en el exterior, se presentaron ciertas dificultades para la realización y reposición de dispositivos que sufrieron inconvenientes.
- ❖ Al realizar las pruebas de funcionamiento en equipos que contengan componentes con alta sensibilidad, como es el caso de inversor trifásico, es necesario contar con los implementos necesarios debido a que se podría suscitar inconvenientes y posibles fallas, mismas que podrían ocurrir ya sea por un mal aislamiento o por una errónea conexión, ocasionando daños en los elementos sujetos a las pruebas. Es por ello que antes de realizar las pruebas de funcionamiento, propuestas en los anexos, es aconsejable verificar que el código en el DSP se encuentre guardado y funcionando, antes de energizar las barras del bus DC, con la finalidad de evitar problemas con los módulos IGBT.

## Referencias Bibliográficas

- Alexander, C., & Sadiku, M. (2013). *Fundamentos de Circuitos Electronicos*. Mexico: McGrawHill.
- Aragon, R. (2013). *Analisis Comparativo de Inversores Fotovoltaicos de Conexion a la Red Superiores a 500kw*. MADRID.
- Arias, R. (2014). *Convertidor de potencia Back to Back para un complejo de simulacion de vuelo*. Santa Clara.
- Benning. (2018). *Sistemas rectificadores*. Benning, 3.
- Betanzos, J. (2010). *Implementacion de un inversor de tres niveles utilizando la modulacion por vectores espaciales*. Mexico. Recuperado el 07 de 2016, de <http://personal.us.es/jluque/Libros%20y%20apuntes/1994%20Telecontrol%20redes.pdf>
- Daura, F. (2014). *Los Transformadores de Aislamiento y las EMIs*. CEMDAL, 6.
- Delgado, M. (2012). *Diseño e implementación experimental de un inversor monofasico operado en modo isla*. Madrid, España.
- Donald. (2010). *Dispositivos y circuitos electronicos*. Mexico: Mc Graw Hill.
- E-Cultura Group. (8 de marzo de 2016). *Definición y Etimología* . Obtenido de E-Cultura Group: <https://definiciona.com/emular/>
- Federico, M. (21 de 04 de 2002). *Web de tecnología eléctrica*. Riobamba. Recuperado el Martes de Enero de 2017, de Web de tecnología eléctrica: <http://www.tuveras.com/wm.html>
- Ferney, S. (27 de Abril de 2015). *Prototipo de Equipo de Laboratorio Para Practicas De Rectificadores En Electronica De Potencia*. Tunja. Recuperado el 24 de Enero de 2017, de Web de Tecnología Eléctrica: <http://www.tuveras.com/index.html>
- Fowler, R. (1994). *ELECTRICIDAD Principios y Aplicaciones*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Garcia, M. A. (2008). *Instrumentación electrònica*. Madrid España: Thomson Editores.
- Guerrero, J. M. (2013). *SCRIBD*. Recuperado el Junio de 2016, de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/325695093/Rectificadores-Monofasicos-y-Polifasicos-Controlados-y-No-Controlados>
- Hart, D. (2001). *Patente nº ISBN:84-205-3179-0*.
- Hart, D. (2002). *Electronica de Potencia*. Madrid: Pearson Educacion.
- Hermosa, A. (2012). *Electronica Aplicada (CF Instalaciones de Electronica y Telecomunicaciones)*. Barcelona: MARCOMBO S.A.

- Herrera, M. (Enero de 2013). *Descripción de redes inteligentes (smart grids) y su aplicación en la distribución eléctrica*. Recuperado el Junio de 2016, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5542/1/CD-4621.pdf>
- Juan, H. (04 de Abril de 2014). *web de tecnología eléctrica*. Recuperado el Martes de Enero de 2017, de web de tecnología eléctrica: <http://www.tuveras.com/wm.html>
- Lifasa. (2016). Lifasa Reactive Power Solutions(Regulador de Energía Reactiva). *Controller MASTER control VAR*, 104.
- Lira, H. (2015). Presente y Futuro de los Bancos de Baterías en el Sector Eléctrico. *ELECTRICIDAD*, 2.
- Lobo de la Serena, C. (2014). *Convertidores de CA/CC*. Burgos.
- Maloney. (2009). *Electronica Industrial Moderna*. Mexico: Prentice Hall.
- McGraw, H. (2000). *Principios de Electronica*. Madrid.
- Monterrubio, M. (2013). *Transporte de Energia Electrica en Corriente Continua. Enlaces HVDC-VSC*.
- Morcillo, J. (2011). *Diseño de Rectenas Multifrecuencia de Media Onda y Onda Completa*. Leganés.
- Moreta, J. (2008). Eutrificación. Ibarra.
- National Instruments. (2018). What is a Pulse Width Modulation (PWM) Signal and What is it Used for? *National Instruments*, 2.
- Perez, M. (2015). Presente y Futuro de los Bancos de Baterías en el Sector Eléctrico. *ELECTRICIDAD*, 2.
- Pozo, A. (2012). *Convertidores conmutados de Potencia Test de Autoevaluacion*. Barcelona: Marcombo.
- Quing, Z., & Hornik, T. (2013). *Control of Power Inverters in Renewable Energy and Smart Grid Integration*. Jhon Wiley y Sons Ltd.
- Ramirez, E. (2014). *Implementacion de un Convertidor PWM Trifasico conectado a la red con factor de potencia unitario*. Mexico.
- Rescalvo, A., Jauregi, J. M., Prieto, O., & Prieto, C. (2014). *Unidad 2 rectificadores controlados y no controlados*. Manatlitlan.
- Rodríguez, A. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona: Marcombo.
- Rodriguez, J., Campos, I., Salas, P., & Vasquez, A. (Septiembre de 2005). Rectificadores Controlados. *Convertidor Trifasico CA-CD*, (pág. 7). Zacatecas. Recuperado el Junio de 2016
- Rojas, J. (2005). *universidad de sevilla*. Recuperado el 16 de julio de 2016, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/10963/fichero/Archivos%252F01+Red+de+Distribucion+de+Energia+Electrica.pdf>

- Salazar, E. (27 de agosto de 2013). *SlideShare*. Obtenido de Electronica de potencia: <https://es.slideshare.net/wiwiwatecke/presentacin1-25651634>
- Sanchez. (2014). *ELECTRONICA DISPOSITIVOS Y ALICACIONES*. QUITO.
- Sánchez, T. (2014). *Electronica Dispositivos Aplicaciones*. Quito.
- Siemens. (2015). Caja Moldeada. *Interruptores Automaticos de Caja Moldeada*, 192.
- Tapia, C., & Manzano, H. (2013). *Evaluacion de plataforma arduino e implementacion de control de posicion horizontal*. Guayaquil.
- Texas Instruments. (junio de 2018). LAUNCHXL-F28379D Overview. *LAUNCHXL-F28379D Overview*.
- Torres, C., Murillo, D., & Restrepo, C. (2008). Diseño y construccion de un inversor trifasico. 6.
- Torres, C., Murillo, D., & Restrepo, C. (28 de febrero de 2008). *Pereira-Colombia Patente nº ISSN: 0122-1701*. Recuperado el Lunes de Enero de 2017, de Guia Para Diseño de REdes Para Distribucion:  
<http://ftp.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2014/NORMAS%2OPARA%2OSISTEMAS%20DE%20DISTRIBUCION%2OPARTE%20A.pdf>
- Torres, F., & Villaseñor, E. (2013). *RECTIFICADORES CONTROLADOS*. Colima: FIME.
- Trujillo, F., Pozo, A., & Triviño, A. (2011). *Electronica de Potencia. definicion de un inversor*. Malaga: Commons Attribution-Non-Comercial-ShareAlike.
- Vanegas, M. d. (2016). *Mnatenimiento de Tableros Electricos de Baja de Tension en Subestaciones Electricas en la Planta de Tratamiento de Aguas y Aguas de Pereira*. Pereira.
- Vasquez, M. (2018). Rectificadores Monofasicos y Polifasicos. *Rectificadores Monofasicos y Polifasicos*, (pág. 25).
- Vernavá, A. (2004). *Electronica de Potencia. Conversion CC/CA*, (pág. 48).
- Vernavá, A. (2004). *Electronica de Potencia conversion CC/CA*. Rosario.
- Vernavà, A., Gibbons, R. N., & Novello, A. (2006). *Electronica de Potencia. Inversion CC/CA monofasica*, (pág. 27).
- Victron energy. (2005). *Trasformador de aislamiento. Victron energy*, 2.
- Vignoni. (2003). *Instrumentacion y Comunicacion Industrial*. Madrid.
- Wildi, t. (2007). *Maquinas Electricas y Sistemas de Potencia*. Mexico.

# Anexos

## Anexo A. Hojas de datos de elementos principales

Technische Information / Technical Information					
IGBT-Module IGBT-modules		<b>FF200R12KT4</b>			
62mm C-Serien Modul mit schnellem Trench/Feldstopp IGBT4 und optimierter Emitter Controlled Diode 62mm C-series module with fast trench/fieldstop IGBT4 and optimized Emitter Controlled diode					
<b>IGBT, Wechselrichter / IGBT, Inverter</b>		<b>Vorläufige Daten Preliminary Data</b>			
<b>Höchstzulässige Werte / Maximum Rated Values</b>					
Kollektor-Emitter-Sperrspannung Collector-emitter voltage	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$V_{CES}$	1200	V	
Kollektor-Dauerleichstrom Continuous DC collector current	$T_C = 100^{\circ}\text{C}, T_{vj\max} = 175^{\circ}\text{C}$ $T_C = 25^{\circ}\text{C}, T_{vj\max} = 175^{\circ}\text{C}$	$I_{C\text{nom}}$ $I_C$	200 320	A A	
Periodischer Kollektor-Spitzenstrom Repetitive peak collector current	$t_P = 1\text{ ms}$	$I_{CRM}$	400	A	
Gesamt-Verlustleistung Total power dissipation	$T_C = 25^{\circ}\text{C}, T_{vj\max} = 175^{\circ}\text{C}$	$P_{\text{tot}}$	1100	W	
Gate-Emitter-Spitzenspannung Gate-emitter peak voltage		$V_{GES}$	+/-20	V	
<b>Charakteristische Werte / Characteristic Values</b>					
			min.	typ.	max.
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 200\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}$ $I_C = 200\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}$ $I_C = 200\text{ A}, V_{GE} = 15\text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$V_{CE\text{sat}}$	1,75 2,05 2,10	2,15 V V V
Gate-Schwelligenspannung Gate threshold voltage	$I_C = 7,60\text{ mA}, V_{CE} = V_{GE}, T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$V_{GEth}$	5,2	5,8	6,4 V
Gateladung Gate charge	$V_{GE} = -15\text{ V} \dots +15\text{ V}$	$Q_G$	1,80		$\mu\text{C}$
Interner Gatewiderstand Internal gate resistor	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$R_{Gint}$	3,8		$\Omega$
Eingangskapazität Input capacitance	$f = 1\text{ MHz}, T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}, V_{CE} = 25\text{ V}, V_{GE} = 0\text{ V}$	$C_{ies}$	14,0		nF
Rückwirkungskapazität Reverse transfer capacitance	$f = 1\text{ MHz}, T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}, V_{CE} = 25\text{ V}, V_{GE} = 0\text{ V}$	$C_{res}$	0,50		nF
Kollektor-Emitter-Reststrom Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = 1200\text{ V}, V_{GE} = 0\text{ V}, T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$I_{CES}$			5,0 mA
Gate-Emitter-Reststrom Gate-emitter leakage current	$V_{CE} = 0\text{ V}, V_{GE} = 20\text{ V}, T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$I_{GES}$			400 nA
Einschaltverzögerungszeit, induktive Last Turn-on delay time, inductive load	$I_C = 200\text{ A}, V_{CE} = 600\text{ V}$ $V_{GE} = \pm 15\text{ V}$ $R_{Gon} = 2,4\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$t_{don}$	0,16 0,17 0,18	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
Anstiegszeit, induktive Last Rise time, inductive load	$I_C = 200\text{ A}, V_{CE} = 600\text{ V}$ $V_{GE} = \pm 15\text{ V}$ $R_{Gon} = 2,4\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$t_r$	0,04 0,045 0,50	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
Abschaltverzögerungszeit, induktive Last Turn-off delay time, inductive load	$I_C = 200\text{ A}, V_{CE} = 600\text{ V}$ $V_{GE} = \pm 15\text{ V}$ $R_{Goff} = 2,4\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$t_{doff}$	0,45 0,52 0,54	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
Fallzeit, induktive Last Fall time, inductive load	$I_C = 200\text{ A}, V_{CE} = 600\text{ V}$ $V_{GE} = \pm 15\text{ V}$ $R_{Goff} = 2,4\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$t_f$	0,10 0,16 0,16	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
Einschaltverlustenergie pro Puls Turn-on energy loss per pulse	$I_C = 200\text{ A}, V_{CE} = 600\text{ V}, L_S = 30\text{ nH}$ $V_{GE} = \pm 15\text{ V}, di/dt = 4000\text{ A}/\mu\text{s} (T_{vj} = 150^{\circ}\text{C})$ $R_{Gon} = 2,4\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$E_{on}$	10,0 15,0 17,0	mJ mJ mJ
Abschaltverlustenergie pro Puls Turn-off energy loss per pulse	$I_C = 200\text{ A}, V_{CE} = 600\text{ V}, L_S = 30\text{ nH}$ $V_{GE} = \pm 15\text{ V}, du/dt = 4500\text{ V}/\mu\text{s} (T_{vj} = 150^{\circ}\text{C})$ $R_{Goff} = 2,4\ \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$E_{off}$	14,0 20,0 23,0	mJ mJ mJ
Kurzschlußverhalten SC data	$V_{GE} \leq 15\text{ V}, V_{CC} = 900\text{ V}$ $V_{CE\text{max}} = V_{CES} - L_{SCE} \cdot di/dt$ $t_P \leq 10\ \mu\text{s}, T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$I_{SC}$	800		A
Wärmewiderstand, Chip bis Gehäuse Thermal resistance, junction to case	pro IGBT / per IGBT	$R_{thJC}$		0,135	K/W
Wärmewiderstand, Gehäuse bis Kühlkörper Thermal resistance, case to heatsink	pro IGBT / per IGBT $\lambda_{\text{Paste}} = 1\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ / $\lambda_{\text{grease}} = 1\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	$R_{thCH}$		0,034	K/W
Temperatur im Schaltbetrieb Temperature under switching conditions		$T_{vj\text{op}}$	-40	150	$^{\circ}\text{C}$
prepared by: MK	date of publication: 2013-11-04				
approved by: WR	revision: 2.0				

Technische Information / Technical Information

IGBT-Module  
IGBT-modules

FF200R12KT4



Vorläufige Daten  
Preliminary Data

Diode, Wechselrichter / Diode, Inverter

Höchstzulässige Werte / Maximum Rated Values

Periodische Spitzenspannung Repetitive peak reverse voltage	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	$V_{RRM}$	1200	V
Dauergleichstrom Continuous DC forward current		$I_F$	200	A
Periodischer Spitzenstrom Repetitive peak forward current	$t_p = 1 \text{ ms}$	$I_{FRM}$	400	A
Grenzlantintegral It - value	$V_R = 0 \text{ V}, t_p = 10 \text{ ms}, T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $V_R = 0 \text{ V}, t_p = 10 \text{ ms}, T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$I_t$	7800 7400	A <sup>2</sup> s A <sup>2</sup> s

Charakteristische Werte / Characteristic Values

			min.	typ.	max.	
Durchlassspannung Forward voltage	$I_F = 200 \text{ A}, V_{GE} = 0 \text{ V}$ $I_F = 200 \text{ A}, V_{GE} = 0 \text{ V}$ $I_F = 200 \text{ A}, V_{GE} = 0 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$V_F$	1,65 1,65 1,65	2,15	V V V
Rückstromspitze Peak reverse recovery current	$I_F = 200 \text{ A}, -di_F/dt = 4000 \text{ A}/\mu\text{s} (T_{vj}=150^{\circ}\text{C})$ $V_R = 600 \text{ V}$ $V_{GE} = -15 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$I_{RM}$	230 250 260		A A A
Sperrverzögerungsladung Recovered charge	$I_F = 200 \text{ A}, -di_F/dt = 4000 \text{ A}/\mu\text{s} (T_{vj}=150^{\circ}\text{C})$ $V_R = 600 \text{ V}$ $V_{GE} = -15 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$Q_r$	20,0 32,0 45,0		$\mu\text{C}$ $\mu\text{C}$ $\mu\text{C}$
Abschaltenergie pro Puls Reverse recovery energy	$I_F = 200 \text{ A}, -di_F/dt = 4000 \text{ A}/\mu\text{s} (T_{vj}=150^{\circ}\text{C})$ $V_R = 600 \text{ V}$ $V_{GE} = -15 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$E_{rec}$	9,00 16,0 17,5		mJ mJ mJ
Wärmewiderstand, Chip bis Gehäuse Thermal resistance, junction to case	pro Diode / per diode		$R_{thJC}$		0,20	K/W
Wärmewiderstand, Gehäuse bis Kühlkörper Thermal resistance, case to heatsink	pro Diode / per diode $\lambda_{paste} = 1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) / \lambda_{grease} = 1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$		$R_{thCH}$	0,05		K/W
Temperatur im Schaltbetrieb Temperature under switching conditions			$T_{vj,op}$	-40	150	$^{\circ}\text{C}$

prepared by: MK	date of publication: 2013-11-04
approved by: WR	revision: 2.0

Technische Information / Technical Information

IGBT-Module  
IGBT-modules

FF200R12KT4



Vorläufige Daten  
Preliminary Data

Modul / Module

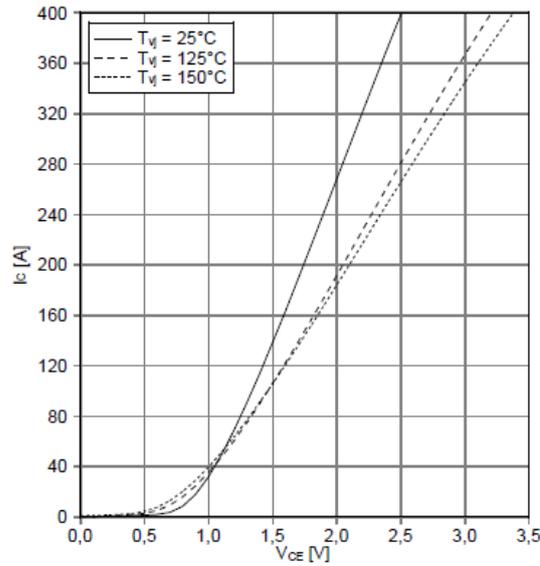
Isolations-Prüfspannung Isolation test voltage	RMS, f = 50 Hz, t = 1 min.	V <sub>ISOL</sub>	4,0	kV
Material Modulgrundplatte Material of module baseplate			Cu	
Innere Isolation Internal isolation	Basisisolierung (Schutzklasse 1, EN61140) basic insulation (class 1, IEC 61140)		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Kriechstrecke Creepage distance	Kontakt - Kühlkörper / terminal to heatsink Kontakt - Kontakt / terminal to terminal		29,0 23,0	mm
Luftstrecke Clearance	Kontakt - Kühlkörper / terminal to heatsink Kontakt - Kontakt / terminal to terminal		23,0 11,0	mm
Vergleichszahl der Kriechwegbildung Comperative tracking index		CTI	> 400	
			min. typ. max.	
Wärmewiderstand, Gehäuse bis Kühlkörper Thermal resistance, case to heatsink	pro Modul / per module $\lambda_{\text{paste}} = 1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)} / \lambda_{\text{grease}} = 1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	R <sub>THCH</sub>	0,01	K/W
Modulstreuintuktivität Stray inductance module		L <sub>SC</sub> E	20	nH
Modulleitungswiderstand, Anschlüsse - Chip Module lead resistance, terminals - chip	T <sub>C</sub> = 25°C, pro Schalter / per switch	R <sub>CC+EE</sub>	0,70	mΩ
Lagertemperatur Storage temperature		T <sub>stg</sub>	-40	125 °C
Anzugsdrehmoment f. Modulmontage Mounting torque for modul mounting	Schraube M6 - Montage gem. gültiger Applikationsschrift Screw M6 - Mounting according to valid application note	M	3,00	- 6,00 Nm
Anzugsdrehmoment f. elektr. Anschlüsse Terminal connection torque	Schraube M6 - Montage gem. gültiger Applikationsschrift Screw M6 - Mounting according to valid application note	M	2,5	- 5,0 Nm
Gewicht Weight		G	340	g

prepared by: MK	date of publication: 2013-11-04
approved by: WR	revision: 2.0

Vorläufige Daten  
Preliminary Data

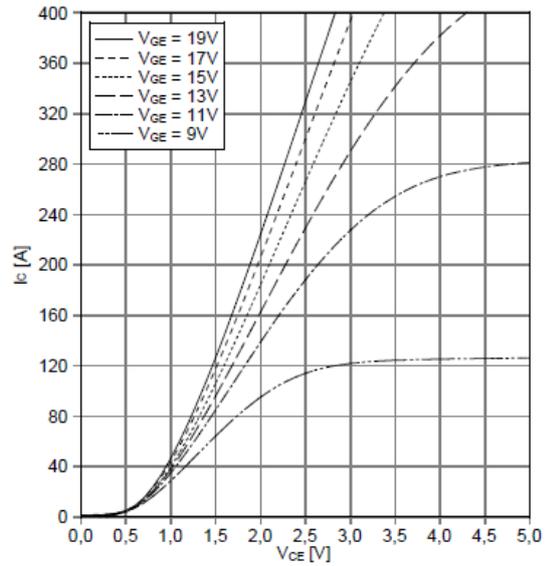
Ausgangskennlinie IGBT, Wechselrichter (typisch)  
output characteristic IGBT, Inverter (typical)

$I_c = f(V_{CE})$   
 $V_{GE} = 15\text{ V}$



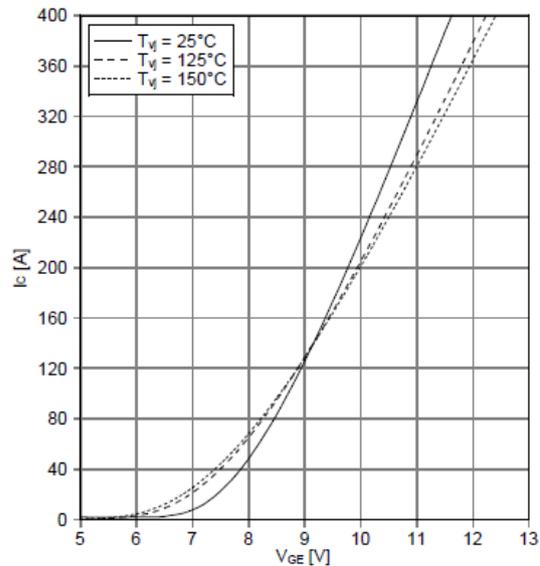
Ausgangskennlinienfeld IGBT, Wechselrichter (typisch)  
output characteristic IGBT, Inverter (typical)

$I_c = f(V_{CE})$   
 $T_j = 150^\circ\text{C}$



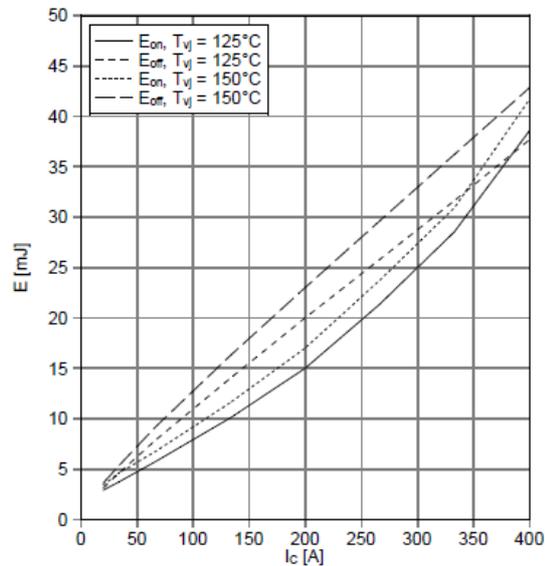
Übertragungscharakteristik IGBT, Wechselrichter (typisch)  
transfer characteristic IGBT, Inverter (typical)

$I_c = f(V_{GE})$   
 $V_{CE} = 20\text{ V}$



Schaltverluste IGBT, Wechselrichter (typisch)  
switching losses IGBT, Inverter (typical)

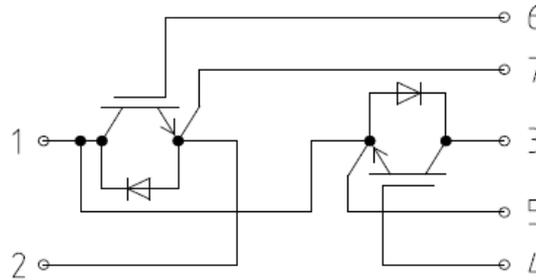
$E_{on} = f(I_c)$ ,  $E_{off} = f(I_c)$   
 $V_{GE} = \pm 15\text{ V}$ ,  $R_{Gon} = 2.4\ \Omega$ ,  $R_{Goff} = 2.4\ \Omega$ ,  $V_{CE} = 600\text{ V}$



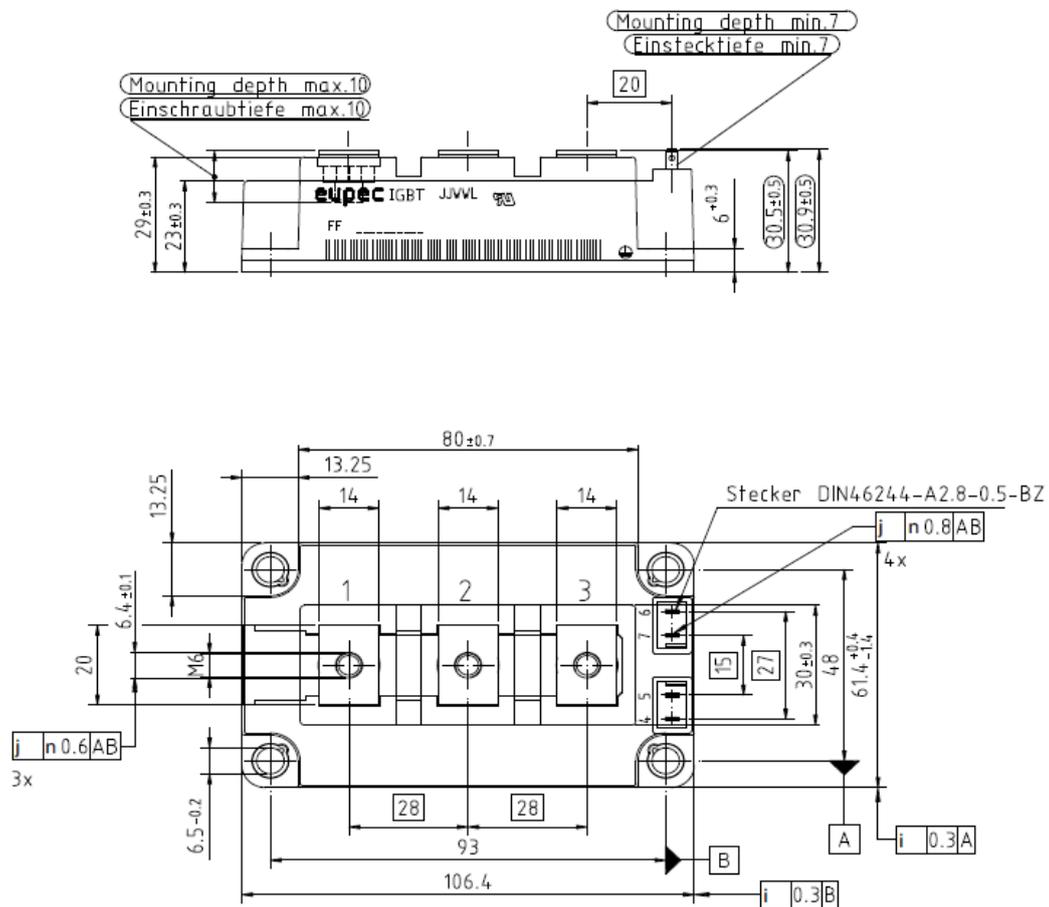
prepared by: MK	date of publication: 2013-11-04
approved by: WR	revision: 2.0

Vorläufige Daten  
Preliminary Data

Schaltplan / circuit\_diagram\_headline



Gehäuseabmessungen / package outlines



Freimaßtoleranzen nach ISO2768 mH      General tolerance ISO2768 mH

✱24

prepared by: MK	date of publication: 2013-11-04
approved by: WR	revision: 2.0

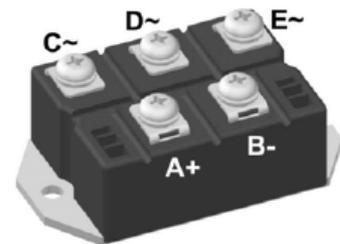
## Standard Rectifier Module

<b>3~ Rectifier</b>	
$V_{RRM}$	= 1200 V
$I_{DAV}$	= 175 A
$I_{FSM}$	= 1800 A

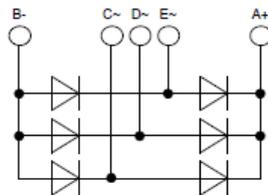
### 3~ Rectifier Bridge

Part number

VUO160-12NO7



E72873



#### Features / Advantages:

- Package with DCB ceramic
- Improved temperature and power cycling
- Planar passivated chips
- Very low forward voltage drop
- Very low leakage current

#### Applications:

- Diode for main rectification
- For three phase bridge configurations
- Supplies for DC power equipment
- Input rectifiers for PWM inverter
- Battery DC power supplies
- Field supply for DC motors

#### Package: PWS-E

- Industry standard outline
- RoHS compliant
- Easy to mount with two screws
- Base plate: Copper internally DCB isolated
- Advanced power cycling

Rectifier				Ratings			
Symbol	Definition	Conditions		min.	typ.	max.	Unit
$V_{RSM}$	max. non-repetitive reverse blocking voltage					1300	V
$V_{RRM}$	max. repetitive reverse blocking voltage					1200	V
$I_R$	reverse current	$V_R = 1200$ V	$T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$			200	$\mu\text{A}$
		$V_R = 1200$ V	$T_{VJ} = 150^\circ\text{C}$			2	mA
$V_F$	forward voltage drop	$I_F = 60$ A	$T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$			1.10	V
		$I_F = 180$ A				1.40	V
		$I_F = 60$ A	$T_{VJ} = 125^\circ\text{C}$			1.00	V
		$I_F = 180$ A				1.39	V
$I_{DAV}$	bridge output current	$T_c = 110^\circ\text{C}$ rectangular $d = 1/5$	$T_{VJ} = 150^\circ\text{C}$			175	A
$V_{FO}$	threshold voltage	} for power loss calculation only				0.77	V
$r_F$	slope resistance					3.4	m $\Omega$
$R_{thJC}$	thermal resistance junction to case					0.5	K/W
$R_{thCH}$	thermal resistance case to heatsink				0.2		K/W
$P_{tot}$	total power dissipation			$T_c = 25^\circ\text{C}$		250	W
$I_{FSM}$	max. forward surge current	$t = 10$ ms; (50 Hz), sine	$T_{VJ} = 45^\circ\text{C}$			1.80	kA
		$t = 8,3$ ms; (60 Hz), sine	$V_R = 0$ V			1.95	kA
		$t = 10$ ms; (50 Hz), sine	$T_{VJ} = 150^\circ\text{C}$			1.53	kA
		$t = 8,3$ ms; (60 Hz), sine	$V_R = 0$ V			1.65	kA
$I^2t$	value for fusing	$t = 10$ ms; (50 Hz), sine	$T_{VJ} = 45^\circ\text{C}$			16.2	kA <sup>2</sup> s
		$t = 8,3$ ms; (60 Hz), sine	$V_R = 0$ V			15.7	kA <sup>2</sup> s
		$t = 10$ ms; (50 Hz), sine	$T_{VJ} = 150^\circ\text{C}$			11.7	kA <sup>2</sup> s
		$t = 8,3$ ms; (60 Hz), sine	$V_R = 0$ V			11.3	kA <sup>2</sup> s
$C_J$	junction capacitance	$V_R = 400$ V; $f = 1$ MHz	$T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$		35		pF

Package PWS-E				Ratings			
Symbol	Definition	Conditions		min.	typ.	max.	Unit
$I_{RMS}$	RMS current	per terminal				200	A
$T_{stg}$	storage temperature			-40		125	$^\circ\text{C}$
$T_{VJ}$	virtual junction temperature			-40		150	$^\circ\text{C}$
<b>Weight</b>					284		g
$M_D$	mounting torque			4.25		5.75	Nm
$M_T$	terminal torque			4.25		5.75	Nm
$d_{spp/APP}$	creepage distance on surface   striking distance through air	terminal to terminal		12.0			mm
$d_{spb/APb}$		terminal to backside		26.0			mm
$V_{ISOL}$	isolation voltage	$t = 1$ second	50/60 Hz, RMS; $I_{ISOL} \leq 1$ mA	3000			V
		$t = 1$ minute		2500			V

**Rectifier**

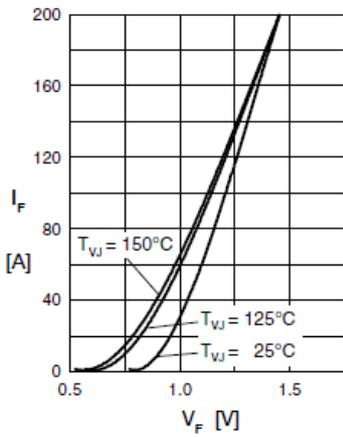


Fig. 1 Forward current vs. voltage drop per diode

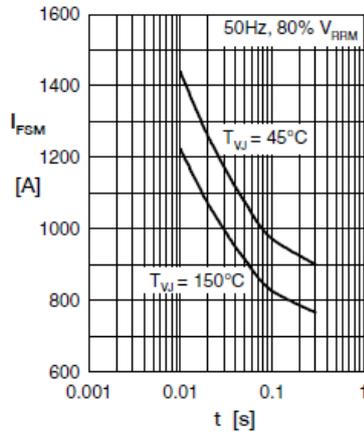


Fig. 2 Surge overload current vs. time per diode

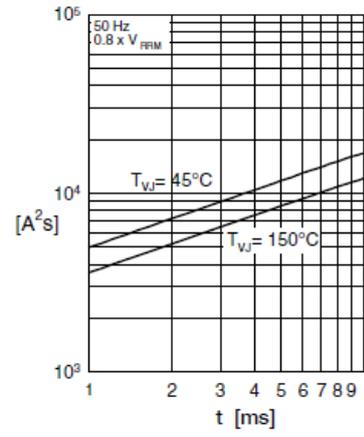


Fig. 3  $I^2t$  vs. time per diode

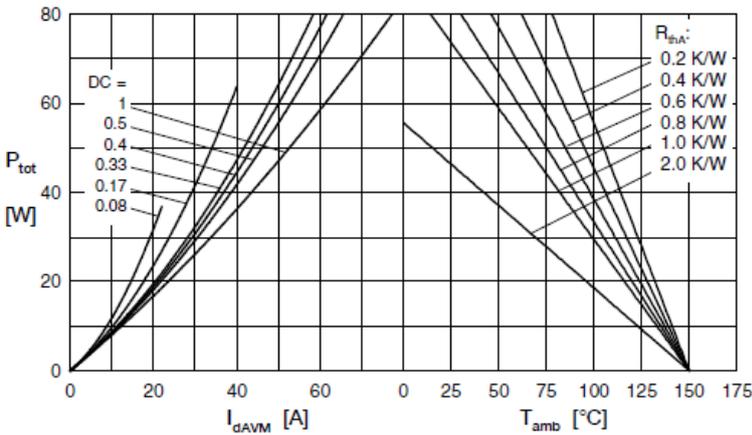


Fig. 4 Power dissipation vs. forward current and ambient temperature per diode

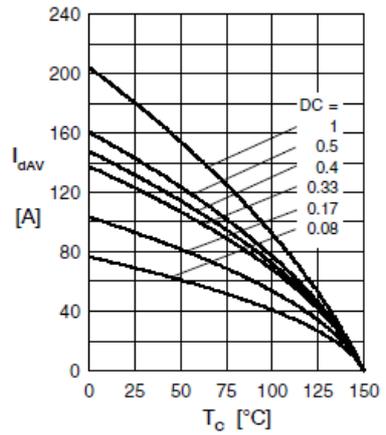


Fig. 5 Max. forward current vs. case temperature per diode

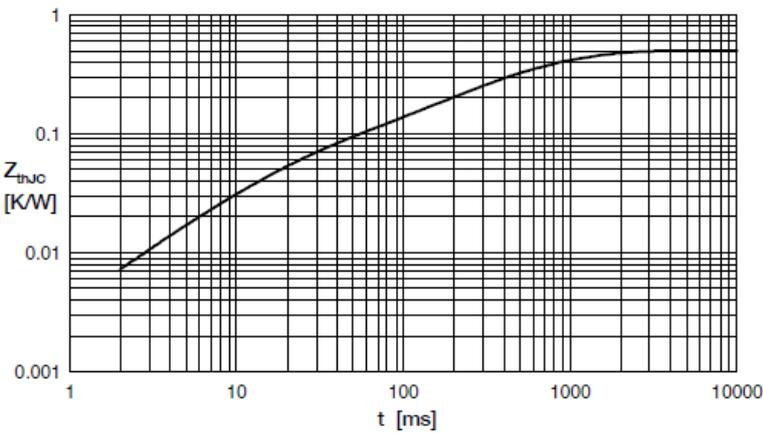


Fig. 6 Transient thermal impedance junction to case vs. time per diode

$R_i$	$t_i$
0.050	0.02
0.003	0.01
0.120	0.225
0.217	0.8
0.110	0.58



# ACPL-332J

2.5 Amp Output Current IGBT Gate Driver Optocoupler with Integrated ( $V_{CE}$ ) Desaturation Detection, UVLO Fault Status Feedback and Active Miller Clamping



## Data Sheet

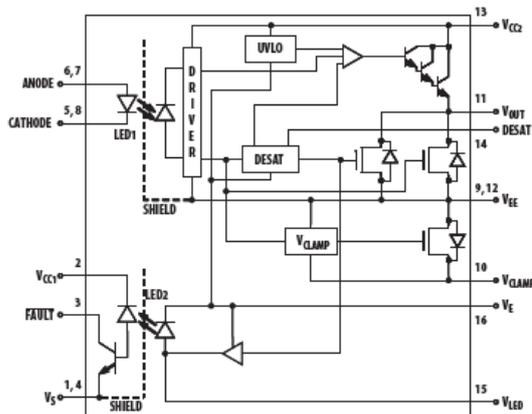


### Description

The ACPL-332J is an advanced 2.5 A output current, easy-to-use, intelligent gate driver which makes IGBT  $V_{CE}$  fault protection compact, affordable, and easy-to implement. Features such as integrated  $V_{CE}$  detection, under voltage lockout (UVLO), "soft" IGBT turn-off, isolated open collector fault feedback and active Miller clamping provide maximum design flexibility and circuit protection.

The ACPL-332J contains a AlGaAs LED. The LED is optically coupled to an integrated circuit with a power output stage. ACPL-332J is ideally suited for driving power IGBTs and MOSFETs used in motor control inverter applications. The voltage and current supplied by these optocouplers make them ideally suited for directly driving IGBTs with ratings up to 1200 V and 150 A. For IGBTs with higher ratings, the ACPL-332J can be used to drive a discrete power stage which drives the IGBT gate. The ACPL-332J has an insulation voltage of  $V_{IORM} = 1414 V_{PEAK}$ .

### Block Diagram



### Features

- Under Voltage Lock-Out Protection (UVLO) with Hysteresis
- Desaturation Detection
- Miller Clamping
- Open Collector Isolated fault feedback
- "Soft" IGBT Turn-off
- Fault Reset by next LED turn-on (low to high) after fault mute period
- Available in SO-16 package
- Safety approvals: UL approved, 5000  $V_{RMS}$  for 1 minute, CSA approved, IEC/EN/DIN-EN 60747-5-5 approved  $V_{IORM} = 1414 V_{PEAK}$

### Specifications

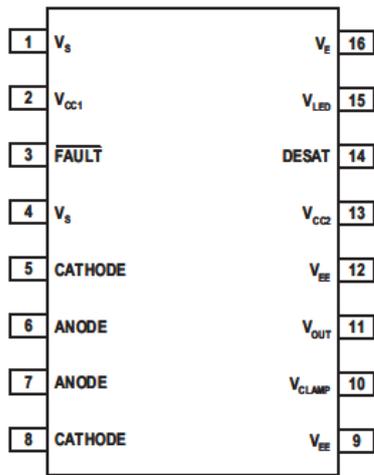
- 2.5 A maximum peak output current
- 2.0 A minimum peak output current
- 250 ns maximum propagation delay over temperature range
- 100 ns maximum pulse width distortion (PWD)
- 50  $kV/\mu s$  minimum common mode rejection (CMR) at  $V_{CM} = 1500 V$
- $I_{CC(max)} < 5 mA$  maximum supply current
- Wide  $V_{CC}$  operating range: 15 V to 30 V over temperature range
- 1.7 A Miller Clamp. Clamp pin short to  $V_{EE}$  if not used
- Wide operating temperature range:  $-40^{\circ}C$  to  $105^{\circ}C$

### Applications

- Isolated IGBT/Power MOSFET gate drive
- AC and brushless DC motor drives
- Industrial inverters and Uninterruptible Power Supply (UPS)

**CAUTION:** It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD. The components featured in this datasheet are not to be used in military or aerospace applications or environments.

## Pin Description



Pin	Symbol	Description
1	$V_S$	Input Ground
2	$V_{CC1}$	Positive input supply voltage. (3.3 V to 5.5 V)
3	$\overline{FAULT}$	Fault output. $\overline{FAULT}$ changes from a high impedance state to a logic low output within 5 $\mu$ s of the voltage on the DESAT pin exceeding an internal reference voltage of 7 V. $\overline{FAULT}$ output is an open collector which allows the $\overline{FAULT}$ outputs from all ACPL-332J in a circuit to be connected together in a "wired OR" forming a single fault bus for interfacing directly to the micro-controller.
4	$V_S$	Input Ground
5	CATHODE	Cathode
6	ANODE	Anode
7	ANODE	Anode
8	CATHODE	Cathode
9	$V_{EE}$	Output supply voltage.
10	$V_{CLAMP}$	Miller clamp
11	$V_{OUT}$	Gate drive voltage output
12	$V_{EE}$	Output supply voltage.
13	$V_{CC2}$	Positive output supply voltage
14	DESAT	Desaturation voltage input. When the voltage on DESAT exceeds an internal reference voltage of 6.5 V while the IGBT is on, $\overline{FAULT}$ output is changed from a high impedance state to a logic low state within 5 $\mu$ s.
15	$V_{LED}$	LED anode. This pin must be left unconnected for guaranteed data sheet performance. (For optical coupling testing only)
16	$V_E$	Common (IGBT emitter) output supply voltage.

## Ordering Information

ACPL-332J is UL Recognized with 5000 Vrms for 1 minute per UL1577.

Part number	Option	Package	Surface Mount	Tape & Reel	IEC/EN/DIN EN	
	RoHS Compliant				60747-5-5	Quantity
ACPL-332J	-000E	SO-16	X		X	45 per tube
	-500E				X	850 per reel

To order, choose a part number from the part number column and combine with the desired option from the option column to form an order entry.

Example 1:

ACPL-332J-500E to order product of SO-16 Surface Mount package in Tape and Reel packaging with IEC/EN/DIN EN 60747-5-5 Safety Approval in RoHS compliant.

Example 2:

ACPL-332J-000E to order product of SO-16 Surface Mount package in tube packaging with IEC/EN/DIN EN 60747-5-5 Safety Approval and RoHS compliant.

Option datasheets are available. Contact your Avago sales representative or authorized distributor for information.

Remarks: The notation '#XXX' is used for existing products, while (new) products launched since 15th July 2001 and RoHS compliant option will use '-XXxE'.



## FEATURES

- Efficiency to 79%
- Wide temperature performance at full 1 Watt load, -40°C to 85°C
- Single or dual output
- UL 60950 recognised for functional insulation
- Industry standard pinout
- Power sharing on dual output
- 3kVDC isolation (1 minute) 'Hi-Pot Test'
- 5V, 12V, & 15V input
- 5V, 9V, 12V and 15V output
- Internal SMD construction
- No external components required
- MTTF up to 4.2 million hours
- No electrolytic or tantalum capacitors
- Pin compatible with MEV1, MEV3 & NMK series

## PRODUCT OVERVIEW

The NMV series of industrial temperature range DC/DC converters are the standard building blocks for on-board distributed power systems. They are ideally suited for providing local supplies on control system boards with the added benefit of 3kVDC galvanic isolation to reduce switching noise. Available in SIP and DIP with dual and single output pinout. All of the rated power may be drawn from a single pin provided the total load does not exceed 1 watt.

## SELECTION GUIDE

Order Code	Nominal Input Voltage	Output Voltage	Output Current	Input Current at Rated Load	Load Regulation (Typ)	Load Regulation (Max)	Ripple & Noise (Typ)	Ripple & Noise (Max)	Efficiency	Isolation Capacitance	MTTF <sup>1</sup>	Package Style
	V	V	mA	mA	%	%	mVp-p	mVp-p	%	pF	kHrs	
NMV0505DAC	5	5	200	294	14.6	15	15	17	68	23	4241	DIP
NMV0509DAC	5	9	111	267	9.3	10	11.3	15	75	30	3376	
NMV0512DAC	5	12	84	260	7.4	8.0	10.5	16	77	26	2555	
NMV0515DAC	5	15	67	256	6.7	7.3	8.7	11	78	27	1838	SIP
NMV0505SAC	5	5	200	294	14.6	15	16	23	68	23	4241	
NMV0509SAC	5	9	111	267	9.3	10	12	15	75	30	3376	
NMV0512SAC	5	12	84	260	7.4	8.0	11	15	77	26	2555	DIP
NMV0515SAC	5	15	67	256	6.7	7.3	11	14	78	27	1838	
NMV1205DAC	12	5	200	121	14.6	15	9.5	14	69	26	2664	
NMV1209DAC	12	9	111	113	9.3	10	7	8.5	74	35	2295	DIP
NMV1212DAC	12	12	84	108	7.4	8.0	8	19	77	43	1883	
NMV1215DAC	12	15	67	108	6.7	7.3	8	17	77	42	1462	
NMV1205SAC	12	5	200	121	14.6	15	11	16	69	26	2664	SIP
NMV1209SAC	12	9	111	113	9.3	10	7.5	14	74	35	2295	
NMV1212SAC	12	12	84	108	7.4	8.0	9	22	77	43	1883	
NMV1215SAC	12	15	67	108	6.7	7.3	8.5	17	77	42	1462	DIP
NMV1505SAC	15	5	200	93	8.3	10	15.5	17	67	21	2747	
NMV1512SAC	15	12	84	85	3.3	4.0	11.2	14	75	45	1365	
NMV1515SAC	15	15	67	84	2.8	4.0	11	13	77	50	941	SIP
NMV0505DC	5	±5	±100	280	9.0	10	11	14	71.5	21	3106	
NMV0509DC	5	±9	±55	263	7.5	8.5	7.5	9	76	24	2258	
NMV0512DC	5	±12	±42	256	6.8	7.5	6.7	9	78	26	1579	
NMV0515DC	5	±15	±33	253	6.8	8.5	6	9	79	27	1065	
NMV0505SC	5	±5	±100	280	9.0	10	11	17	71.5	21	3106	SIP
NMV0509SC	5	±9	±55	263	7.5	8.5	7	9.4	76	24	2258	
NMV0512SC	5	±12	±42	256	6.8	7.5	6.7	8	78	26	1579	
NMV0515SC	5	±15	±33	253	6.8	8.5	6.3	8.2	79	27	1065	DIP
NMV1205DC	12	±5	±100	117	9.0	10	8.6	12	71	27	2148	
NMV1209DC	12	±9	±55	113	7.5	8.5	6.5	9	74	35	1705	
NMV1212DC	12	±12	±42	111	6.8	7.5	6.2	8.5	75	42	1287	SIP
NMV1215DC	12	±15	±33	110	6.8	8.5	5.5	8	76	41	924	
NMV1205SC	12	±5	±100	117	9.0	10	10	13	71	27	2148	
NMV1209SC	12	±9	±55	113	7.5	8.5	8	11	74	35	1705	DIP
NMV1212SC	12	±12	±42	111	6.8	7.5	6	10	75	42	1287	
NMV1215SC	12	±15	±33	110	6.8	8.5	6.5	13	76	41	924	
NMV1505SC	15	±5	±100	91	5.5	10	11	12	69	39	1941	SIP
NMV1512SC	15	±12	±42	87	2.6	3.0	7.5	9	75	68	789	
NMV1515SC	15	±15	±33	84	2.3	3.0	7.5	9	77	84	522	

## INPUT CHARACTERISTICS

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Voltage range	Continuous operation, 5V input types	4.5	5	5.5	V
	Continuous operation, 12V input types	10.8	12	13.2	
	Continuous operation, 15V input types	13.5	15	16.5	
Reflected ripple current			20	40	mA p-p

1. Calculated using MIL-HDBK-217F with nominal input voltage at full load.

All specifications typical at T<sub>a</sub>=25°C, nominal input voltage and rated output current unless otherwise specified.



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Lead temperature 1.5mm from case for 10 seconds	260°C
Input voltage $V_{IN}$ , NMV05 types	7V
Input voltage $V_{IN}$ , NMV12 types	15V
Input voltage $V_{IN}$ , NMV15 types	18V

**OUTPUT CHARACTERISTICS**

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Rated Power	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $120^\circ\text{C}$ , see derating graph			1	W
Voltage Set Point Accuracy	See tolerance envelope				
Line regulation	High $V_{IN}$ to low $V_{IN}$		1.0	1.2	%/%

**ISOLATION CHARACTERISTICS**

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Isolation test voltage	Flash tested for 1 minute	3000			VDC
Resistance	Viso= 1000VDC	10			GΩ

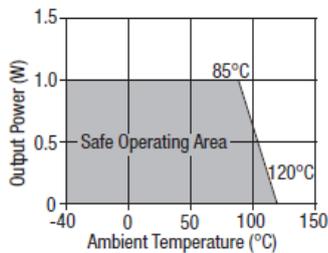
**GENERAL CHARACTERISTICS**

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Switching frequency	5V input types		120	135	kHz
	12V input types		150	170	
	15V input types		90	110	

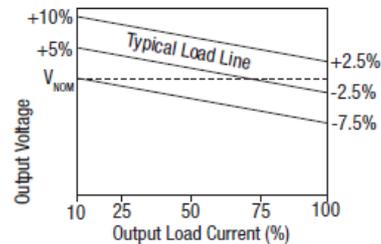
**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Specification	All output types	-40		85	°C
Storage		-50		125	
Case Temperature above ambient	5V output types All other output types			28 25	
Cooling	Free air convection				

**TEMPERATURE DERATING GRAPH**



**TOLERANCE ENVELOPE**



The voltage tolerance envelope shows typical load regulation characteristics for this product series. The tolerance envelope is the maximum output voltage variation due to changes in output loading.

**RoHS COMPLIANCE INFORMATION**

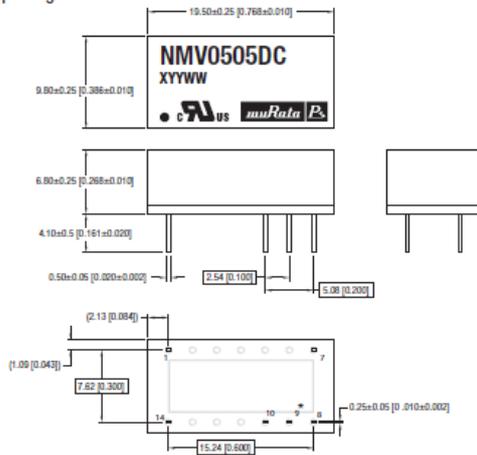


This series is compatible with RoHS soldering systems with a peak wave solder temperature of 260°C for 10 seconds. The pin termination finish on the SIP package type is Tin Plate, Hot Dipped over Matte Tin with Nickel Preplate. The DIP types are Matte Tin over Nickel Preplate. Both types in this series are backward compatible with Sn/Pb soldering systems. For further information, please visit [www.murata-ps.com/rohs](http://www.murata-ps.com/rohs)

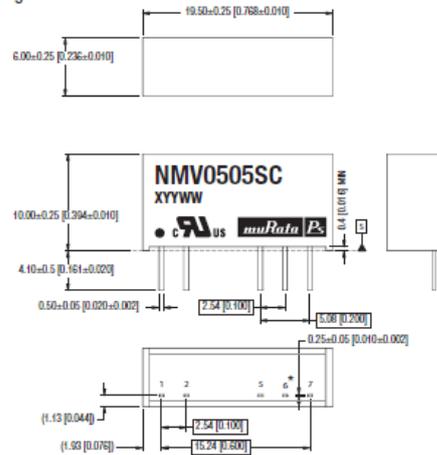
**PACKAGE SPECIFICATIONS**

**MECHANICAL DIMENSIONS**

**DIP package**



**SIP package**



\* Pin not fitted on single output variants.  
All dimensions in mm (inches) Controlling dimension is mm.  
All pins on a 2.54 (0.100) pitch and within ±0.1 (0.004) of true position from pin 1 at seating plane 'S'

Weight: 2.4g (DIP) 2.1g (SIP)

**PIN CONNECTIONS**

**Single output variants**

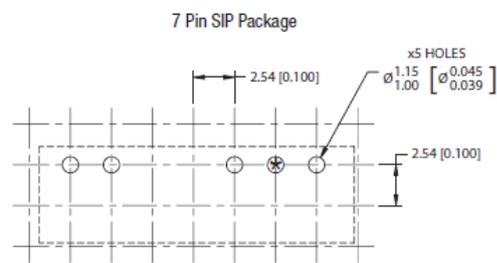
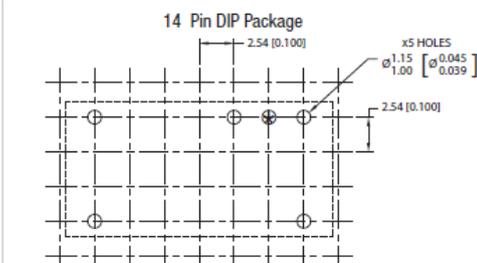
14 Pin DIP		7 Pin SIP	
Pin	Function	Pin	Function
1	-V <sub>IN</sub>	1	+V <sub>IN</sub>
7	NC	2	-V <sub>IN</sub>
8	+V <sub>OUT</sub>	5	-V <sub>OUT</sub>
10	-V <sub>OUT</sub>	7	+V <sub>OUT</sub>
14	+V <sub>IN</sub>		

**Dual output variants**

14 Pin DIP		7 Pin SIP	
Pin	Function	Pin	Function
1	-V <sub>IN</sub>	1	+V <sub>IN</sub>
7	NC	2	-V <sub>IN</sub>
8	+V <sub>OUT</sub>	5	-V <sub>OUT</sub>
9	OV	6	OV
10	-V <sub>OUT</sub>	7	+V <sub>OUT</sub>
14	+V <sub>IN</sub>		

**PACKAGE SPECIFICATIONS (continued)**

**RECOMMENDED FOOTPRINT DETAILS**



\*Hole not required for single output variants.

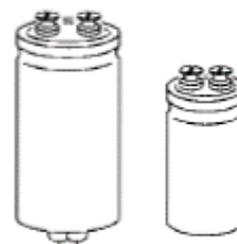
## Capacitors with Screw Terminals LL Grade

**B 41 564, B 41 584  
B 43 564, B 43 584**

**For professional current converter technology  
Voltage ratings up to 500 Vdc**

### Construction

- Charge-discharge proof, polar
- Aluminum case with insulating sleeve
- Poles with screw terminal connections
- Mounting with ring clips or threaded stud
- The bases of types with threaded stud and  $d \leq 76,9$  mm are not insulated, types with  $d = 91$  mm have fully insulated bases



KAL0272-T

B 41 584 B 41 564  
B 43 584 B 43 564

### Features

- High reliability
- Extremely good electrical characteristics and small dimensions
- High ripple current capability
- All-welded construction ensures reliable electrical contact

### Applications

- General industrial electronics
- For switch-mode power supplies in professional equipment
- For intermediate circuits in converters

### Specifications and characteristics in brief

	B 41 564, B 41 584	B 43 564, B 43 584
Rated voltage $V_R$	16 ... 100 Vdc	160 ... 500 Vdc
Surge voltage $V_S$	$1,15 \cdot V_R$	$1,15 \cdot V_R$ (for $V_R \leq 250$ Vdc) $1,1 \cdot V_R$ (for $V_R \geq 350$ Vdc)
Rated capacitance $C_R$	1000 ... 220 000 $\mu\text{F}$	100 ... 22 000 $\mu\text{F}$
Capacitance tolerance	$-10/+30\% \triangleq Q$	$\pm 20\% \triangleq M$
Service life <sup>1)</sup>		
40 °C, $V_R$	$> 200\,000$ h ( $1,8 \cdot I_{ACR,85^\circ\text{C}}$ )	$> 200\,000$ h ( $1,6 \cdot I_{ACR,85^\circ\text{C}}$ )
85 °C, $V_R, I_{ACR}$	$> 8\,000$ h	$> 15\,000$ h
Fraction failure	$\leq 0,5\%$ (during the service life)	$\leq 1\%$ (during the service life)
Failure rate	$\leq 20$ fit ( $\leq 20 \cdot 10^{-9}/\text{h}$ )	$\leq 40$ fit ( $\leq 40 \cdot 10^{-9}/\text{h}$ )
Voltage endurance test	2000 h, 85 °C (at $V_R, I_{ACR}$ )	2000 h, 85 °C (at $V_R, I_{ACR}$ )



**B 41 584, B 41 584**  
**B 43 584, B 43 584**

Leakage current $I_{lka}$ (5 min, 20 °C)	$1000 \mu\text{C} \leq C_R \cdot V_R < 470\,000 \mu\text{C}$ : $I_{lka} \leq 0,006 \mu\text{A} \cdot \left( \frac{C_R}{\mu\text{F}} \cdot \frac{V_R}{\text{V}} \right) + 4 \mu\text{A}$ $C_R \cdot V_R \geq 470\,000 \mu\text{C}$ : $I_{lka} \leq 0,3 \mu\text{A} \cdot \left( \frac{C_R}{\mu\text{F}} \cdot \frac{V_R}{\text{V}} \right)^{0,7} + 4 \mu\text{A}$
Self-inductance $ESL$	approx. 20 nH
IEC climatic category	In accordance with IEC 68-1 $\leq 100 \text{ Vdc}$ : 40/085/56 (-40 °C/+85 °C) $\geq 160 \text{ Vdc}$ : 25/085/56 (-25 °C/+85 °C)
Detail specifications	similar to CECC 30 301-803, CECC 301-807, CECC 30 301-046 similar to DIN 45 910 part 128
Sectional specifications	IEC 384-4 DIN 45 910 part 12
Vibration resistance	in accordance with IEC 68-2-6, test Fc: displacement amplitude 0,75 mm, frequency range 10 ... 55 Hz, acceleration max. 10 g, duration 3 x 2 h

Due to the current load capability of the contact elements, the following current limits must not be exceeded, even if the frequency and temperature factors have been taken into account:

Capacitor diameter	$\leq 51,6 \text{ mm}$	64,3 mm	76,9 mm	91,0 mm
Maximum current	30 A	40 A	50 A	60 A

#### Accessories

The following items are included in the delivery package, but are not fastened to the capacitors:

	Thread	Toothed washers	Screws/nuts	Maximum torque
For terminals	M 5	A 5,1 DIN 6797	Cylinder-head screw M 5 x 8 DIN 84-4.8	2 Nm
	M 6	A 6,4 DIN 6797	Cylinder-head screw M 6 x 12 DIN 85-4.8	2,5 Nm
For mounting	M 8	J 8,2 DIN 6797	Hex nut BM 8 DIN 439	4 Nm
	M 12	J 12,5 DIN 6797	Hex nut BM 12 DIN 439	10 Nm

The following must be ordered separately:

Ring clips      B 44 030 (cf. page 125)  
 Insulating parts    B 44 020 (cf. page 122)

# SN54LS540, SN54LS541, SN74LS540, SN74LS541 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

SDLS180 - AUGUST 1979 - REVISED MARCH 1988

- 3-State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- P-N-P Inputs Reduce D-C Loading
- Hysteresis at Inputs Improves Noise Margins
- Data Flow-thru Pinout (All Inputs on Opposite Side from Outputs)

## description

These octal buffers and line drivers are designed to have the performance of the popular SN54LS240/SN74LS240 series and, at the same time, offer a pinout having the inputs and outputs on opposite sides of the package. This arrangement greatly enhances printed circuit board layout.

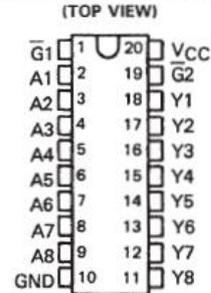
The three-state control gate is a 2-input NOR such that if either  $\overline{G1}$  or  $\overline{G2}$  are high, all eight outputs are in the high-impedance state.

The 'LS540 offers inverting data and the 'LS541 offers true data at the outputs.

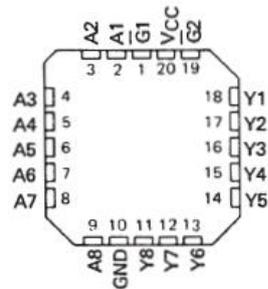
The SN54LS540 and SN54LS541 are characterized for operation over the full military temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ . The SN74LS540 and SN74LS541 are characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ .

TYPE	RATED $I_{OL}$ (SINK CURRENT)	RATED $I_{OH}$ (SOURCE CURRENT)	TYPICAL POWER DISSIPATION (ENABLED)	
			'LS540	'LS541
SN54LS'	12 mA	-12 mA	92.5 mW	120 mW
SN74LS'	24 mA	-15 mA	92.5 mW	120 mW

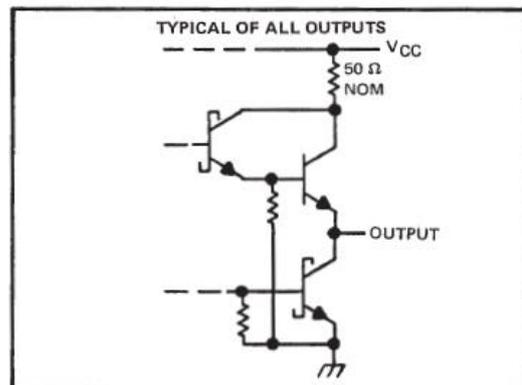
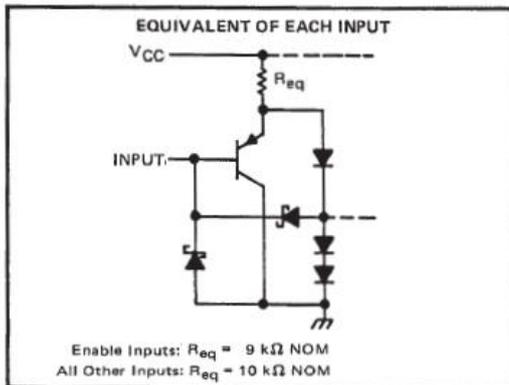
SN54LS540, SN54LS541 . . . J OR W PACKAGE  
SN74LS540, SN74LS541 . . . DW OR N PACKAGE



SN54LS540, SN54LS541 . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



## schematics of inputs and outputs



PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS  
INSTRUMENTS**  
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

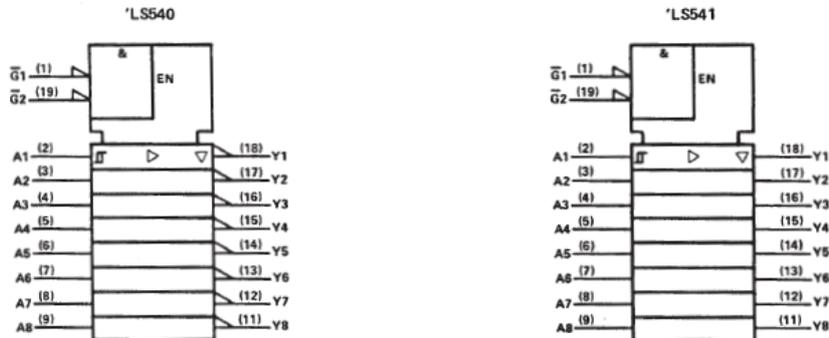
Copyright © 1988, Texas Instruments Incorporated

1

**SN54LS540, SN54LS541, SN74LS540, SN74LS541**  
**OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS**  
**WITH 3-STATE OUTPUTS**

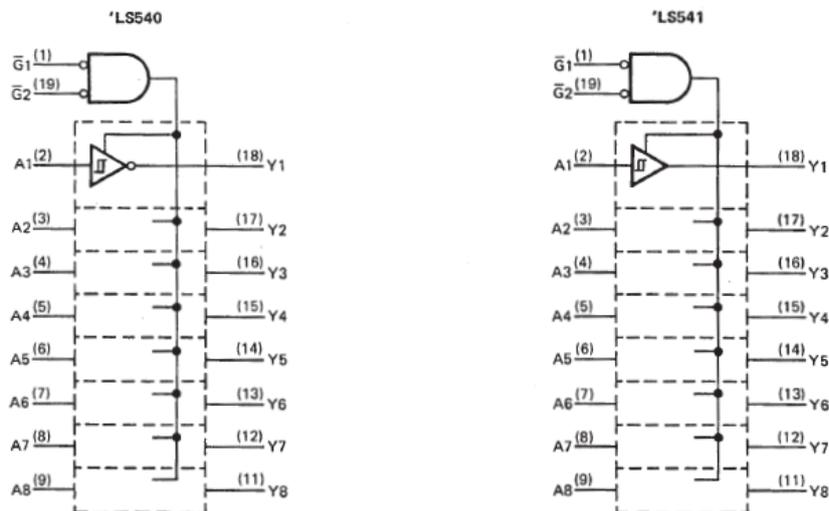
SDLS180 - AUGUST 1979 - REVISED MARCH 1988

logic symbols†



† These symbols are in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

logic diagram (positive logic)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1) .....	7 V
Input voltage .....	7 V
Operating free-air temperature range: SN54LS540, SN54LS541 .....	-55°C to 125°C
SN74LS540, SN74LS541 .....	0°C to 70°C
Storage temperature range .....	-65°C to 150°C

NOTE 1: Voltage values are with respect to the network ground terminal.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**SN54LS540, SN54LS541, SN74LS540, SN74LS541**  
**OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS**  
**WITH 3-STATE OUTPUTS**

SDLS180 – AUGUST 1979 – REVISED MARCH 1988

**recommended operating conditions**

PARAMETER	SN54LS'			SN74LS'			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1)	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, $I_{OH}$			-12			-15	mA
Low-level output current, $I_{OL}$			12			24	mA
Operating free-air temperature, $T_A$	-55		125	0		70	°C

NOTE 1: Voltage values are with respect to network ground terminal.

**electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	SN54LS'			SN74LS'			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	MIN	TYP‡	MAX	
$V_{IH}$ High-level input voltage		2			2			V
$V_{IL}$ Low-level input voltage				0.6			0.6	V
$V_{IK}$ Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5			-1.5	V
Hysteresis ( $V_{T+} - V_{T-}$ )	$V_{CC} = \text{MIN}$	0.2	0.4		0.2	0.4		V
$V_{OH}$ High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, V_{IL} = V_{IL \text{ max}}, I_{OH} = -3 \text{ mA}$	2.4	3.4		2.4	3.4		V
	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, V_{IL} = 0.5 \text{ V}, I_{OH} = \text{MAX}$	2			2			
$V_{OL}$ Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, I_{OL} = 12 \text{ mA}$		0.25	0.4		0.25	0.4	V
	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, V_{IL} = V_{IL \text{ max}}, I_{OL} = 24 \text{ mA}$					0.35	0.5	
$I_{OZH}$ Off-state output current, high-level voltage applied	$V_{CC} = \text{MAX}, V_{IH} = 2 \text{ V}, V_{OL} = 2.7 \text{ V}$			20			20	$\mu\text{A}$
$I_{OZL}$ Off-state output current, low-level voltage applied	$V_{CC} = \text{MAX}, V_{IL} = V_{IL \text{ max}}, V_{OH} = 0.4 \text{ V}$			-20			-20	
$I_I$ Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 7 \text{ V}$			0.1			0.1	mA
$I_{IH}$ High-level input current, any input	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 2.7 \text{ V}$			20			20	$\mu\text{A}$
$I_{IL}$ Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 0.4 \text{ V}$			-0.2			-0.2	mA
$I_{OS}$ Short-circuit output current‡	$V_{CC} = \text{MAX}$	-40		-225	-40		-225	mA
$I_{CC}$ Supply current	Outputs high	$V_{CC} = \text{MAX},$ Outputs open	'LS540	13	25	13	25	mA
			'LS541	18	32	18	32	
	Outputs low		'LS540	24	45	24	45	
			'LS541	30	52	30	52	
	All outputs disabled		'LS540	30	52	30	52	
			'LS541	32	55	32	55	

†For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡All typical values are at  $V_{CC} = 5 \text{ V}, T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

§Not more than one output should be shorted at a time, and duration of the short-circuit should not exceed one second.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**SN54LS540, SN54LS541, SN74LS540, SN74LS541**  
**OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS**  
**WITH 3-STATE OUTPUTS**

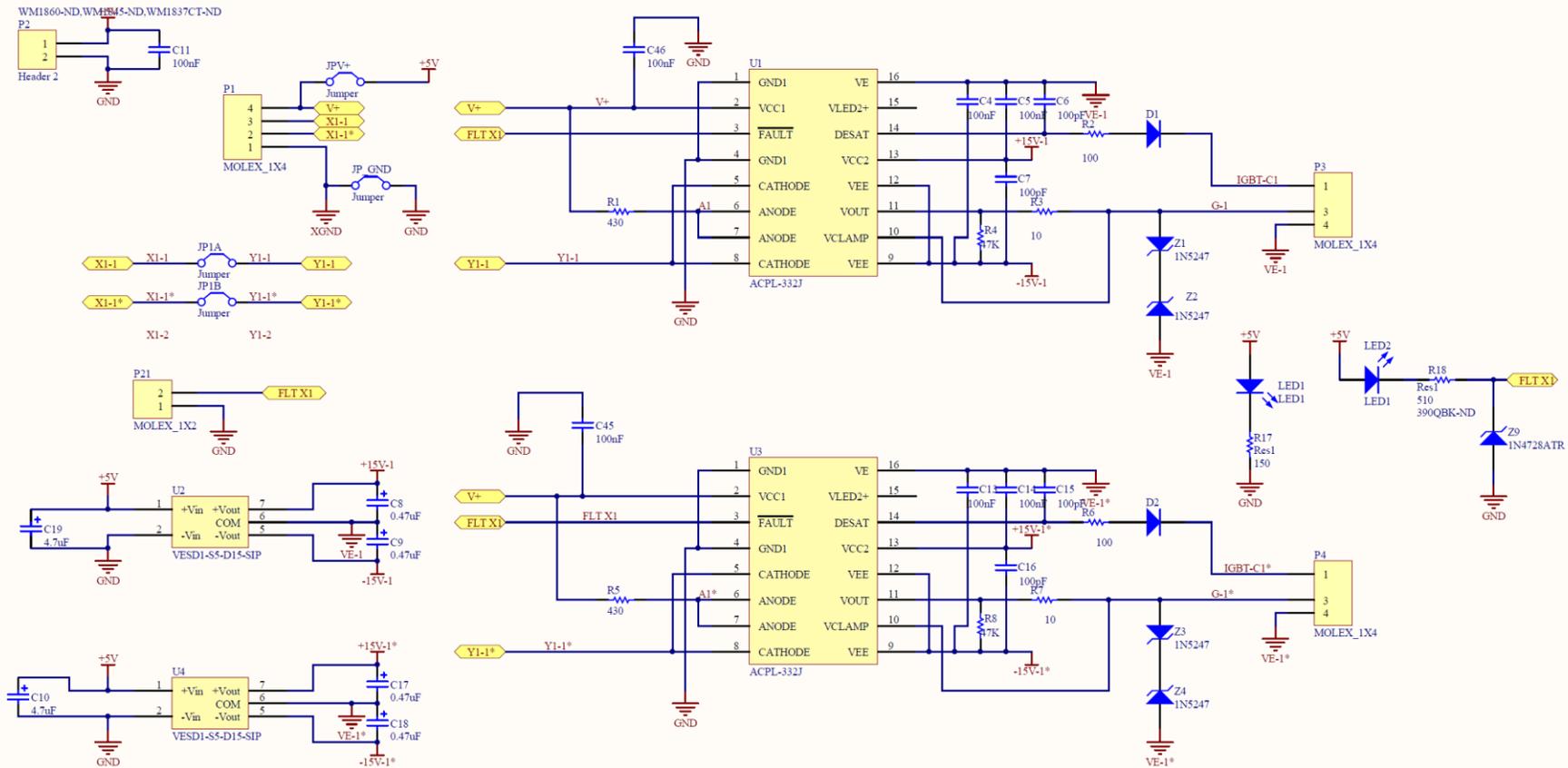
SDLS180 – AUGUST 1979 – REVISED MARCH 1988

switching characteristics,  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	'LS540			'LS541			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$t_{PLH}$ Propagation delay time, low-to-high-level output	$C_L = 45\text{ pF}$ , $R_L = 667\ \Omega$ , See Note 2	9	15		9	15	ns	
$t_{PHL}$ Propagation delay time, high-to-low-level output		9	15		10	18	ns	
$t_{pZL}$ Output enable time to low level		25	38		25	38	ns	
$t_{pZH}$ Output enable time to high level		15	25		20	32	ns	
$t_{PLZ}$ Output disable time from low level	$C_L = 5\text{ pF}$ , $R_L = 667\ \Omega$ , See Note 2	10	18		10	18	ns	
$t_{PHZ}$ Output disable time from high level		15	25		18	29	ns	

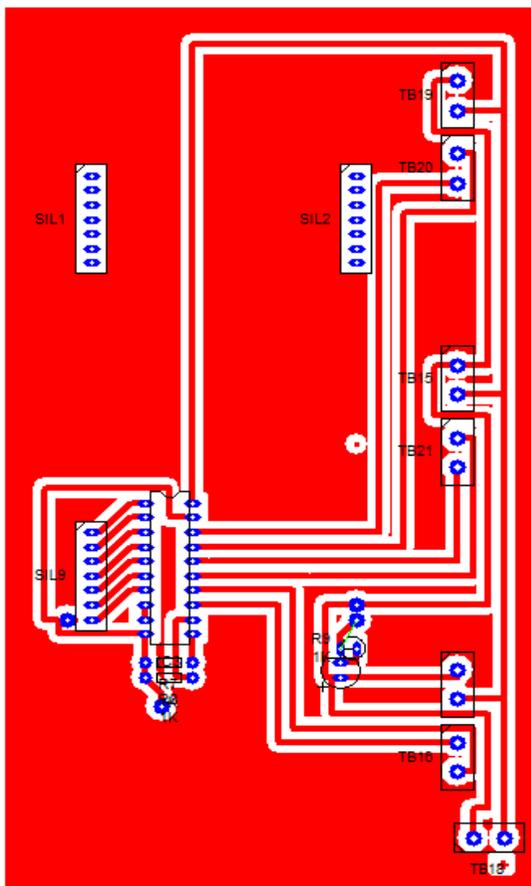
NOTE 2: Load circuits and voltage waveforms are shown in Section 1.

## Anexo B. Diagrama de placas de Accionamiento

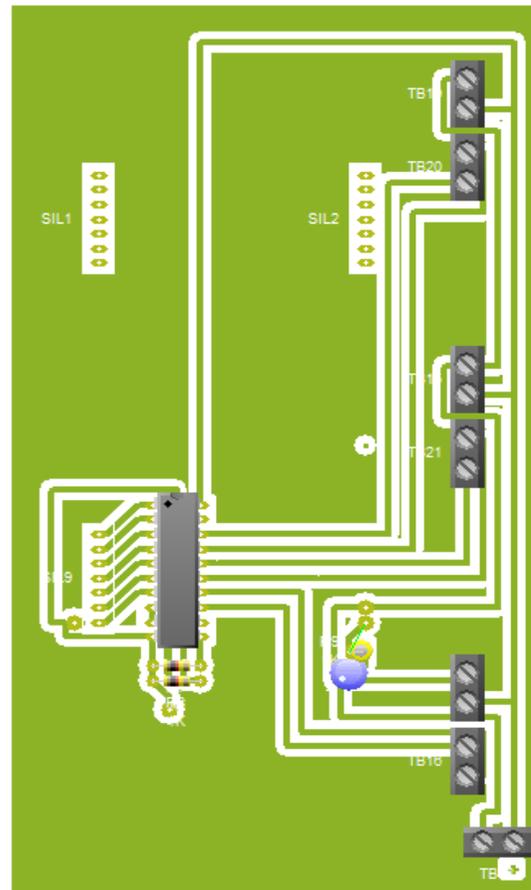


Fuente: Restrepo A. PHD

### Anexo C. Diagrama de placa interfaz



Fuente: Autor



Fuente: Autor

## Anexo D. Diseño y construcción de modulo inversor trifásico

A continuación, se presenta los Anexos, que contienen información principal para el diseño y construcción del módulo inversor trifásico y del emulador de banco de baterías.

### Proceso de la construcción

Se presenta una serie de figuras los cuales muestran las acciones de trabajo que se realizó en las etapas de construcción y pruebas de funcionalidad.



Figura 69. Readequación de tablero eléctrico previo a la instalación de transformadores monofásicos

Fuente: Autor



Figura 70. Readequación de conexión en transformadores monofásicos

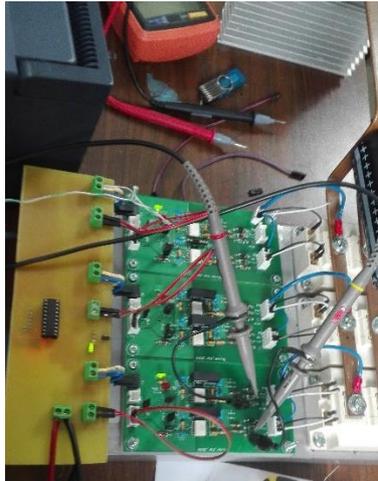
Fuente: Autor



Figura 71. Montaje de elementos en placa de accionamientos de IGBT

Fuente: Autor

## Proceso de conexiones y pruebas de funcionamiento



**Figura 72.** Revisión de conexiones y cableado en componentes de inversor  
Fuente: Autor



**Figura 73.** Montaje de elementos en placa de accionamientos de IGBT  
Fuente: Autor



**Figura 74.** Prueba de generación de pulsos en vacío  
Fuente: Autor

## **Anexo E. Prácticas de laboratorio**

A continuación, se muestra 4 prácticas de laboratorio, mismas que van dirigidas para ser realizadas por los estudiantes de CIELE, con la finalidad de familiarizarse con el reconocimiento y funcionamiento de los componentes del módulo inversor trifásico y el emulador de banco de baterías.

Las practicas propuestas son numeradas a continuación:

- a) Identificación de dispositivos de un inversor
- b) Toma de mediciones de magnitudes eléctricas en el módulo inversor
- c) Encendido de lámparas incandescentes desde inversor
- d) Arranque de motor trifásico de 200W



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN  
CIENCIAS APLICADAS  
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

## PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica #: 1

Tema: "Identificación de dispositivos de un inversor"

Integrantes:

## MODULO INVERSOR TRIFÁSICO

Fecha de realización de  
la práctica:

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
año Mes Día

Observaciones: \_\_\_\_\_

Fecha de entrega del  
informe:

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Año Mes Día

Observaciones: \_\_\_\_\_

Periodo:

Febrero – Agosto

## 1. Objetivo General.

Identificar físicamente los dispositivos que conforman un inversor trifásico y emulador de banco de baterías, además de conocer los conceptos básicos y sus aplicaciones.

### Objetivos Específicos.

- ❖ Adquirir conocimientos teóricos de los componentes básicos que conforman un inversor y emulador de banco de baterías.
- ❖ Reconocer visualmente cada tipo de dispositivo y la función que cumple como componente del inversor y emulador de banco de baterías.

## 2. Materiales y Equipos


## 3. Introducción.

(El estudiante deberá realizar una previa investigación Bibliografica, que le permita adquirir los conocimientos teóricos necesarios, acerca de un inversor trifásico)

## 4. Trabajo Preparatorio.

Al ser una práctica de familiarización y reconocimiento de los componentes que conforman un inversor trifásico y un emulador de banco de baterías, se debe realizar los ejercicios planteados en el informe.

Temas que evaluar:

- Reconocimiento de dispositivos.
- Función desempeñada por los componentes.
- Adquirir conocimientos en procesos de conversión y rectificación.
- Conclusiones
- Recomendaciones

## 5. Desarrollo.

5.1 Conceptos de conversión y rectificación de energía eléctrica.

- Conversión de energía eléctrica:
  
  
- Rectificación de energía eléctrica:

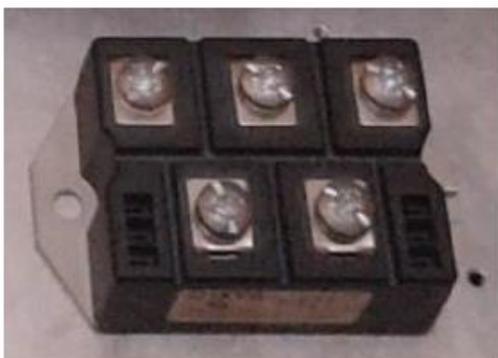
5.2 ¿Qué es y como funciona un inversor trifásico V/f.?

5.3 ¿Qué es y como funciona un rectificador no controlado?

5.4 Definición de DSP y sus aplicaciones.

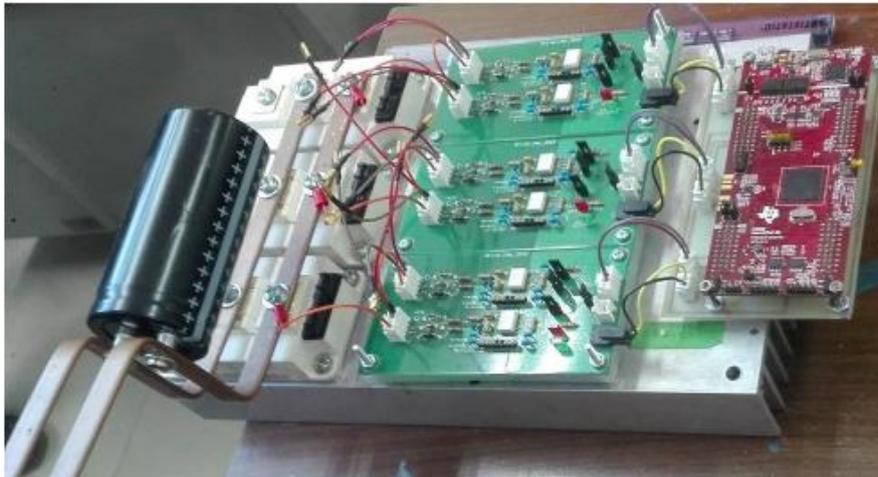
5.5 Aplicaciones de los inversores en la industria.

5.6 En las siguientes imágenes identificar el dispositivo y la función que cumple en el módulo inversor trifásico.



5.7 En la siguiente imagen identificar los siguientes componentes:

- Capacitor 1000 microfaradios.
- Módulos IGBT.
- Barras de bus DC.
- DSP.
- Optoacopladores.
- Tarjetas de accionamiento.



## 6. Conclusiones

## 7. Recomendaciones

## 8. Bibliografía y Linkografía

- Documento escrito de tesis.
- (bibliografía indagada por el estudiante)



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN  
CIENCIAS APLICADAS  
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

## PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica #: 2

Tema: "Toma de mediciones de magnitudes eléctricas en el módulo inversor"

Integrantes:

## MODULO INVERSOR TRIFÁSICO

Fecha de realización de la práctica:

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
año Mes Día

Observaciones: \_\_\_\_\_

Fecha de entrega del informe:

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Año Mes Día

Observaciones: \_\_\_\_\_

Periodo:

Febrero – Agosto

## 1. Objetivo General.

Realizar la toma de mediciones en las salidas del módulo inversor, determinando los valores de las magnitudes electricas fundamentales y la puesta en funcionamiento de todos los componentes que lo conforman.

### Objetivos Específicos.

- ❖ Comprobar el funcionamiento correcto, mediante la toma de mediciones en las de las tarjetas de accionamiento y verificación de las formas de onda mediante un osciloscopio en las salidas de los módulos IGBT, cuando este se encuentre sin carga.
- ❖ Conocer el proceso de inicio de funcionamiento del módulo inversor, mediante los pasos de grabado de código de programación en DSP, conexiones para alimentacion de las barras del bus DC, además de las conexiones y toma de datos de las magnitudes electricas principales a las salidas de los modos IGBT.

## 2. Materiales, Equipos y herramientas

Osciloscopio	Destornilladores (plano, estrella)
Pinza amperométrica para osciloscopio	Multímetro
PC	Estilete
Alicata	Puntas de prueba aisladas

## 3. Introducción.

(El estudiante deberá realizar una previa investigación Bibliografica, que le permita adquirir los conocimientos teóricos necesarios, acerca de la forma de utilización de un osciloscopio y la forma de conexión de las puntas de prueba, tanto de voltaje como de corriente para la medición de las formas de onda de las magnitudes eléctricas, como son en este caso voltaje y corriente).

## 4. Trabajo Preparatorio.

Al ser una práctica de prueba de funcionamiento del inversor, mediante la toma de mediciones de las formas de onda de las magnitudes electricas (voltaje y corriente) en las salidas de los módulos IGBT cundo estos se encuentren sin carga, se debe realizar los temas planteados en el informe.

Temas que evaluar:

- Conocimiento en las formas de conexión de las puntas de prueba de un osciloscopio.
- Aprendizaje en la manipulación de una pinza amperométrica.
- Forma de compilación y gravado de código en tarjeta DSP.
- Verificación de funcionamiento y toma de mediciones tanto de voltaje como corriente en salidas de los módulos IGBT.
- Conclusiones
- Recomendaciones

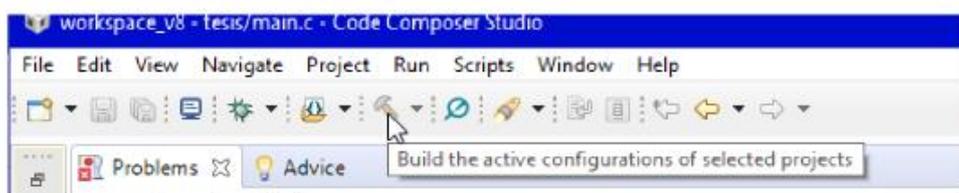
## 5. Desarrollo.

### 5.1 Pautas para funcionamiento de inversor.

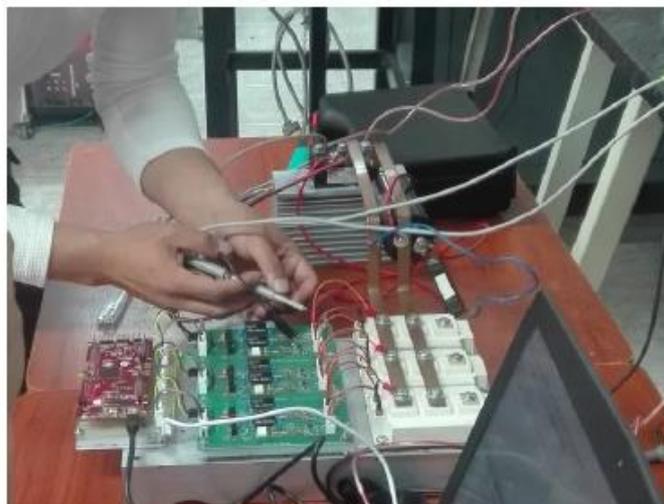
- a. Gravar el código de programación en la tarjeta DSP, esto se lo debe realizar mediante el software de Texas instruments, Code Composer Studio, mismo que se lo podrá descargar gratuitamente desde la plataforma de Texas instruments.



- b. Una vez instalado el programa se abrirá la plataforma con el código de programación, el cual deberá ser compilado y gravado en el DSP.



- c. Ya cargado el programa en el DSP, se procede a realizar la medición y verificación de las formas de onda tomadas desde las salidas de las tarjetas de accionamiento con la ayuda de puntas aisladas de prueba y un osciloscopio. Para ello las barras del bus DC deberán estar sin alimentación.



- d. La práctica finalizara tomando las mediciones de las magnitudes tanto de voltaje como de corriente y verificar las formas de onda por medio de un osciloscopio. Para ello se debe alimentar las barras del bus DC, mediante la ayuda de un variador de voltaje (variac) tomando las siguientes consideraciones:

<b>Consideraciones</b>	<b>Resultados</b>
Voltaje de salida de módulos IGBT	
Voltaje que existe en las barras del bus DC	
Corriente que circula por las barras del bus DC	

### 1. Conclusiones

### 2. Recomendaciones

### Bibliografía y Linkografía

- Documento escrito de tesis.
- (bibliografía indagada por el estudiante)



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN  
CIENCIAS APLICADAS  
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

## PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica #: 3

Tema: “Encendido de lámparas incandescentes desde inversor”

Integrantes:

### MODULO INVERSOR TRIFÁSICO

Fecha de realización de  
la práctica:

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
año Mes Día

Observaciones: \_\_\_\_\_

Fecha de entrega del  
informe:

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Año Mes Día

Observaciones: \_\_\_\_\_

Periodo:

Febrero – Agosto

## 1. Objetivo General.

Realizar el encendido de lámparas incandescentes desde las salidas del módulo inversor, determinando los valores de las magnitudes eléctricas fundamentales y comprobar el correcto funcionamiento.

### Objetivos Específicos.

- ❖ Comprobar el funcionamiento correcto, mediante la toma de energía desde las salidas de los módulos IGBT para la alimentación de una lámpara incandescente.
- ❖ Conocer el proceso de inicio de funcionamiento del módulo inversor, mediante los pasos de grabado de código de programación en DSP, conexiones para alimentación de las barras del bus DC, además de las conexiones y toma de datos de las magnitudes eléctricas principales a las salidas de los modos IGBT implementado lámparas incandescentes.

## 2. Materiales, Equipos y herramientas

Lámparas incandescentes 15W, 100W	Destornilladores (plano, estrella)
Pinza de corriente para osciloscopio	Cable conductor # 12
PC	Pinza amperométrica
Alicate	Osciloscopio

## 3. Introducción.

(El estudiante deberá realizar una previa investigación Bibliográfica, que le permita adquirir los conocimientos teóricos necesarios, acerca de las conexiones tanto en serie, paralelo y mixto, además de forma de utilización de una pinza amperométrica para la medición de las magnitudes eléctricas, como son en este caso voltaje y corriente)

## 4. Trabajo Preparatorio.

Al ser una práctica de prueba de funcionamiento del inversor, mediante la toma de energía para la alimentación de una lámpara incandescente y posteriormente la toma de datos de voltaje y corriente, se debe realizar los temas planteados en el informe.

Temas que evaluar:

- Conocimiento en conexiones de circuito serie y paralelo.
- Aprendizaje en la manipulación de una pinza amperométrica.
- Conexión de módulo inversor trifásico para la aplicación con carga.
- Verificación de funcionamiento y toma de mediciones tanto de voltaje como corriente.
- Conclusiones
- Recomendaciones

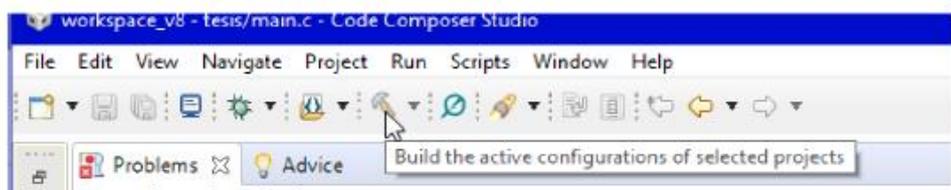
## 5. Desarrollo.

### 5.1 Pautas para funcionamiento de inversor.

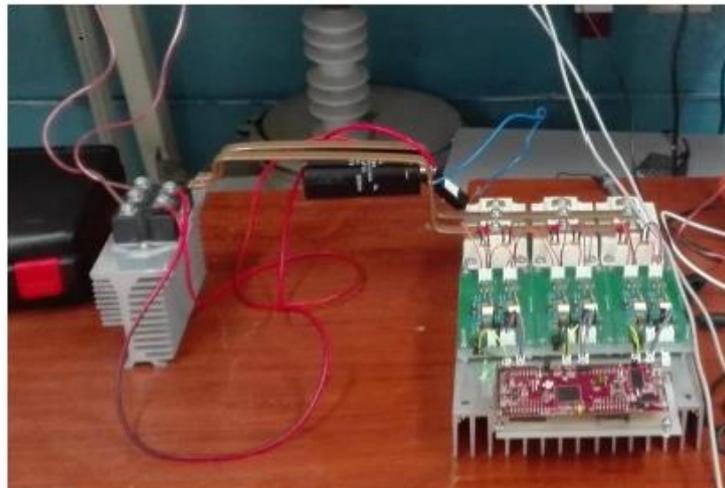
- a. Gravar el código de programación en la tarjeta DSP, esto se lo debe realizar mediante el software de Texas instruments, Code Composer Studio, mismo que se lo podrá descargar gratuitamente desde la plataforma de Texas instruments.



- b. Una vez instalado el programa se abrirá la plataforma con el código de programación, el cual deberá ser compilado y gravado en el DSP.



- c. Ya cargado el programa en el DSP, se procede a realizar la medición y verificación de las formas de onda tomadas desde las salidas de las tarjetas de accionamiento con la ayuda de puntas aisladas de prueba y un osciloscopio. Para ello las barras del bus DC deberán estar sin alimentación.



- d. Realizar las mediciones de las magnitudes tanto de voltaje como de corriente y verificar las formas de onda por medio de un osciloscopio. Para ello se debe alimentar las barras del bus DC, mediante la ayuda de un variador de voltaje (variac).

- e. Continuado con el proceso, luego se debe de realizar las mediciones sin carga en las salidas de los IGBT mismas que se realizaran en los pines de numeración 1, comprobando que el voltaje resultante es el mas óptimo, para finalmente proceder a conectar la lámpara incandescente a las salidas de dos de los tres módulos IGBT.
- f. La practica finalizara tomando las mediciones de las magnitudes tanto de voltaje como de corriente tomando las siguientes consideraciones:
1. Si se conecta una lámpara incandescente de 15W a las salidas de los módulos IGBT, determinar los siguientes valores:

<b>Consideraciones</b>	<b>Resultados</b>
Voltaje que existe en la lámpara	
Corriente que circula por la lámpara	
Voltaje existente en la barra del bus DC	

2. Si se conecta una lámpara en serie de 100W con la lámpara de 15W a las salidas de los módulos IGBT de terminar:

<b>Consideraciones</b>	<b>Resultados</b>
Voltaje de salida de módulos IGBT	
Voltaje que existe en lámpara de 15W	
Corriente que circula por las lámparas	
Voltaje existente en la barra del Bus DC	
Potencia entregada por los módulos IGBT	

3. Si se conecta las mismas lámparas en paralelo determinar:

<b>Consideraciones</b>	<b>Resultados</b>
Voltaje de salida de módulos IGBT	
Corriente que circula en cada lámpara	
Potencia entregada por los módulos IGBT	
Voltaje existente en la barra de bus DC	

4. Si se conecta dos lámparas de 100W en paralelo con la lámpara de 15 W determinar:

<b>Consideraciones</b>	<b>Resultados</b>
Voltaje a la salida de los IGBT	
Voltaje en la lámpara de 15W	
Corriente en una de las lámparas de 100W	
Potencia entregada por los IGBT	

**Nota:** Se debe evitar u ocasionar cortocircuitos debido a que se podrían dañar los módulos IGBT. Por lo que se recomienda utilizar fusibles a las salidas de los IGBT.

### 1. Conclusiones

### 2. Recomendaciones

### Bibliografía y Linkografía

- Documento escrito de tesis.
- (bibliografía indagada por el estudiante)



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN  
CIENCIAS APLICADAS  
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

## PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica #: 4

Tema: "Arranque de motor trifásico de 200W"

Integrantes:

## MODULO INVERSOR TRIFÁSICO

Fecha de realización de  
la práctica:

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
año Mes Día

Observaciones: \_\_\_\_\_

Fecha de entrega del  
informe:

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Año Mes Día

Observaciones: \_\_\_\_\_

Periodo:

Febrero – Agosto

## 1. Objetivo General.

Realizar el arranque de un motor trifásico de 200W, y encendido de tres lámparas de 220V a 200W en conexión estrella, determinando los valores de las magnitudes electricas fundamentales y comprobar el correcto funcionamiento.

### Objetivos Específicos.

- ❖ Comprobar el funcionamiento correcto, mediante la toma de energía desde las salidas de los módulos IGBT para la alimentación trifásica de una carga comprendida por un motor de 200W trifásico y tres lámparas incandescentes conectadas en estrella.
- ❖ Conocer el proceso de inicio de funcionamiento del módulo inversor, mediante los pasos de grabado de código de programación en DSP, conexiones para alimentación de las barras del bus DC, además de las conexiones y toma de datos de las magnitudes electricas principales a las salidas de los modos IGBT implementado lámparas incandescentes.

## 2. Materiales, Equipos y herramientas

3 Lámparas incandescentes 200W	Destornilladores (plano, estrella)
Pinza amperométrica	Cable conductor # 12
PC	Estilete
Alicate	Motor trifásico de 200W

## 3. Introducción.

(El estudiante deberá realizar una previa investigación Bibliografica, que le permita adquirir los conocimientos teóricos necesarios, acerca de las conexiones tanto en serie, paralelo y mixto, además de forma de utilización de una pinza amperométrica para la medición de las magnitudes eléctricas, como son en este caso voltaje y corriente)

## 4. Trabajo Preparatorio.

Al ser una práctica de prueba de funcionamiento del inversor, mediante la toma de energía para la alimentación de una lámpara incandescente y posteriormente la toma de datos de voltaje y corriente, se debe realizar los temas planteados en el informe.

Temas que evaluar:

- Conocimiento en conexiones de circuito serie y paralelo.
- Aprendizaje en la manipulación de una pinza amperométrica.
- Conexionado de modulo inversor trifásico para la aplicación con carga.
- Verificación de funcionamiento y toma de mediciones tanto de voltaje como corriente.
- Conclusiones
- Recomendaciones

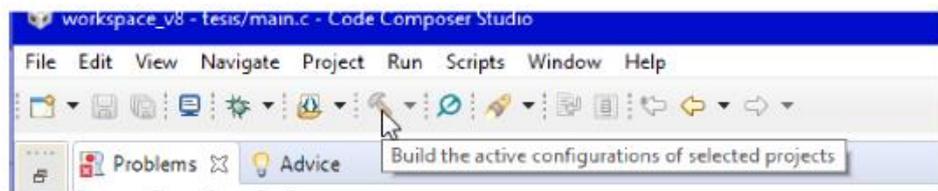
## 5. Desarrollo.

### 5.1 Pautas para funcionamiento de inversor.

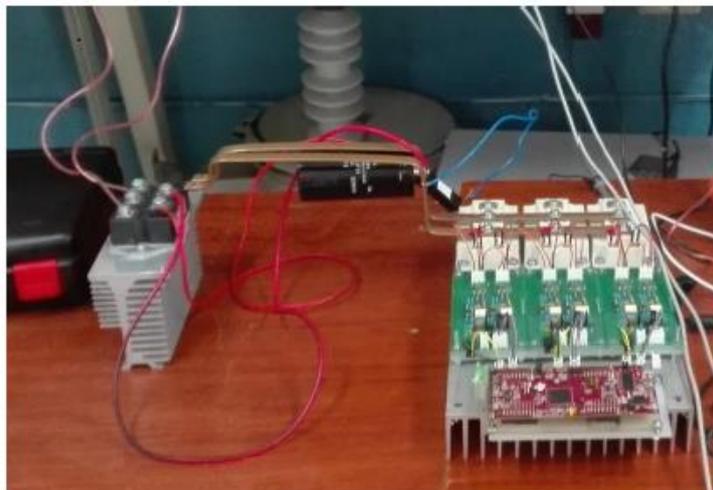
- a. Gravar el código de programación en la tarjeta DSP, esto se lo debe realizar mediante el software de Texas instruments, Code Composer Studio, mismo que se lo podrá descargar gratuitamente desde la plataforma de Texas instruments.



- b. Una vez instalado el programa se abrirá la plataforma con el código de programación, el cual deberá ser compilado y gravado en el DSP.



- c. Ya cargado el programa en el DSP, se procede a realizar la medición y verificación de las formas de onda tomadas desde las salidas de las tarjetas de accionamiento con la ayuda de puntas aisladas de prueba y un osciloscopio. Para ello las barras del bus DC deberán estar sin alimentación.



- d. Realizar las mediciones de las magnitudes tanto de voltaje como de corriente y verificar las formas de onda por medio de un osciloscopio. Para ello se debe alimentar las barras del bus DC, mediante la ayuda de un variador de voltaje (variac).
- e. Continuado con el proceso, luego se debe de realizar las mediciones sin carga en las salidas de los IGBT mismas que se realizaran en los pines de numeración 1, comprobando que el voltaje resultante es el óptimo, para finalmente proceder a conectar lámparas de 220VAC en conexión estrella y un motor trifásico de 200W a las salidas de los tres módulos IGBT.
- f. La practica finalizara tomando las mediciones de las magnitudes tanto de voltaje como de corriente tomando las siguientes consideraciones:
  1. Si se conecta tres lámparas incandescentes de 220VAC en conexión estrella, a las salidas de los módulos IGBT, determinar los siguientes valores:

Consideraciones	Resultados
Voltaje de salida en módulos IGBT	
Voltaje que existe el bus DC	
Corriente que circula por las lámparas	
Corriente que circula por una de las barras del bus DC	
Potencia entregada por los módulos IGBT	

2. Si se conecta un motor trifásico de 200W juntamente con las lámparas conectadas en estrella determinar:

Consideraciones	Resultados
Voltaje de salida de módulos IGBT	
Corriente que circula en cada lámpara	
Potencia entregada por los módulos IGBT	
Corriente que circula por la barra de bus DC	

3. Realizar las mediciones de la actividad 2 en el osciloscopio y mostrar las imágenes obtenidas en el mismo:

**Nota:** Se debe evitar u ocasionar cortocircuitos debido a que se podrían dañar los módulos IGBT. Por lo que se recomienda utilizar fusibles a las salidas de los IGBT.

#### 1. Conclusiones

#### 2. Recomendaciones

#### Bibliografía y Linkografía

- Documento escrito de tesis.
- (bibliografía indagada por el estudiante)