Universidad de O'Higgins

Escuela de Ingeniería

Ingeniería Civil Eléctrica

Diseño, Implementación y Testeo de un Submódulo para un Convertidor Modular Multinivel

Alumna: Estefanía Fuentes Quinchahuala

Profesor guía: Claudio Burgos Mellado

Comisión evaluadora: Alfonso Ehijo Benbow - Roberto Cárdenas Dobson

Memoria para optar al título de Ingeniera Civil Eléctrica

Rancagua, Chile

2024

Dedicatoria

Esta memoria está dedicada con profundo amor y gratitud a mis padres, Marcela y David, quienes con su esfuerzo y enseñanzas han moldeado la persona que soy hoy. Desde pequeña, me han inculcado valores que han sido fundamentales en mi crecimiento personal y profesional. A través de su dedicación y sacrificio, han sido mi constante inspiración, guiándome con amor y brindándome un gran ejemplo de perseverancia, esfuerzo y humildad. Les agradezco por todo el trabajo y preocupación que han demostrado desde mi nacimiento hasta el día de hoy. A pesar de todo, son las personas más importantes en mi vida.

También quiero dedicar esta memoria a personas especiales en mi vida, mis queridas hermanas, Yaritza y Damari. Para ellas, soy un modelo para seguir como hermana mayor, y es por eso por lo que me esfuerzo cada día para ser una mejor persona, deseando que ellas también alcancen la mejor versión de sí mismas y logren todo lo que se propongan en la vida. Agradezco profundamente su apoyo en este largo camino universitario, ayudándome con mis tareas y proyectos. Valoro mucho estas muestras de cariño, que han sido de gran ayuda.

Asimismo, quiero dedicar esto a mi compañero de vida, Marco, cuyo apoyo incondicional y emocional ha sido mi pilar desde los inicios de mi carrera. Su presencia ha sido fundamental en los momentos más difíciles, dándome la fuerza y ánimo para seguir adelante. Ha estado a mi lado en cada decisión importante, brindándome el apoyo necesario cuando más lo necesitaba. Gracias por no dejarme rendir en los momentos más críticos de mi vida y por seguir a mi lado a pesar de todo.

A todos ustedes, les muestro mi más sincero agradecimiento. Su presencia en mi vida ha sido invaluable, y este logro también es suyo.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este proyecto. Agradezco a mi madre, mi padre, mis hermanas y mi pareja por su incondicional apoyo, comprensión y contención emocional durante este proceso tan importante. Su amor y aliento fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

Agradezco a mi profesor guía, Claudio Danilo Burgos Mellado, por su apoyo, orientación y paciencia a lo largo de este proyecto de memoria. Sus valiosos consejos y conocimientos han sido una fuente constante de inspiración desde el comienzo.

Mi gratitud también al equipo de electrónica de potencia de la Universidad de Chile, especialmente al profesor Roberto Cárdenas, por su contribución con información y componentes importantes para el buen desarrollo de esta memoria.

A mis compañeros y compañeras, quienes estuvieron presentes brindándome su apoyo y compañerismo a lo largo de este proceso universitario.

Agradezco a Ricardo, encargado del laboratorio de electrónica de la universidad, quien me brindó apoyo con sus conocimientos y la entrega de algunos componentes y materiales necesarios para realizar mi prototipo.

A Carolina, secretaria del Instituto de Ciencias de la Ingeniería, que desde el principio fue muy amable conmigo. A pesar de estar ocupada, siempre encontró tiempo para ayudarme en lo que necesitaba.

A Anan, quien, a pesar de la barrera del idioma, siempre mostró voluntad para ayudarme en la medida de sus posibilidades y compartir sus conocimientos.

Al proyecto FONDEF ID23I10138 “Desarrollo de prototipo de convertidor modular para la reutilización de baterías descartadas de electromovilidad”, por el apoyo financiero para el desarrollo de este proyecto de título.

Por último, pero no menos importante, agradezco a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, han aportado con sus conocimientos y experiencias a la realización de este proyecto de título. Esto no hubiera sido posible sin el apoyo de todos ustedes.

¡Muchas gracias a todos!

ÍNDICE

TABLA DE FIGURAS 6
LISTA DE ABREVIATURAS 8
RESUMEN..... 9
1. INTRODUCCIÓN 10
2. OBJETIVO GENERAL 12
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13
4. ALCANCES Y LIMITACIONES 14
5. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA 15
5.1 CONVERTIDOR MODULAR MULTINIVEL 15
5.2 SUBMÓDULOS EN CONVERTIDORES MODULARES MULTINIVEL 17
5.3 USO DE CONVERTIDORES MODULARES MULTINIVEL PARA INTEGRACIÓN DE BATERÍAS 20
5.4 FORMAS DE CONECTAR DE BATERÍAS A SUBMÓDULOS. 22
5.5 MARCO NORMATIVO EN CHILE REFERENTE A BATERÍAS Y ELECTROMOVILIDAD. 25
6. MARCO METODOLÓGICO 26
6.1 APRENDER A UTILIZAR ALTIUM DESIGNER 26
6.2 DEFINICIÓN DE REQUISITOS TÉCNICOS Y FUNCIONALES 27
6.3 DISEÑO DEL CIRCUITO EN ALTIUM DESIGNER 27
6.4 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO 28
6.5 PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO 28
6.6 IDENTIFICAR OPORTUNIDADES DE MEJORAS Y OPTIMIZACIONES 29
7. RESULTADOS 30
7.1 APRENDIZAJE DE ALTIUM DESIGNER 30
7.2 DEFINICIÓN DE REQUISITOS TÉCNICOS Y FUNCIONALES 30
7.2.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES DEL SUBMÓDULO A MODIFICAR. 30
7.2.2 REQUISITOS TÉCNICOS Y FUNCIONALES 33
7.3 DISEÑO DEL CIRCUITO EN ALTIUM DESIGNER 34
7.3.1 COMPONENTES ELECTRÓNICOS NECESARIOS PARA EL PROYECTO 34

7.3.2 PROPUESTAS DE PROTOTIPO PARA EL SUBMÓDULO 36
7.3.3 DISEÑO DE LA PROPUESTA EN ALTIUM DESIGNER 37
7.4 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO 46
7.4.1 COMPRA Y ADQUISICIÓN DE COMPONENTES NECESARIOS PARA LA PLACA 46
7.4.2 IMPRESIÓN DE LAS PCB 46
7.4.3 MONTAJE DE LOS COMPONENTES 48
7.4.4 VERIFICAR QUE LAS CONEXIONES ESTÉN REALIZADAS CORRECTAMENTE. 49
7.5 PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO 50
7.5.1 REALIZAR LAS PRUEBAS Y MEDICIONES CORRESPONDIENTES 50
8. CONCLUSIÓN 60
9. REFERENCIAS 62
ANEXOS 65
ANEXO I. DATASHEET DE FUSIBLE DE ACCIÓN RÁPIDA 65
ANEXO II. DATASHEET DEL MOSFET 70
ANEXO III DATASHEET DEL RELE 78
ANEXO IV. COTIZACIÓN DE COMPONENTES 83
ANEXO V. MANUAL DE ALTIUM DESIGNER 87
ANEXO VI. DATASHEET DE LA CONEXIÓN DE FIBRA ÓPTICA 88
ANEXO VII. DATASHEET DE COMPUERTA NAND 94
ANEXO VIII. IMPRESIÓN DE PLACA DE PROTECCIÓN CON ÁCIDO FÉRRICO 96

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Aplicaciones de Convertidores Modulares Multinivel. 16
Figura 2. Configuración Generalizada de un MMC Trifásico 17
Figura 3. Topologías de submódulo de dos niveles 18
Figura 4. Topologías de submódulo multinivel.....19
Figura 5. Conexión de baterías a un submódulo de medio puente. 23
Figura 6. Configuración de conexión de baterías al submódulo de puente completo.....24
Figura 7. Resumen de etapas del proyecto.. 26
Figura 8. Submódulo de puente completo (cara superior) y nombre de sus componentes.....31
Figura 9. Submódulo de puente completo (cara inferior) y nombre de sus componentes. 32
Figura 10. Parte del diseño esquemático del submódulo.....37
Figura 11. Reguladores De Voltaje +/-15V.....38
Figura 12. Diseño esquemático de la parte de control del submódulo. 39
Figura 13. Componentes para colocar en la PCB.....40
Figura 14. Circuito en la PCB antes de enrutar. 40
Figura 15. Diseño del submódulo enrutado. 41
Figura 16. Implementación del plano de Vcc.....42
Figura 17. Implementación del plano de tierra. 42
Figura 18. Diseño de la PCB en 3D cara superior. 43
Figura 19. Diseño de la PCB en 3D cara inferior. 44
Figura 20. Esquemático de la placa de protección. 44
Figura 21. Diseño de la placa de protección terminado. 45
Figura 22. Diseño de la placa de protección en 3D. 45
Figura 23. Placa fabricada por la empresa CAEM. 47
Figura 24. Prototipo de la placa de protección. 47
Figura 25. Montaje de los componentes.....48
Figura 26. Submódulo cara superior y cara inferior. 49

Figura 27. Medición de continuidad. 50
Figura 28. Circuito para transmitir por señales por fibra óptica. 51
Figura 29. Circuito realizado para transmitir a través de la fibra óptica. 51
Figura 30. Señal de entrada (verde), señal de salida (amarilla). 52
Figura 31. Señales con el OFFSET= 2,5V. Señal de entrada (amarilla), señal de salida (verde). ..53
Figura 32. Señal de entrada del inversor (amarilla), Señal de salida del inversor (verde). 54
Figura 33. Conexión para realizar la prueba en vacío. 55
Figura 34. Señales obtenidas de los transistores. 56
Figura 35. Tiempo muerto entre las dos señales. 56
Figura 36. Conexiones para realizar prueba con tensión en el condensador. 57
Figura 37. Tensión de 5V inyectada al condensador. 58
Figura 38. Tensión de 10V inyectada al condensador. 58
Figura 39. Tensión de 30V inyectada al condensador. 59
Figura 40. Código QR de la presentación del manual para utilizar Altium Designer. 87
Figura 41. Proceso de impresión de placa de cobre con Ácido Férrico. 96

LISTA DE ABREVIATURAS

- AC – Corriente Alterna (Alternating Current)
- BESS – Sistema de Almacenamiento de Energía en Baterías (Battery Energy Storage System)
- BMS – Sistema de Gestión de Baterías (Battery Management System)
- CAD – Diseño Asistido por Computadora (Computer-Aided Design)
- DC – Corriente Continua (Direct Current)
- EMI – Interferencia Electromagnética (Electromagnetic Interference)
- EV – Vehículo Eléctrico (Electric Vehicle)
- FONDEF – Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico
- HBSM – Submódulo de Medio Puente (Half-Bridge SubModule)
- HVDC – Transmisión de Corriente Continua de Alto Voltaje (High Voltage Direct Current)
- IGBT – Transistor Bipolar de Puerta Aislada (Insulated Gate Bipolar Transistor)
- LED – Diodo Emisor de Luz (Light Emitting Diode)
- MMC – Convertidor Modular Multinivel (Modular Multilevel Converter)
- MOSFET – Transistor de Efecto de Campo de Semiconductor de Óxido Metálico (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)
- NAND – Compuerta Lógica No AND
- PCB – Placa de Circuito Impreso (Printed Circuit Board)
- PWM – Modulación por Ancho de Pulso (Pulse Width Modulation)
- RMS – Valor Eficaz (Root Mean Square)
- SOC – Estado de Carga (State Of Charge)
- SOH – Estado de Salud (State Of Health)
- STATCOM – Compensador Estático Sincrónico (Static Synchronous Compensator)
- UPQC – Acondicionador de Calidad de Energía Unificado (Unified Power Quality Conditioner)

Resumen

El presente proyecto de título se enfoca en el diseño, implementación y testeo de un submódulo para un Convertidor Modular Multinivel (MMC), enmarcado en el proyecto FONDEF ID23I10138, denominado "Desarrollo de prototipo de convertidor modular para la reutilización de baterías descartadas de electromovilidad". El cual, tiene como objetivo principal diseñar y construir un prototipo experimental basado en el MMC que integra eficientemente baterías descartadas de aplicaciones de electromovilidad, teniendo en cuenta sus variados niveles de carga y degradación.

El Convertidor Modular Multinivel (MMC) resulta crucial para permitir la integración de baterías desechadas de vehículos eléctricos con diferentes niveles de carga y degradación, gestionándolas como una única fuente de energía desde la perspectiva del usuario final. Este proyecto se concentra en el diseño, la implementación y el testeo de un submódulo específico para el MMC, esencial para garantizar el rendimiento óptimo del sistema, maximizando la eficiencia energética, minimizando las pérdidas y asegurando la adaptabilidad del sistema para su uso efectivo en múltiples contextos o escenarios, incrementando así su utilidad y viabilidad en diferentes aplicaciones dentro de la electromovilidad y el almacenamiento de energía.

En esta memoria se lleva a cabo el diseño del submódulo del Convertidor Modular Multinivel utilizando Altium Designer, una herramienta ampliamente reconocida por su versatilidad y eficiencia en el diseño de placas de circuito impreso (PCB). Este proceso de diseño se apoya en un submódulo proporcionado por la Universidad de Chile, brindando la oportunidad de adquirir experiencia en la creación e implementación de este tipo de componentes.

Para finalizar el proyecto de título, se realizan las pruebas correspondientes al submódulo diseñado, con el objetivo de confirmar su funcionamiento adecuado y validar que el diseño se encuentra en condiciones óptimas para su utilización en el proyecto FONDEF ID23I10138.

Palabras clave: convertidor modular multinivel, altium designer, placa de circuito impreso, electromovilidad, baterías.

1. Introducción

En la actualidad, los temas de electromovilidad y energías limpias ganan cada vez más protagonismo a nivel mundial debido a la creciente preocupación sobre el calentamiento global y la contaminación ambiental en los países. Esta preocupación se intensifica por el uso generalizado de combustibles fósiles, ampliamente utilizados en el área de transporte y generación de energía eléctrica. En este contexto, la electromovilidad y la generación de energía eléctrica basada en energías renovables no convencionales emergen como soluciones factibles para el reemplazo de combustibles fósiles.

En particular, la electromovilidad busca la transición de vehículos con motores que dependen de combustibles fósiles, como la gasolina o el diésel, a vehículos que usan motores eléctricos y obtienen su energía de bancos de baterías. Este cambio de paradigma no solo ayuda a reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también permite mirar hacia un futuro más limpio y sostenible.

Sin embargo, esta prometedora solución presenta una nueva problemática: qué hacer con las baterías desechadas de vehículos eléctricos. Según Dusseldorp, Athan, Glöser y Heinz (2022), un banco de baterías para esta aplicación se debe reemplazar cuando alcanza un 80 % de su capacidad nominal (es decir, cuando su capacidad para almacenar energía se reduce en un 20%). Ante esto, surge la necesidad de buscar nuevas formas de aprovechar al máximo estas baterías, que aún pueden ser muy útiles en aplicaciones menos demandantes, como el almacenamiento estacionario de energía.

En la Universidad de O'Higgins, se desarrolla actualmente el proyecto FONDEF ID23I10138 "Desarrollo de prototipo de convertidor modular para la reutilización de baterías descartadas de electromovilidad", liderado por el académico Claudio Burgos. Este proyecto se presenta como una solución innovadora para dar una segunda vida a estas baterías.

El proyecto busca desarrollar un prototipo de un convertidor modular multinivel (MMC) para integrar baterías desechadas de la electromovilidad, haciéndolas funcionar coordinadamente como una sola fuente de energía desde el punto de vista del usuario final. Este convertidor permitirá la integración de baterías recicladas de diferentes tipos y su gestión

de manera óptima y autónoma. Este enfoque no solo contribuye a reducir el desperdicio de baterías, sino que también prolonga su vida útil y garantiza un rendimiento confiable en aplicaciones de almacenamiento de energía.

En este contexto, surge el tema de esta memoria, centrado en el diseño, implementación y testeo de un submódulo para un convertidor modular multinivel. Este submódulo es fundamental para el funcionamiento eficiente del MMC, ya que maximiza la eficiencia energética y minimiza las pérdidas durante el proceso de conversión. Además, facilita la escalabilidad y modularidad en potencia, adaptándose a diferentes aplicaciones donde se requiere un sistema de conversión de energía de este tipo.

Por lo tanto, esta memoria es esencial para el proyecto, ya que contribuye a la eficiencia, escalabilidad y confiabilidad del sistema de energía basado en el convertidor modular multinivel. Su éxito beneficiará no solo al proyecto en sí, sino que también podría impactar positivamente en aplicaciones más amplias de almacenamiento de energía, en la conservación de las baterías y la optimización de su vida útil.

Para llevar a cabo este proyecto de título, se abordan las siguientes etapas: primero, se adquiere habilidad en el uso de Altium Designer, una herramienta avanzada para el diseño de PCB. Posteriormente, se definen los requisitos y componentes necesarios para el submódulo a diseñar. Luego, se procede al diseño del submódulo. Una vez completado el diseño, se avanza a la etapa de implementación del submódulo, asegurando que se realice conforme a las especificaciones establecidas. Finalmente, se realizan pruebas para verificar su correcto funcionamiento. Cada uno de estos pasos es primordial para el éxito de la memoria y para lograr un buen resultado con el submódulo diseñado.

2. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es diseñar, implementar y testear un submódulo de un convertidor modular multinivel utilizando el software Altium Designer.

3. Objetivos específicos

- Aprender a utilizar Altium Designer como herramienta de diseño.
- Generar documentación de un manual para aprender a utilizar Altium Designer.
- Revisar bibliografía sobre conexión de baterías a submódulos.
- Definir los requisitos técnicos y funcionales del submódulo del convertidor MMC.
- Diseñar el circuito del submódulo del convertidor MMC usando Altium Designer, basándose en prototipo facilitado por la Universidad de Chile.
- Revisar bibliografía sobre conexión de baterías a submódulos.
- Construir y ensamblar los componentes en la PCB de acuerdo con el diseño desarrollado.
- Ejecutar verificaciones y pruebas del prototipo construido.
- Identificar oportunidades de mejoras y optimizaciones para el submódulo.

4. Alcances y limitaciones

Alcances

- Se utiliza el diseño previo de un submódulo creado por la Universidad de Chile, para poder integrar baterías.
- Se identifican oportunidades de optimización en el diseño del submódulo.
- Se ejecutan pruebas para evaluar la funcionalidad básica del diseño del submódulo.

Limitaciones

- Debido a las limitaciones de tiempo y recursos, cualquier optimización y modificación necesarias para el prototipo serán abordadas en proyectos posteriores.
- El prototipo está limitado por depender de un diseño previo, por lo que el diseño se enfoca en un prototipo en particular.

5. Marco teórico y revisión de literatura

El presente proyecto se enmarca en el contexto de convertidores modulares multinivel y sus respectivos submódulos. A continuación, se presenta un resumen de los conceptos fundamentales necesarios para comprender el desarrollo y la implementación del submódulo.

5.1 Convertidor Modular Multinivel

Los convertidores modulares multinivel son dispositivos empleados en la conversión de energía eléctrica, que permiten generar múltiples niveles de voltaje en la salida. Dentro de esta categoría, los convertidores modulares multinivel sobresalen como una evolución avanzada, gracias a su capacidad para manejar eficientemente la energía eléctrica mediante una configuración modular y sofisticada.

Los tipos de convertidores de potencia varían según sus estructuras y aplicaciones. Los convertidores de dos niveles, simples y comunes en aplicaciones de baja potencia pueden enfrentar limitaciones en eficiencia y calidad energética. Por su parte, los convertidores multinivel convencionales ofrecen una mayor calidad energética pero su complejidad puede resultar costosa. Sin embargo, los convertidores modulares multinivel destacan por su arquitectura modular y escalabilidad, superando estos desafíos al ofrecer una eficiencia superior, calidad energética mejorada y una flexibilidad excepcional en aplicaciones de media y alta potencia.

En la Figura 1, extraída del Capítulo 1 del libro 'Modular Multilevel Converters: Analysis, Control, and Applications' (Du, Dekka, Wu & Zargari, 2018), se muestra un esquema detallado de las aplicaciones de media y alta potencia que utilizan los convertidores modulares multinivel.

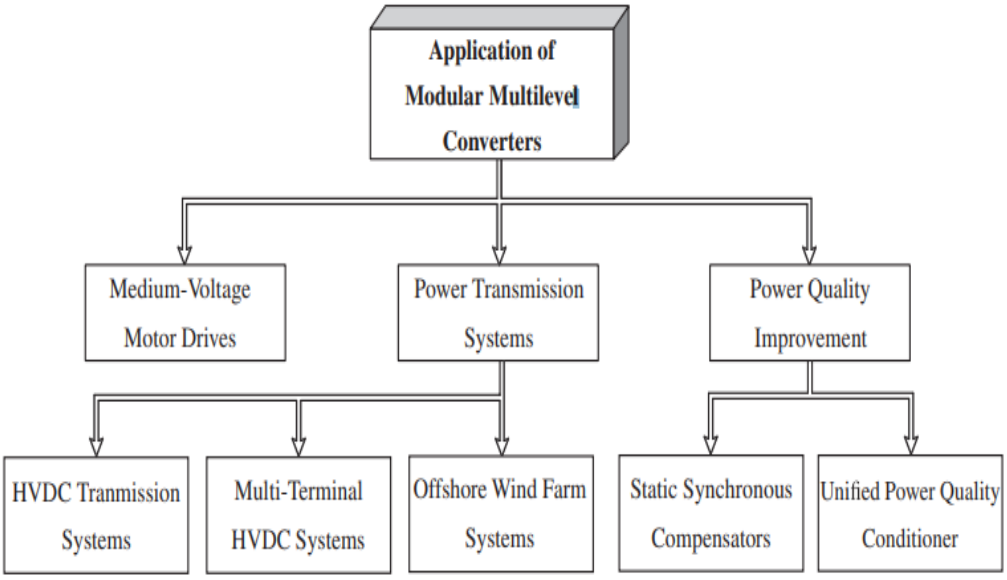


Figura 1. Aplicaciones de Convertidores Modulares Multinivel.

Estas aplicaciones incluyen:

- Accionamientos para motores de media tensión, los MMC pueden controlar y suministrar energía a motores eléctricos de media potencia con mayor eficiencia y precisión.
- Sistemas de transmisión de energía, tales como sistemas de Transmisión de Corriente Continua de Alto Voltaje, sistemas HVDC multiterminales y sistemas de parques eólicos marinos para mejorar la eficiencia y la calidad de la energía producida.
- Mejoras en la calidad de la energía, ofreciendo beneficios similares e incluso complementarios a los Compensadores Estáticos Sincrónicos y los Acondicionadores de Calidad de Energía.

La Figura 2 muestra una configuración generalizada de un convertidor modular multinivel trifásico, donde se presentan varios submódulos conectados en serie. Esta disposición secuencial de los submódulos permite al convertidor multinivel modular generar múltiples niveles de voltaje en la salida.

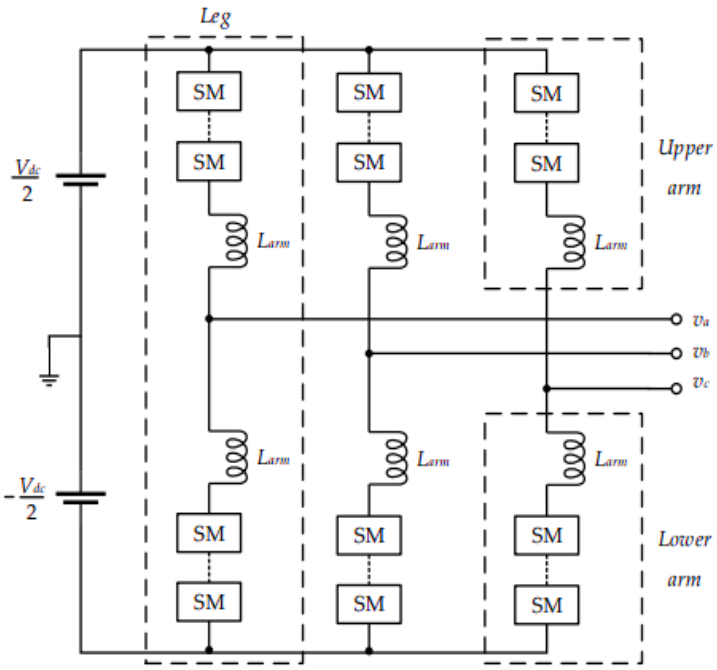


Figura 2. Configuración Generalizada de un MMC Trifásico. (Wang et al., 2020)

Esta configuración en serie no solo facilita la creación de distintos niveles de tensión, sino que también favorece la adaptabilidad y escalabilidad del sistema. Garantiza una flexibilidad óptima al tener capacidad de añadir o quitar submódulos según las necesidades de potencia específicas para las distintas aplicaciones. Además, el empleo de convertidores multinivel modular reduce la distorsión armónica y mejora la calidad de la energía eléctrica proporcionada (Wang et al., 2020).

5.2 Submódulos en convertidores modulares multinivel

Los submódulos son componentes muy importantes dentro de la estructura de un convertidor multinivel, ya que son responsables de generar los niveles de tensión intermedios necesarios. Estos submódulos presentan una diversidad de topologías y modos de funcionamiento, siendo su diseño fundamental para alcanzar un rendimiento óptimo del convertidor multinivel. Su papel es vital en la optimización de la eficiencia del sistema, la capacidad de conmutación y la mejora de la calidad de la salida de tensión (Wang et al., 2020).

Los submódulos en un convertidor modular multinivel consisten principalmente en semiconductores de potencia, como transistores o IGBT, que controlan la conmutación de los niveles de voltaje. Junto a ellos, los condensadores suavizan la forma de onda del voltaje generado, reduciendo la distorsión en la salida. Diodos de compuerta para la protección de los semiconductores. Además, dispositivos de control que regulan el funcionamiento del submódulo. Estos componentes trabajan en conjunto para garantizar la generación de los niveles de tensión. Existen diversas topologías de submódulos para convertidores, estas son mencionadas en Wang et al., 2020 y se muestran en la Figura 3 y 4.

- Topologías de submódulos de dos niveles:

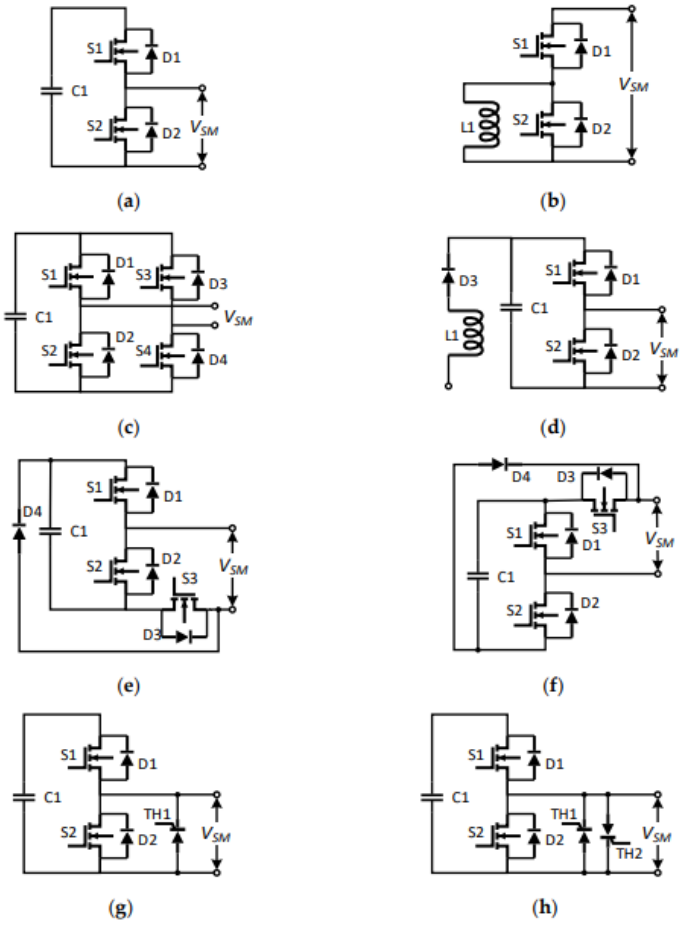


*Figura 3. Topologías de submódulo de dos niveles: **(a)** Submódulo de Medio Puente (HBSM), **(b)** Fuente de Corriente HBSM, **(c)** Estructura de Puente Completo (FBSM), **(d)** Submódulo de Auto equilibrio (SBSM), **(e)** Submódulo de Abrazadera Simple (CSSM), **(f)** CSSM Tipo II, **(g)** HBSM de un Solo Tiristor, **(h)** HBSM de Doble Tiristor.*

- Topologías de submódulos multinivel

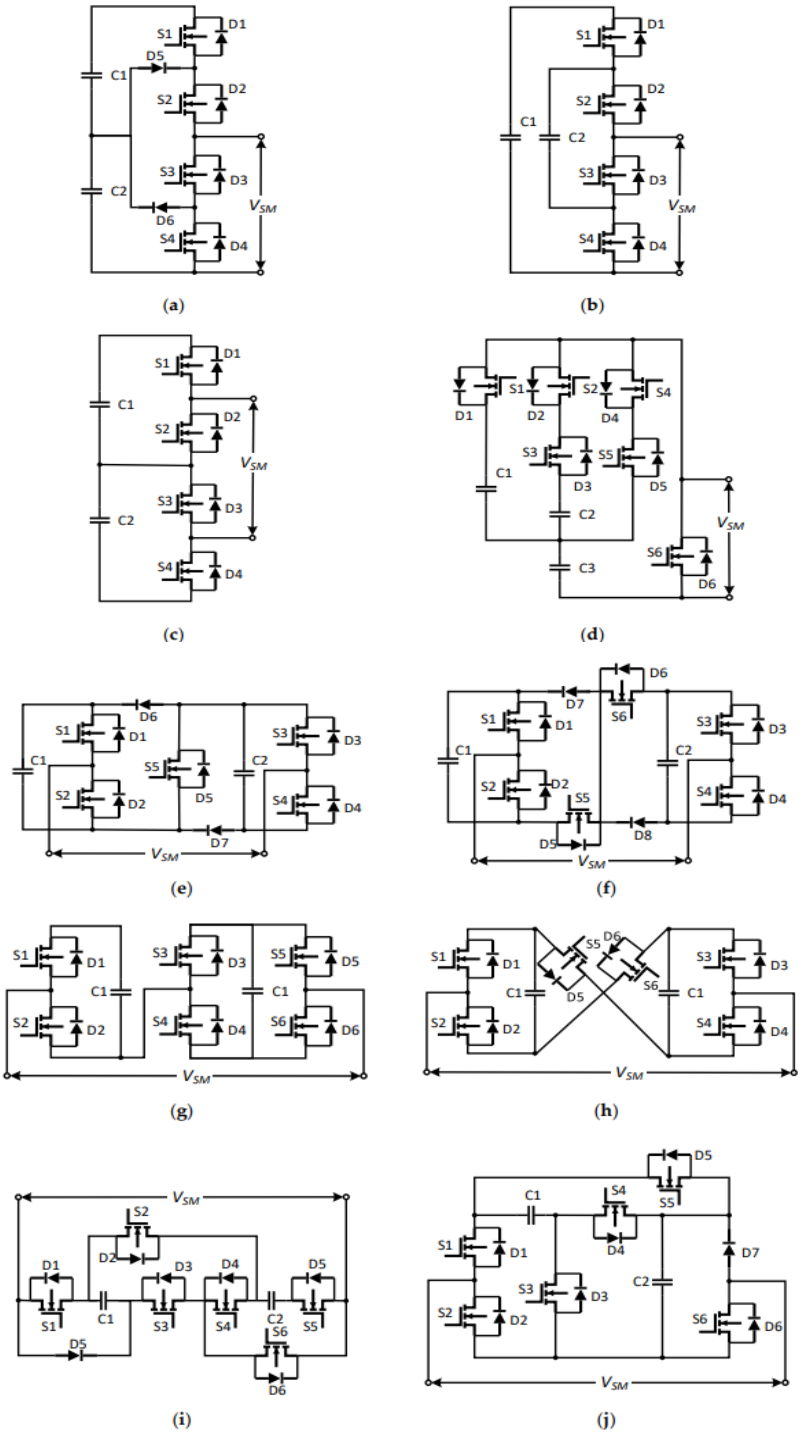


Figura 4. Topologías de submódulo multinivel: **(a)** *Submódulo de Punto Neutro Fijado (NPCSM),* **(b)** *Submódulo de Condensador Volante (FCSM),* **(c)** *Submódulo de Medio Puente en Cascada (CHBSM),* **(d)** *Submódulo de Condensadores Conmutados Apilados (SSCSM),* **(e)** *Submódulo Doble de Abrazadera (CDSM),* **(f)** *CDSM Tipo II,* **(g)** *Submódulos Híbridos (HSM),* **(h)** *Submódulo Interconectado (CCSM),* **(i)** *Submódulo de Condensador Conmutado (SCSM),* **(j)** *Submódulo Compuesto de Tres Niveles (CSM).*

Existen diversas topologías de submódulos, como se puede observar en las Figuras 3 y 4, pero el submódulo de medio puente de dos niveles ha sido seleccionado como la topología de submódulo ideal para la aplicación de este proyecto. La elección del HBSM se justifica por la utilización de pocos semiconductores por submódulo, además de su capacidad de escalabilidad, control preciso y eficiencia energética. Esto permite adaptar la capacidad total del sistema a las baterías disponibles, mantener un rendimiento seguro y eficiente, y minimizar las pérdidas de energía. Además, según Du, Dekka, Wu, & Zargari (2018), el submódulo de medio puente (HBSM) es el más popular y se utiliza ampliamente en productos comerciales.

5.3 Uso de convertidores modulares multinivel para integración de baterías

Los convertidores modulares multinivel se investigan cada vez más para su uso en la integración eficiente de baterías en sistemas de almacenamiento de energía, debido a sus ventajas en términos de escalabilidad, eficiencia y capacidad de adaptación a las necesidades de estos sistemas. A continuación, se detallan algunos artículos donde se investiga la utilización del MMC para la integración de baterías.

En los artículos de Quraan, Yeo, & Tricoli (2016) y Quraan, Tricoli, D'Arco, & Piegari (2017), se discute la viabilidad de emplear un conversor MMC trifásico para integrar baterías en vehículos eléctricos, asignando una batería por módulo para alimentar el motor de inducción. Quraan, Yeo, & Tricoli (2016) proponen una estrategia de control que equilibra individualmente todas las celdas de la batería y analiza las pérdidas en el convertidor.

Por otro lado, Quraan, Tricoli, D'Arco, & Piegari (2017) se centran en analizar la eficiencia del sistema propuesto y lo comparan con topologías convencionales utilizadas en vehículos eléctricos. Los resultados muestran que el convertidor modular multinivel tiene una eficiencia comparable e incluso superior a un convertidor tradicional de dos niveles, especialmente a baja velocidad/tensión y cargas ligeras, lo que aumenta la autonomía del vehículo.

El artículo de Li, Gao, Hao, Ma, & Zhang (2018) analiza el uso de convertidores modulares multinivel para baterías recicladas en sistemas de almacenamiento de energía de la red y propone un método para equilibrar el estado de salud para optimizar su rendimiento. El

método utiliza la configuración modular única de los sistemas de baterías y se basa en la relación entre SOH, profundidad de descarga y ciclo de vida.

Helling, Glück, Singer, Pfisterer, & Weyh (2019) presentan un enfoque novedoso llamado AC Battery, un sistema de batería dividida basado en un convertidor paralelo modular multinivel para aplicaciones de corriente alterna. La AC Battery permite el cambio dinámico de las celdas de la batería en paralelo y en serie, eliminando la necesidad de sistemas de gestión de baterías separadas.

Liang et al. (2021) ofrecen un análisis detallado sobre los límites de disparidad de potencia activa entre los submódulos en sistemas de almacenamiento de energía de batería basados en convertidores modulares multinivel. Proponen un método analítico para determinar estos límites, lo que puede ser útil en el diseño de sistemas de almacenamiento de energía basados en MMC, considerando diferentes condiciones como desequilibrios en el estado de carga de las baterías, baterías defectuosas y combinaciones híbridas de diferentes tecnologías de almacenamiento de energía.

Yang et al. (2017) recomiendan un convertidor multinivel modular de bloqueo inverso para sistemas de almacenamiento de energía en baterías. Esta configuración permite detectar una situación anormal, como una falla en la corriente continua o en la red eléctrica. Analizan la configuración, los principios de funcionamiento y los algoritmos de control, demostrando la efectividad del convertidor multinivel modular de bloqueo inverso en el manejo de fallas DC y sus capacidades superiores de manejo de fallas en comparación con los sistemas MMC BESS tradicionales.

Zhihao et al. (2017) se centran en un sistema de almacenamiento de energía basado en MMC con capacidad de compensación de potencia activa y reactiva, presentando estrategias de control para el equilibrio del estado de carga, control del lado de CA, y estrategias de enlace de DC/DC. Propone una estrategia coordinada para el sistema de almacenamiento de energía basada en la potencia reactiva transitoria, especialmente al aplicar el MMC-BESS en la integración de energía eólica, considerando las fluctuaciones del voltaje de la red. Los resultados de la simulación validan la efectividad de estas estrategias, destacando su potencial

para mejorar la eficiencia económica de la instalación de dispositivos de compensación en parques eólicos.

En el artículo de Ma et al. (2023), se realiza un análisis comparativo de cuatro tipos de sistemas de almacenamiento de energía de baterías modulares: BESS, BESS modulares paralelos, BESS modulares en cascada y MMC-BESS. Este artículo evalúa sus configuraciones, controles y desempeño. Destaca que el MMC-BESS sobresale por sus características especiales y su potencial en este tipo de aplicaciones. Además, pone énfasis en su capacidad para integrar y equilibrar baterías mediante el uso de corrientes circulantes únicas, lo que lo distingue de otros tipos de BESS modulares. También señala desafíos pendientes, como la necesidad de validación práctica del MMC-BESS y la investigación continua sobre la relación entre la vida útil de la batería y las corrientes onduladas.

Estos estudios resaltan el potencial de los MMC para mejorar la eficiencia y el rendimiento de los sistemas de almacenamiento de energía que incorporan baterías. También se destaca la importancia de desarrollar estrategias de control y gestión apropiadas para poder maximizar sus beneficios. En conjunto, estos artículos proporcionan una base sólida para el avance de sistemas de almacenamiento de energía sostenible y eficiente en el futuro, reafirmando la importancia de los convertidores modulares multinivel en estas aplicaciones.

5.4 Formas de conectar de baterías a submódulos.

Para realizar la conexión de la batería al submódulo, es necesario realizar una revisión bibliográfica, ya que la conexión de una batería al submódulo es un paso crítico. Esto requiere de un conocimiento profundo de los requisitos y aspectos técnicos necesarios para lograr una integración segura de la batería al sistema del submódulo. Por esta razón, a continuación, se presentan algunos de los artículos en los cuales se discuten formas de conectar la batería al submódulo.

En el artículo de N. Li et al. (2015), se propone un MMC trifásico para integrarlo en vehículos eléctricos, el cual servirá para integrar funciones como la gestión de la batería, carga de corriente continua y corriente alterna, y conducción del motor dentro de un solo

circuito. Dentro de este artículo se muestra una alternativa para poder conectar baterías a un submódulo, la cual está representada en la Figura 5.

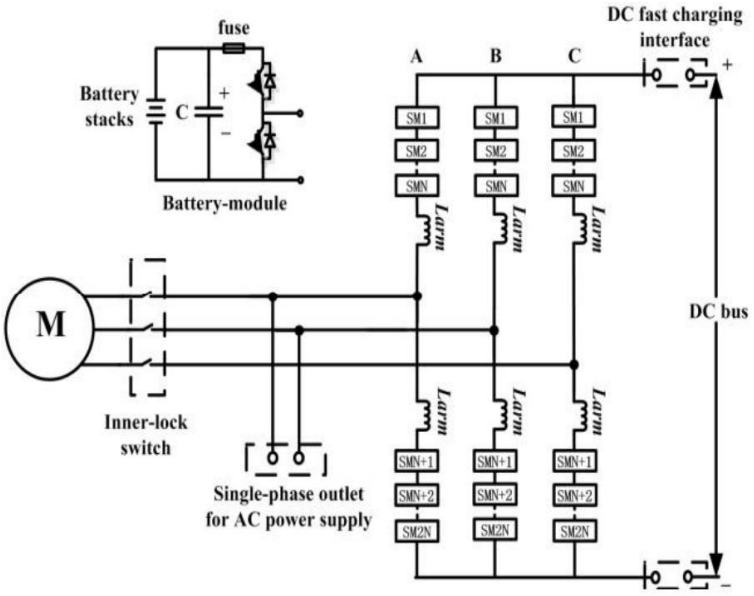


Figura 5. Conexión de baterías a un submódulo de medio puente.

En la esquina superior izquierda, se observa la configuración propuesta para conectar baterías a un submódulo, la cual consiste en un submódulo de medio puente, un condensador de filtro, una batería y un fusible para proteger al submódulo en caso de sobretensiones. En otros textos, como en Li, Gao, Hao, Ma, & Zhang (2018), también se propone esta forma de conectar baterías a un submódulo de medio puente.

En el artículo de Liu, Gao, Cai, & Li (2020), se propone una configuración que consiste en conectar las baterías de segunda vida al convertidor. Esta configuración se compone de un fusible de CC, colocado en serie con el submódulo. Además, se explica que cuando se detecta una falla en el dispositivo de potencia o en el módulo de la batería, o si el fusible en serie con la unidad de la batería se quema, el módulo de potencia correspondiente se deriva inmediatamente mediante un cortocircuito de su terminal de CA por un interruptor bidireccional o un contactor de derivación. Esta acción permite que el sistema continúe funcionando en su totalidad. En la Figura 6 se puede observar esta configuración.

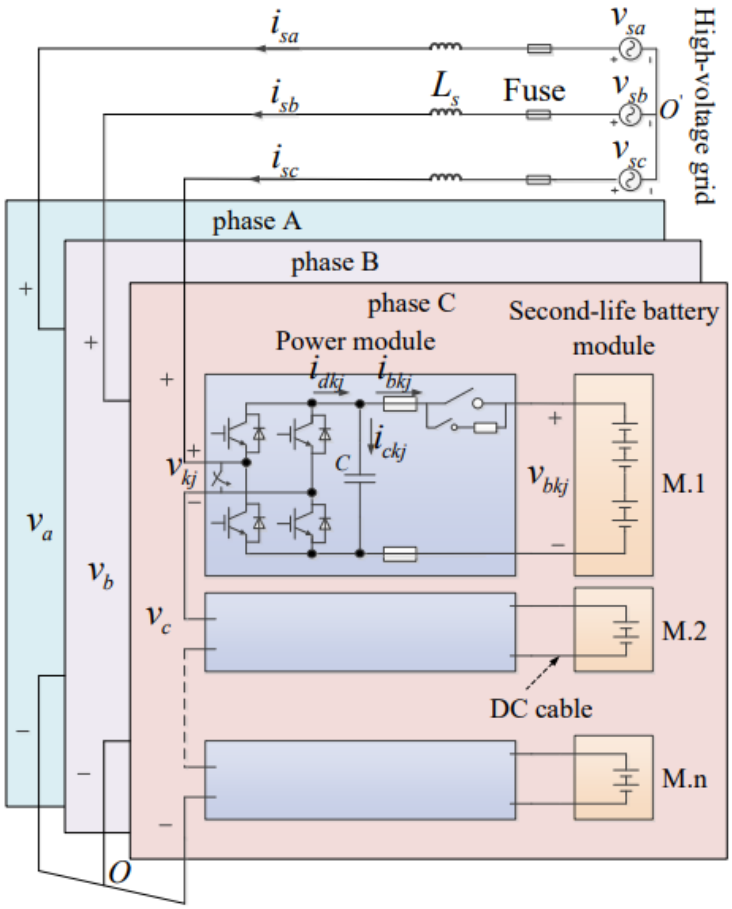


Figura 6. Configuración de conexión de baterías al submódulo de puente completo.

Existen artículos que detallan la conexión de baterías a submódulos de esta forma. Sin embargo, por temas de redundancia, en esta memoria solo se detallan los presentados. Aunque estas formas de conectar las baterías al submódulo son viables y correctas, en esta memoria se utilizará la configuración del artículo de Liu, Gao, Cai, & Li (2020). Aunque en teoría, la configuración de puente completo puede transformarse en una configuración de medio puente al desconectar la mitad del circuito.

Es importante destacar que, como se mencionó anteriormente, en esta memoria se eligió el submódulo de medio puente como la mejor configuración para llevar a cabo en el proyecto. Sin embargo, se ha elegido la configuración de puente completo para realizar las pruebas de funcionamiento del submódulo. Esto se debe a que, si ocurre algún problema o fallo en una parte del submódulo, la otra parte quedará operativa para continuar realizando

pruebas sin necesidad de construir otra placa de nuevo. Pero para el proyecto se utiliza la configuración de medio puente, ya que esto reduce a la mitad la cantidad de componentes.

5.5 Marco normativo en Chile referente a baterías y electromovilidad.

Durante los últimos años, la electromovilidad ha crecido considerablemente en Chile, impulsada por la Estrategia Nacional de Electromovilidad, que busca acelerar el desarrollo de la electromovilidad en el país, según Soler et al. (2022), promoviendo la adopción de vehículos eléctricos (EV) como parte de los esfuerzos para combatir el cambio climático y contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para el año 2035, se prevé que solo se comercialicen vehículos eléctricos, lo que provocará un aumento en la cantidad de baterías usadas por estos vehículos, las cuales con el tiempo necesitarán ser desechadas o recicladas. En este contexto, la ley 20.920 (Responsabilidad Extendida del Productor) cobra relevancia al buscar reducir residuos y fomentar el reciclaje de productos prioritarios como las baterías. De acuerdo con "Baterías - Ley Rep Chile" (2022), las baterías se consideran prioritarias debido a su consumo masivo y a la cantidad significativa de residuos peligrosos que generan al llegar al final de su vida útil.

Por otro lado, la Ley 21.505 desempeña un papel fundamental en la promoción de la electromovilidad y el almacenamiento de energía eléctrica en el país. Según Carey (2022), esta ley fomenta el uso de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica independientes, permitiendo su participación en el balance de inyecciones y retiros de energía en el Sistema Eléctrico Nacional, y promoviendo la inversión en sistemas de almacenamiento, incluidos los sistemas de baterías, las cuales son el tema principal de esta memoria.

Estas leyes y regulaciones son muy favorables para la implementación de sistemas de almacenamiento y reciclaje de baterías, ya que promueven activamente la adopción de tecnologías de almacenamiento de energía y la gestión sostenible de baterías en el contexto de la electromovilidad. Estas regulaciones benefician a la infraestructura de almacenamiento de energía y al reciclaje de baterías, siendo esenciales para este proyecto y su desarrollo futuro.

6. Marco metodológico

A continuación, en la Figura 7 se muestra un resumen global de las etapas que se realizarán en este proyecto.

Figura 7. Resumen de etapas del proyecto. (Fuente: Elaboración propia).

6.1 Aprender a utilizar Altium Designer

Esta etapa se enfoca en adquirir conocimientos sobre el software de diseño de PCB Altium Designer, esencial para el desarrollo de este proyecto, ya que será la plataforma en la que se realizará el diseño del submódulo.

Las actividades para llevar a cabo en esta etapa incluyen:

- Revisar tutoriales y recursos en línea sobre el uso de Altium Designer.
- Realizar prácticas guiadas para familiarizarse con el programa y sus funciones.

Se espera que, después de esta etapa, se posea un buen conocimiento del software para el adecuado desarrollo de las siguientes etapas.

6.2 Definición de requisitos técnicos y funcionales

Esta etapa es fundamental para el proyecto, ya que se necesita tener un conocimiento detallado de los requisitos que el submódulo del convertidor MMC debe cumplir tanto en términos técnicos como funcionales.

Las actividades que se efectuarán en esta etapa serán:

- Participar en reuniones y realizar consultas a docentes y personas encargadas del proyecto.
- Analizar componentes del submódulo a modificar (prototipo entregado por la Universidad de Chile).
- Documentar requisitos técnicos y funcionales.

Se finaliza esta etapa con la identificación de los requisitos técnicos y funcionales que el submódulo debe cumplir, sirviendo como base para el diseño y asegurando que cumpla con las expectativas y necesidades del proyecto.

6.3 Diseño del circuito en Altium Designer

Tras concluir la etapa anterior, se ejecuta el diseño del submódulo, lo que requiere mayor tiempo de ejecución por la atención al detalle necesaria para garantizar que el submódulo se conecte adecuadamente a las baterías y sea eficiente, confiable y cumpla con los requisitos previamente identificados.

Las actividades incluyen:

- Seleccionar los componentes electrónicos necesarios para el proyecto.
- Proponer ideas para el prototipo del submódulo.
- Diseño de la propuesta seleccionada en Altium Designer.

Se espera finalizar esta etapa con un diseño completo y detallado del circuito del submódulo en Altium Designer, listo para proseguir con la siguiente etapa.

6.4 Construcción y ensamblaje del prototipo

Después de diseñar, se procede a la construcción del prototipo, que requiere precisión y atención al montarlo, dada la delicadeza y pequeño tamaño de los componentes.

Las actividades incluyen:

- Comprar y adquirir los componentes necesarios para la placa.
- Imprimir la placa PCB.
- Montar los componentes y soldar.
- Verificar que las conexiones estén realizadas correctamente.

Al finalizar, se espera obtener un prototipo construido conforme al diseño en Altium Designer, con todos sus componentes correctamente montados y soldados.

6.5 Pruebas y evaluación de rendimiento

Esta etapa es crucial para terminar el proyecto de la mejor manera, ya que de esto depende el resultado final del submódulo diseñado e implementado a lo largo de esta memoria. Es aquí donde se deben realizar las pruebas y testeos exhaustivos del prototipo.

Para llevar a cabo esta etapa, se requieren los siguientes equipos para realizar las pruebas de funcionamiento de manera adecuada:

- Osciloscopio
- Generador de funciones
- Fuente de alimentación regulable
- Sondas diferenciales

Se espera que después de las pruebas y evaluaciones de rendimiento, el submódulo sea un prototipo funcional y eficiente. Si esto es posible, entregar documentación detallada del diseño y de un manual para aprender a utilizar Altium Designer, para que próximos alumnos, docentes o investigadores los puedan usar para sus necesidades futuras.

6.6 Identificar oportunidades de mejoras y optimizaciones

Esta fase del proyecto es fundamental, ya que establece las bases para una mejora continua del submódulo. La identificación mejoras y optimizaciones se centrará en la evaluación detallada del diseño realizado en el transcurso de esta memoria, el desempeño de los componentes y la eficacia operativa del prototipo. Este análisis, combinado con los datos recopilados durante las fases de prueba, permitirá destacar las áreas específicas donde se pueden hacer ajustes para mejorar la funcionalidad del submódulo.

7. Resultados

7.1 Aprendizaje de Altium Designer

En esta etapa se ha logrado una familiarización exitosa con el programa, donde se aprendió a usar las herramientas principales y a navegar dentro del software. Además, se ha adquirido conocimiento fundamental sobre las funcionalidades esenciales de Altium Designer, como la creación de esquemáticos, diseño de PCB, gestión de librerías y generación de archivos. Todo esto gracias a tutoriales y recursos en línea.

Se logró un conocimiento a un nivel esencial de comprensión para poder desarrollar el diseño de la placa PCB. Este aprendizaje ha proporcionado habilidades necesarias para llevar a cabo tareas básicas, como la creación de esquemas, diseño de PCB de una o doble capa, ubicación de componentes y trazado de pistas. Además, se pudo transmitir el conocimiento a través de clases de ayudantías preparadas para que los alumnos pudieran realizar un proyecto final en el curso "Laboratorio Electivo Ingeniería Eléctrica". En ANEXO V se puede encontrar el manual de Altium Designer que se utilizó para estas ayudantías.

7.2 Definición de requisitos técnicos y funcionales

7.2.1 Análisis de componentes del submódulo a modificar.

Para definir los requisitos técnicos y funcionales necesarios para la modificación del submódulo facilitado por la Universidad de Chile, es importante realizar un análisis de cada componente. Esto incluye identificar y clasificar detalladamente los componentes, determinar funciones específicas que desempeñan en el submódulo y comprender la relación entre ellos.

Las Figuras 8 y 9 presentan imágenes de la placa PCB facilitada por la universidad de Chile, mostrando tanto la cara superior como la inferior. Además, se incluyen detalles sobre algunos de los componentes del submódulo, lo que facilita su reconocimiento y comprensión a través de sus formas y disposición en la placa.

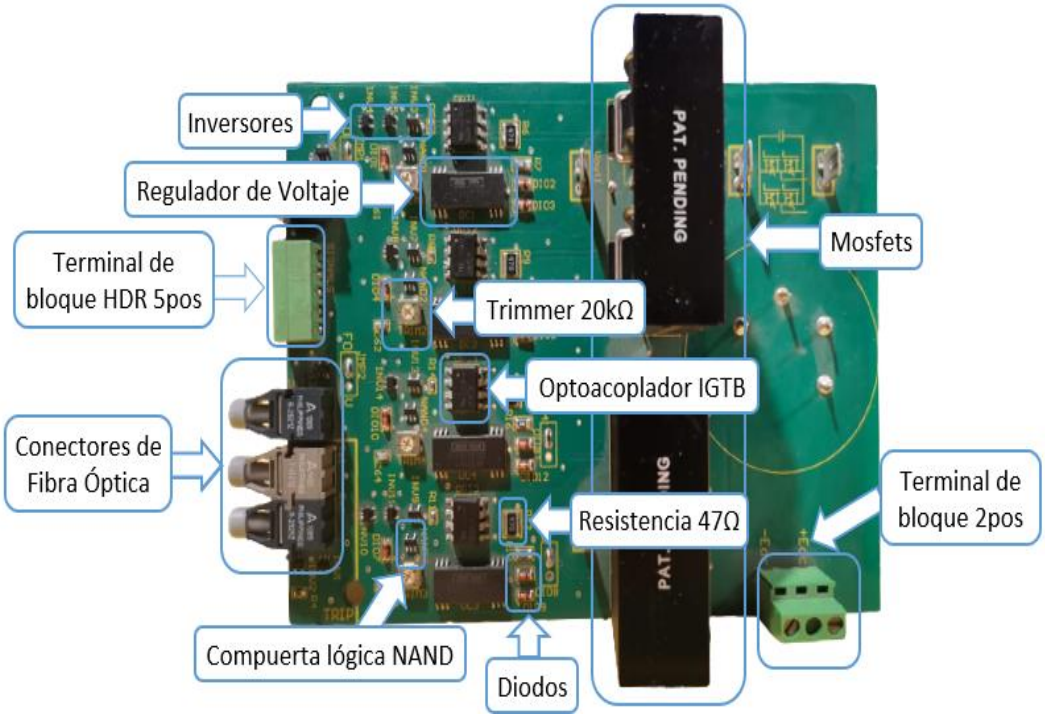


Figura 8. Submódulo de puente completo (cara superior) y nombre de sus componentes.

- Reguladores de voltaje: Proporcionan regulación de voltaje, lo que permite alimentar otros componentes del circuito o para proporcionar niveles de voltaje específicos.
- Diodos Schottky: Se utilizan para evitar la inversión de corriente.
- Diodos Zener: Son utilizados como reguladores de voltajes específicos.
- Inversores lógicos: Controlan la conmutación y la lógica del submódulo.
- Compuerta NAND: Realiza operaciones lógicas en las señales de entrada.
- Optoacopladores: Aíslan eléctricamente señales de control, proporcionando una separación entre el circuito de control y el circuito de potencia.
- MOSFET: Se utilizan para la conmutación de potencia y control de corriente.
- Resistencias: Se utilizan para limitar corrientes y dividir voltajes.
- Receptores y emisores de fibra óptica: Se usan para enviar y recibir señales de disparo para los MOSFET.
- Disipadores de calor: Se utilizan para disipar el calor que generan algunos componentes. En este caso para disipar el calor que generan los MOSFET.
- Bloques de terminales: Permiten una conexión segura y estable de cables o dispositivos.

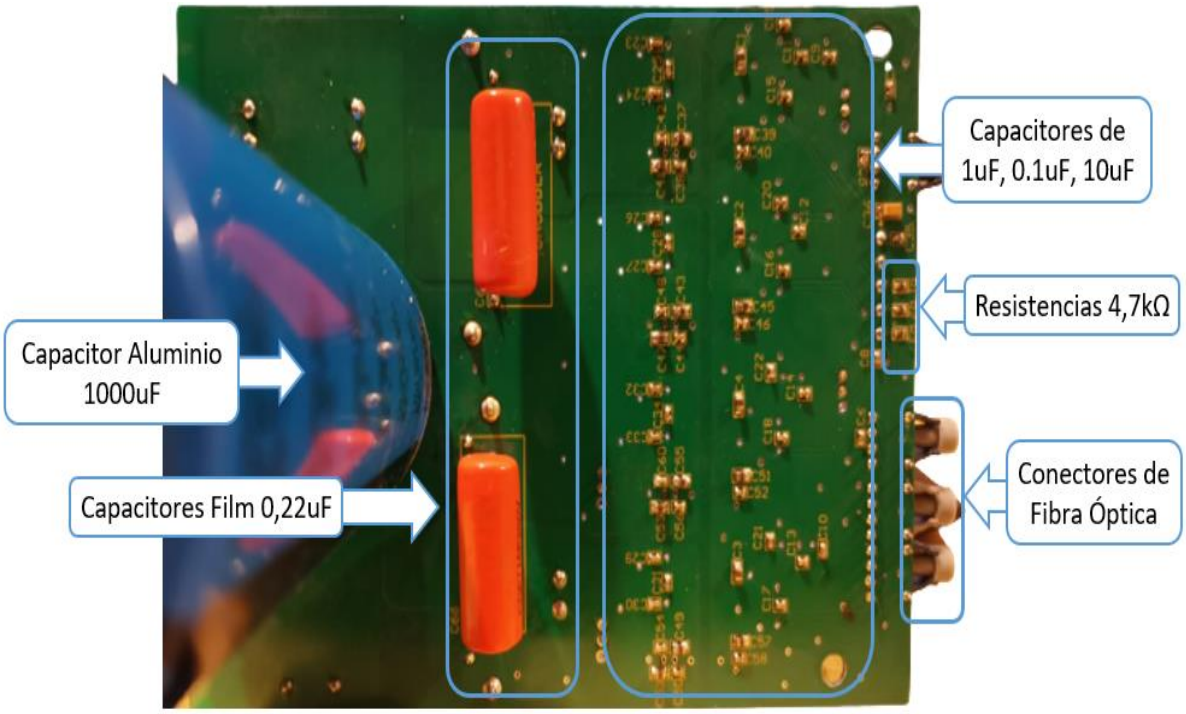


Figura 9. Submódulo de puente completo (cara inferior) y nombre de sus componentes.

- Condensadores de filtro (1uF, 0.1uF, 10uF): Ayudan a filtrar y suavizar las fluctuaciones de voltaje. Reducen el rizado y las variaciones no deseadas en la tensión de alimentación, contribuyendo a una salida más estable.
- Capacitores de conmutación (1nF, 0.22uF): Se utilizan para suprimir los transitorios de conmutación, reducir el ruido y proporcionar un camino de alta frecuencia para la conmutación suave de los dispositivos semiconductores.
- Condensador electrolítico de alta capacidad (10000uF): Este capacitor proporciona almacenamiento de energía adicional y puede ser útil para aplicaciones que requieren corrientes pulsantes o grandes demandas transitorias.

La conexión en conjunto de estos componentes permite el buen funcionamiento del submódulo. La integración de los condensadores es importante porque ayudan a suavizar las variaciones de voltaje, permiten que el circuito tenga una mejor respuesta ante cambios en la demanda de la energía y ayudan a reducir el ruido eléctrico mejorando la integridad de la señal en el circuito. Las diversas resistencias permiten controlar corrientes, voltajes y otros parámetros en el submódulo de medio puente.

Los inversores lógicos (Schmitt-Trigger, Single Input Inverter, puerta lógica NAND) se utilizan para la implementación de lógica de control para la operación del submódulo. Los MOSFET funcionan como interruptores semiconductores en el sistema. Estos están controlados por una señal de modulación de ancho de pulso para encenderse y apagarse, creando una forma de onda de voltaje que se puede usar para generar un voltaje de salida de CA. Los diodos Schottky y Zener proporcionan protección contra sobretensiones y regulación de voltaje para asegurar el funcionamiento seguro y estable del sistema. Los optoacopladores se usan para proporcionar aislamiento eléctrico entre el circuito de control y los MOSFET utilizados en el submódulo.

En conjunto estos dispositivos permiten que el submódulo de medio puente funcione de forma eficiente, controlada y segura, ya que eso es lo que se busca obtener de un submódulo. Al ser una pieza tan importante en el sistema del MMC es crucial que cumpla con todos los requerimientos y funciones para que este funcione de manera óptima y eficiente.

7.2.2 Requisitos técnicos y funcionales

Luego de concluir con las actividades anteriores, se han identificado los requisitos técnicos y funcionales del prototipo a desarrollar. Es crucial considerar que, en esta etapa, se asumen los valores nominales de la batería (corriente, voltaje) como equivalentes a los valores de salida del submódulo. Esto se hace para evitar complicaciones adicionales en el sistema, ya que este estudio se centra en probar la viabilidad de conectar baterías al submódulo. Las mejoras y optimizaciones de este prototipo se llevarán a cabo en etapas posteriores a esta memoria.

Para este proyecto se considera que cada submódulo estará conectado a una batería y entre ellos, para que ocurra una correcta protección se utiliza un relé y un fusible como sistema de protección. Como voltaje de salida se considera un voltaje de 200 V y corriente de salida máxima 26 A correspondientes a los valores del MOSFET. Para elección del fusible para protección entre la batería y el submódulo es esencial considerar las especificaciones del circuito, principalmente la corriente. Dado que el MOSFET maneja una corriente de salida de 26 A, la selección del fusible debe ser su capacidad para soportar corrientes cercanas a esta medida.

Al elegir un fusible con una calificación cercana, como, por ejemplo, un fusible de 30 A, se asegura una protección efectiva del circuito contra posibles sobre corrientes. Además, también es importante seleccionar un fusible que pueda manejar el voltaje de salida esperado, garantizando que su calificación sea igual o mayor que el voltaje del circuito para una protección completa. Es por esto por lo que para este proyecto se considera un fusible de acción rápida de 30 A y 500 V.

Adicionalmente, se integra un relé para ejercer un control preciso sobre la alimentación de la batería. Este relé proporciona la capacidad de activar o desactivar el suministro eléctrico de manera remota o durante operaciones de mantenimiento, permitiendo la conexión o desconexión de la batería al submódulo de manera controlada y segura.

7.3 Diseño del circuito en Altium Designer

7.3.1 Componentes electrónicos necesarios para el proyecto.

A continuación, en la Tabla 1 se presentan los componentes necesarios para el proyecto.

Tabla 1. Lista de componentes necesarios para el Submódulo.

Nombre	Código	Cantidad
Capacitor cerámico 1UF 25V Y5V 0805	C0805C105Z3VACTU	16
Capacitor cerámico 0.1UF 16V 10% X7R 0603	0603YC104KAT2A	43
Capacitor tantalio 10UF 20V 20% 1206	T491A106M020AT	1
Capacitor cerámico 1000PF 50V 5% NP0 0805	C0805C102J5GACTU	4
Capacitor film 0.22UF 200VDC RADIAL	715P22452LD3	2
Capacitor de aluminio 10000UF 200V 20% SNAP	382LX103M200B102VS	1
Bloque de terminal HDR 5POS R/A 3.81MM	1803303	1
Bloque de terminal 2POS SIDE ENTRY 10MM	282858-2	2
Regulador de voltaje +/-15V DL 12SOP	DCP020515DU	4
Diodo Schottky 30V 0.2A SOD80	BAS85-GS08	4
Diodo Zener 15V 500MW LLDS	BZV55-C15,115	8
Inversor Schmitt-TRG SOT23-5	SN74AHC1G14DBVR	9
Inversor SGL 1INPUT SOT23-5	SN74LVC1G06DBVR	5
MOSFET N-CH 200V 26A TO-220FP	IRFI4227PBF	4
Disipadores de calor para 2 TO-220	C220-050-2AE	2
Compuerta lógica NAND 1CH 2-INP SOT-23-5	SN74AHC1G00DBVR	4
Optoacoplador IGBT DRIVE 2.5A SMD	HCPL-3120-300E	4
Resistencia 4.7K OHM 1/4W 5% 0603 SMD	ESR03EZPJ472	3
Resistencia 100 OHM 1/4W 5% 0805	RPC0805JT100R	1
Resistencia 470 OHM 1/10W 5% 0603 SMD	ERJ-3GEYJ471V	4
Resistencia 47 OHM 1W 5% 1218 WIDE	RCL121847R0JNEK	4
Resistencia 20K OHM 1/4W 1% 1206 SMD	ERJ-8ENF2002V	4
Receptor de fibra óptica 600NM 5MBD	HFBR-2521Z	3
TRIMMER 20K OHM 0.25W SMD	TS53YJ203MR10	4
Transmisor de fibra óptica 600NM 5MBD	HFBR-1521Z	1
THERMAL PAD TO-220 .007" GRAY	173-7-220P	4
Conector FAST TIN PCB .250	63824-1	4
Conector receptor FAST 14-16 AWG .250	3-520406-2	2
Porta fusible 30A	3576	1
Fusible de cartucho 500VDC 30A	576-0505030.MXEP	1
Relé de 30A 12VDC	G7L-2A-X-SI_DC12	1

Estos componentes son necesarios para poder realizar un buen proceso de construcción y ensamblaje de la PCB, en el apartado 7.4 se detalla la compra de estos componentes para la construcción de la placa.

7.3.2 Propuestas de prototipo para el submódulo

Como en la sección 7.2.2 se definió que se utilizará un fusible y un relé entre el condensador y la conexión de la batería, es necesario hacer propuestas de prototipo para poder ver cuál es la mejor opción para poder implementar esta configuración.

Para el prototipo, se han ideado dos propuestas para la implementación del fusible y el relé en el diseño del submódulo:

1. **Primera propuesta**: Integrar el relé y el fusible directamente en la placa del submódulo a crear, utilizando espacio dentro del diseño principal.
2. **Segunda propuesta:** Desarrollar una placa independiente que se denominará "placa de protección". Esta placa se conectará independientemente entre el condensador y la batería.

Si bien estas dos propuestas son buenas, es esencial analizar cuidadosamente los aspectos positivos y negativos de cada una.

Los beneficios de la primera propuesta se centran en la simplificación del diseño al requerir una sola placa para la totalidad del diseño. Sin embargo, los contras incluyen el posible aumento en el tamaño de la placa, lo que podría comprometer la eficiencia del espacio, además tomando en consideración que, si el circuito del submódulo presenta algún fallo, implicaría cambiar la placa completa.

En cambio, la segunda propuesta ofrece ventajas significativas. Permite mantener la funcionalidad del submódulo y ofrece modularidad en la conexión, permitiendo la conexión y desconexión del submódulo o la batería. En el caso de un fallo en el submódulo en uso, esta placa independiente puede ser conectada a otro submódulo, manteniendo la continuidad operativa.

Luego de analizar ambas propuestas, se definió la segunda propuesta, ya que esta configuración ofrece una serie de ventajas. Al mantener esta placa de protección independiente, se asegura la funcionalidad del submódulo principal ante cualquier posible inconveniente o error que pudiera surgir en el circuito, puesto que estos no afectaran directamente en esta placa adicional.

7.3.3 Diseño de la propuesta en Altium Designer

7.3.3.1 Diseño del submódulo

En esta etapa se desarrolla la elaboración del diseño del submódulo facilitado por la Universidad de Chile, permitiendo aplicar y poner en práctica todo lo aprendido durante la primera etapa de esta memoria.

Diseño del esquemático

En el diseño del esquemático, se empleó una herramienta potente dentro de Altium Designer conocida como Samacsys para la integración de componentes. Esta herramienta permitió agregar los footprints y sus diseños en 3D utilizando únicamente el código del componente, lo que resultó de gran ayuda en la creación del submódulo, simplificando significativamente el proceso de diseño.

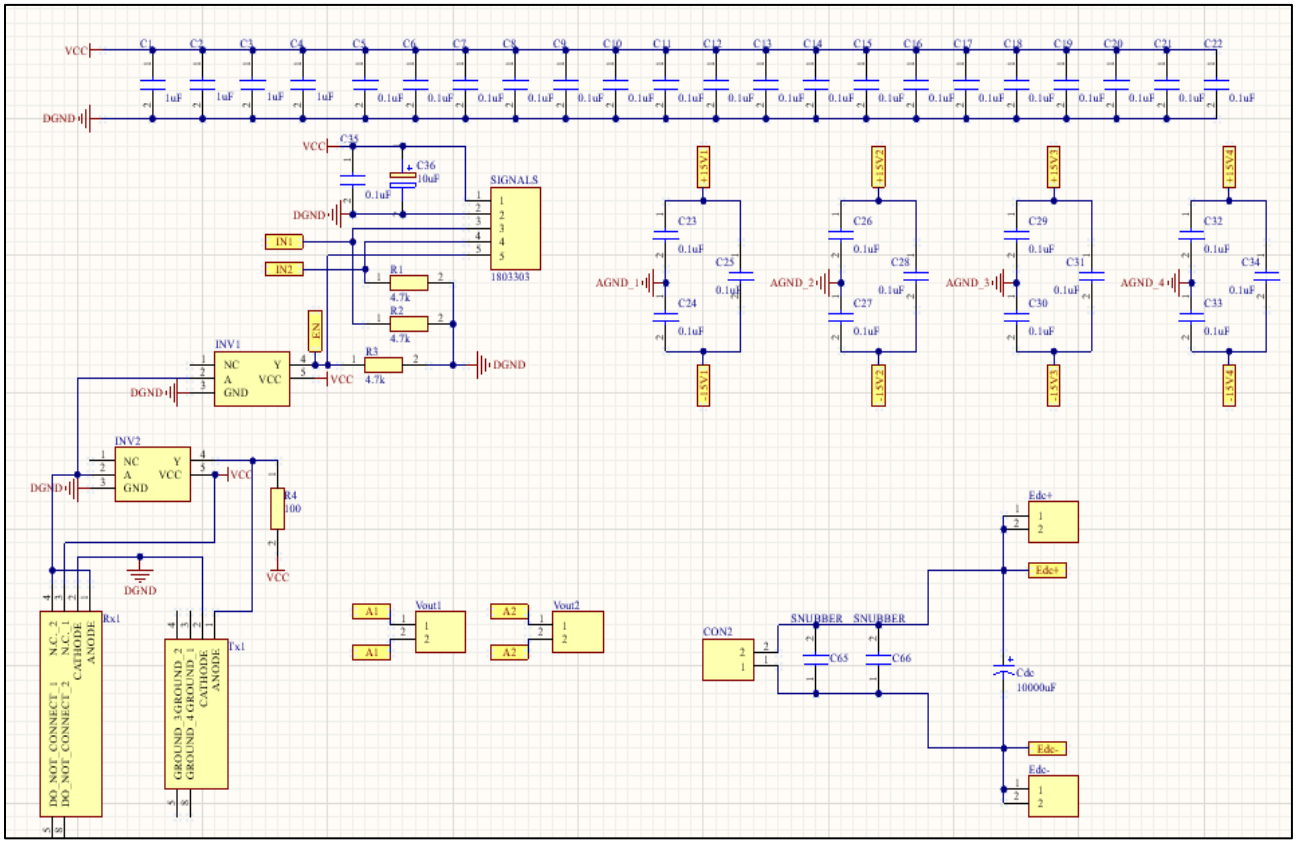


Figura 10. Parte del diseño esquemático del submódulo.

En la Figura 10 se muestra parte del circuito esquemático donde se puede apreciar un circuito de condensadores en paralelo. Cuatro circuitos de condensadores para los reguladores de voltaje presentes en la Figura 11. Un circuito para poder alimentar la placa. Un circuito para el condensador de 10.000 uF con sus condensadores Snubber. Además, se muestran las dos salidas (Vout1, Vout2) provenientes de los dos pares de MOSFET representados en la Figura 12.

En la Figura 11 se puede observar un circuito con reguladores de voltaje que convierten la fuente Vcc y la transforman a +/- 15V para poder alimentar al optoacoplador de modo que le entregue a los MOSFET +15V para la parte positiva -15V para la parte negativa. Esto para asegurar un correcto encendido y apagado de los componentes.

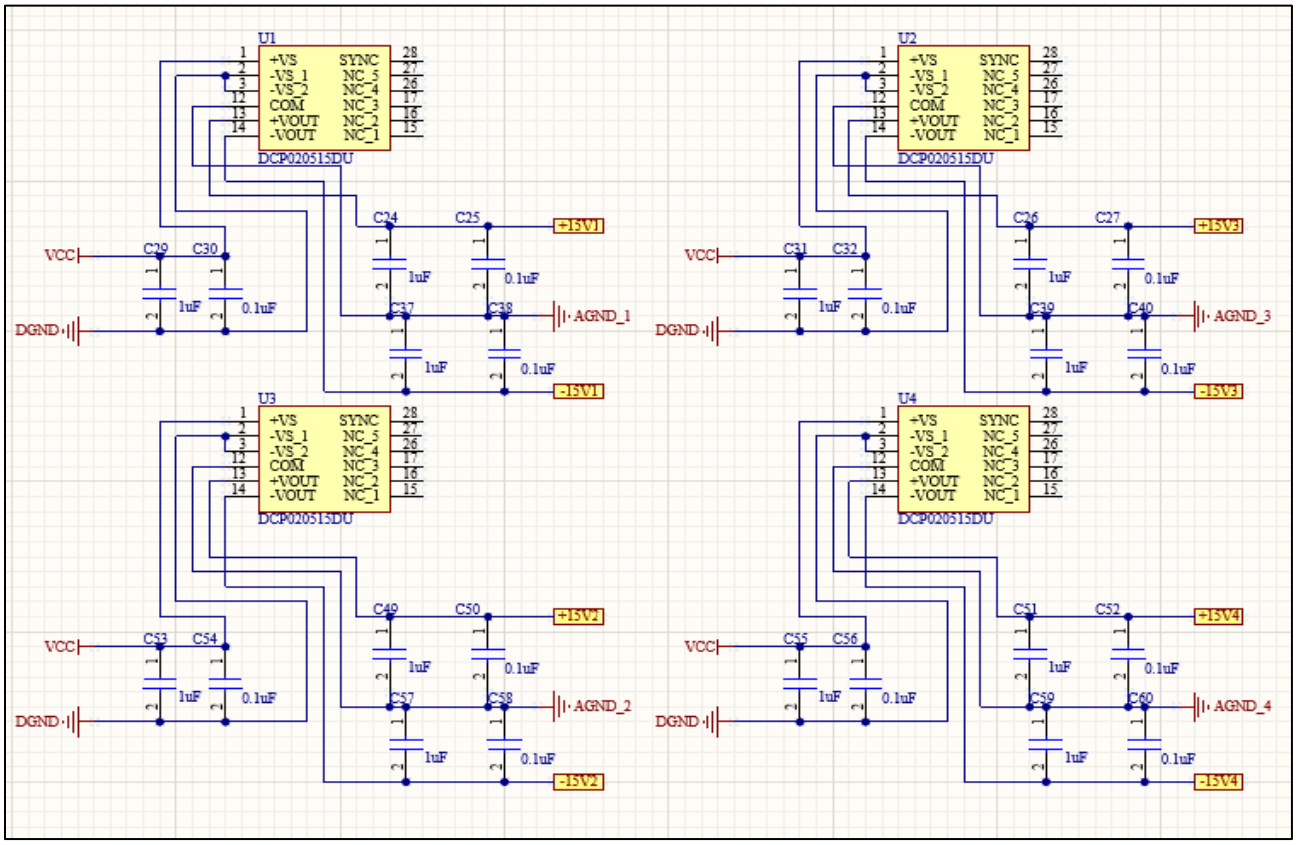


Figura 11. Reguladores De Voltaje +/-15V.

La Figura 12 presenta el esquemático detallado del circuito encargado de controlar los MOSFET. Este diseño ofrece dos tipos de señales: una señal estándar y una señal complementaria, lo que posibilita la activación y desactivación de los MOSFET. El esquemático

muestra una configuración con diversos inversores y compuertas NAND utilizados para modificar la señal que se entrega a los MOSFET. En el lado derecho del esquema, se aprecian los MOSFET, presentando en este caso cuatro unidades, ya que este circuito corresponde a un submódulo de puente completo, tal como se ha mencionado en ocasiones anteriores. En el caso de realizar un submódulo de medio puente solo se consideraría a uno de estos circuitos.

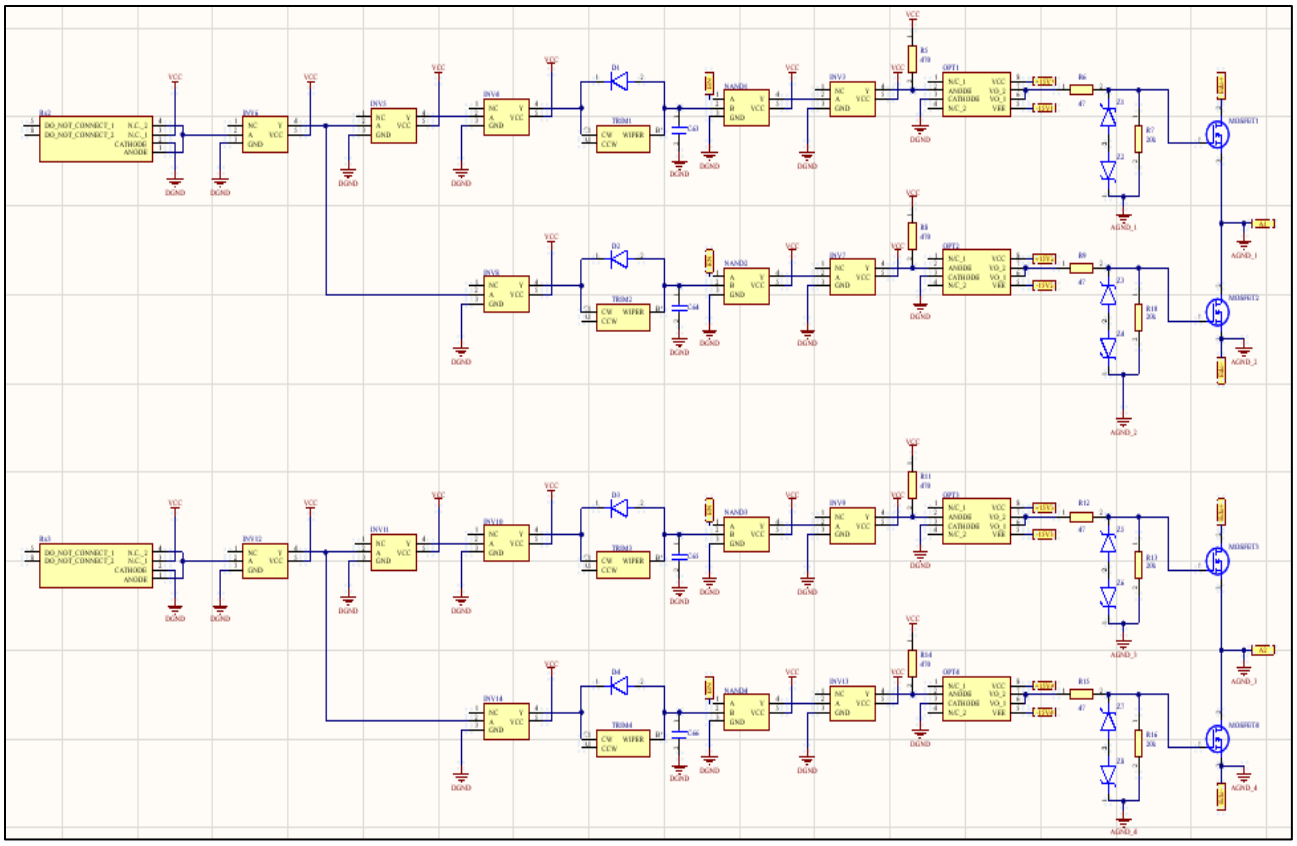


Figura 12. Diseño esquemático de la parte de control del submódulo.

Diseño de la PCB

En las Figuras 13, 14, 15, 16 y 17 se presentan las etapas que se realizarón para el diseño de la PCB. En la Figura 13 se pueden observar los componentes fuera del área del diseño, los cuales deben ser puestos en el lugar que se estime correcto, procurando que las conexiones no se crucen.

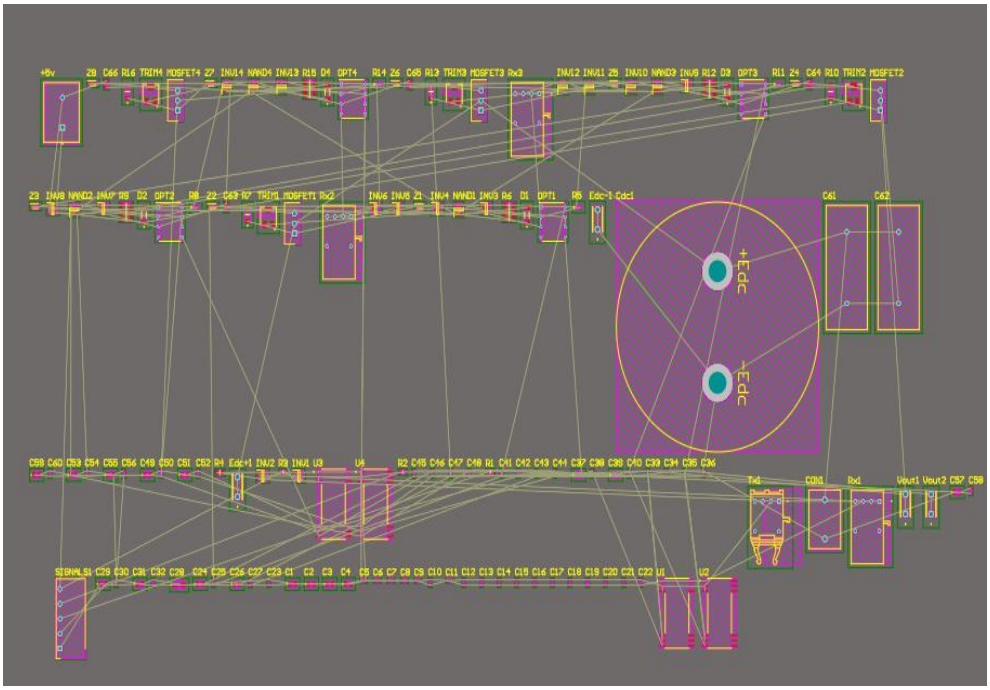


Figura 13. Componentes para colocar en la PCB.

En la Figura 14, se pueden observar los componentes colocados tanto en la capa superior como en la inferior, donde solo faltaría enrutar todos los componentes.

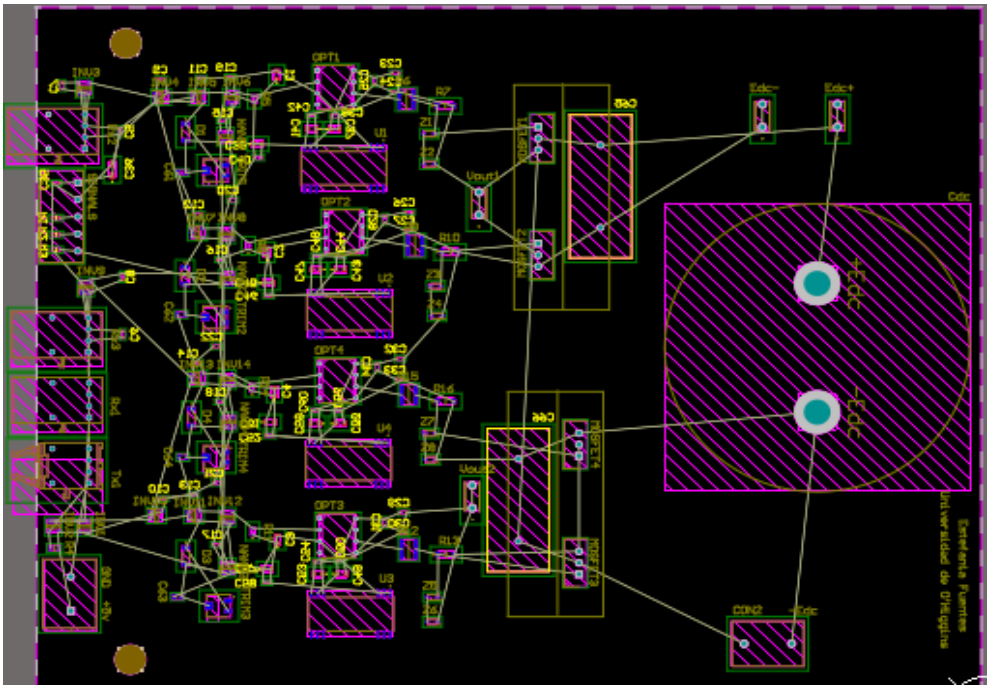


Figura 14. Circuito en la PCB antes de enrutar.

En la Figura 15 se presenta la placa con todas sus pistas enrutadas y todos los componentes conectados. Se distinguen las pistas en dos colores: las pistas azules indican que están enrutadas en la capa inferior, conocida como 'bottom layer', mientras que las pistas rojas muestran el enrutamiento en la capa superior o 'top layer'.

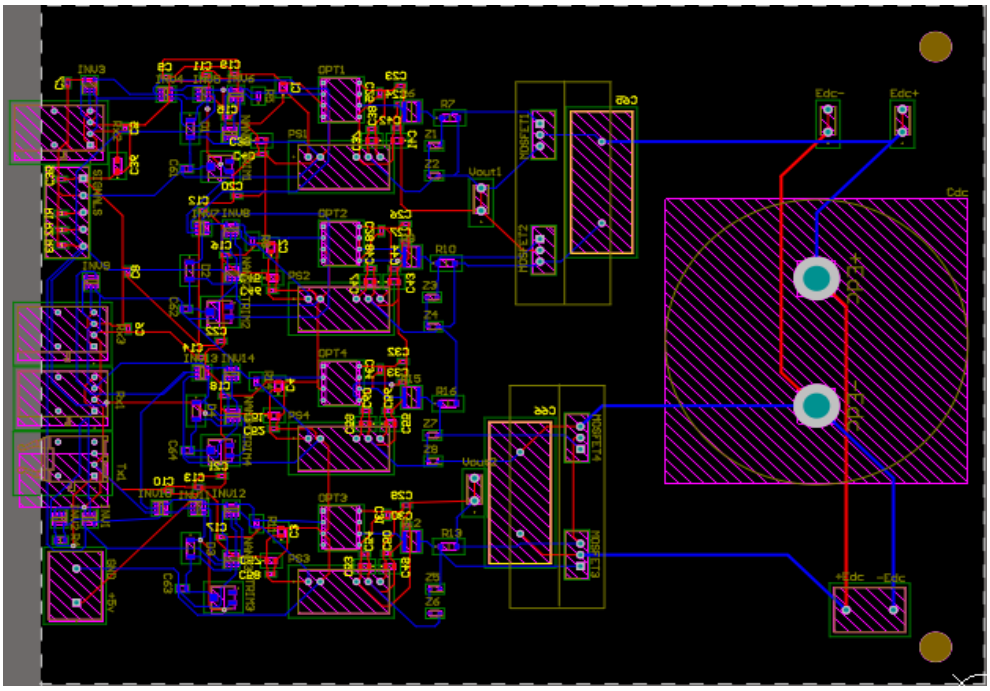


Figura 15. Diseño del submódulo enrutado.

Adicionalmente, como se muestra en las Figuras 16 y 17 se agregan planos de tierra y Vcc con el fin de darle funcionalidad y confiabilidad al submódulo. La Figura 16 demuestra el plano de Vcc, visualizado en color rojo, esencial para suministrar un voltaje de alimentación uniforme a los componentes a lo largo de la placa. En la Figura 17 se puede ver el plano de tierra implementado, visualizado en color azul, este facilita la disipación de calor y contribuye a la protección contra Interferencias electromagnéticas. La presencia de estos planos es vital para garantizar la estabilidad eléctrica y la integridad de la señal.

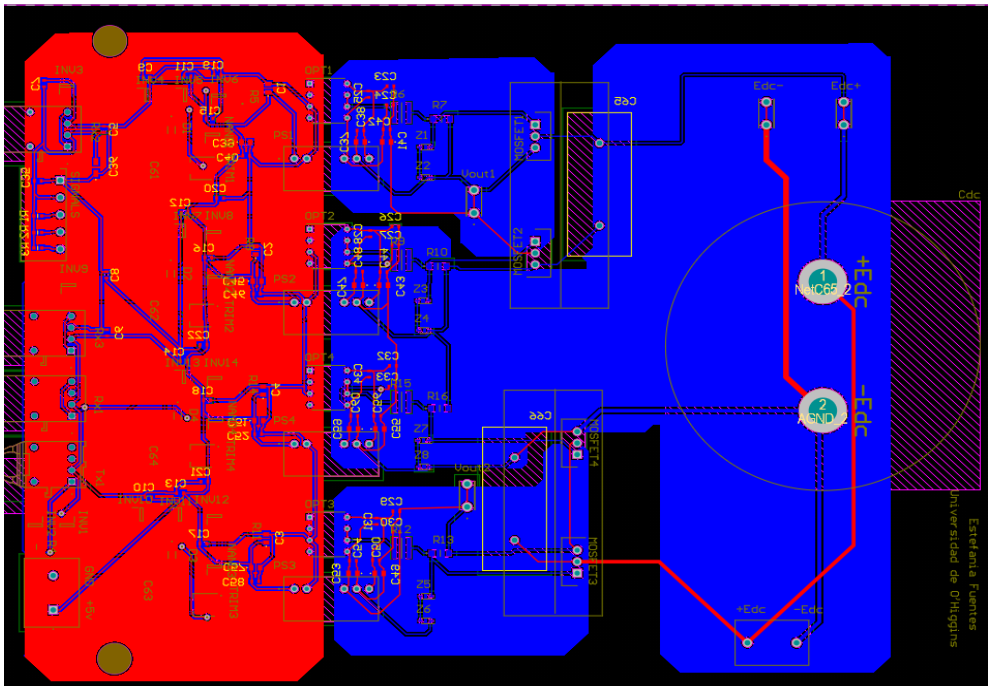


Figura 16. Implementación del plano de Vcc.

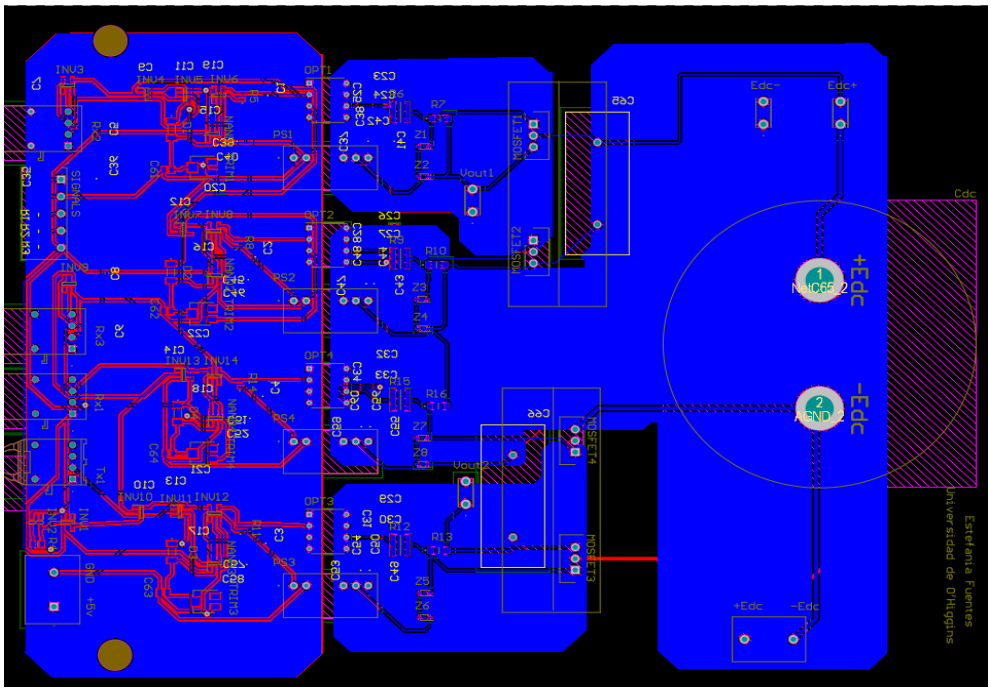


Figura 17. Implementación del plano de tierra.

Diseño de la PCB En 3D

A continuación, en las Figuras 18 y 19 se presenta el diseño en 3D del submódulo. En el cual se pueden observar todos los componentes y tener una idea de cómo será el circuito en físico cuando se realice la implementación del submódulo. Con el formato 3D se puede visualizar los componentes de una forma parecida a los componentes reales que van conectados en la placa. Esto ayuda a verificar que los componentes corresponden y que están colocados en la dirección correcta.

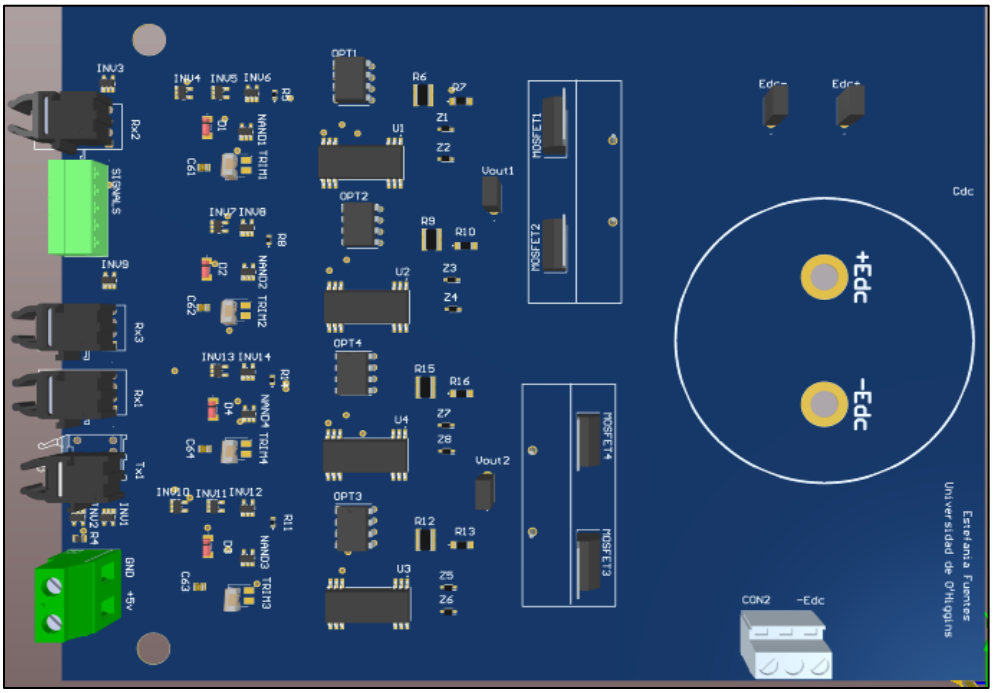


Figura 18. Diseño de la PCB en 3D cara superior.

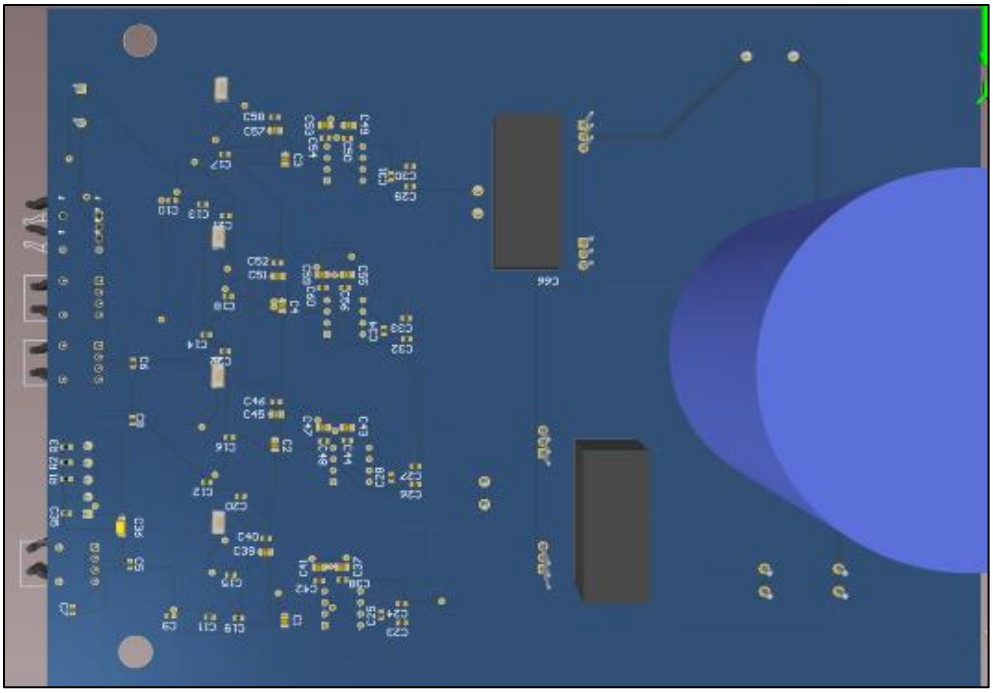


Figura 19. Diseño de la PCB en 3D cara inferior.

7.3.3.2 Diseño de la placa de protección

Diseño del esquemático

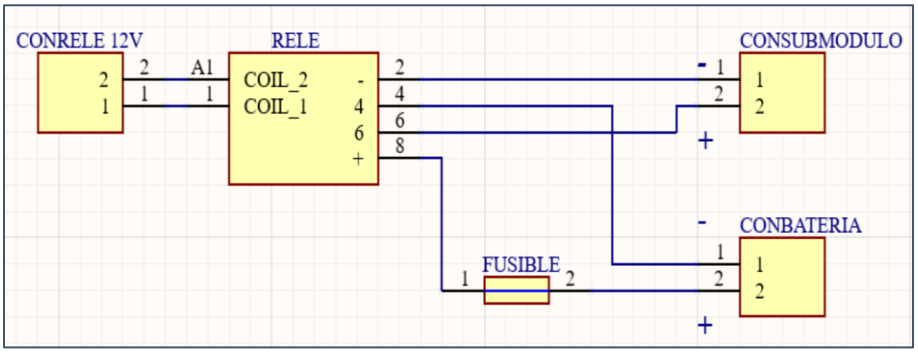


Figura 20. Esquemático de la placa de protección.

En la Figura 20 se puede apreciar el circuito esquemático de la placa de protección. El cual consiste en el fusible en el lado del positivo, entre el submódulo y el relé. El relé conectado de acuerdo con su Datasheet que está en ANEXO III. Los conectores correspondientes para conectar la alimentación de la bobina del relé, el submódulo y la batería a la placa de protección.

Diseño de la PCB

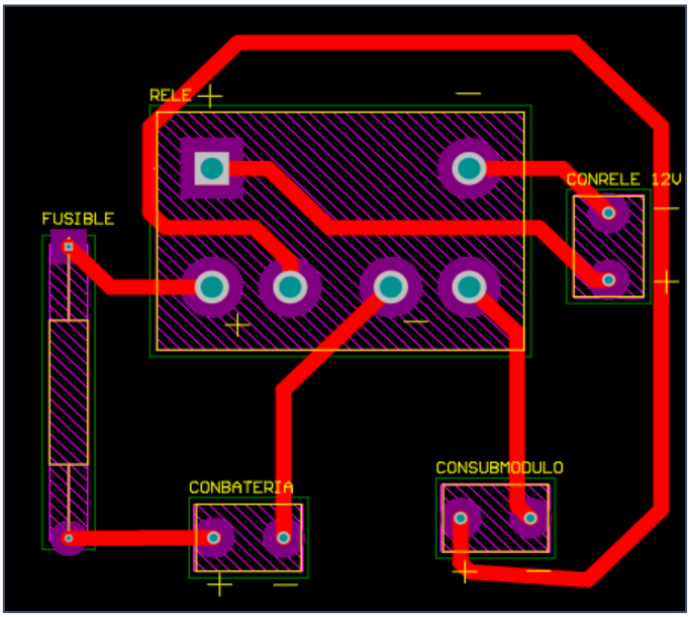


Figura 21. Diseño de la placa de protección terminado.

En la figura 21, se puede observar el diseño de la placa de protección terminada, con sus rutas realizadas y los agujeros de los componentes.

Diseño de la PCB en 3D

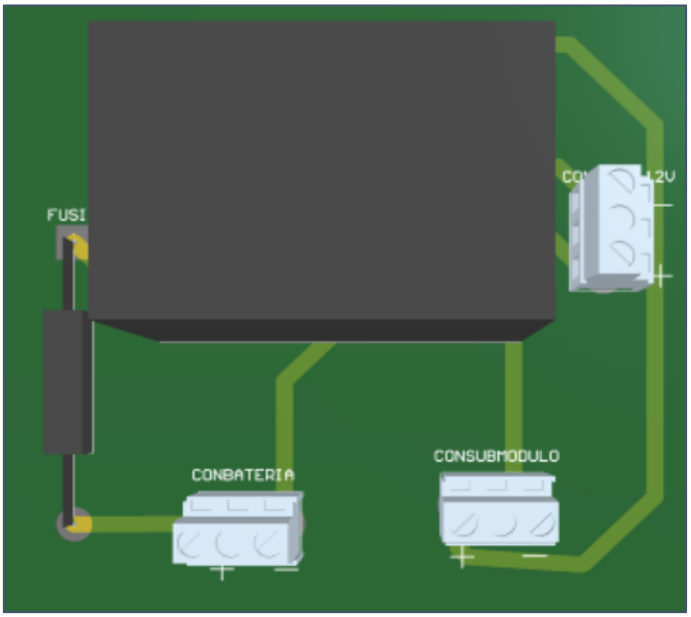


Figura 22. Diseño de la placa de protección en 3D.

La Figura 22 muestra el diseño en 3D de la placa de conexión, brindando una representación visual anticipada de cómo será la placa física y la disposición de las conexiones de los componentes.

7.4 Construcción y ensamblaje del prototipo

7.4.1 Compra y adquisición de componentes necesarios para la placa

En el ANEXO IV se encuentra la cotización obtenida en MOUSER para poder realizar la compra de estos componentes. Estos elementos se compran en cantidades mayores con el fin de reproducir el diseño. Esta medida se toma para evitar posibles inconvenientes y también para realizar futuros prototipos que puedan llevarse a cabo en la Universidad. En este punto cabe destacar que el proyecto FONDEF será el impulsador para la creación de laboratorio de electrónica de potencia en la Universidad de O'Higgins.

7.4.2 Impresión de las PCB

Inicialmente, se planeaba imprimir las placas utilizando la impresora 3D ubicada en el FABLAB de la universidad. Durante el semestre, el alumno Gonzalo Soto trabajó en este laboratorio y se familiarizó con la impresora 3D, llegando incluso a desarrollar un manual detallado para imprimir PCB's con esta tecnología. Sin embargo, surgió un imprevisto: justo en la semana programada para imprimir las placas, las fresas de la máquina se rompieron, impidiendo ser realizada esta forma de impresión.

Esto llevó a buscar formas de imprimir las placas PCB. En el caso de la placa del submódulo, su diseño contiene pistas demasiado pequeñas y muy juntas, lo que hace difícil la impresión en cualquier forma. Por lo tanto, se realiza la fabricación de la placa del submódulo con una empresa especializada en impresión de placas PCB llamada CAEM.

En la Figura 23, se presenta una imagen de la placa producida por esta empresa. Estas placas son del tipo "prototipo", ya que las placas finales, normalmente de color verde, se mandan a imprimir una vez que el diseño ha sido probado y testeado completamente. Estas

placas verdes son destinadas al uso comercial una vez que se ha verificado y confirmado su funcionamiento.

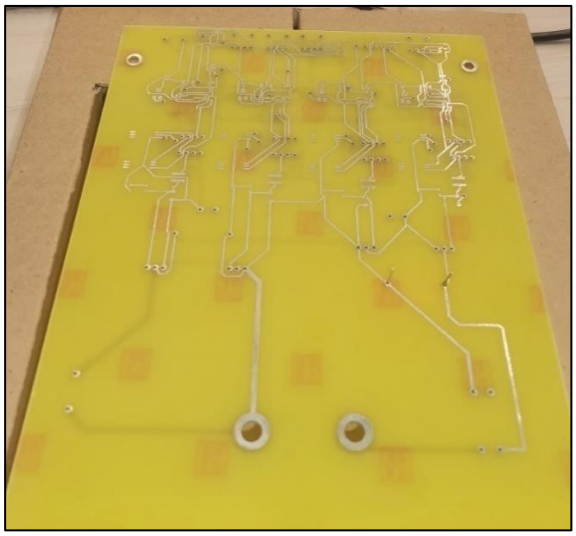


Figura 23. Placa fabricada por la empresa CAEM.

Para imprimir la placa de protección, como primera opción se optó por un enfoque más artesanal utilizando el método de impresión con cloruro férrico. Este proceso se puede ver en ANEXO VIII. El resultado no fue el óptimo, asique se decidió ocupar una placa perforada para poder realizar el prototipo de la placa de protección, la cual será mostrada a continuación, en la Figura 24.

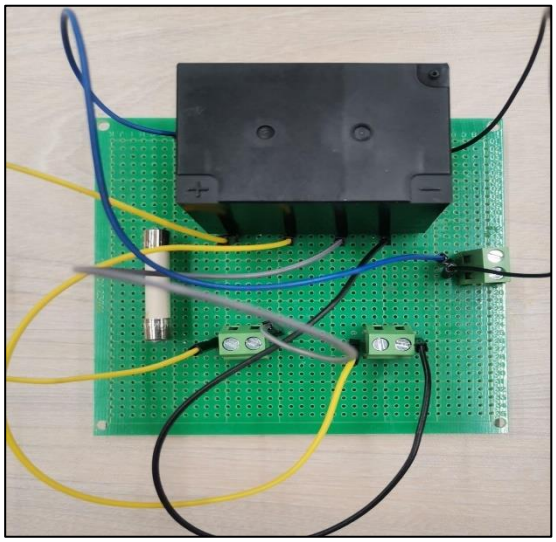


Figura 24. Prototipo de la placa de protección.

7.4.3 Montaje de los componentes

En esta fase del proyecto se procede a ensamblar los componentes, limitándose a la mitad del circuito del submódulo de puente completo. Esto se adoptó como precaución para evitar la necesidad de fabricar una nueva placa en caso de fallo del circuito. Siguiendo el diseño elaborado en Altium Designer, se soldaron los componentes en sus respectivas ubicaciones, prestando especial atención a su correcta orientación.

El montaje de los componentes se realizó con una maquina de soldar y material de soldadura, asegurando que cada conexión estuviese bien establecida. La Figura 25 muestra el progreso de este proceso con los componentes ya soldados en la placa. Por otro lado, la Figura 26 presenta la placa del submódulo completamente ensamblada.

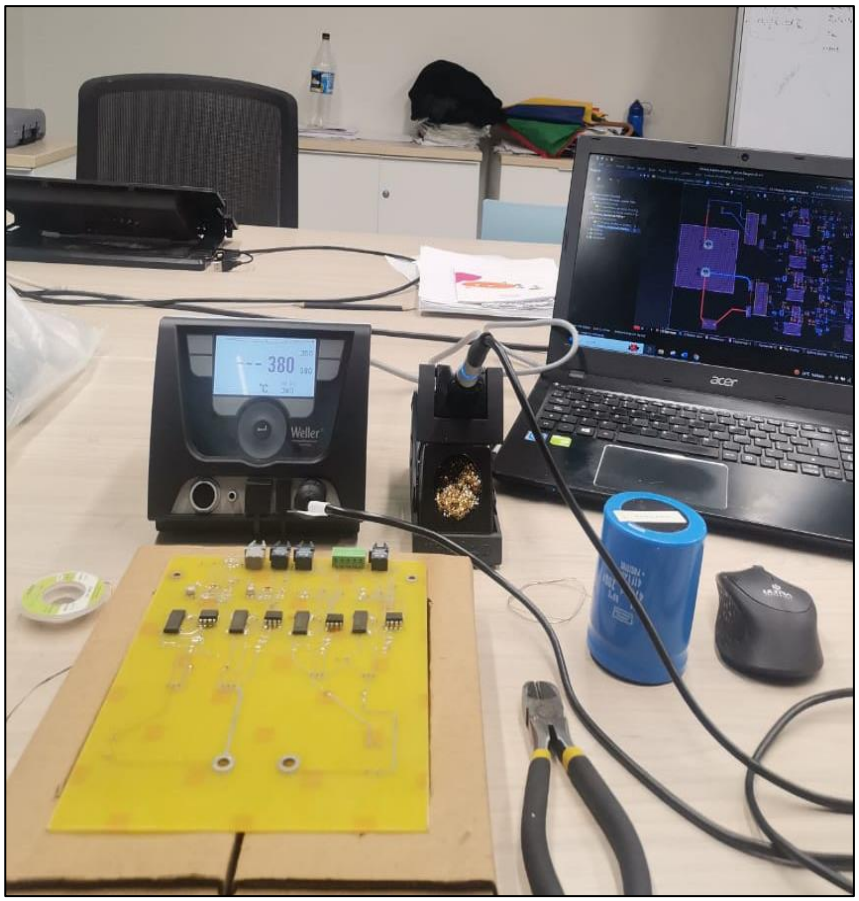


Figura 25. Montaje de los componentes.

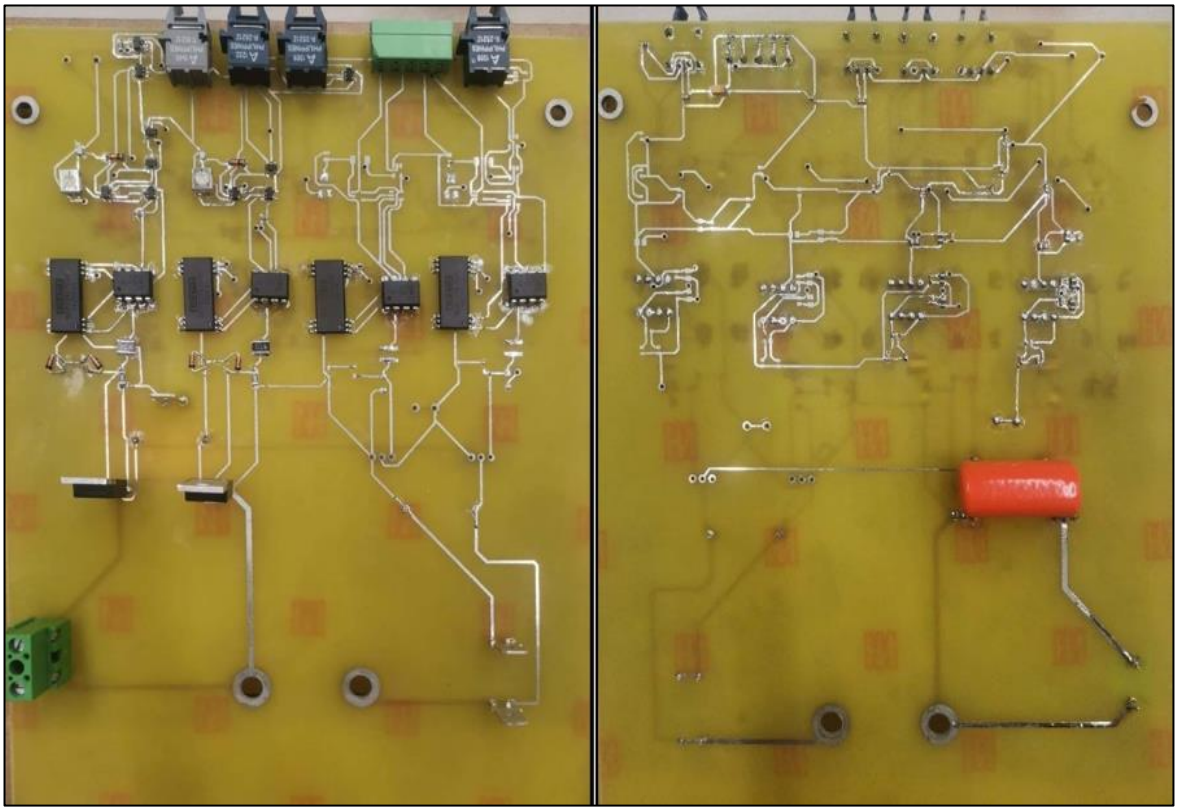


Figura 26. Submódulo cara superior y cara inferior.

7.4.4 Verificar que las conexiones estén realizadas correctamente.

Para verificar la correcta conexión entre las pistas y los componentes, se utilizó un multímetro para medir la continuidad. Esta herramienta se usó con el fin de asegurar la conexión adecuada entre pistas y componentes. En la Figura 27 se ilustra lo que se detalló anteriormente. Lo cual como resultado se obtuvo que todos los componentes y pistas estuvieran conectados en la forma correcta.

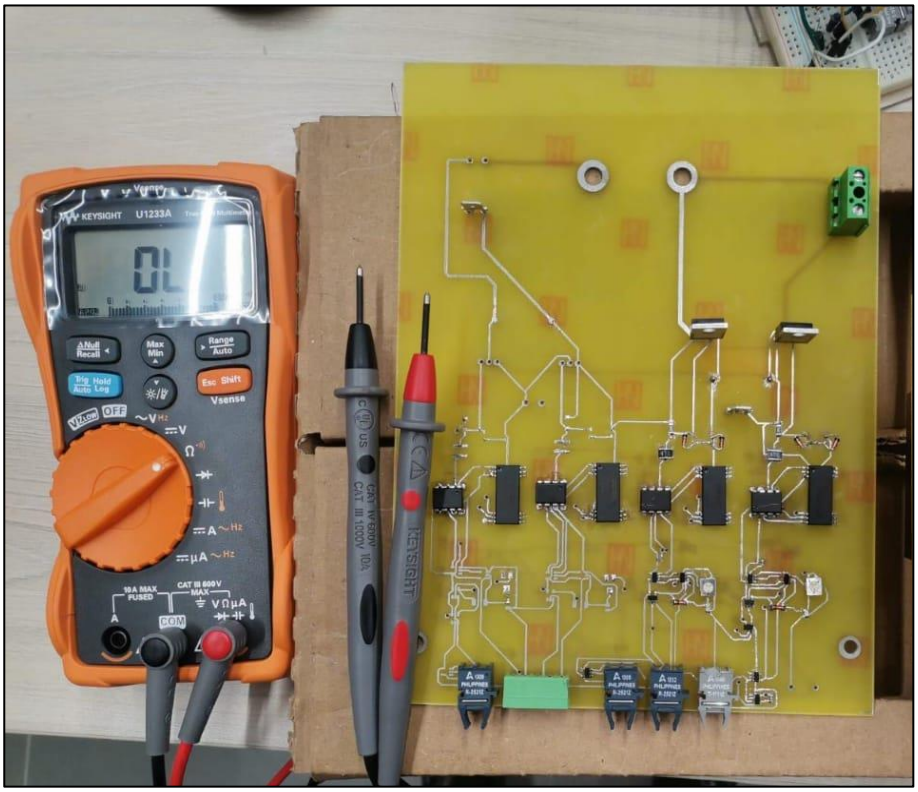


Figura 27. Medición de continuidad.

7.5 Pruebas y evaluación de rendimiento

7.5.1 Realizar las pruebas y mediciones correspondientes

Para poder poner a prueba la placa del submódulo, es esencial crear un circuito que convierta la electricidad en luz. Este circuito será fundamental para transformar el voltaje o pulsos que utiliza la placa en señales de luz compatibles con la fibra óptica. Siguiendo las instrucciones detalladas en el datasheet del transmisor de fibra óptica que se encuentra en ANEXO VI, se podrá convertir la energía eléctrica en señales de luz adecuadas para que la placa pueda funcionar correctamente. A continuación, en la Figura 28 se detalla el circuito a realizar para enviar las señales por fibra óptica.

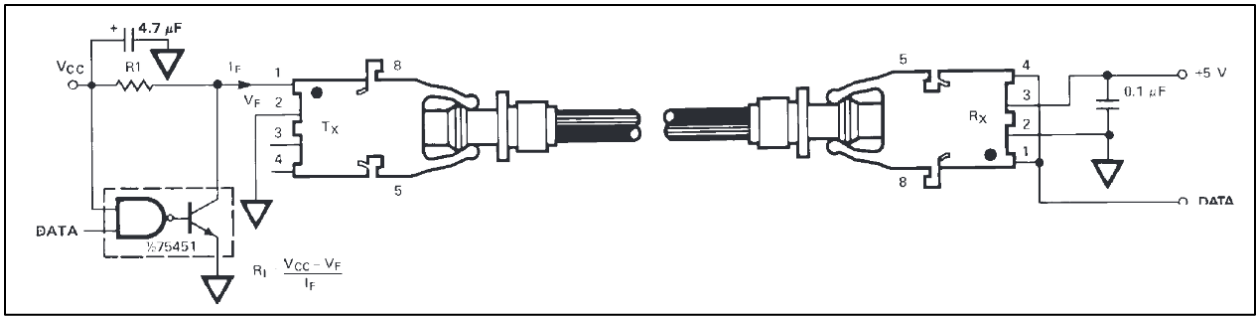


Figura 28. Circuito para transmitir por señales por fibra óptica.

Durante las pruebas de este circuito para verificar la correcta transmisión de la señal, se identificó un problema: la señal estaba siendo enviada de manera inversa. Este inconveniente se originó al utilizar una compuerta NAND según la sugerencia del datasheet del componente. La función de esta compuerta hizo que la señal resultante fuera opuesta a la deseada. En respuesta a este problema, se implementó una solución conectando una segunda compuerta NAND que está dentro del circuito integrado, el cual consta de cuatro compuertas NAND incluidas dentro de él. Esto permitió invertir la señal inversa generada, pudiendo enviar la señal correctamente. En la Figura 29, se puede apreciar el resultado del circuito de transmisión por fibra óptica.

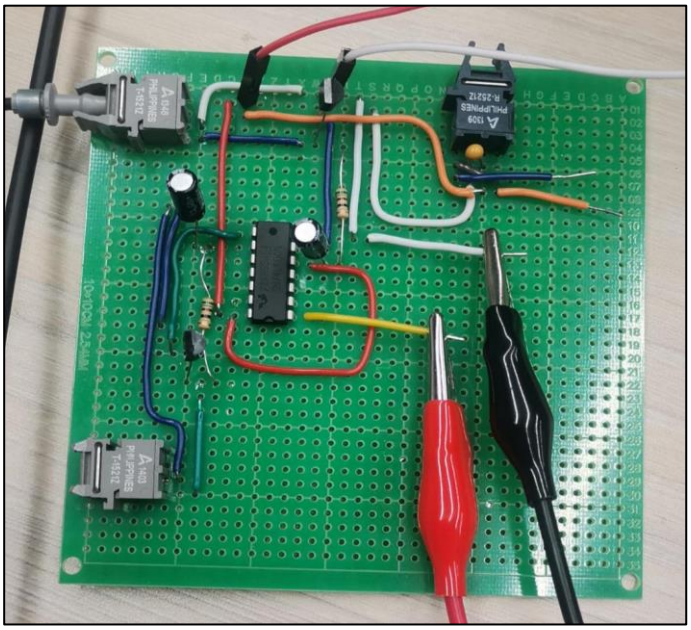


Figura 29. Circuito realizado para transmitir a través de la fibra óptica.

En este circuito se puede observar que hay dos transmisores, esto porque se requiere una señal con pulsos, que permitirá controlar los mosfets. Para generar los pulsos se utilizará el generador de funciones que enviará una señal de escalones de 5Vpp y 1KHz. Por otro lado, se necesita una señal que active la placa, que en este caso debe ser un alto (un uno lógico). Para generar el uno lógico se envía una señal continua de 5V que representa un alto. Adicionalmente, se agrega un receptor de fibra óptica que permite revisar si la señal que se está mandando esta correcta, antes de inyectarla al submódulo.

A continuación, en la figura 30, se observa el resultado obtenido por el circuito transmisor. La señal verde es la señal del generador de funciones y señal amarilla es la señal que está recibiendo el receptor de fibra óptica.

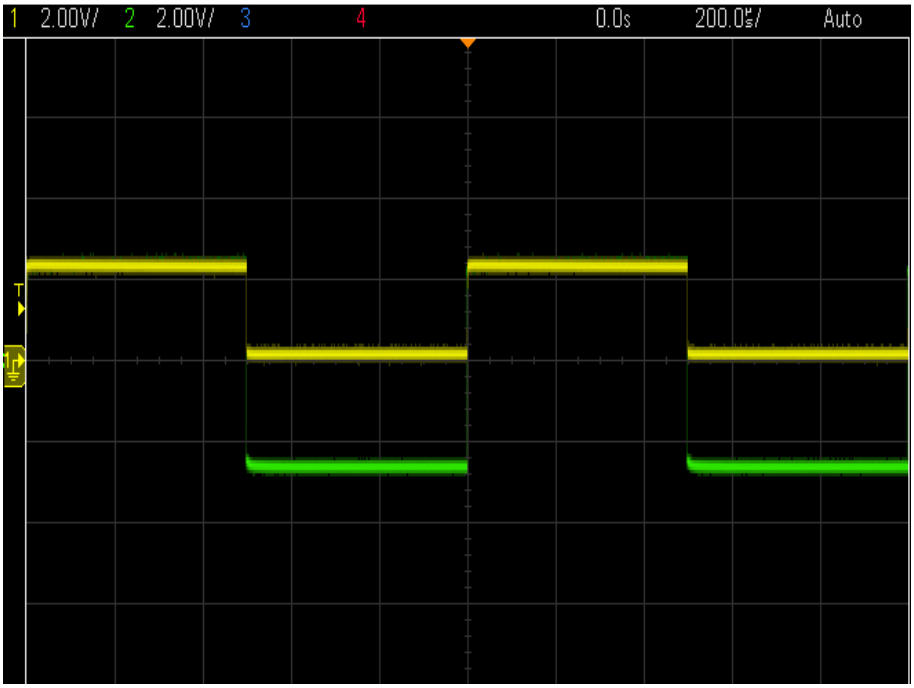


Figura 30. Señal de entrada (verde), señal de salida (amarilla).

Claramente la señal no es la misma, se puede observar que la señal del generador esta desfazada por aproximadamente 2,5V. Por lo tanto, en la configuración del generador de funciones, se decidió por agregar un OFFSET = 2.5V.

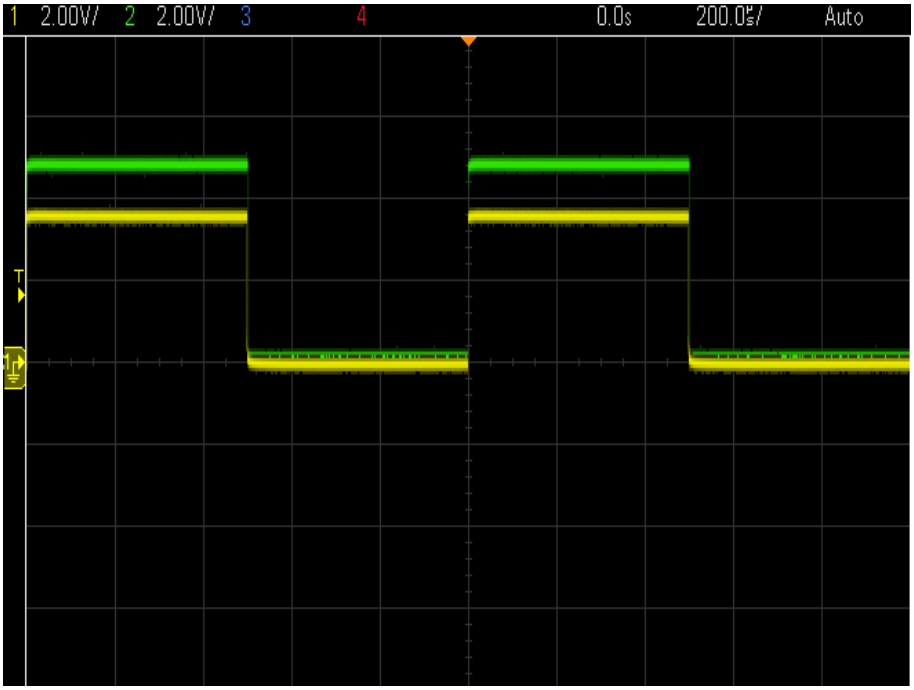


Figura 31. Señales con el OFFSET= 2,5V. Señal de entrada (amarilla), señal de salida (verde).

Nuevamente lo que se puede observar en la Figura 31, es que no se cumple con que la señal recibida sea igual a la que fue enviada. Pero en este caso, la señal recibida (verde) es de 0V y 5V, que igual sirve, ya que se necesita esta señal para el regulador de voltaje, que entregara +/- 15V para poder controlar los mosfet. Entonces obteniendo esta señal se procedió a alimentar y a enviar la señal directamente a la placa para proceder a realizar las pruebas de funcionamiento.

Prueba en Vacío

Esta prueba consiste en evaluar el submódulo sin carga externa, es decir, sin dispositivos o componentes conectados a la salida. Solamente comprobar el correcto funcionamiento de los MOSFET, asegurando que se enciendan y apaguen de manera adecuada, de acuerdo con las señales de control proporcionadas.

Durante la primera prueba, se descubrió que, aunque la placa recibía la señal de control, no la redistribuía adecuadamente al resto del circuito. Por lo que se tuvo que revisar componente por componente para ver si la señal estaba llegando a su destino. Durante la

revisión se encontró que el primer inversor que negaba la entrada no trabajaba como correspondía. Tal como se puede observar en la Figura 32. Claramente esta señal está defectuosa, por lo que hay que remover el inversor y cambiarlo por otro.

Esta solución propuesta se tendrá que realizar como trabajo futuro, debido a que el tiempo es muy acotado para realizar cambios en la placa y tal como se encontró este inversor, se pueden encontrar otros componentes defectuosos. Es por esto por lo que hay que revisar que todos los componentes que componen la placa estén funcionando de forma correcta.

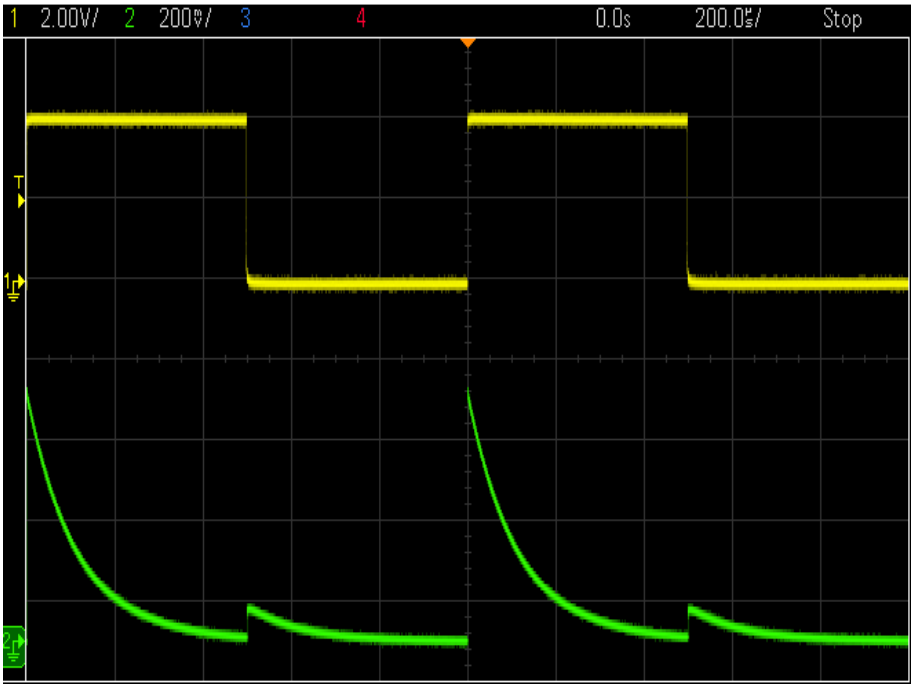


Figura 32. Señal de entrada del inversor (amarilla), Señal de salida del inversor (verde).

Mientras tanto, para continuar con las pruebas, se optó por utilizar el submódulo proporcionado por la Universidad de Chile. Este submódulo ya está probado y en buenas condiciones, lo que permitirá comprender mejor las pruebas a realizar y los resultados esperados. Este conocimiento será fundamental para que cuando se hagan las modificaciones en el submódulo y se puedan realizar las pruebas correspondientes, los resultados se puedan comparar y entender de mejor forma.

Entonces prosiguiendo con la prueba del submódulo en vacío. Se alimenta el submódulo y se ingresa la señal de control a través de la fibra óptica.

La conexión de los equipos para poder realizar la prueba en vacío se puede observar en la Figura 33. Donde se pueden apreciar las sondas diferenciales para captar las señales de potencia que se van a generar a lo largo de las pruebas.

Figura 33. Conexión para realizar la prueba en vacío.

En la Figura 34, se puede observar a la izquierda los pulsos de disparo que están teniendo los mosfet, cada uno de +/- 15V. Estas señales son complementarias y deben ser así para garantizar el correcto funcionamiento del circuito. Esto es crucial para lograr una conmutación eficiente de los mosfet, lo que es fundamental para evitar problemas conducción cruzada. La conducción cruzada puede causar cortocircuitos o daños en los mosfets.

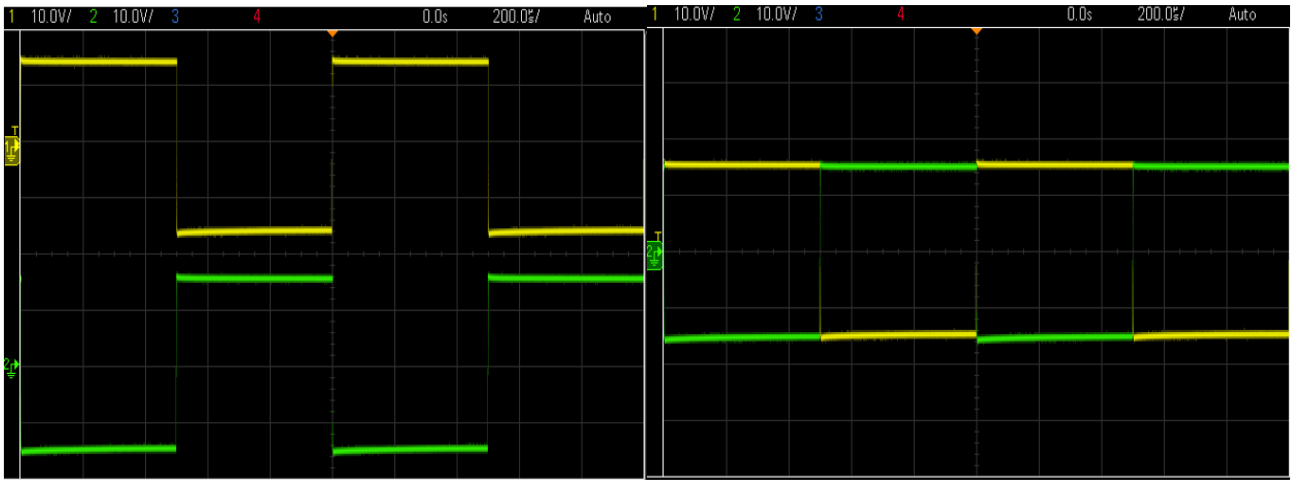


Figura 34. Señales obtenidas de los transistores.

En la Figura 35, se observa el tiempo muerto que hay entre las dos señales, este es un breve intervalo en el que ambos mosfets están en estado de no conducción para prevenir cortocircuitos. La correcta implementación de este tiempo muerto se refleja en la señal mostrada en la Figura 35 donde se aprecia una separación clara entre los pulsos de aproximadamente 2 microsegundos, garantizando así la seguridad y eficiencia del sistema.

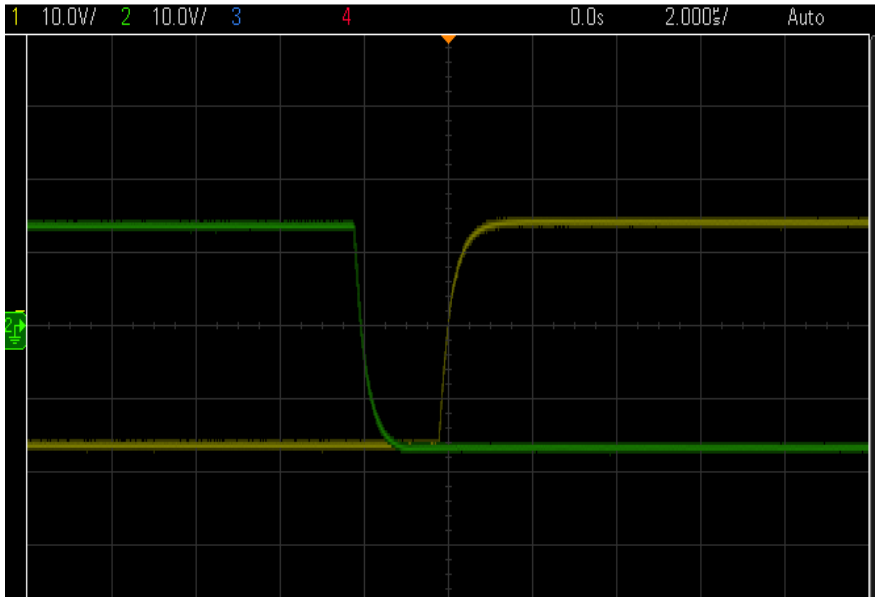


Figura 35. Tiempo muerto entre las dos señales.

Prueba con tensión en el condensador

Esta prueba se enfoca en medir la tensión continua (DC) en el capacitor del submódulo. El objetivo es verificar que el capacitor esté recibiendo y almacenando la cantidad adecuada de energía según las especificaciones requeridas.

En la Figura 36, se muestra las conexiones de los componentes para realizar la prueba con tensión en el condensador.

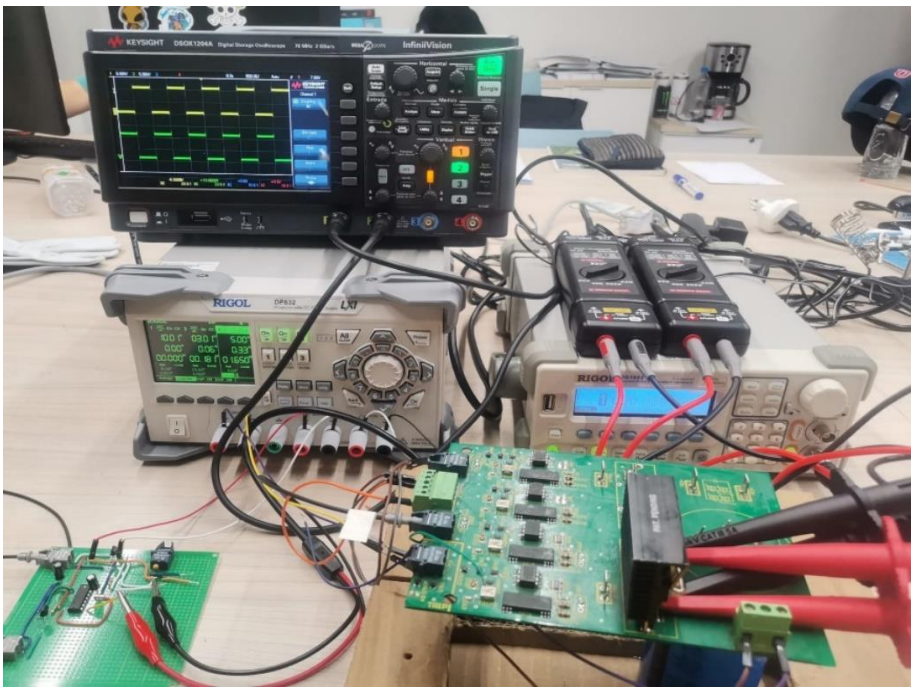


Figura 36. Conexiones para realizar prueba con tensión en el condensador.

A continuación, se mostrarán los resultados de las pruebas realizadas con los diferentes voltajes inyectados al condensador. Para ver si el submódulo funciona correctamente con las variaciones de voltaje que este puede tener.

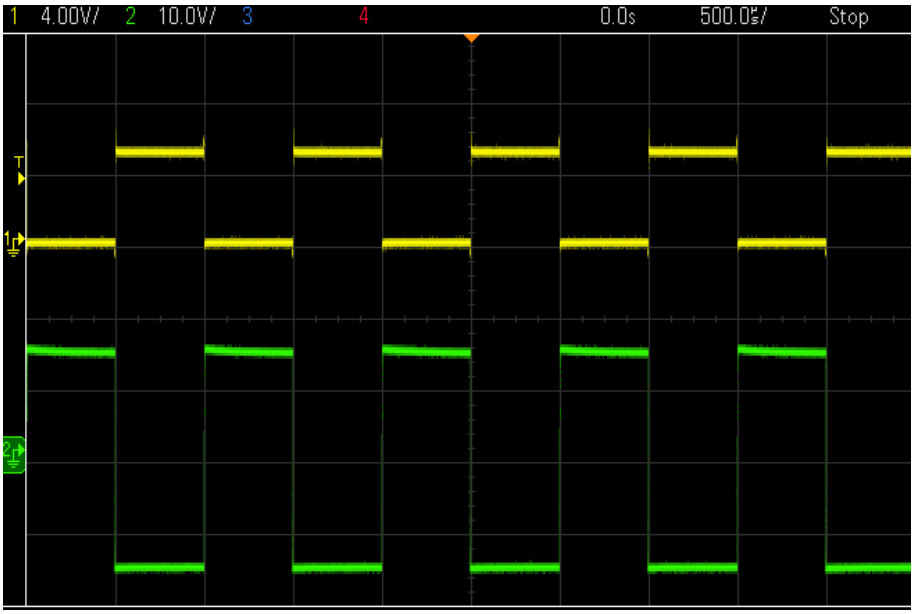


Figura 37. Tensión de 5V inyectada al condensador.

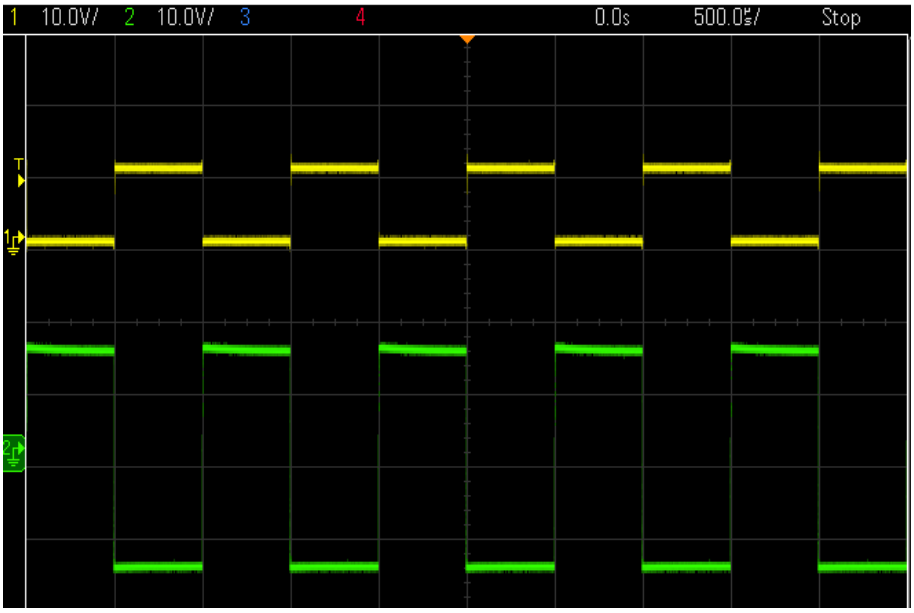


Figura 38. Tensión de 10V inyectada al condensador.

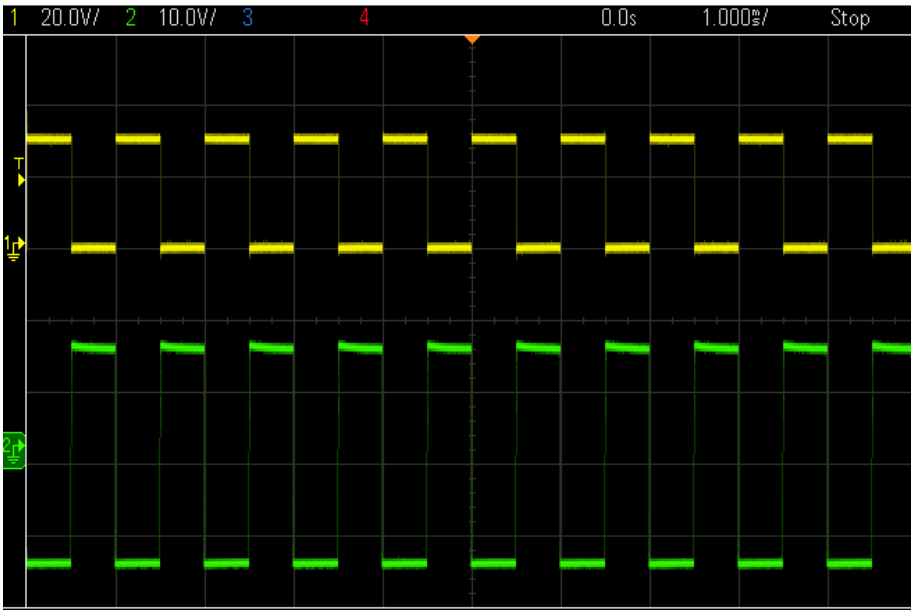


Figura 39. Tensión de 30V inyectada al condensador.

Como se puede observar en las Figuras 37, 38 y 39, el submódulo responde muy bien a las diferentes tensiones inyectadas al condensador. Esta respuesta indica que el submódulo mantiene una funcionalidad muy buena frente a variaciones de voltaje, lo cual es crucial para su funcionamiento en aplicaciones prácticas. Las pruebas demuestran que el condensador es capaz de cargar y descargar eficientemente, manteniendo una tensión estable incluso bajo diferentes condiciones de operación.

Recibir estas señales de salida, particularmente la tensión de potencia que alimenta al MOSFET, es fundamental para la eficacia del submódulo. Esto garantiza que los dispositivos conectados recibirán una alimentación adecuada y constante, lo que es esencial para mantener la integridad operativa y la durabilidad del sistema completo.

Estos resultados representan la meta a alcanzar en el futuro con el submódulo modificado y en buenas condiciones de funcionamiento. Es fundamental destacar que estas pruebas se llevaron a cabo con el fin de obtener una visión anticipada de los resultados esperados con la placa en buen estado.

8. Conclusión

Esta memoria estuvo enfocada principalmente en desarrollar el diseño, la implementación y el testeo de un submódulo para un convertidor modular multinivel. El cual permitirá en un futuro integrar baterías recicladas de la electromovilidad, y hacerlas funcionar como una sola gran batería. Todo esto basado en el proyecto FONDEF ID23I10138. Esta memoria es muy importante para este proyecto, ya que el submódulo es una pieza clave dentro del Convertidor Modular Multinivel.

Durante el transcurso de este proyecto de título se obtuvo un invaluable conocimiento en el área de electrónica de potencia, donde se pusieron a prueba y se aplicaron los conocimientos adquiridos durante el proceso académico. Se aprendieron cosas nuevas como utilizar el programa de diseño de PCB llamado "Altium Designer" el cual fue de mucha ayuda para poder realizar de buena manera este proyecto de título.

El diseño del circuito del submódulo y la placa de protección en Altium Designer se llevó a cabo con éxito gracias a los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de esta memoria. Esto se tradujo en un circuito bien estructurado y con una disposición adecuada de los componentes. El ensamblaje de los componentes fue realizado de buena manera y de acuerdo con las pruebas las conexiones quedaron bien realizadas.

Con respecto a las pruebas de funcionamiento del submódulo, se tuvieron algunos contratiempos que afectaron al buen desarrollo de este proyecto de título, pero se solucionaron y se pudieron llevar a cabo las pruebas previstas. En base a estas pruebas se concluyó que el submódulo diseñado en esta memoria no funciona correctamente debido a un daño en uno de sus componentes. El cual no permite que la señal de control sea distribuida a lo largo de todo el circuito. Como solución futura se recomienda cambiar este componente y revisar de forma exhaustiva los demás componentes de la placa con la señal de control y verificar que esta llegue a los lugares que corresponde.

Como una opción a la placa fallada, se optó por realizar las pruebas en la placa facilitada por la Universidad de Chile, en donde se mostraron los resultados que se deben

obtener con las pruebas que se debían realizar. Esto para que, en un trabajo futuro, se puedan comparar estos resultados con los obtenidos de la placa desarrollada en esta memoria.

Como trabajo futuro, aparte de las modificaciones que se deben hacer al submódulo. Se propone encontrar la forma en el que él submódulo maneje más voltaje que el que maneja (200v), esto para las baterías de mayor voltaje que pueden ser utilizadas para la aplicación que se está buscando en el proyecto FONDEF ID23I10138.

También se recomienda como trabajo futuro, además de realizar las pruebas que se realizaron en esta memoria, agregar la prueba que consiste en inyectar carga al submódulo para evaluar su rendimiento bajo condiciones de trabajo reales. Asegurando que funcione correctamente y dentro de los límites esperados. Esta prueba se puede realizar utilizando una fuente regulable de 0 a 100 V, lo que permitirá simular diferentes niveles de tensión y evaluar la capacidad del submódulo para suministrar energía a la carga bajo distintas condiciones de voltaje. Además, se debería conectar la placa de protección entre el submódulo y la carga para verificar el correcto funcionamiento de los componentes de protección, como el fusible y el relé.

Finalmente, como conclusión, se reconoce que aún quedan desafíos por superar para que el submódulo alcance la funcionalidad y seguridad necesarias para su implementación en la solución propuesta por el proyecto FONDEF ID23I10138. Esta es la primera etapa que se debe realizar para poder lograr de buena manera los objetivos propuestos en el proyecto. Aunque esta etapa no concluye de la mejor manera, los logros alcanzados y las lecciones aprendidas son de gran valor para el desarrollo académico que se debe lograr con esta memoria.

Como recomendación se sugiere continuar con la investigación y el desarrollo, para poder cumplir con el objetivo de mejorar y perfeccionar el submódulo, asegurando que el proyecto FONDEF ID23I10138 pueda tener una implementación exitosa que beneficie a la sociedad a través de la reutilización inteligente de baterías recicladas de la electromovilidad. Esto continua y, sin duda, se viene un futuro prometedor para el proyecto y sus aplicaciones.

9. Referencias

Baterías - Ley Rep Chile. (2022, septiembre 21). Recuperado el 26 de octubre de 2023, de Ley Rep Chile - website: https://leyrep.cl/productos-prioritarios/baterias/

Carey. (2022, noviembre 22). Publican Ley N° 21.505 sobre almacenamiento de energía eléctrica y electromovilidad. Recuperado el 26 de octubre de 2023, de Carey Abogados website: https://www.carey.cl/publican-ley-n-21-505-sobre-almacenamiento-de-energia-electrica-y-electromovilidad/

Du, S., Dekka, A., Wu, B., & Zargari, N. (2018). *Modular Multilevel Converters: Analysis, Control, and Applications*. Wiley-IEEE Press.

Dusseldorp, M., Athan, Glöser, S., & Heinz, S. (2022). *Criticality and recycling of lithium-ion batteries - Putting the debate on a broader footing*.

Förstl M. and Truong N. 2021. *"A novel architecture for commercial and indus- trial battery storage systems."* STABL Energy GmbH. (s/f).

Fundamentals of modular multilevel converter. (2018). *Modular Multilevel Converters: Analysis, Control, and Applications* (pp. 37–78). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Helling, F., Glück, J., Singer, A., Pfisterer, H.-J., & Weyh, T. (2019). The AC battery – A novel approach for integrating batteries into AC systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *104*, 150–158. doi:10.1016/j.ijepes.2018.06.047

Kurtoglu, M., Arslan, A. O., Eroglu, F., & Vural, A. M. (2019). Comparison of different submodule topologies in modular multilevel converters. *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*. IEEE.

Lachichi, A. (2014). Modular multilevel converters with integrated batteries energy storage. *2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*. IEEE.

Li, N., Gao, F., Yang, T., Zhang, L., Zhang, Q., & Ding, G. (2015). An integrated electric vehicle power conversion system using modular multilevel converter. *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. IEEE.

Liang, G., Tafti, H. D., Farivar, G. G., Pou, J., Townsend, C. D., Konstantinou, G., & Ceballos, S. (2021). Analytical derivation of intersubmodule active power disparity limits in modular multilevel converter-based battery energy storage systems. *IEEE transactions on power electronics*, *36*(3), 2864–2874. doi:10.1109/tpel.2020.3014739

Liu, C., Gao, N., Cai, X., & Li, R. (2020). Differentiation power control of modules in second-life battery energy storage system based on cascaded H-bridge converter. *IEEE transactions on power electronics*, *35*(6), 6609–6624. doi:10.1109/tpel.2019.2954577

Ma, Z., Jia, M., Koltermann, L., Blömeke, A., De Doncker, R. W., Li, W., & Sauer, D. U. (2023). Review on grid-tied modular battery energy storage systems: Configuration classifications, control advances, and performance evaluations. *Journal of Energy Storage*, *74*(109272), 109272. doi:10.1016/j.est.2023.109272

Quraan, M., Tricoli, P., D Arco, S., & Piegari, L. (2017). Efficiency assessment of modular multilevel converters for battery electric vehicles. *IEEE transactions on power electronics*, *32*(3), 2041–2051. doi:10.1109/tpel.2016.2557579

Quraan, M., Yeo, T., & Tricoli, P. (2016). Design and control of modular multilevel converters for battery electric vehicles. *IEEE transactions on power electronics*, *31*(1), 507–517. doi:10.1109/tpel.2015.2408435

Review of high-power converters. (2018). En *Modular Multilevel Converters: Analysis, Control, and Applications* (pp. 1–36). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Schroeder, M., Henninger, S., Jaeger, J., Ras, A., Rubenbauer, H., & Leu, H. (2013). Integration of batteries into a modular multilevel converter. *2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*. IEEE.

Sixing Du, Apparao Dekka, Bin Wu, and Navid Zargari. (2018). En *Modular Multilevel Converters: Analysis, Control, and Applications*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Published by John Wiley & Sons, Inc.

Soler, D., Ubilla, L., Pudrencio, G., Vial, C., Lambert, M. J., & Pérez, A. (2022). *Estrategia Nacional de Electromovilidad*. Recuperado de https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3773

Sun, P., Tian, Y., Pou, J., & Konstantinou, G. (2022). Beyond the MMC: Extended modular multilevel converter topologies and applications. *IEEE open journal of power electronics*, *3*, 317–333. doi:10.1109/ojpel.2022.3175714

Vasiladiotis, M., & Rufer, A. (2015). Analysis and control of modular multilevel converters with integrated battery energy storage. *IEEE transactions on power electronics*, *30*(1), 163–175. doi:10.1109/tpel.2014.2303297

Vasiladiotis, M., Rufer, A., & Beguin, A. (2012). Modular converter architecture for medium voltage ultra-fast EV charging stations: Global system considerations. *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*. IEEE.

Wang, Y., Aksoz, A., Geury, T., Ozturk, S. B., Kivanc, O. C., & Hegazy, O. (2020). A review of modular multilevel converters for stationary applications. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, *10* (21), 7719. doi:10.3390/app10217719

Yang, X., Xue, Y., Chen, B., Mu, Y., Lin, Z., Zheng, T. Q., & Igarashi, S. (2017). Reverse-blocking modular multilevel converter for battery energy storage systems. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, *5*(4), 652–662. doi:10.1007/s40565-017-0300-5

Zhihao, N., Can, W., Bin, Z., Keren, Z., Jian, Z., Yonghai, X., … Bin, R. (2017). Research on application of battery energy storage system based on MMC in wind power integration. *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. IEEE.

ANEXOS

ANEXO I. DATASHEET DE FUSIBLE DE ACCIÓN RÁPIDA

Technical Data **ELX1252** Effective November 2022

BUSSMANN SERIES

AHCA/AHC5A/AHCFA

Automotive high voltage 6.3 mm x 32 mm fast-acting fuse

Product features

- High voltage ceramic tube fuse
- Automotive grade qualified*
- Compact 3AB footprint: 6.3 mm x 32 mm (¼" x 1 ¼")
- Fast-acting performance
- Up to 500 Vac rating
- Cartridge, axial lead, and PCB terminal mount versions available
- Very high interrupting ratings to help safely protect against dangerous high fault currents
- Fuse accessories (cartridge version):
  HVP Panel mount fuse holder (480V)
  HVI In-line fuse holder (600V)
  S-8000 Panel mount fuse block (600V)
  1Axxxx (up to 600V) fuse clips

*Meets Eaton's internal AEC-Q200 test plan

Agency information

- cURus recognition file number: E19180 Guide JDYX2 and JDYX8 (cartridge and axial lead only)

c UL us

Applications

- On-board power conversion (Inverter, OBC, PDU) for xEVs
- Stationary EV charging stations
- Single phase and 3-phase UPS and VFD (Vac input for rectifier and Vdc input/battery)
- Industrial control panels and UL508A panel shops
- Energy storage and battery management systems
- High voltage power conversion (AC/DC, AC/AC, DC/DC, DC/AC)

EATON
Powering Business Worldwide

Environmental compliance

Pb HALOGEN HF FREE RoHS

Ordering part number

Cartridge/axial lead

BK-AHCA-V-18-R

- Packaging prefix
- Family name
- Option code (V = leaded)
- Ampere rating
- RoHS compliance

PCB terminal mount

AHCA-18-1P

- Family name
- Ampere rating
- Terminal code

Packaging prefix

- **Blank**
  For terminal version only: 90 pieces in plastic tray, 10 trays (900 pcs) in a carton
- **BK-**
  For cartridge and axial versions only: 100 pieces in a box

Option code

- **-V-**
  Axial leads with 38.1 length – copper tinned wire with nickel plated brass over caps

Terminal code

- **-1P-**
  Copper with bright Nickel plating
- **-PCB**
  Copper with bright Nickel plating
- **-PCBR**
  Copper with bright Nickel plating
- **-PCBHT**
  Copper with bright Nickel plating

Electrical characteristics

Amp rating	1.0 In minimum	1.5 In maximum	2.0 In maximum	3.0 In maximum
AHCA- (15 A to 30 A)	4 hours	60 minutes	30 minutes	10 seconds
AHCFA- (18 A to 25 A)	4 hours	60 minutes	30 minutes	10 seconds
AHC5A-30	NA	60 minutes	30 minutes	10 seconds
AHCFA-30	NA	60 minutes	30 minutes	10 seconds

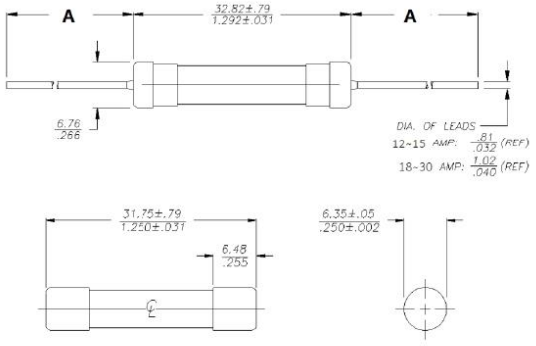
Product specifications

Part number	Current rating (A)	Voltage rating[3] (Vac)	(Vdc)	Interrupting rating @ rated voltage (A)	Typical resistance[1] (mΩ)	Typical voltage drop[2] (mV)	Vac Interrupting rating power factor
AHCA-15	15	500	500	20,000	6.6	170	0.35 to 0.4
AHCA-18	18	500	-	20,000	5	145	0.55 to 0.6
AHCFA-18	18	500	500	20,000	5	145	0.99 to 1
AHCA-20	20	500	-	20,000	4.7	145	0.55 to 0.6
AHCFA-20	20	500	500	20,000	4.7	145	0.99 to 1
AHCA-25	25	500	-	20,000	3.9	175	0.55 to 0.6
AHCFA-25	25	500	500	20,000	3.9	175	0.99 to 1
AHC5A-30	30	500	-	20,000	3.3	225	0.55 to 0.6
AHCA-30	30	450	450	10,000	2.9	165	0.35
AHCFA-30	30	500	500	20,000	3.3	225	0.99 to 1

1. Typical resistance measured at <10% of rated current at +23 °C
2. Typical voltage drop measured at +23 °C and rated current
3. DC interrupting rating measured at rated voltage, time constant 1.95 to 2 ms

Dimensions- mm/inches
Drawing not to scale

Cartridge and axial lead

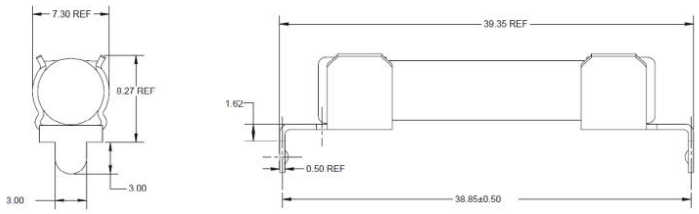


Part number	Dimension A
BK-AHC(5)(F)A-V-XX-R	38.1 mm (REF)

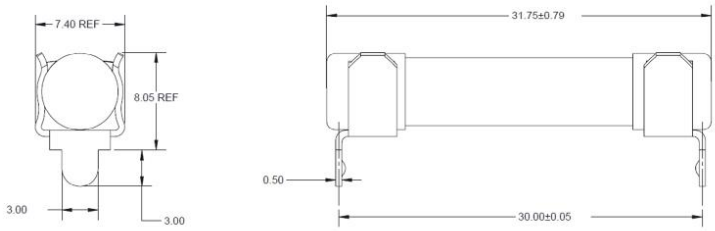
Dimensions- mm/inches (continued)
Drawing not to scale

PCB terminal fuse

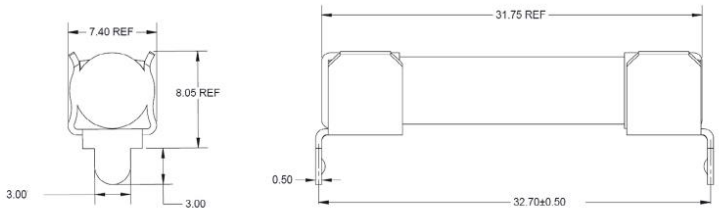
AHC(5)(F)A-XX-1P



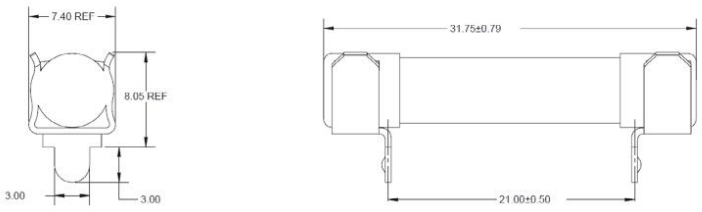
AHC(5)(F)A-XX-PCB



AHC(5)(F)A-XX-PCBHT



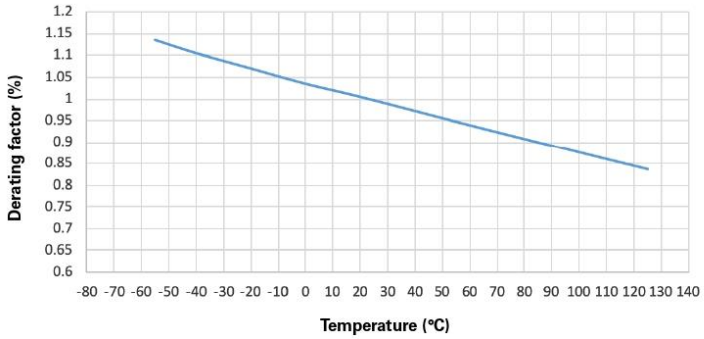
AHC(5)(F)A-XX-PCBR



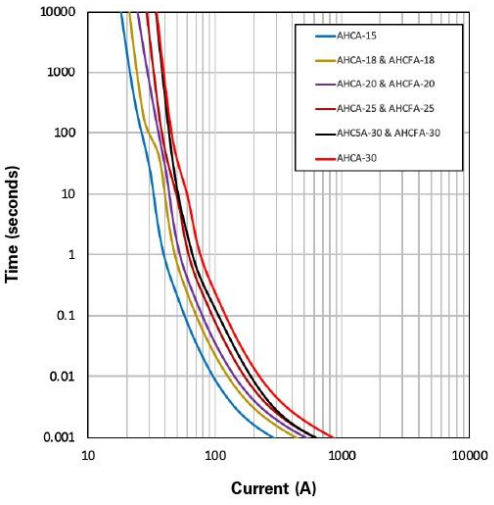
General specifications

Operating temperature: -55 °C to +125 °C with proper correction factor applied
Humidity: MIL-STD-202, Method 103B, test condition A, Environmental chamber 85% +2% relative humidity at 85 °C +2 °C, 10% rated current for 240 hours
Terminal strength: MIL-STD-202, Method 211A, Test condition A, Pull force test. The force applied to the terminal shall be 5-pound force
Mechanical shock: MILSTD 202 Method 213, Condition C, 100 g, 6 ms, Half sine
Vibration: MIL STD 202, Method 204, 5 g's for 20 minutes, 12 cycles each of 3 orientations. Test from 10 to 2000 Hz.
Life test: MIL-STD-202, Method 108A, except Circulating air environment at +125 °C ±2 °C, apply 60% rated current for 250 hours
Temperature cycling: MIL-STD-202, Method 107G, Condition B-1, -55 °C to +125 °C, 25 cycles
Resistance to solder heat: MIL-STD 202 Method 210 Condition B
Salt spray: MIL-STD-202, Method 101E, Test condition B. (NaCl) content of from 5±1 percent for 48 hours.
ESD: According to AEC-Q200-002 or ISO/DIS 10605

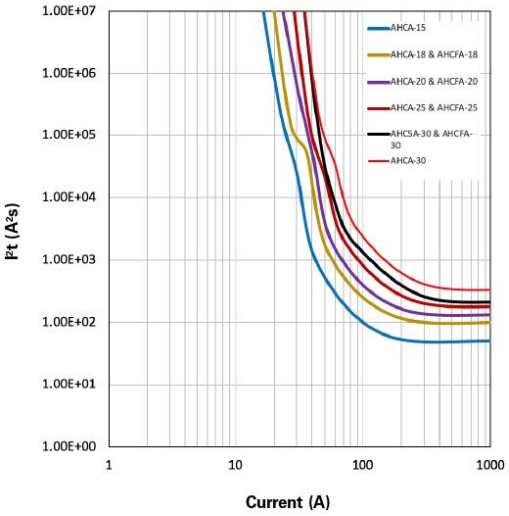
Temperature derating curve



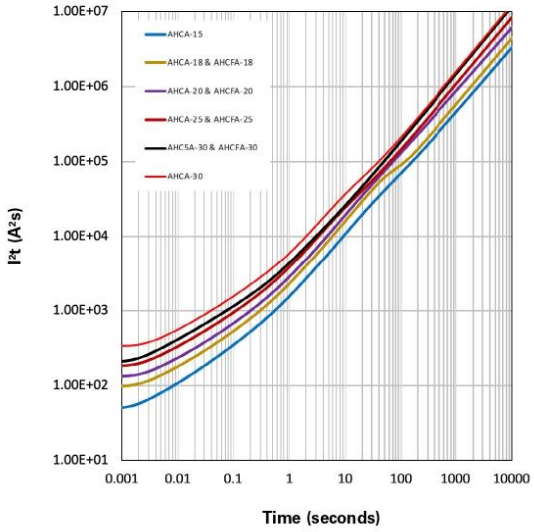
Current vs. time curve



I2t vs. current curve



I²t vs. time curve



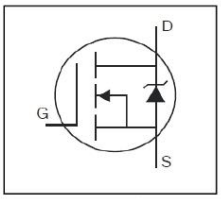
IRFI4227PbF

HEXFET® Power MOSFET

Features

- Advanced Process Technology
- Key Parameters Optimized for PDP Sustain, Energy Recovery and Pass Switch Applications
- Low E_{PULSE} Rating to Reduce Power Dissipation in PDP Sustain, Energy Recovery and Pass Switch Applications
- Low Q_G for Fast Response
- High Repetitive Peak Current Capability for Reliable Operation
- Short Fall & Rise Times for Fast Switching
- 150°C Operating Junction Temperature for Improved Ruggedness
- Repetitive Avalanche Capability for Robustness and Reliability

Key Parameters		
V_{DS} max	200	V
$V_{DS\ (Avalanche)}$ typ.	240	V
$R_{DS(ON)}$ typ. @ 10V	21	mΩ
I_{RP} max @ T_C= 100°C	47	A
T_J max	150	°C



TO-220 Full-Pak

G	D	S
Gate	Drain	Source

Description

This HEXFET® Power MOSFET is specifically designed for Sustain; Energy Recovery & Pass switch applications in Plasma Display Panels. This MOSFET utilizes the latest processing techniques to achieve low on-resistance per silicon area and low EPULSE rating. Additional features of this MOSFET are 150°C operating junction temperature and high repetitive peak current capability. These features combine to make this MOSFET a highly efficient, robust and reliable device for PDP driving applications

Base Part Number	Package Type	Standard Pack		Orderable Part Number
		Form	Quantity	
IRFI4227PbF	TO-220 Full-Pak	Tube	50	IRFI4227PbF

Absolute Maximum Ratings			
Symbol	**Parameter**	**Max.**	**Units**
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 30	V
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	26	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	17	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	100	
I_{RP} @ T_C = 100°C	Repetitive Peak Current ⑤	47	
P_D @T_C = 25°C	Maximum Power Dissipation	46	W
P_D @T_C = 100°C	Maximum Power Dissipation	18	
	Linear Derating Factor	0.37	W/°C
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-40 to + 150	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds (1.6mm from case)	300	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case ④	—	2.73	°C/W
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	65	

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	200	—	—	V	V_{GS} = 0V, I_D = 250µA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	240	—	mV/°C	Reference to 25°C, I_D = 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	21	25	mΩ	V_{GS} = 10V, I_D = 17A
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	—	5.0	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250µA
$\Delta V_{GS(th)}/\Delta T_J$	Gate Threshold Voltage Temp. Coefficient	—	-11	—	mV/°C	
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	20	µA	V_{DS} = 200V, V_{GS} = 0V
		—	—	1.0	mA	V_{DS} = 200V,V_{GS} = 0V,T_J =150°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS} = -20V
gfs	Forward Trans conductance	47	—	—	S	V_{DS} = 25V, I_D = 17A
Q_g	Total Gate Charge	—	73	110	nC	I_D = 17A,V_{DS} = 100V
Q_{gd}	Gate-to-Drain Charge	—	21	—		V_{GS} = 10V
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	17	—	ns	V_{DD} = 100V, V_{GS} = 10V
t_r	Rise Time	—	19	—		I_D = 17A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	11	—		R_G= 2.5Ω
t_f	Fall Time	—	29	—		See Fig. 22
t_{st}	Shoot Through Blocking Time	100	—	—	ns	V_{DD} = 160V,V_{GS} = 15V,R_G= 4.7Ω
E_{PULSE}	Energy per Pulse	—	570	—	µJ	L = 220nH, C = 0.4µF, V_{GS} = 15V V_{DD} = 160V, R_G= 4.7Ω, T_J = 25°C
		—	910	—		L = 220nH, C = 0.4µF, V_{GS} = 15V V_{DD} = 160V, R_G= 4.7Ω, T_J = 100°C
C_{iss}	Input Capacitance	—	4600	—	pF	V_{GS} = 0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	460	—		V_{DS} = 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	91	—		f = 1.0MHz
C_{oss} eff.	Effective Output Capacitance	—	360	—		V_{GS} = 0V, V_{DS} = 20V to 160V
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		

Avalanche Characteristics

	Parameter	Typ.	Max.	Units
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	54	mJ
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	—	4.6	
$V_{DS(Avalanche)}$	Repetitive Avalanche Voltage ①	240	—	V
I_{AS}	Avalanche Current ②	—	16	A

Diode Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S @ T_C = 25°C	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	26	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	100		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T_J = 25°C,I_S = 17A,V_{GS} = 0V ③
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	93	140	ns	T_J = 25°C ,I_F = 17A, V_{DD} = 50V
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	350	520	nC	di/dt = 100A/µs ③

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature.
② starting T_J = 25°C, L = 0.44mH, R_G = 25Ω, I_{AS} = 16A.
③ Pulse width ≤ 400µs; duty cycle ≤ 2%.
④ R_θ is measured at T_J of approximately 90°C.
⑤ Half sine wave with duty cycle = 0.25, ton=1µsec.

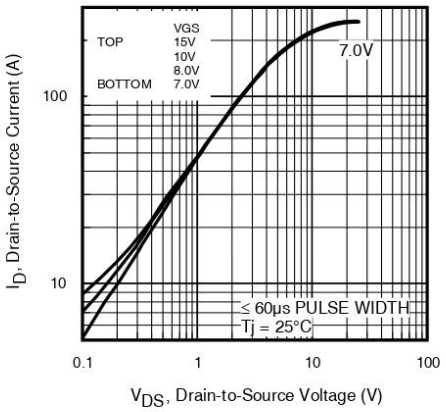


Fig. 1. Typical Output Characteristics

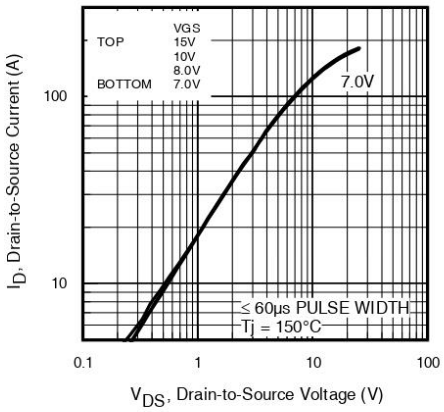


Fig. 2. Typical Output Characteristics

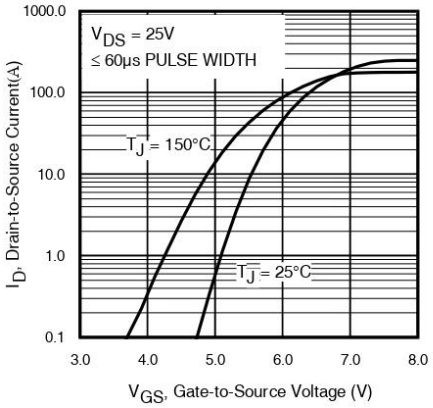


Fig. 3. Typical Transfer Characteristics

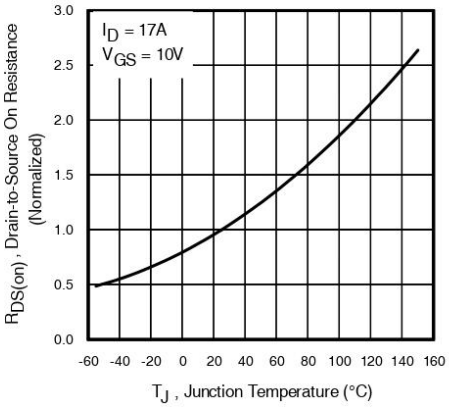


Fig. 4. Normalized On-Resistance vs. Temperature

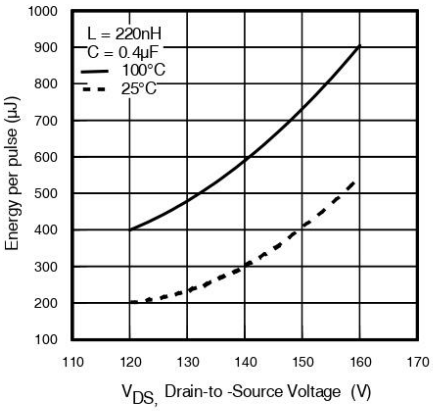


Fig 5. Typical E_{PULSE} vs. Drain-to-Source Voltage

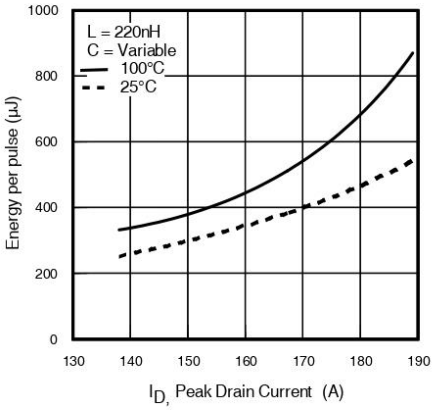


Fig 6. Typical E_{PULSE} vs. Drain Current

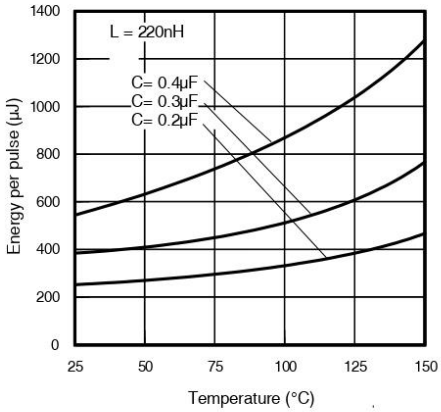


Fig. 7. Typical E_{PULSE} vs. Temperature

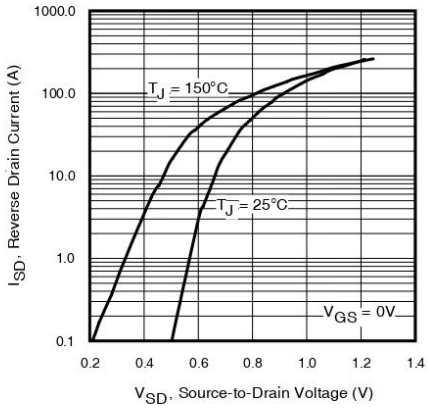


Fig 8. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

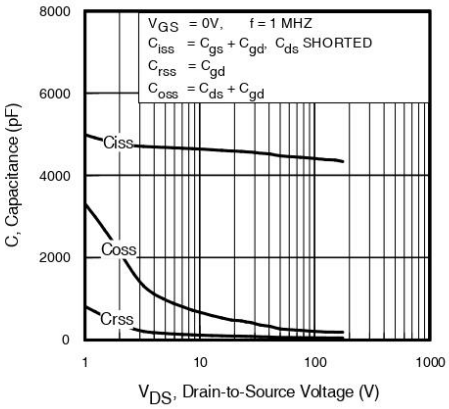


Fig 9. Typical Capacitance vs.Drain-to-Source Voltage

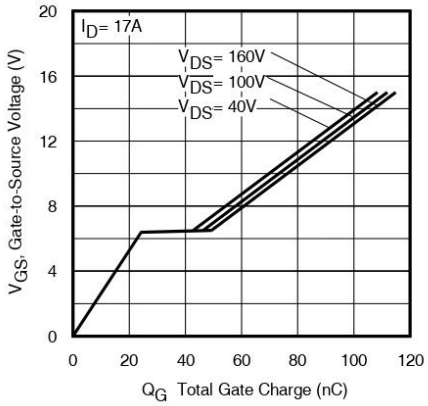


Fig 10. Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

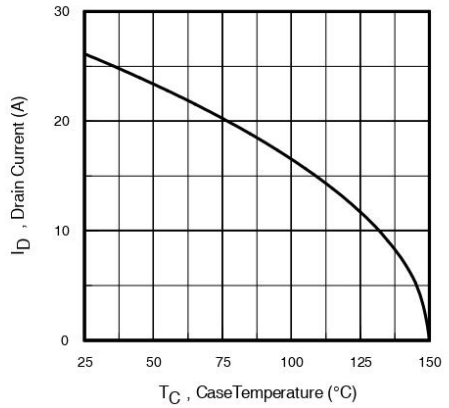


Fig 11. Maximum Drain Current vs. Case Temperature

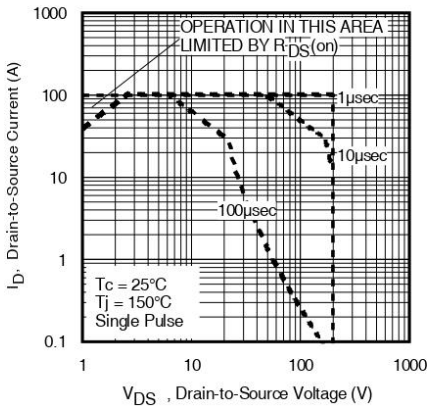


Fig 12. Maximum Safe Operating Area

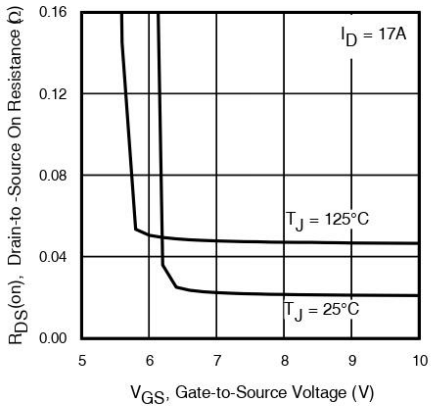


Fig. 13. On-Resistance Vs. Gate Voltage

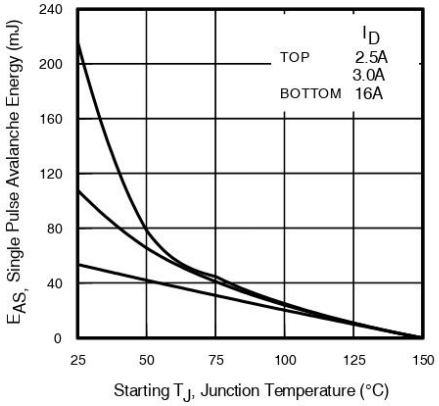


Fig. 14. Maximum Avalanche Energy Vs. Temperature

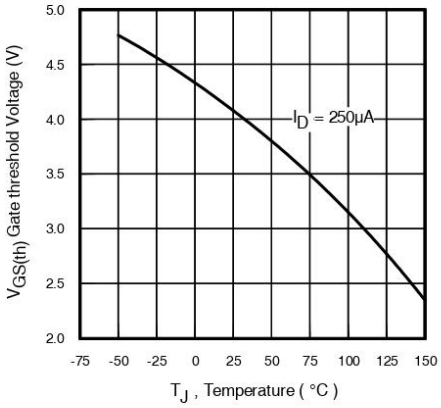


Fig. 15. Threshold Voltage vs. Temperature

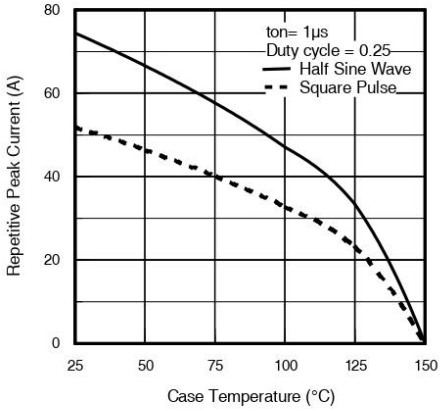


Fig. 16. Typical Repetitive peak Current vs. Case temperature

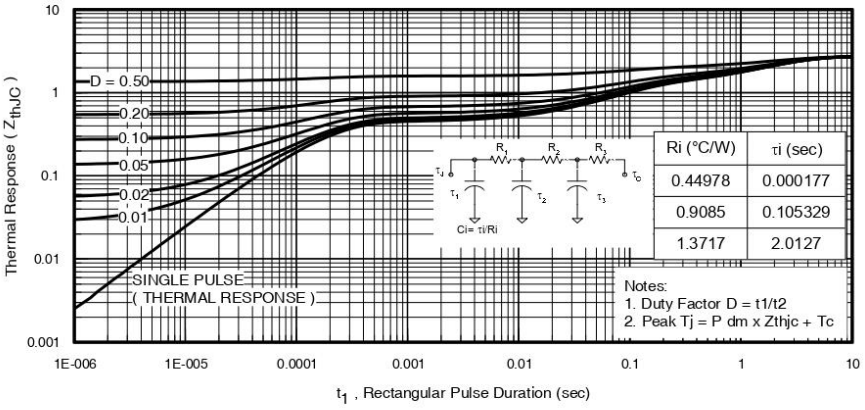


Fig 17. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

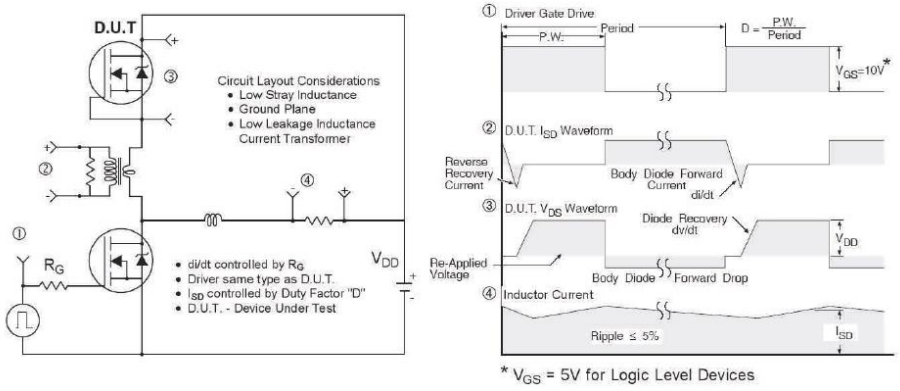


Fig 18. Diode Reverse Recovery Test Circuit for N-Channel HEXFET® Power MOSFETs

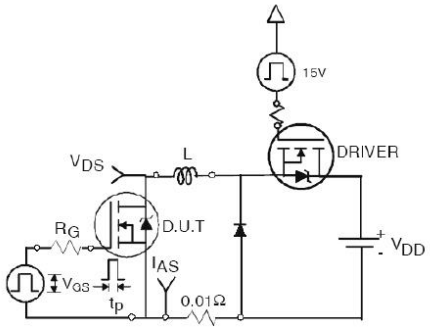


Fig 19a. Unclamped Inductive Test Circuit

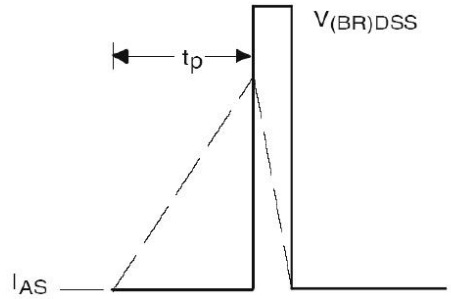


Fig 19b. Unclamped Inductive Waveforms

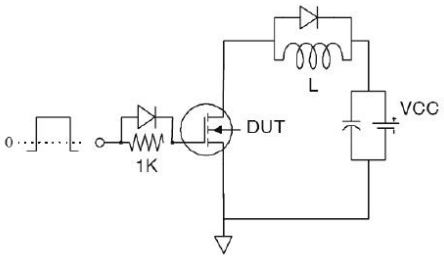


Fig 20a. Gate Charge Test Circuit

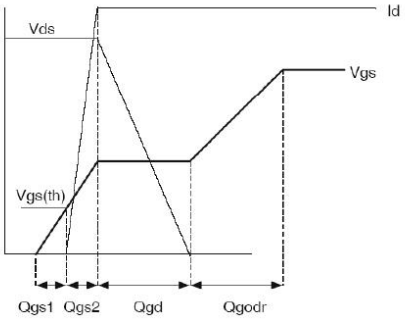


Fig 20b. Gate Charge Waveform

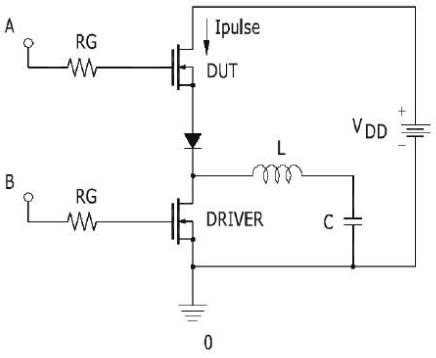


Fig 21a. t_{st} and E_{PULSE} Test Circuit

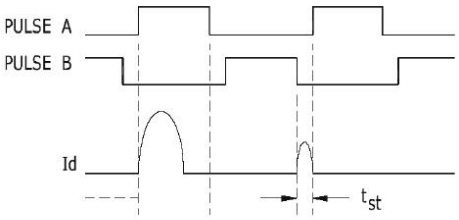


Fig 21b. t_{st} Test Waveforms

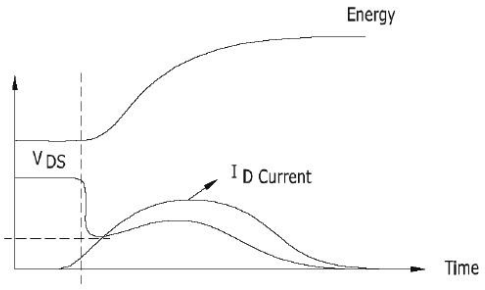


Fig 21c. E_{PULSE} Test Waveforms

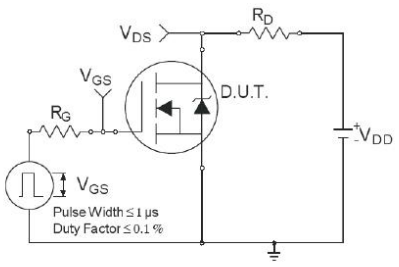


Fig 22a. Switching Time Test Circuit

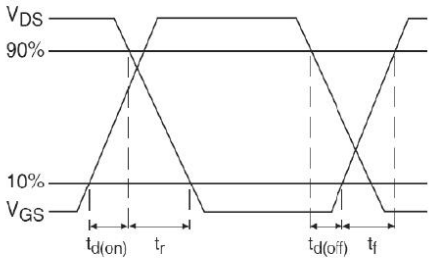
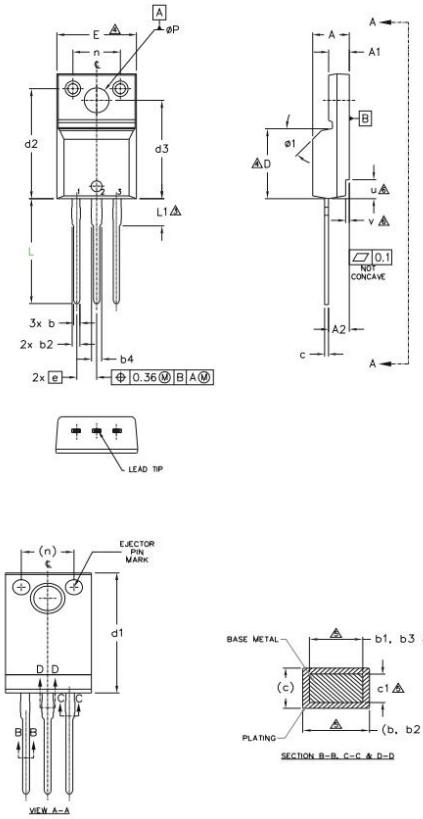


Fig 22b. Switching Time Waveforms

TO-220 Full-Pak Package Outline (Dimensions are shown in millimeters (inches))



NOTES:

1.0 DIMENSIONING AND TOLERANCING AS PER ASME Y14.5 M– 1994.

2.0 DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS [INCHES].

3.0 LEAD DIMENSION AND FINISH UNCONTROLLED IN L1.

4.0 DIMENSION D & E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH SHALL NOT EXCEED .005" (0.127) PER SIDE. THESE DIMENSIONS ARE MEASURED AT THE OUTER MOST EXTREMES OF THE PLASTIC BODY.

5.0 DIMENSION b1, b3, b5 & c1 APPLY TO BASE METAL ONLY.

6.0 STEP OPTIONAL ON PLASTIC BODY DEFINED BY DIMENSIONS u & v.

7.0 CONTROLLING DIMENSION : INCHES.

SYMBOL	DIMENSIONS				NOTES
	MILLIMETERS		INCHES		
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
A	4.57	4.83	.180	.190	
A1	2.57	2.82	.101	.111	
A2	2.51	2.92	.099	.115	
b	0.61	0.94	.024	.037	
b1	0.61	0.89	.024	.035	5
b2	0.76	1.27	.030	.050	
b3	0.76	1.22	.030	.048	5
b4	1.02	1.52	.040	.060	
b5	1.02	1.47	.040	.058	5
c	0.33	0.63	.013	.025	
c1	0.33	0.58	.013	.023	5
D	8.66	9.80	.341	.386	4
d1	15.80	16.13	.622	.635	
d2	13.97	14.22	.550	.560	
d3	12.29	12.93	.484	.509	
E	9.63	10.74	.379	.423	4
e	2.54 BSC		.100 BSC		
L	13.21	13.72	.520	.540	
L1	3.10	3.68	.122	.145	3
n	6.05	6.60	.238	.260	
øP	3.05	3.45	.120	.136	
u	2.39	2.49	.094	.098	6
v	0.41	0.51	.016	.020	6
ø1	–	45°	–	45°	

LEAD ASSIGNMENTS

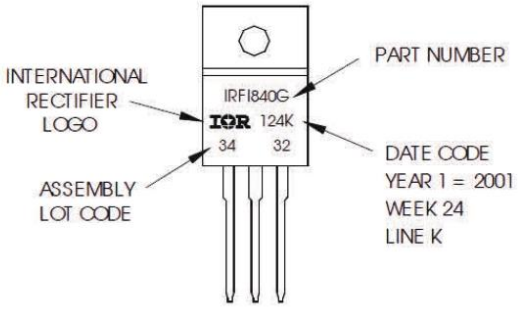
HEXFET
1.– GATE
2.– DRAIN
3.– SOURCE

IGBTs, CoPACK
1.– GATE
2.– COLLECTOR
3.– EMITTER

TO-220 Full-Pak Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRFI840G
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 3432
ASSEMBLED ON WW 24, 2001
IN THE ASSEMBLY LINE "K"

Note: "P" in assembly line position
indicates "Lead-Free"



TO-220AB Full-Pak packages are not recommended for Surface Mount Application.

Note: For the most current drawing please refer to website at http://www.irf.com/package/

G7L-X

PCB Power Relays

Compact Power Relay Capable of Switching 1,000 VDC Loads

- DC high capacity switching for both normal and reverse polarity is available with the addition of the reverse polarity specification.
- Two poles wired in series to break or switch 600 to 1,000 VDC.
- Contributes to a lower power consumption. (low power consumption of approx. 600 mW at 50% reduced coil voltage).
- UL and EN conformed.
- Designed for safety with 6.0-mm contact gap (two-pole series wiring).
- A series of low contact resistance power relays with an initial contact resistance of 10 mΩ max. (with conditions of 5 VDC, 1 A).

Model Number Legend

G7L-2A□-X-□
1 2 3 4

1. Number of poles
   2: 2-poles
2. Contact Form
   A: DPST-NO (2a)
3. Enclosure rating
   Blank: Flux protection
4. Additional Models
   None: Standard model
   L: General purpose model
   SI: Low contact resistance model

Application Examples

- Photovoltaic Power Systems
- Energy Storage System
- Inverter
- UPS
- FA DC link

Ordering Information

Classification	Contact Form	Enclosure rating	Terminal Shape	Model	Rated coil voltage	Minimum packing unit
Standard model	DPST-NO*1	Flux protection	PCB terminals	G7L-2A-X	12 VDC, 24 VDC	20 pcs/tray
General purpose model				G7L-2A-X-L		
Low contact resistance model*2				G7L-2A-X-SI		

Note. When ordering, add the rated coil voltage to the model number.
Example: G7L-2A-X DC24
Rated coil voltage
However, the notation of the coil voltage on the product case as well as on the packing will be marked as[][] VDC.
*1. It is assumed that the Relay will be used with 2-pole series wiring.
*2. The values given are initial values. Measurement conditions: 5 VDC, 1 A, voltage drop method.

Ratings

● **Coil**

Rated Voltage	Item (V)	Rated current (mA)	Coil resistance (Ω)	Must operate voltage	Must release voltage	Max. voltage	Power consumption (W)
				% of rated voltage			
DC	12	190	63	75% max.	10% min.	110%	Approx. 2.3
	24	96	250				Approx. 0.6 *

Note 1. The rated current and coil resistance were measured at a coil temperature of 23°C with tolerances of ± 15%.
Note 2. The operating characteristics are measured at a coil temperature of 23°C.
Note 3. The maximum permissible voltage is the maximum value of the fluctuation range for the Relay coil operating power supply and was measured at an ambient temperature of 23°C.
* Power consumption with Holding Voltage is 0.6 W. Please confirm the detail in page 5 Coil Voltage Reduction (Holding Voltage) during and after Relay Operation.

● **Contacts(Two-pole Series Wiring)**

Item / Classification	Standard model/Low contact resistance model	General purpose model
Contact type	Double break	
Contact material	Ag alloy	
Rated load (resistive load)	30 A at 600 VDC / 25 A at 1,000 VDC	20 A at 600 VDC / 20 A at 1,000 VDC
Rated carry current	30 A	20 A
Max. switching voltage	1,000 VDC	
Max. switching current	30 A	20 A

Characteristics

Item	Classification	Standard model	Low contact resistance model	General purpose model
Contact resistance *1		100 mΩ max	10 mΩ max.	100 mΩ max.
Operate time *2		30 ms max.		
Release time *2 *5		30 ms max.		
Insulation resistance *3		1,000 MΩ min.		
Dielectric strength	Between coil and contacts	4,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min		
	Between contacts of the same polarity	2,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min		
	Between contacts of different polarity	2,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min		
Impulse withstand voltage *4	Between coil and contacts	10 kV		
Vibration resistance	Destruction	10 to 55 to 10 Hz, 0.75 mm single amplitude (1.5 mm double amplitude)		
	Malfunction	10 to 55 to 10 Hz, 0.75 mm single amplitude (1.5 mm double amplitude)		
Shock resistance	Destruction	1,000 m/s²		
	Malfunction	100 m/s²		
Mechanical durability *5		1,000,000 operations min. (at 1,800 operations/h)		
Electrical durability *5 *6 (Resistive load, for two-pole series wiring.)	Normal polarity	100 operations (25 A, 1,000 VDC, 85°C) 6,000 operations (30 A, 600 VDC, 85°C) (ON for 1 s and OFF for 9 s)		100 operations (20 A, 1,000 VDC, 85°C) 6,000 operations (20 A, 600 VDC, 85°C) (ON for 1 s and OFF for 9 s)
	Reverse polarity	5,000 operations (-30 A, 600 VDC, 85°C) (ON for 1 s and OFF for 9 s)		5,000 operations (-20 A, 400 VDC, 85°C) (ON for 1 s and OFF for 9 s)
Ambient operating temperature		–40° to 85°C (with no icing or condensation)		
Ambient operating humidity		5% to 85%		
Weight		Approx. 100 g		

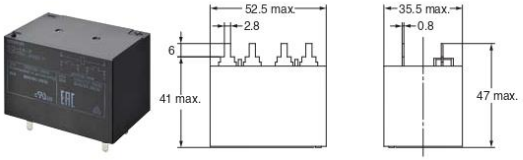
Note. The values given above are initial values.
*1. Measurement conditions: 5 VDC, 1 A, voltage drop method.
*2. Measurement conditions: Rated operating voltage applied, not including contact bounce.
Ambient temperature: 23°C
*3. Measurement conditions: The insulation resistance was measured with a 1,000-VDC megohmmeter at the same locations as the dielectric strength was measured.
*4. JEC-212 (1981) Standard Impulse Wave Type (1.2×50μs).
*5. A diode and zener diode are connected to the relay coil.
*6. The polarity can not be changed every switching. Refer to *Polarity change when switching* on the page 5.

Dimensions

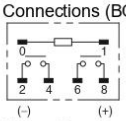
CAD Data marked products, 2D drawings and 3D CAD models are available.
For CAD information, please visit our website, which is noted on the last page.

(Unit: mm)

G7L-2A-X
G7L-2A-X-SI
G7L-2A-X-L

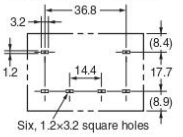


Terminal Arrangement/Internal Connections (BOTTOM VIEW)



The coil has no polarity.

PCB Mounting Holes (BOTTOM VIEW)
Tolerance: ±0.1 mm

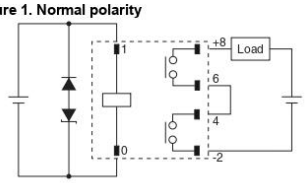


CAD Data

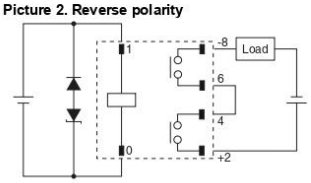
Circuit Diagrams

Connected in series

Picture 1. Normal polarity

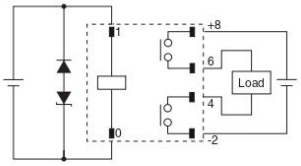


Picture 2. Reverse polarity

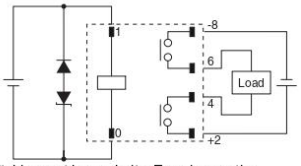


Break all lines

Picture 3. Normal polarity



Picture 4. Reverse polarity



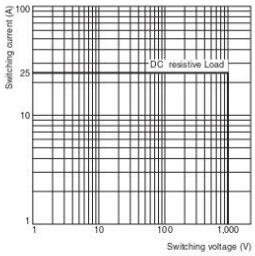
Note. The switching part has polarity. Exercise caution.
The diode and zener diode absorb coil surge. (The coil has no polarity.)

Engineering Data (Two-pole Series Wiring)

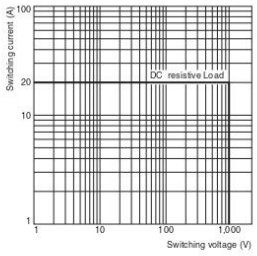
■ **Normal polarity**

●**Maximum Switching Capacity**

G7L-2A-X
G7L-2A-X-SI

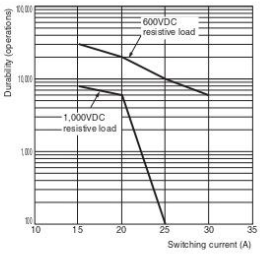


G7L-2A-X-L

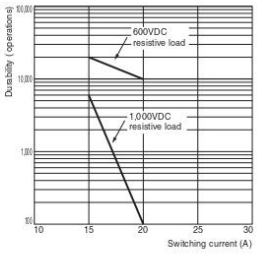


●**Durability** Note: Ambient temperature: 85°C

G7L-2A-X
G7L-2A-X-SI



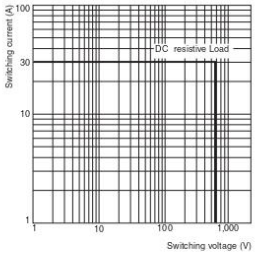
G7L-2A-X-L



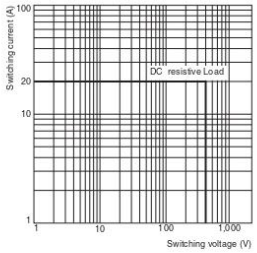
■**Reverse polarity**

●**Maximum Switching Capacity**

G7L-2A-X
G7L-2A-X-SI

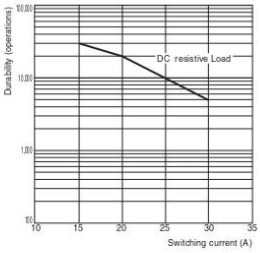


G7L-2A-X-L

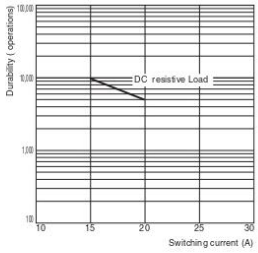


●**Durability** Note: Ambient temperature: 85°C

G7L-2A-X
G7L-2A-X-SI



G7L-2A-X-L



Approved Standards

• The approval rating values for overseas standards are different from the performance values determined individually confirm the values before use.

UL Recognized (File No. E41515)

Model	Coil ratings	Contact ratings	Number of test operations
G7L-2A-X G7LX-2A-X-SI	12 VDC, 24 VDC	15 A at 1000 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	6,000
		20 A at 1000 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series	
		25 A at 600 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	
		30 A at 600 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	
G7L-2A-X-L	12 VDC, 24 VDC	15 A at 1000 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	6,000
		20 A at 1000 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series	
		20 A at 600 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	

● **EN/IEC and VDE Approval** (Approval No.40045061)

Model	Coil ratings	Contact ratings	Number of test operations
G7L-2A-X G7LX-2A-X-SI	12 VDC, 24 VDC	25 A at 1000 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	50
		15 A at 1000 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	8,000
		25 A at 600 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	10,000
		32 A at 600 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	3,000
G7L-2A-X-L	12 VDC, 24 VDC	20 A at 1000 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	50
		15 A at 1000 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	6,000
		20 A at 600 VDC (Resistive) 85°C, Connected in series or Break all lines	10,000

Creepage distance (required value)		16 mm min. (IEC/UL)
Clearance (required value)		8 mm min. (IEC/UL)
Insulation material group		III
Type of insulation	coil-contact circuit	Basic (1,000 V, OV-cat III, up to 2,000 m above sea level)
	open contact circuit	Micro disconnection
Rated insulation voltage		1,000
Pollution degree		2
Rated voltage system		1,000
Category of protection (IEC61810-1)		RT II
Flammability class (UL94)		V-0
Coil insulation system (UL)		Class F

Safety Precautions

• **Please refer to "PCB Relays Common Precautions" for correct use.**

Correct Use

●Installation

- Contacts are polarized, and durability is the different by polarity. Failure to observe correct DC load connection will result in reduced durability and may risk failure in application.
- The Relay is designed and manufactured under the assumption that it will be used with 2-pole series wiring. Do not use just one pole only.
- Install the Relays in locations that are as dry as possible and have as little dust, dirt, and harmful gas.
- Using the Relay under high temperature, high humidity, or harmful gas may deteriorate its performance characteristics due to condensation or corrosive materials, resulting in failure or burn damage to the Relay.
- The Relay weighs approx. 100 g. Be sure that the PCB is strong enough to support it.
  We recommend dual-side through-hole PCBs to reduce solder cracking from heat stress.

●Micro Loads

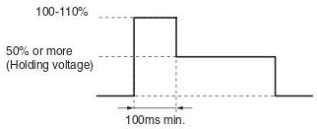
- These Power Relays are suitable for switching and breaking high-capacity DC. At high-voltage and low-current, breaking characteristics may become unstable. For 1 A or lower switching applications, please consult us.

●Soldering PCB Terminals

- Do not perform automatic soldering. Always solder the terminals manually. When performing automatic soldering, please consult us separately.
- Solder with the following conditions: Soldering iron temperature (max.) 380°C, Soldering time within 10 seconds.
- The G7L-X is not sealed. Do not wash the G7L-X with water or detergent.

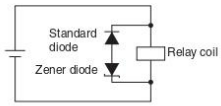
●Coil Voltage Reduction (Holding Voltage) during and after Relay Operation

- Use in the applied voltage and time ranges indicated in the figure below. Do not exceed this range due to coil voltage change and so on.
- A voltage of at least 50% of the rated voltage is required for the coil holding voltage. Do not allow voltage fluctuations to cause the coil holding voltage to fall below this level.



●Connection of Diodes to the Operation Coil

- Connect the standard diode and zener diode (or varistors) to the relay coil. (Refer to the following figure.)
  The diode absorbs coil surge. Switching performance may be affected if only a diode is used, so use in combination with a zener diode.
- The coil has no polarity. Connect the diodes in the reverse polarity of the voltage applied to the coil.
- The recommended zener voltage of the zener diode is one to two times the rated coil voltage.
- Use a diode with a reverse breakdown voltage at least 10 times the rated voltage of the coil, and a forward current equal to or greater than the rated current of the coil.



●PCB Mounting Interval

- When mounting Relays side by side on a PCB, use them at a holding voltage of 50%.

●Relay Service Life

- These Relays must be used for high DC voltages. The final failure mode is failure to break the circuit. In a worst-case scenario, burning may extend to surrounding components. Do not use these Relays outside of the specified ratings and service life, or for any application other than high DC voltages. Implement safety circuits and other safety measures to minimize the risk in case of the unlikely event of a failure.
- The electrical durability of these Relays is specified as the number of load switching operations under a resistive load and OMRON-specified standard testing conditions.
  The coil drive circuit, ambient environment, switching frequency, or load conditions (e.g., inductive load or capacitor load) may reduce the service life and possibly lead to failure to break. Always confirm the service life in the actual equipment.
- The service life may change due to high-voltage and high-current switching in low-humidity or low (minus)-temperature atmospheres. Always confirm the service life in the actual equipment.
- The service life may change due to high-voltage and high-current switching in low-humidity or low (minus)-temperature atmospheres. Always confirm the service life in the actual equipment.

●Polarity change when switching

- During switching operation in application should the polarity change it will reduce switching lifetime performance. Please contact Omron for further information.

ANEXO IV. COTIZACIÓN DE COMPONENTES

Contactar a Mouser (USA) +52 33 3612 7301 | Comentarios

Cambiar ubicación Español CLP

MOUSER ELECTRONICS

Productos Fabricantes Servicios y herramientas Recursos técnicos Ayuda

CARRITO DE COMPRAS

Esta no es una factura.

Clasificar	Detalle de los productos		Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Precio unitario (CLP)	Precio ext. (CLP)
1	**Mouser N.º:** **Fabricante N.º:** **Fabricante::** **Ref. Cliente:**	80-C0805C105Z3V C0805C105Z3VACTU KEMET Ref. Cliente	Capacitores cerámicos de capas múltiples (MLCC) - SMD/SMT 25V 1uF Y5V 0805 -20%,+80% En conformidad con la RoHS	40 **Embalaje:** **Cinta cortada	40 Se envía ahora	$80,9	**$3.236**
2	**Mouser N.º:** **Fabricante N.º:** **Fabricante::** **Ref. Cliente:**	581-060316C104K 0603YC104KAT2A KYOCERA AVX Ref. Cliente	Capacitores cerámicos de capas múltiples (MLCC) - SMD/SMT NEW GLOBAL PN KGM15AR71C104KT 16V 0.1uF X7R 0603 10% En conformidad con la RoHS por exención	100 **Embalaje:** **Cinta cortada	100 Se envía ahora	$21,9	**$2.190**
3	**Mouser N.º:** **Fabricante N.º:** **Fabricante::** **Ref. Cliente:**	80-T491A106M020 T491A106M020AT KEMET Ref. Cliente	Capacitores de tantalio - SMD sólido 20V 10uF 1206 20% ESR=5ohms En conformidad con la RoHS	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$358	**$3.580**
4	**Mouser N.º:** **Fabricante N.º:** **Fabricante::** **Ref. Cliente:**	80-C0805C102J5G C0805C102J5GACTU KEMET Ref. Cliente	Capacitores cerámicos de capas múltiples (MLCC) - SMD/SMT 50V 1000pF C0G 0805 5% En conformidad con la RoHS	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$47	**$470**
5	**Mouser N.º:** **Fabricante N.º:** **Fabricante::** **Ref. Cliente:**	598-715P22452LD3 715P22452LD3 Cornell Dubilier Ref. Cliente	Capacitores de películas 200V 220nF ORANGE DROP En conformidad con la RoHS	10	10 Se envía ahora	$2.382	**$23.820**
6	**Mouser N.º:** **Fabricante N.º:** **Fabricante::** **Ref. Cliente:**	651-1803303 1803303 Phoenix Contact Ref. Cliente	Bloques de terminales conectables 5 Pos 3.81mm pitch Through Hole Header En conformidad con la RoHS	4	4 Se envía ahora	$2.317	**$9.268**

7		**Mouser N.º:** 571-282858-2 **Fabricante N.º:** 282858-2 **Fabricante::** TE Connectivity **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Bloques de terminales fijas PCB MOUNT 90 2P. En conformidad con la RoHS por exención	10	10 Se envía ahora	$846	**$8.460**
8		**Mouser N.º:** 595-DCP020515DU **Fabricante N.º:** DCP020515DU **Fabricante::** Texas Instruments **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Convertidores CC/CC aislados - SMD Mini 2W Iso Unreg DC/DC Converter En conformidad con la RoHS	10	10 Se envía ahora	$17.909	**$179.090**
9		**Mouser N.º:** 78-BAS85 **Fabricante N.º:** BAS85-GS08 **Fabricante::** Vishay **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Rectificadores y diodos Schottky 200mA 30 Volt En conformidad con la RoHS por exención	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$296	**$2.960**
10		**Mouser N.º:** 771-BZV55-C15T/R **Fabricante N.º:** BZV55-C15,115 **Fabricante::** Nexperia **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Diodos Zener BZV55-C15/SOD80/LLDS En conformidad con la RoHS por exención	20 **Embalaje:** **Cinta cortada	20 Se envía ahora	$197	**$3.940**
11		**Mouser N.º:** 595-SN74AHC1G14DBVR **Fabricante N.º:** SN74AHC1G14DBVR **Fabricante::** Texas Instruments **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Inversores Single Schmitt-Trgr En conformidad con la RoHS	20 **Embalaje:** **Cinta cortada	20 Se envía ahora	$232	**$4.640**
12		**Mouser N.º:** 595-SN74LVC1G06DBVR **Fabricante N.º:** SN74LVC1G06DBVR **Fabricante::** Texas Instruments **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Búfers y controladores de línea Single Invert w/OD En conformidad con la RoHS	20 **Embalaje:** **Cinta cortada	20 Se envía ahora	$257	**$5.140**
13		**Mouser N.º:** 942-IRFI4227PBF **Fabricante N.º:** IRFI4227PBF **Fabricante::** Infineon **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	MOSFET MOSFT 200V 26A 22mOhm 73nC En conformidad con la RoHS	10	10 Se envía ahora	$2.797	**$27.970**
14		**Mouser N.º:** 588-C220-050-2AE **Fabricante N.º:** C220-050-2AE **Fabricante::** Ohmite **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Cuerpo de Refrigeración HEATSINK FOR TO-220 2 CLIPS, BLACK En conformidad con la RoHS	5	5 Se envía ahora	$6.261	**$31.305**
15		**Mouser N.º:** 595-SN74AHC1G00DBVR **Fabricante N.º:** SN74AHC1G00DBVR **Fabricante::** Texas Instruments **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Puertas lógicas Single 2-Input En conformidad con la RoHS	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$243	**$2.430**
16		**Mouser N.º:** 630-HCPL-3120-300E **Fabricante N.º:** HCPL-3120-300E **Fabricante::** Broadcom Limited **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Optoacopladores de salida lógica 2.0A IGBT Gate Drive En conformidad con la RoHS	10	10 Se envía ahora	$2.491	**$24.910**
			Resistores de				

17		**Mouser N.º:** 755-ESR03EZPJ472 **Fabricante N.º:** ESR03EZPJ472 **Fabricante::** ROHM Semiconductor **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	película gruesa - SMD 0603 4K7ohm 5% Anti Surge AEC-Q200 En conformidad con la RoHS por exención	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$45,9	**$459**
18		**Mouser N.º:** 708-RPC0805JT100R **Fabricante N.º:** RPC0805JT100R **Fabricante::** SEI Stackpole **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Resistores de película gruesa - SMD 100Ohms 0805 0.25W 5% Pulse Withstanding En conformidad con la RoHS por exención	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$65,6	**$656**
19		**Mouser N.º:** 667-ERJ-3GEYJ471V **Fabricante N.º:** ERJ-3GEYJ471V **Fabricante::** Panasonic **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Resistores de película gruesa - SMD 0603 470ohms 5% AEC-Q200 En conformidad con la RoHS por exención	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$19,7	**$197**
20		**Mouser N.º:** 71-RCL121847R0JNEK **Fabricante N.º:** RCL121847R0JNEK **Fabricante::** Vishay **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Resistores de película gruesa - SMD 1watt 47ohms 5% 1218 200ppm En conformidad con la RoHS por exención	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$267	**$2.670**
21		**Mouser N.º:** 667-ERJ-8ENF2002V **Fabricante N.º:** ERJ-8ENF2002V **Fabricante::** Panasonic **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Resistores de película gruesa - SMD 1206 20Kohms 1% AEC-Q200 En conformidad con la RoHS por exención	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$150	**$1.500**
22		**Mouser N.º:** 630-HFBR-2521Z **Fabricante N.º:** HFBR-2521Z **Fabricante::** Broadcom Limited **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Transmisores, receptores y transceptores de fibra óptica V-LINK HORIZ 5MBd RC VR RoHS En conformidad con la RoHS	10	10 Se envía ahora	$12.828	**$128.280**
23		**Mouser N.º:** 72-TS53YJ-20K **Fabricante N.º:** TS53YJ203MR10 **Fabricante::** Vishay **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Resistores variables - SMD 5MM SQ SMD 203 En conformidad con la RoHS por exención	10 **Embalaje:** **Cinta cortada	10 Se envía ahora	$2.677	**$26.770**
	Ver información adicional del producto						
24		**Mouser N.º:** 630-HFBR-1521Z **Fabricante N.º:** HFBR-1521Z **Fabricante::** Broadcom Limited **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Transmisores, receptores y transceptores de fibra óptica Versatile Link Horiz 5MBd Tx RoHS En conformidad con la RoHS	10	10 Se envía ahora	$12.828	**$128.280**
		Mouser N.º: 567-173-7-220P **Fabricante N.º:** 173-7-220P	Productos de interfaz térmica DeltaPads Thermally Conductive				

25		**Fabricante::** Wakefield-Vette **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Insulators for TO-220, 0.007", Grey, No Adhesive En conformidad con la RoHS	10	10 Se envía ahora	$531	**$5.310**
26		**Mouser N.º:** 571-1217861-1-CT **Fabricante N.º:** 1217861-1 (Cut Strip) **Fabricante::** TE Connectivity **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Terminales TAB .250 STR QC TIN Cut Strip of 100 En conformidad con la RoHS	100	100 Se envía ahora	$94	**$9.400**
	Ver información adicional del producto						
27		**Mouser N.º:** 576-65600001009 **Fabricante N.º:** 65600001009 **Fabricante::** Littelfuse **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Portafusibles 5 X 20MM FUSE BLOCK En conformidad con la RoHS	5	5 Se envía ahora	$2.054	**$10.270**
28		**Mouser N.º:** 576-0505030.MXEP **Fabricante N.º:** 0505030.MXEP **Fabricante::** Littelfuse **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Fusibles de cartucho 500V 30A 3AB PT PB-FREE En conformidad con la RoHS	5	5 Se envía ahora	$7.146	**$35.730**
29		**Mouser N.º:** 653-G7L-2A-X-SI-DC12 **Fabricante N.º:** G7L-2A-X-SI DC12 **Fabricante::** Omron **Ref. Cliente:** Ref. Cliente	Relés universales Low CR 1000VDC PCB Relay DC12 En conformidad con la RoHS	2	2 Se envía ahora	$70.752	**$141.504**

Al enviar su pedido, usted acepta estos términos y condiciones.
Para obtener más información acerca de la disponibilidad, haga clic en el N.º de artículo de Mouser.

**Ningún artículo de MouseReel™ se puede cancelar ni devolver.

Términos internacionales de comercio (Incoterms): FCA (los costos de aranceles, aduana e impuestos se cobran en el momento de la entrega).

Mercadería: **$824.435**

Envío: DHL International Express

Envío de pedidos en línea **diciembre 20** **$26.000**
Llegada estimada **diciembre 26 - diciembre 28**

Subtotal: **$850.435**

Finalización de compra

ANEXO V. MANUAL DE ALTIUM DESIGNER

Figura 40. Código QR de la presentación del manual para utilizar Altium Designer.

HFBR-0500Z Series

Versatile Link

The Versatile Fiber Optic Connection

Data Sheet

Description

The Versatile Link series is a complete family of fiber optic link components for applications requiring a low cost solution. The HFBR-0500Z series includes transmitters, receivers, connectors and cable specified for easy design. This series of components is ideal for solving problems with voltage isolation/insulation, EMI/RFI immunity or data security. The optical link design is simplified by the logic compatible receivers and complete specifi-cations for each component. The key optical and electrical parameters of links configured with the HFBR-0500Z family are fully guaranteed from 0° to 70°C.

A wide variety of package configurations and connectors provide the designer with numerous mechanical solutions to meet application requirements. The transmitter and receiver components have been designed for use in high volume/low cost assembly processes such as auto insertion and wave soldering.

Transmitters incorporate a 660 nm LED. Receivers include a monolithic dc coupled, digital IC receiver with open collector Schottky output transistor. An internal pullup resistor is available for use in the HFBR-25X1Z/2Z/4Z receivers. A shield has been integrated into the receiver IC to provide additional, localized noise immunity.

Internal optics have been optimized for use with 1 mm diameter plastic optical fiber. Versatile Link specifications incorporate all connector interface losses. Therefore, optical calculations for common link applications are simplified.

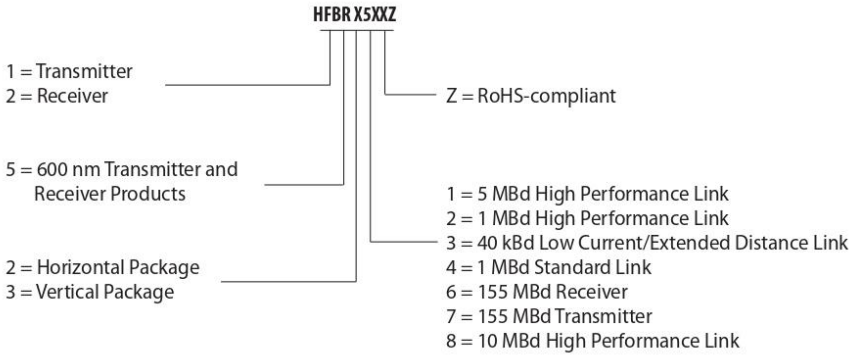
Features

- RoHS-compliant
- Low cost fiber optic components
- Enhanced digital links: dc-5 MBd
- Extended distance links up to 120 m at 40 kBd
- Low current link: 6 mA peak supply current
- Horizontal and vertical mounting
- Interlocking feature
- High noise immunity
- Easy connectoring: simplex, duplex, and latching connectors
- Flame retardant
- Transmitters incorporate a 660 nm red LED for easy visibility
- Compatible with standard TTL circuitry

Applications

- Reduction of lightning/voltage transient susceptibility
- Motor controller triggering
- Data communications and local area networks
- Electromagnetic Compatibility (EMC) for regulated systems: FCC, VDE, CSA, etc.
- Tempest-secure data processing equipment
- Isolation in test and measurement instruments
- Error free signalling for industrial and manufacturing equipment
- Automotive communications and control networks
- Noise immune communication in audio and video equipment

HFBR-0500Z Series Part Number Guide



Link Selection Guide

(Links specified from 0 to 70°C, for plastic optical fiber unless specified.)

Signal Rate	Distance (m) 25°C	Distance (m)	Transmitter	Receiver
40 kBd	120	110	HFBR-1523Z	HFBR-2523Z
1 MBd	20	10	HFBR-1524Z	HFBR-2524Z
1 MBd	55	45	HFBR-1522Z	HFBR-2522Z
5 Mbd	30	20	HFBR-1521Z	HFBR-2521Z

Evaluation Kit

HFBR-0500Z 1 MBd Versatile Link:

This kit contains: HFBR-1524Z Tx, HFBR-2524Z Rx, polishing kit, 3 styles of plastic connectors, Bulkhead feedthrough, 5 meters of 1 mm diameter plastic cable, lapping film and grit paper, and HFBR-0500Z data sheet.

Application Literature

Application Note 1035 (Versatile Link)

Package and Handling Information

The compact Versatile Link package is made of a flame retardant VALOX® UL 94 V-0 material (UL file # E121562) and uses the same pad layout as a standard, eight pin dual-in-line package. Vertical and horizontal mountable parts are available. These low profile Versatile Link packages are stackable and are enclosed to provide a dust resistant seal. Snap action simplex, simplex latching, duplex, and duplex latching connectors are offered with simplex or duplex cables.

Package Orientation

Performance and pinouts for the vertical and horizontal packages are identical. To provide additional attachment support for the vertical Versatile Link housing, the designer has the option of using a self-tapping screw through a printed circuit board into a mounting hole at the bottom of the package. For most applications this is not necessary.

Package Housing Color

Versatile Link components and simplex connectors are color coded to eliminate confusion when making connections. Receivers are blue and transmitters are gray, except for the HFBR-15X3Z transmitter, which is black.

VALOX® is a registered trademark of the General Electric Corporation.

Handling

Versatile Link components are auto-insertable. When wave soldering is performed with Versatile Link components, the optical port plug should be left in to prevent contamination of the port. Do not use reflow solder processes (i.e., infrared reflow or vapor-phase reflow). Nonhalogenated water soluble fluxes (i.e., 0% chloride), not rosin based fluxes, are recommended for use with Versatile Link components.

Versatile Link components are moisture sensitive devices and are shipped in a moisture sealed bag. If the components are exposed to air for an extended period of time, they may require a baking step before the soldering process. Refer to the special labeling on the shipping tube for details.

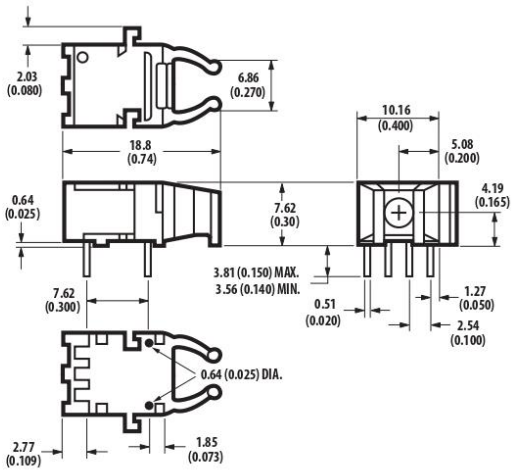
Recommended Chemicals for Cleaning/Degreasing

Alcohols: methyl, isopropyl, isobutyl. Aliphatics: hexane, heptane. Other: soap solution, naphtha.

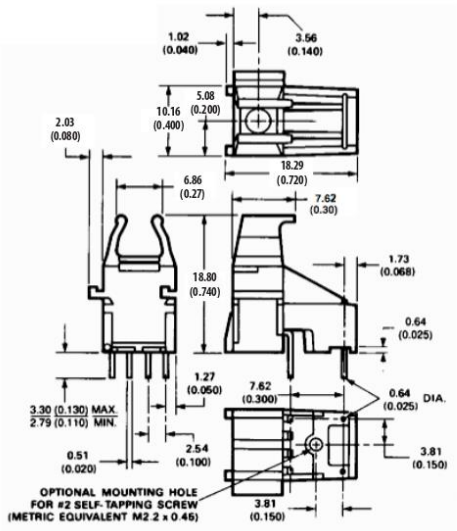
Do not use partially halogenated hydrocarbons such as 1,1.1 trichloroethane, ketones such as MEK, acetone, chloroform, ethyl acetate, methylene dichloride, phenol, methylene chloride, or N-methylpyrolldone. Also, Avago does not recommend the use of cleaners that use halogenated hydrocarbons because of their potential environmental harm.

Mechanical Dimensions

Horizontal Modules

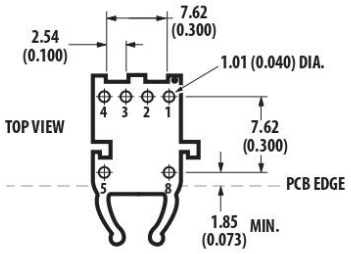


Vertical Modules



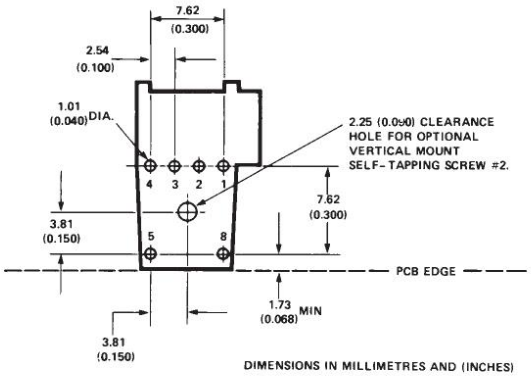
Versatile Link Printed Board Layout Dimensions

Horizontal Module



DIMENSIONS IN MILLIMETERS (INCHES).

Vertical Module



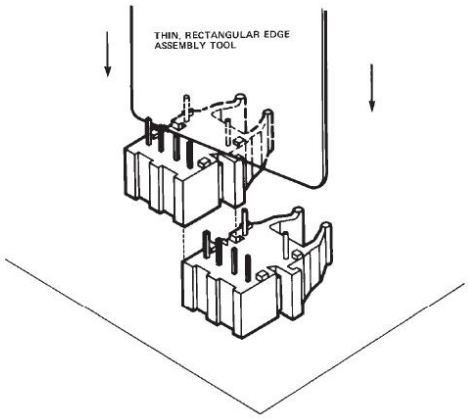
DIMENSIONS IN MILLIMETRES AND (INCHES)

Interlocked (Stacked) Assemblies (refer to Figure 1)

Horizontal packages may be stacked by placing units with pins facing upward. Initially engage the interlocking mechanism by sliding the L bracket body from above into the L slot body of the lower package. Use a straight edge, such as a ruler, to bring all stacked units into uniform alignment. This technique prevents potential harm that could occur to fingers and hands of assemblers from the package pins. Stacked horizontal packages can be disengaged if necessary. Repeated stacking and unstacking causes no damage to individual units.

To stack vertical packages, hold one unit in each hand, with the pins facing away and the optical ports on the bottom. Slide the L bracket unit into the L slot unit. The straight edge used for horizontal package alignment is not needed.

Stacking Horizontal Modules



Stacking Vertical Modules

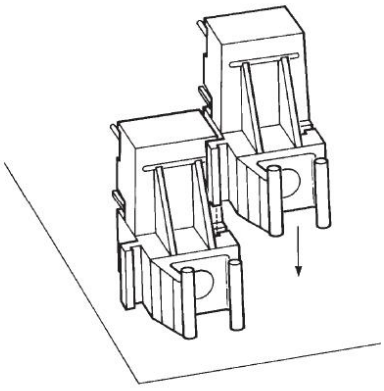


Figure 1. Interlocked (stacked) horizontal or vertical packages

5 MBd Link (HFBR-15X1Z/25X1Z)

System Performance 0 to 70°C unless otherwise specified.

	Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Ref.
High Performance 5 MBd	Data Rate		dc		5	MBd	BER ≤10^{-9}, PRBS:2^7-1	
	Link Distance (Standard Cable)	ℓ	19			m	I_{Fdc} = 60 mA	Fig. 3
			27	48		m	I_{Fdc} = 60 mA, 25°C	Note 3
	Link Distance (Improved Cable)	ℓ	22			m	I_{Fdc} = 60 mA	Fig. 4
			27	53		m	I_{Fdc} = 60 mA, 25°C	Note 3
	Propagation Delay	t_{PLH}		80	140	ns	R_L = 560 Ω, C_L = 30 pF	Fig. 5, 8
		t_{PHL}		50	140	ns	fiber length = 0.5 m	Notes 1, 2
							-21.6 ≤P_R ≤-9.5 dBm	
	Pulse Width Distortion t_{PLH}-t_{PHL}	t_D		30		ns	P_R = -15 dBm	Fig. 5, 7
							R_L = 560 Ω, C_L = 30 pF	

Notes:
1. The propagation delay for one metre of cable is typically 5 ns.
2. Typical propagation delay is measured at P_R = -15 dBm.
3. Estimated typical link life expectancy at 40°C exceeds 10 years at 60 mA.

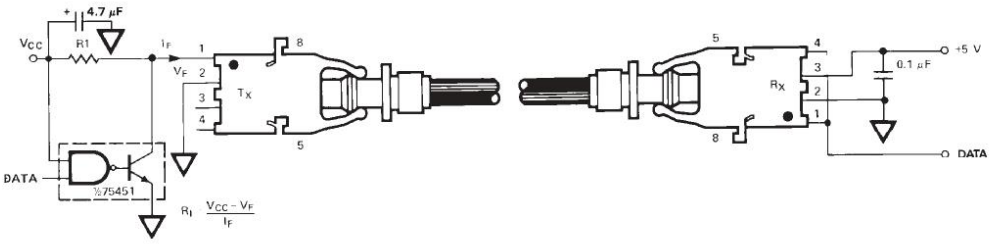


Figure 2. Typical 5 MBd interface circuit

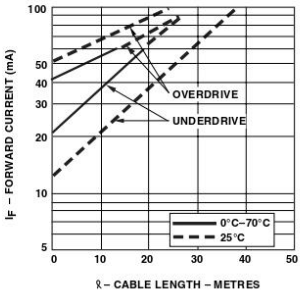


Figure 3. Guaranteed system performance with standard cable (HFBR-15X1Z/25X1Z)

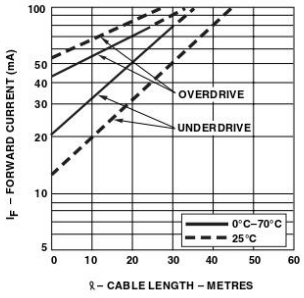


Figure 4. Guaranteed system performance with improved cable (HFBR-15X1Z/25X1Z)

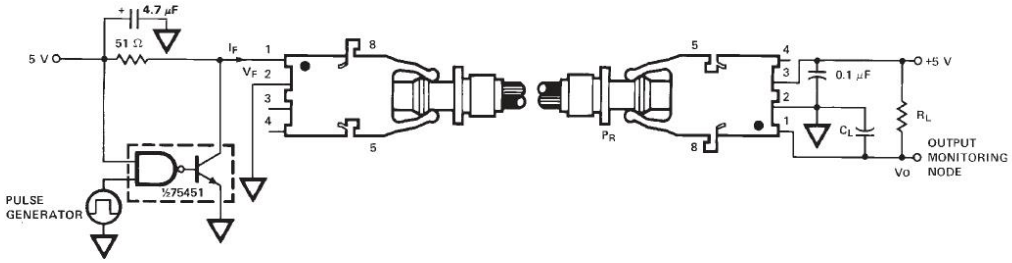


Figure 5. 5 MBd propagation delay test circuit

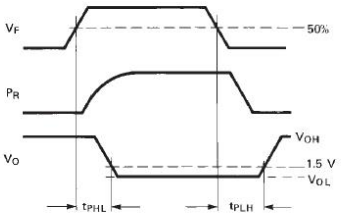


Figure 6. Propagation delay test waveforms

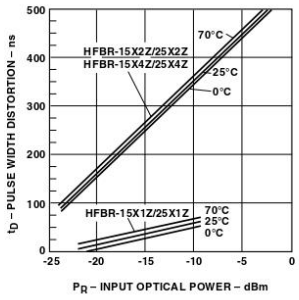


Figure 7. Typical link pulse width distortion vs. optical power

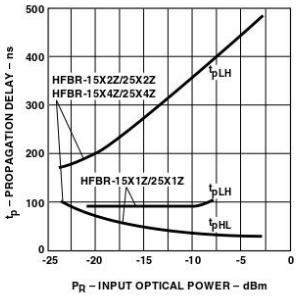


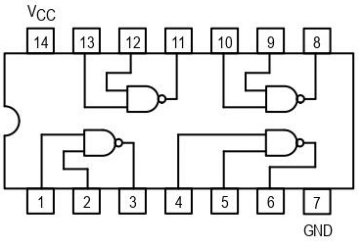
Figure 8. Typical link propagation delay vs. optical power

MOTOROLA

SN54/74LS00

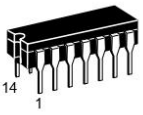
QUAD 2-INPUT NAND GATE

- ESD > 3500 Volts

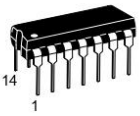


QUAD 2-INPUT NAND GATE

LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 632-08



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-06

D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ	Ceramic
SN74LSXXN	Plastic
SN74LSXXD	SOIC

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T_A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	−55 0	25 25	125 70	°C
I_{OH}	Output Current — High	54, 74			−0.4	mA
I_{OL}	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Limits Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions	
V_{IH}	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V_{IL}	Input LOW Voltage	54			0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74			0.8			
V_{IK}	Input Clamp Diode Voltage			−0.65	−1.5	V	V_{CC} = MIN, I_{IN} = −18 mA	
V_{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5		V	V_{CC} = MIN, I_{OH} = MAX, V_{IN} = V_{IH} or V_{IL} per Truth Table	
		74	2.7	3.5		V		
V_{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	I_{OL} = 4.0 mA	V_{CC} = V_{CC} MIN, V_{IN} = V_{IL} or V_{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	I_{OL} = 8.0 mA	
I_{IH}	Input HIGH Current				20	μA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 2.7 V	
					0.1	mA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 7.0 V	
I_{IL}	Input LOW Current				−0.4	mA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 0.4 V	
I_{OS}	Short Circuit Current (Note 1)		−20		−100	mA	V_{CC} = MAX	
I_{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH				1.6	mA	V_{CC} = MAX	
	Total, Output LOW				4.4			

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
t_{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	V_{CC} = 5.0 V C_L = 15 pF
t_{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	

Anexo VIII. IMPRESIÓN DE PLACA DE PROTECCIÓN CON ÁCIDO FÉRRICO

La Figura muestra los pasos detallados que se siguieron para llevar a cabo este proceso de impresión. Inicialmente, se imprimió el diseño del circuito en papel fotográfico y luego se transfirió a la placa de cobre mediante la aplicación de calor con una plancha durante aproximadamente 10 minutos. Tras este paso, se verificó la transferencia del circuito y, en caso de partes faltantes, se añadieron con un plumón permanente. Posteriormente, la placa se sumergió en un recipiente plástico con cloruro férrico, asegurando una cobertura completa de la placa. Este químico disuelve el cobre, dejando intactas las áreas cubiertas y removiendo las que quedan expuestas. Finalmente, se procedió a lijar la placa, obteniendo como resultado final la placa con sus pistas de cobre.

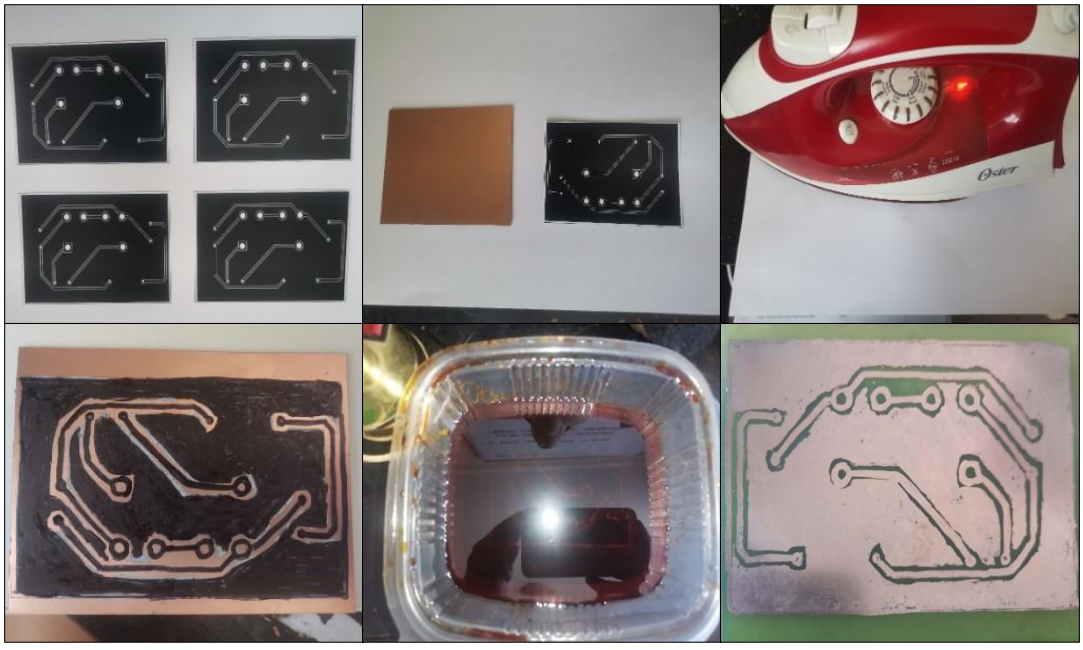


Figura 41. Proceso de impresión de placa de cobre con Ácido Férrico.