



HAL
open science

Módulo didáctico de convertidor electrónico de potencia para la enseñanza y el aprendizaje de la electrónica de potencia

María Alejandra Mantilla Villalobos, Diana Paola Navas Jaimes, Mauricio Bautista Porras, Sergio Manuel Brito Garcia, Damien Guilbert

► **To cite this version:**

María Alejandra Mantilla Villalobos, Diana Paola Navas Jaimes, Mauricio Bautista Porras, Sergio Manuel Brito Garcia, Damien Guilbert. Módulo didáctico de convertidor electrónico de potencia para la enseñanza y el aprendizaje de la electrónica de potencia. El Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI (EIEI ACOFI), Sep 2024, Carthagène des Indes, Colombia. pp.1-13, <10.26507/paper.3587>. <hal-04787410>

HAL Id: hal-04787410

<https://hal.science/hal-04787410v1>

Submitted on 3 Apr 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License



Módulo didáctico de convertidor electrónico de potencia para la enseñanza y el aprendizaje de la electrónica de potencia

Diana Paola Navas Jaimes, María Alejandra Mantilla Villalobos, Mauricio Bautista Porras, Sergio Manuel Brito, Damien Guilbert

**Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia**

**Université Le Havre Normandie
Le Havre, Francia**

Resumen

Este trabajo presenta el diseño y la implementación de un módulo didáctico de laboratorio, basado en un convertidor electrónico de potencia para el desarrollo de prácticas experimentales de la asignatura electrónica de potencia en la Universidad Industrial de Santander (UIS). El módulo didáctico constituye una herramienta educativa de apoyo para los procesos de enseñanza y aprendizaje en la formación de estudiantes de las carreras de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica. La topología del convertidor electrónico implementado corresponde a un rectificador trifásico en puente completo no controlado seguido de un inversor trifásico en puente completo controlado; resultando en un proceso de conversión de la energía en dos etapas que puede ser empleado para la realización de prácticas experimentales en diversas aplicaciones. Se diseñaron e implementaron los circuitos de potencia, adecuación y aislamiento de señales, y control del prototipo, los cuales fueron verificados mediante simulaciones en Matlab/Simulink y pruebas experimentales en laboratorio, para garantizar el correcto funcionamiento en el ensamble final.

Para la implementación de la etapa de control del módulo de laboratorio, se empleó la plataforma Arduino Mega, la cual es de fácil programación para estudiantes de pregrado. De esta manera, los estudiantes pueden proponer e implementar la estrategia de control del convertidor de potencia dependiendo de la práctica que se desee realizar, permitiendo al profesor abordar estrategias de aprendizaje basadas en problemas o retos. Además, se elaboró un manual de usuario y guías de laboratorio que permiten brindar información sobre el principio de operación del convertidor y el funcionamiento del módulo, y orientan la realización de prácticas experimentales en la asignatura

electrónica de potencia. Esta herramienta educativa ofrece numerosos beneficios como la apropiación y verificación de conocimientos, la realización de pruebas experimentales con sistemas de conversión de la energía, el desarrollo de competencias teórico-prácticas, y el análisis y la interpretación de datos resultantes de la experimentación.

Este documento presenta los resultados del trabajo final de pregrado en Ingeniería Eléctrica de la UIS titulado "Módulo didáctico de inversor de potencia para prácticas experimentales de laboratorio" realizado en el marco del proyecto de investigación interno titulado "Estrategia pedagógica para el fortalecimiento de competencias en STEM mediante sistemas modulares de laboratorio", código 2825.

Palabras claves: electrónica de potencia; convertidores electrónicos de potencia; módulo didáctico de laboratorio; competencias teórico-prácticas.

Abstract

This paper presents the design and implementation of a didactic laboratory module, based on a power electronic converter, for the development of experimental practices in the Power Electronics course at Universidad Industrial de Santander (UIS). The didactic module constitutes an educational tool to support the teaching and learning processes in the training of students in Electrical Engineering and Electronic Engineering programs. The topology of the implemented electronic converter corresponds to an uncontrolled three-phase full-bridge rectifier followed by a controlled three-phase full-bridge inverter, resulting in a two-stage energy conversion process that can be used for conducting experimental practices in various applications. The article details the design and implementation experience of the power circuits, signal conditioning and isolation stage, and control system of the prototype. These were verified through Matlab/Simulink simulations and laboratory experiments to ensure proper operation in the final assembly.

For the implementation of the control stage of the laboratory module, the Arduino Mega platform was used, as it is easily programmable for undergraduate students. This allows students to propose and implement the control strategy of the power converter depending on the practice they wish to conduct, enabling the professor to address problem-based or challenge-based learning strategies. Additionally, a user manual and laboratory guides were developed to provide information on the operating principle of the converter and the functioning of the module, guiding the execution of experimental practices in the Power Electronics course. This educational tool offers numerous benefits such as the appropriation and verification of knowledge, conducting experimental tests with energy conversion systems, developing theoretical and practical skills, and analyzing and interpreting data resulting from experimentation.

This document presents the outcomes of the undergraduate thesis in Electrical Engineering at UIS titled " Power inverter didactic module for experimental laboratory practices " carried out within the framework of the internal research project titled "Pedagogical Strategy for Strengthening Competencies in STEM through Modular Laboratory Systems," code 2825.

Keywords: *Power electronics; power electronic converters; didactic laboratory module; theoretical and practical skills.*

1. Introducción

La electrónica de potencia desempeña un papel fundamental en una amplia variedad de aplicaciones domésticas, comerciales e industriales. Actualmente, esta tecnología no solo ha permitido el desarrollo y la integración a la red eléctrica de sistemas de generación de energía a partir de fuentes renovables no convencionales, como la solar fotovoltaica y la eólica, sino también ha potenciado el desarrollo de los vehículos eléctricos, una alternativa más eficiente de transporte (Oghenewvogaga et al., 2022). De la misma manera, los convertidores electrónicos de potencia son esenciales en la operación e implementación de las microrredes eléctricas, sistemas de transmisión en corriente continua (HVDC por sus siglas en inglés), fuentes de alimentación, sistemas de almacenamiento de energía, sistemas de automatización y control de procesos industriales, control de motores eléctricos, sistemas flexibles de transmisión de corriente alterna (FACTS por sus siglas en inglés), celdas de combustible, entre muchas otras aplicaciones. Esta rama de la ingeniería es actualmente un motor de desarrollo industrial y económico importante en el mundo, y se establece a su vez como una tecnología primordial para la transición energética y la modernización del sector eléctrico hacia las redes eléctricas inteligentes (Zhao et al., 2018).

La electrónica de potencia abarca las tecnologías basadas en la electrónica de estado sólido empleadas para realizar procesos de conversión de la energía eléctrica, mediante el uso de circuitos eléctricos conocidos como convertidores electrónicos de potencia. Dos de los procesos de conversión corresponden a la rectificación e inversión de la energía eléctrica, los cuales permiten realizar la transformación de señales en corriente alterna (AC por sus siglas en inglés) a corriente continua (DC por sus siglas en inglés) y viceversa, respectivamente. Estos procesos son fundamentales en numerosas aplicaciones como por ejemplo el control de velocidad de motores, el filtrado activo de potencia, la interconexión a la red de generadores fotovoltaicos y eólicos, los vehículos eléctricos, entre otras; aportando un campo de soluciones a los sistemas de potencia, de automatización y control actuales o emergentes (Rashid et al., 2024).

Considerando la importancia de esta área de la ingeniería, es fundamental el desarrollo de herramientas que fortalezcan los procesos de enseñanza y aprendizaje en sistemas de conversión de la energía eléctrica, con el fin de favorecer la apropiación de conocimientos, el desarrollo de competencias tecnológicas y científicas, y el fortalecimiento de habilidades en experimentación, especialmente en estudiantes de programas académicos de ingeniería eléctrica e ingeniería electrónica (Quintero et al., 2019).

En este contexto, este trabajo tiene como finalidad presentar una experiencia de desarrollo de un módulo didáctico de laboratorio diseñado para apoyar la formación de estudiantes de programas de ingeniería en procesos de conversión de la energía eléctrica. El módulo didáctico permite llevar a cabo experimentaciones con convertidores electrónicos de potencia empleados para realizar procesos de rectificación e inversión de la energía eléctrica. Una de las características del módulo didáctico es que es programable, por lo que el estudiante puede proponer e implementar algoritmos

de control para dar solución a problemáticas o retos planteados por el profesor, por lo que pueden ser empleadas estrategias de aprendizaje basadas en problemas o retos. Asimismo, el módulo de laboratorio puede ser usado para realizar experimentaciones considerando aplicaciones específicas objeto de estudio que involucren estos procesos de conversión de la energía, las cuales contemplen sistemas de control más complejos.

Este documento presenta el diseño e implementación de las etapas de potencia, adecuación de señales, y control del módulo didáctico, cuyo funcionamiento fue verificado mediante simulaciones en Matlab/Simulink y pruebas experimentales de laboratorio. Para la implementación del sistema de control, se empleó la plataforma Arduino Mega 2560, de tal manera que sea de fácil programación para estudiantes de pregrado. Asimismo, se elaboró un manual de usuario el cual describe la configuración y los componentes del módulo didáctico, sus especificaciones técnicas, las instrucciones de seguridad, y además, presenta información sobre su principio de operación y funcionamiento. Adicionalmente, se diseñaron dos guías de laboratorio para la realización de prácticas experimentales empleando el módulo didáctico. Estas guías abordan temas como el control del inversor de potencia usando estrategias de modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés), y el uso de filtros pasivos para la atenuación de componentes armónicas de alta frecuencia.

2. Configuración del módulo didáctico de laboratorio

En la **ilustración 1** se presenta el diagrama general del módulo didáctico, el cual está conformado por tres etapas. La etapa principal corresponde al sistema de potencia compuesto por: dos convertidores electrónicos de potencia (VSR y VSI por sus siglas en inglés) (Rashid et al., 2011), un circuito de carga, un filtro capacitivo como elemento principal del bus en DC, y dispositivos de protección. Los convertidores electrónicos realizan un proceso de conversión AC/AC multietapa, iniciando por un proceso de rectificación (convertidor AC/DC), seguido de un proceso de inversión de la señal (convertidor DC/AC).

La segunda etapa hace referencia al sistema de control del prototipo el cual es implementado en la plataforma ARDUINO MEGA 2560. Finalmente, la última etapa está compuesta por los circuitos de adecuación y aislamiento de señales, permitiendo una conexión adecuada y segura entre las etapas de potencia y control.

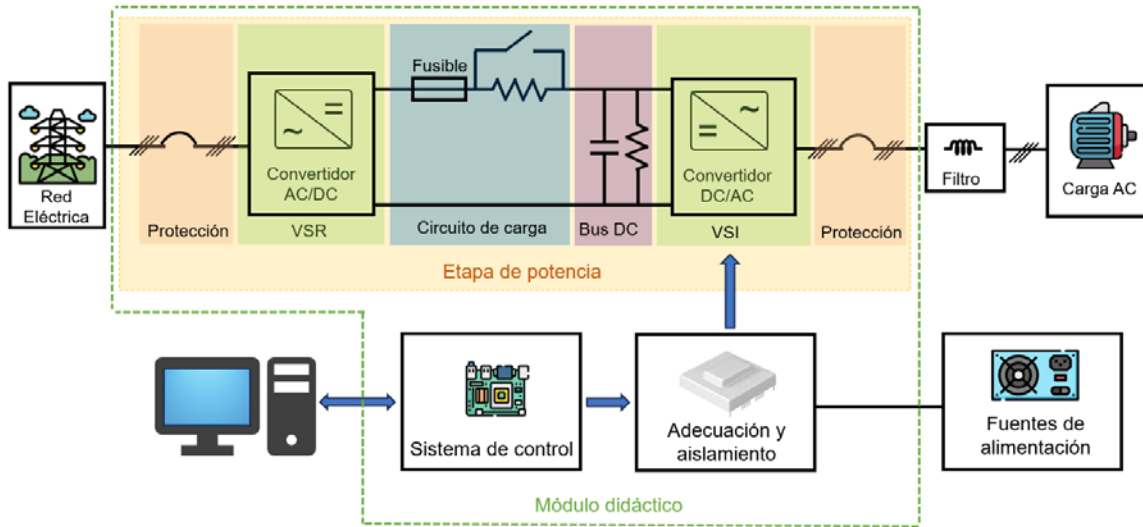


Ilustración 1. Diagrama general del módulo didáctico de laboratorio.

Tal como se observa en la **ilustración 1**, la entrada de la etapa de potencia se conecta a la red eléctrica de baja tensión (conexión trifásica en la parte izquierda de la gráfica). Por otro lado, en la salida de potencia del módulo se pueden conectar cargas trifásicas en AC y filtros pasivos para la atenuación de armónicos de alta frecuencia debidos a la conmutación del inversor.

La tarjeta de control se interconecta con un computador mediante el puerto serial, lo cual permite la comunicación entre estos dos dispositivos para efectos de programación de los algoritmos de control y la visualización de señales. Asimismo, la etapa de adecuación y aislamiento de señales requiere de una fuente de alimentación externa en DC, la cual proporciona la potencia necesaria para ejecutar las funcionalidades de este sistema.

- **Etapa de potencia**

El esquemático del circuito de potencia se muestra en la **ilustración 2**. Este circuito permite realizar un proceso de conversión AC/AC en dos etapas, cuyo funcionamiento se describe a continuación. En primera instancia, a partir de una tensión trifásica en AC conectada a la entrada del circuito, se obtiene una señal de tensión rectificada mediante un convertidor AC/DC no controlado a base de diodos. Esta señal de tensión rectificada es filtrada empleando un capacitor electrolítico (C) con el fin de reducir el rizo de la tensión resultante. Entre el rectificador de potencia y el filtro capacitivo, se conecta un circuito de carga y protección el cual es empleado para realizar una carga lenta del capacitor (C) al momento de inicializar el módulo didáctico, previniendo la circulación de altas corrientes de carga que pueden producir daños en los diferentes elementos. Asimismo, se conecta un resistor (R) en paralelo con el capacitor (C), el cual es empleado para la descarga del elemento capacitivo al momento de apagar el módulo didáctico. Finalmente, a la salida del filtro capacitivo se realiza un proceso de inversión de la señal empleando un convertidor DC/AC controlado, el cual permite obtener una señal de salida trifásica en corriente alterna, cuyas formas de onda, amplitud y frecuencia pueden ser controladas de acuerdo a las estrategias de

control implementadas. El circuito de potencia también contempla el uso de fusibles y disyuntores empleados para la protección del módulo por sobre corrientes.

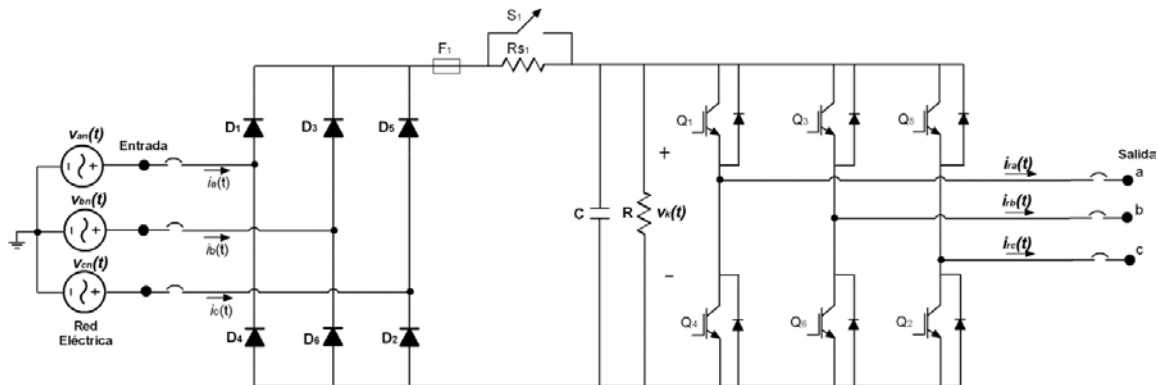


Ilustración 2. Esquemático de la etapa de potencia del módulo didáctico.

De acuerdo a lo anterior, la etapa de potencia está compuesta por los siguientes elementos:

- Convertidor AC/DC: se utiliza un rectificador trifásico en puente completo no controlado tipo fuente de tensión (VSR de *Voltage Source Rectifier*). Para la implementación se utilizó el dispositivo de referencia SK95D12 de Semikron.
- Convertidor DC/AC: corresponde a un inversor trifásico en puente completo controlado tipo fuente de tensión (VSI de *Voltage Source Inverter*) . Se utilizó el módulo trifásico de referencia SK35GD12T4ET de Semikron el cual se compone de seis transistores bipolares de puerta aislada (IGBT por sus siglas en inglés) con sus respectivos diodos en anti paralelo.
- Circuito de carga: permite realizar el proceso de carga lenta del filtro capacitivo al momento de inicializar el módulo didáctico de laboratorio, evitando cambios bruscos de tensión en el capacitor lo que puede generar altos picos de corriente. Para asegurar la carga lenta se emplea el resistor R_{S1} manteniendo el interruptor S_1 abierto (ver **ilustración 2**). Una vez la tensión del capacitor alcanza un nivel establecido, se conmuta el interruptor S_1 el cual habilita la carga final del capacitor. Para la implementación de este circuito se empleó el interruptor de referencia BB1-63 BENY y un resistor de $33 [\Omega]$ a $5[W]$. Asimismo, se utilizó un fusible (F_1) de $32 [A]$ como elemento de protección.
- Filtro capacitivo: este elemento permite atenuar el rizo en la tensión rectificada. Se consideró un filtro de $940 [\mu F]$, compuesto por dos capacitores de $470 [\mu F]$ a $450 [V]$ cada uno, conectados en paralelo. Además, un resistor (R) fue instalado en paralelo con los capacitores para protección y descarga del elemento una vez el módulo didáctico es apagado. Esta resistencia tiene un valor de $70 [k\Omega]$.
- Disipadores de calor: empleados para regular la temperatura en los dispositivos semiconductores. Los disipadores comerciales utilizados fueron: el disipador pasivo de referencia P16/300 de Semikron y un ventilador de referencia 4715FS-12T-B50 de NMB.

- Etapa de control

El sistema de control del módulo didáctico es el encargado de generar los pulsos de disparo que controlan los seis transistores bipolares de puerta aislada del inversor de potencia. Entre las estrategias de control usualmente empleadas para este propósito se resaltan las técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM de *Pulse Width Modulation*) y la modulación vectorial, las cuales comúnmente operan en conjunto con otras técnicas de control en lazo cerrado según la aplicación (Rashid et al., 2011). En este contexto, para la implementación del sistema de control es recomendable emplear una plataforma de desarrollo que cuente con periféricos de temporización para la generación de señales PWM, y entradas digitales y analógicas para la adquisición de señales provenientes de sensores requeridos en aplicaciones que impliquen la ejecución de estrategias de control en lazo cerrado.

Para el módulo de laboratorio, se propone el uso de la plataforma Arduino Mega 2560, ya que es de bajo costo, fácil de programar, y, además, los estudiantes de las carreras de ingeniería eléctrica y electrónica de la UIS se han familiarizado con ella durante su proceso de formación académica. Esta plataforma, basada en el microcontrolador ATmega2560, cuenta con 16 entradas analógicas con 10 bits de resolución cada una, seis temporizadores (2 de 8 bits y 4 de 16 bits) para la generación de señales PWM, y 15 pines que pueden ser utilizados como salidas PWM (Arduino, 2024). Para el control del inversor de potencia son requeridas seis salidas PWM las cuales deben ser configuradas según la frecuencia de conmutación del inversor.

- **Etapas de adecuación y aislamiento de señales**

Las señales de control (pulsos de disparo) del inversor de potencia son generadas utilizando la plataforma Arduino Mega, la cual entrega las señales en niveles TTL: aproximadamente 5[V] nivel alto y 0[V] nivel bajo, con una corriente máxima de salida de 20 mA por pin PWM. Además, la corriente total máxima a través de todos los pines no debe exceder los 200 mA. De esta manera, es necesario adecuar los niveles de tensión y corriente de estas señales, según las especificaciones requeridas para la conmutación de los IGBT del inversor de potencia. Asimismo, se requiere garantizar el aislamiento entre las etapas de control y potencia con el fin de proteger los dispositivos de control y los usuarios del sistema.

Se propone un circuito que contempla el uso de optoacopladores de referencia HCPL-3120 seguidos de *drivers* de dos canales de referencia SKHI 22AR de Semikron, con el fin de proporcionar los pulsos de disparo (señales compuerta-emisor) a los IGBT en un nivel de tensión de +15[V] nivel alto (encendido) y -7[V] nivel bajo (apagado). Además, este circuito proporciona aislamiento galvánico, asegurando que no haya conexiones eléctricas directas entre las etapas de control y potencia, protegiendo el circuito de control de altas tensiones y ruido eléctrico. Una mayor descripción sobre la configuración de esta etapa puede ser consultada en (Navas Jaimes, 2023).

3. Resultados de simulación

Para verificar el funcionamiento del módulo didáctico de laboratorio antes de su implementación, se realizaron simulaciones en la herramienta de software Matlab/Simulink considerando el modelo

del circuito presentado en la **ilustración 2**. Como señales de entrada para la etapa de potencia (v_{an} , v_{bn} y v_{cn} en la **ilustración 2**), se consideró una fuente de alimentación trifásica sinusoidal de secuencia positiva a 60 Hz con tensión eficaz de línea de 207 [V]. En lo que respecta al algoritmo de control, se implementó la técnica PWM sinusoidal (Hart, 2011). En esta técnica, se consideró una señal portadora triangular a una frecuencia de 1800 [Hz], lo cual establece la frecuencia de conmutación del inversor en ese mismo valor.

Para la inicialización de la etapa de potencia del módulo didáctico, se mantiene el interruptor S_1 (ver **ilustración 2**) en la posición abierto hasta que transcurren 300 [ms] desde la conexión de la fuente de alimentación en la entrada. En ese momento, el interruptor conmuta a la posición cerrado para terminar de cargar el capacitor (C) del bus de DC, comportamiento que se observa en la **ilustración 3**. Una vez cargado el capacitor, inicia la operación del inversor de potencia en el instante de tiempo 350 [ms]. En ese instante se activa el algoritmo de control, lo cual implica la generación de los pulsos de disparo de los IGBT del inversor mediante la técnica PWM sinusoidal.

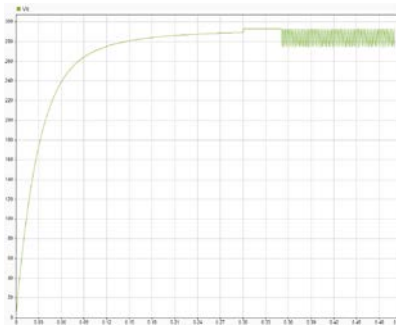


Ilustración 3. Tensión del capacitor (C) durante su proceso de carga (entre 0 y 350 ms) y después de activado el control del inversor (a partir de 350 ms) (Navas Jaimes, 2023).

Para las pruebas de simulación, se consideró un índice de modulación de amplitud del 80%. En la **ilustración 4** se pueden observar: la señal portadora triangular normalizada y las señales de referencia normalizadas para las tres fases del inversor, las cuales corresponden en este caso a señales trifásicas sinusoidales de secuencia positiva a 60 [Hz].

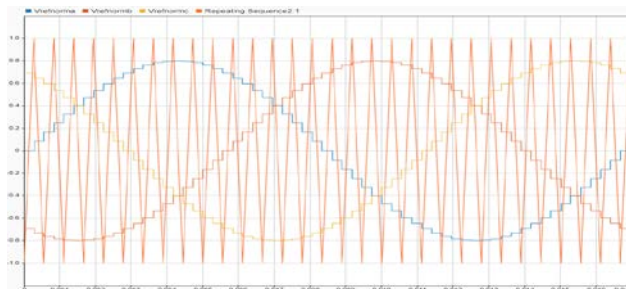


Ilustración 4. Señales portadoras y de referencia normalizadas considerando la técnica PWM sinusoidal (Navas Jaimes, 2023).

Se conectó a la salida del inversor un filtro inductivo (255 mH por fase) en serie con una resistencia (600 Ω por fase) en conexión Y. Estos valores se seleccionaron teniendo en cuenta el banco de cargas disponibles en el laboratorio. En la **ilustración 5** se presentan las tensiones de fase en la salida del inversor respecto al punto neutro de la carga, y las corrientes de línea resultantes en la carga. Tal como se observa, el uso del filtro inductivo reduce en alto grado la distorsión armónica de la corriente entregada a la carga.

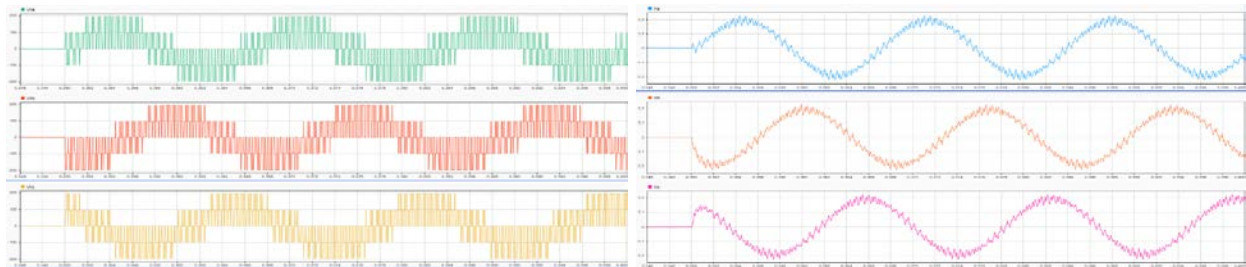


Ilustración 5. Tensiones en la salida del inversor y corrientes en la carga considerando filtro inductivo y carga resistiva en conexión Y. a). Tensiones de fase. b). Corrientes de línea (Navas Jaimes, 2023).

a.

b.

4. Ensamble del módulo didáctico y pruebas experimentales

En la **ilustración 6** se pueden observar algunas imágenes correspondientes a los procesos de pruebas preliminares en laboratorio y ensamble de elementos del módulo didáctico.

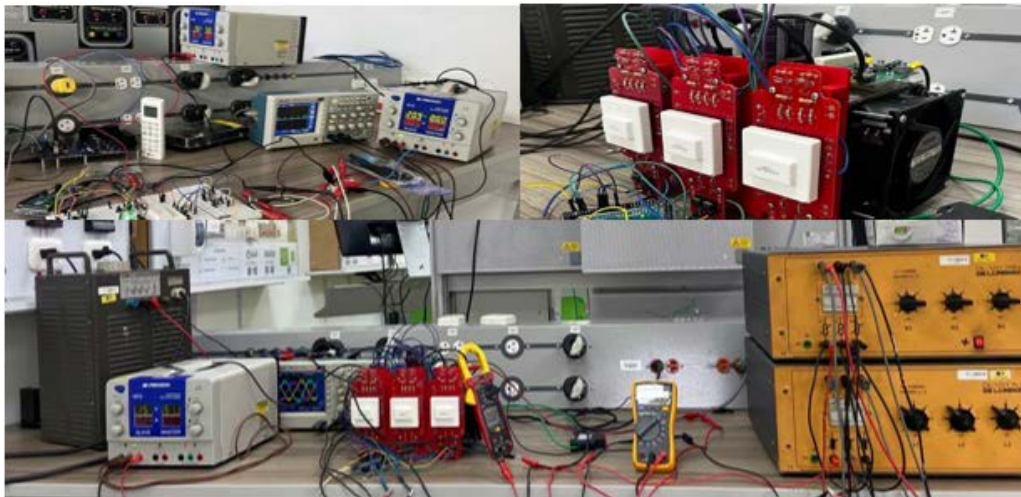


Ilustración 6. Pruebas preliminares y montaje experimental (Navas Jaimes, 2023).

En la **ilustración 7** se presenta el módulo didáctico de laboratorio ensamblado incluyendo todos los componentes. Tal como se observa, se diseñó una carcasa fabricada en acrílico transparente

de tal forma que los estudiantes pueden visualizar los diferentes elementos del módulo. En la carcasa se ubicaron borneras las cuales permiten la conexión de las fuentes de alimentación, señales de control, filtros, y cargas. Además, se instalaron algunas borneras conectadas a diferentes puntos del módulo didáctico, permitiendo que el estudiante pueda medir y observar las siguientes señales cuando el módulo se encuentra en operación:

- Señales de control a la salida de la plataforma Arduino Mega.
- Señales de entrada a los drivers SKHI 22AR.
- Pulsos de disparo (señales compuerta-emisor) de los IGBT.
- Tensión del filtro capacitivo.
- Tensiones de salida del inversor de potencia.

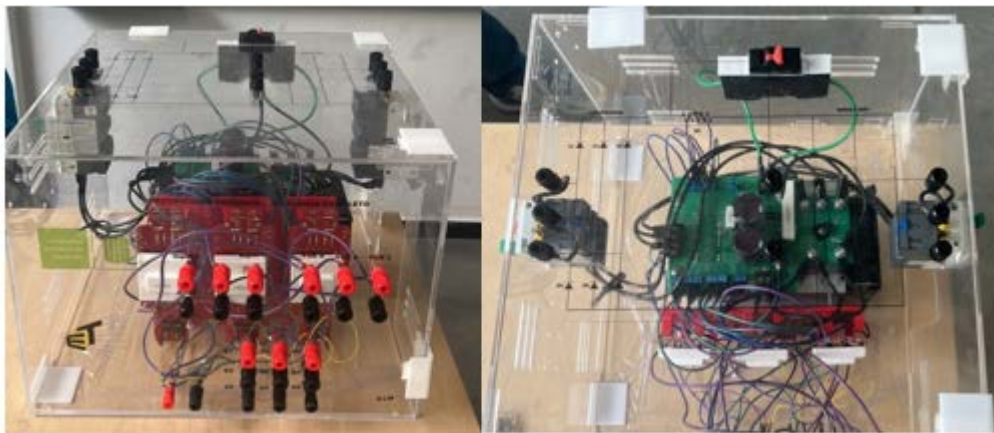


Ilustración 7. Módulo didáctico de laboratorio ensamblado (Navas Jaimes, 2023).

Una vez ensamblado el módulo didáctico, se realizaron pruebas experimentales de laboratorio para verificar su funcionamiento. Para estas pruebas, se implementó en la plataforma Arduino Mega la técnica PWM sinusoidal, considerando la misma señal portadora triangular a 1800 [Hz] empleada en las pruebas de simulación. Igualmente, se consideró un índice de modulación de amplitud del 80% y señales de referencia sinusoidales de secuencia positiva a 60 [Hz].

Inicialmente se realizó una prueba a baja tensión sin conexión de carga a la salida del inversor. Como señales de entrada para la etapa de potencia (v_{an} , v_{bn} y v_{cn} en la **ilustración 2**), se consideró una fuente de alimentación trifásica sinusoidal de secuencia positiva a 60 Hz con tensión eficaz de línea de 25 [V]. Las tensiones de línea resultantes a la salida del inversor se presentan en la

ilustración 8.a. Estas señales corresponden a las tensiones entre las fases *a-b* (señal amarilla) y *b-c* (señal cian).

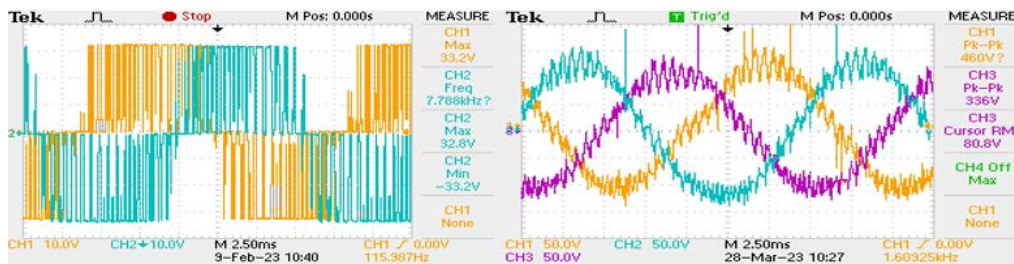


Ilustración 8. Tensiones resultantes. a). Tensiones de línea a la salida del inversor de potencia, prueba a baja tensión sin carga. b). Tensiones trifásicas de fase en las resistencias de carga, prueba a tensión nominal con filtro inductivo (Navas Jaimes, 2023).

a.

b.

Posteriormente, se conectó a la salida del inversor un filtro inductivo (255 mH por fase) en serie con una resistencia (600 $[\Omega]$ por fase) en conexión Y. Asimismo, se fue aumentando la amplitud de la tensión de la fuente de alimentación de entrada de la etapa de potencia, hasta alcanzar una tensión eficaz de línea de 207 [V]. La **ilustración 8.b** presenta las tensiones de fase resultantes en las resistencias de carga para las fases *a* (señal amarilla), *b* (señal cian) y *c* (señal morada). Tal como se observa, el filtro inductivo mitiga un poco los armónicos de alta frecuencia debidos a la conmutación del inversor, sin embargo, aún se observa un rizo considerable en las tensiones.

Las pruebas de simulación y experimentales de laboratorio corroboraron el funcionamiento del módulo didáctico desarrollado. Los valores nominales de potencia, tensión de fase y corriente de línea recomendados para la operación del módulo didáctico de laboratorio son de 3600 [VA], 120 [Vrms] y 10 [Arms], respectivamente.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó la experiencia de diseño e implementación de un módulo didáctico de laboratorio, concebido como una herramienta educativa para apoyar los procesos de enseñanza y aprendizaje en temas relacionados con sistemas de conversión de energía eléctrica. El módulo didáctico desarrollado es programable por los estudiantes, lo que facilita el uso de estrategias de aprendizaje activo donde los estudiantes pueden proponer e implementar algoritmos de control para resolver problemas o retos planteados por el profesor. Además, el diseño del módulo permite a los estudiantes visualizar los componentes que lo integran y su interconexión. También ofrece acceso a la medición de diferentes variables eléctricas involucradas en los procesos de conversión y control que se ejecutan durante las prácticas, enriqueciendo así la experiencia educativa y promoviendo una comprensión más profunda de los conceptos estudiados.

6. Referencias

- Arduino. (2024). Product Reference Manual Arduino MEGA 2560 Rev 3.
- Hart, D. W. (2011). Power Electronics . McGraw-Hill.
- Navas Jaimes, D. P. (2023). Módulo didáctico de inversor de potencia para prácticas experimentales de laboratorio [Tesis de pregrado]. Universidad Industrial de Santander.
- Oghenewvogaga, O., Adetokun, B. B., Gamiya, B. G., & Nagode, A. B. (2022). The Role of Power Electronics in Renewable Energy System. 2022 IEEE Nigeria 4th International Conference on Disruptive Technologies for Sustainable Development (NIGERCON), 1-5.
<https://doi.org/10.1109/NIGERCON54645.2022.9803111>
- Quintero, J. E., Restrepo, J., Ramirez, J. M., & Orozco, M. L. (2019). An experimental support tool for power electronics education. 2019 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA), 1-6. <https://doi.org/10.1109/PEPQA.2019.8851529>
- Rashid, M. H., Krein, P. T., Toliyat, H. A., Abolhassani, M., Niazi, P., Hao, L., Peng, K., & Santi, E. (2024). Power Electronics Handbook (M. H. Rashid, Ed.; 5th ed.). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/C2021-0-02072-1>. <https://doi.org/10.1016/C2021-0-02072-1>
- Rashid, M. H., Maswood, A., Simoes, M., Batarseh Issa, Abedinpour, S., Shenai, K., & Bryant, A. (2011). Power electronics handbook devices, circuits, and applications (M. H. Rashid, Ed.; Third). Elsevier.
- Zhao, M., Wang, Z., & Xue, Y. (2018). An Overview on Application Analysis of Power Electronic Technology in Smart Grid. 2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), 5186-5189.
<https://doi.org/10.1109/CCDC.2018.8408032>

7. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por la UIS a través del proyecto de investigación titulado "Estrategia pedagógica para el fortalecimiento de competencias en STEM mediante sistemas modulares de laboratorio", código 2825 y a Minciencias a través del proyecto contrato No. 80740-918-2020, proyecto ECOS Nord-Colombia C21MP01.

Sobre los autores

- **Diana Paola Navas Jaimes:** Ingeniera Electricista de la Universidad Industrial de Santander. navasdiana7.4@hotmail.com
- **María Alejandra Mantilla Villalobos:** Ingeniera Electrónica, Magíster en Ingeniería Electrónica y Doctora en Ingeniería de la Universidad Industrial de Santander. Profesora titular de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la UIS. marialem@uis.edu.co
- **Mauricio Bautista Porras:** Ingeniero Electrónico, candidato a Magíster en Ingeniería Electrónica de la Universidad Industrial de Santander. Investigador del Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica - GISEL UIS.
mauricio.bautista@correo.uis.edu.co
- **Sergio Manuel Brito García:** Ingeniero Electricista, candidato a Magíster en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Investigador del Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica - GISEL UIS. sergio.brito@correo.uis.edu.co

- **Damien Guilbert:** Magíster en Ingeniería Eléctrica y Sistemas de Control y Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Belfort Montbéliard, Francia. Profesor titular de la Universidad Le Havre Normandie, Francia. damien.guilbert@univ-lehavre.fr

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2024 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)