

Fecha de recepción: 07 de junio 2025, fecha de publicación en línea: octubre de 2025.

Desarrollo del Hardware de un Inversor Monofásico Puente Completo Basado en MOSFETs para Aplicaciones Fotovoltaicas

Roy Maza-González¹, Roberto Morales-Caporal¹, Juan Carlos Hernández-Coyoth¹,
Rafael Ordoñez-Flores¹ y Brayan Daniel Vázquez-Gasca¹

¹ Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Apizaco. San Andrés Ahuashuatepec, Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, C.P. 90491, México.

Autor de correspondencia: Roy Maza-González (correo electrónico: m18371295@apizaco.tecnm.mx).

Abstract- This paper shows the design and development of a single-phase full H-bridge voltage inverter. The main goal of the development is to obtain a component necessary for the control and use of the energy generated from a photovoltaic array. The developed inverter is made up of power MOSFETs, enabling it to operate at higher switching frequencies than an IGBT inverter. International and Mexican electronic design standards were considered during its design. Furthermore, the design considers the technical hardware specifications for a control strategy based on sine wave PWM modulation. Selection criteria for all the components used in the design are explained including the gate drive design requirements. An electronic design software was used during PCB design to create the schematic diagram and circuit board routing. Finally, the assembled hardware prototype and some experimental test results are shown.

Keywords: Full-H bridge, hardware design, MOSFET, photovoltaic array, power inverter, renewable energies.

I. INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha estudiado mucho el impacto al ambiente que genera la obtención de energía a partir de combustibles fósiles, estas están causando problemas ambientales perjudiciales como el calentamiento global y el cambio climático. Esto sumado al incremento en la demanda de energía en todo el mundo provocado por la sobrepoblación y el crecimiento económico conllevan a un impacto alarmante en el medio ambiente. De acuerdo con P. Moriarty y D. Honnery [1] para el año 2050 la demanda mundial de energía se proyecta que será de alrededor de 1000 EJ ($\text{EJ} = 10^{18} \text{ J}$) o más si el crecimiento económico continua el curso de las recientes décadas.

Si bien muchas soluciones han sido propuestas para estas dos problemáticas, la tendencia hoy en día está dirigida a las fuentes de energía renovables (RES por sus siglas en inglés) con el objetivo de sustituir las fuentes de energía convencionales. Particularmente la energía solar fotovoltaica ha mostrado una tendencia creciente debido a que su tecnología ha sido muy investigada y mejorada por investigadores para incrementar la eficiencia de conversión de energía en los sistemas fotovoltaicos [2].

Debido al incremento de las RES y la transición de la industria hacia las fuentes de energía no convencionales como la solar, eólica y otras, gran parte de la investigación en el campo de la electrónica se ha enfocado en la mejora de los convertidores electrónicos de potencia [2]. Estos dispositivos permiten la regulación y conversión de energía para que pueda ser utilizada en equipos y aparatos que funcionan con CA, además el inversor de voltaje es requerido para que la energía generada por fuentes renovables pueda ser inyectada a la red eléctrica. El inversor de voltaje asegura un alto desempeño y puede incrementar la fiabilidad del sistema eléctrico dependiendo de su estrategia de control [3].

En el caso de los sistemas fotovoltaicos se emplean los convertidores CD-CA o inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de CD a un voltaje simétrico de salida de CA de magnitud y frecuencias bien definidas [4]. Esto acompañado de un buen control de transformación y la electrónica necesaria para llevar esta energía al nivel de la energía de red presentan una gran oportunidad de aprovechamiento y desarrollo de los sistemas fotovoltaicos.

En este caso, se ha optado por desarrollar un inversor constituido de transistores de efecto de campo semiconductores de óxido metálico (MOSFETs). Un MOSFET de potencia es un dispositivo semiconductor controlado por voltaje y sólo requiere una pequeña corriente de entrada, su funcionamiento es básicamente el de un switch. La velocidad de conmutación es muy alta del orden de los nanosegundos [4]. Es esencial para quien diseña un circuito electrónico basado en MOSFETs, conocer qué tipo de dispositivo es el más apropiado para su diseño [5]. Hoy en día existe tecnología avanzada en este tipo de dispositivos como son los dispositivos SiC y GaN, cuyo rendimiento es muy superior al de los MOSFETs. Parámetros como el consumo y la disipación de potencia, así como las pérdidas por conmutación deben ser tomados en cuenta durante el diseño para garantizar el óptimo funcionamiento del circuito.

Dentro de los aspectos a considerar durante el diseño del inversor es la activación de los MOSFETs ya que estos tienen parámetros de voltaje específicos para ser activados. Para esto se han desarrollado los gate drivers o controladores de compuerta. Un gate driver (conocido comúnmente como driver) es un circuito diseñado para control y activación de switches de potencia (IGBTs o MOSFETs).

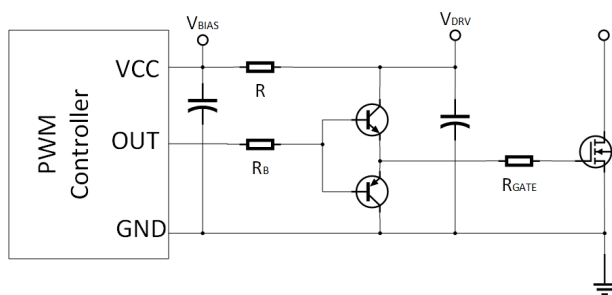


Figura 1. Ejemplo de un circuito gate drive.

La señal de entrada en un circuito de control de compuerta típicamente toma la forma una serie de pulsos de nivel lógico de 3.3 o 5 V (generada usualmente por un microcontrolador, FPGA, comparadores, etc.). El gate drive por lo tanto tiene las tareas de incrementar el voltaje al nivel de compuerta suficiente en el MOSFET y proporcionar capacidad suficiente de drenar o suministrar corriente [6]. Hoy en día los gate drivers pueden encontrarse como circuitos integrados que hacen más reducido el circuito y reducen costos.

Haciendo una revisión del estado de la técnica se encontró que en [8], se explicó el diseño de un inversor de medio puente H de 1.5 kW a 127 V, se desarrolló como celda de potencia para ensamblar inversores de forma modular. Se presentan tanto las consideraciones de selección de componentes como las consideraciones de diseño de PCB (tarjeta de circuito impreso). El diseño fue desarrollado bajo las normativas IPC de diseño electrónico con la finalidad de que cumpliera estándares industriales internacionales.

En [9] se detalla el desarrollo de un inversor de 1kW a 220 V, a una frecuencia de 50 Hz. Se desarrolló con materiales y componentes estandarizados locales. En este proyecto convierten 12 V_{DC} de una batería utilizando circuitos integrados y semiconductores a una frecuencia de 50 Hz, a 220 V a través del embobinado de un transformador. Se desarrolló con el objetivo de tener una fuente de alimentación alternativa con la misma potencia del suministro público a un precio asequible.

Otro trabajo similar e interesante lo reportan en [10], donde se detalla la metodología utilizada para suprimir los picos de voltaje en un circuito inversor de puente H completo constituido de MOSFETs. El autor logra esto optimizando el diseño del gate driver del inversor agregando un capacitor que atenúe el efecto parásito de los componentes del inversor, así como la corriente de recirculación para evitar los picos negativos de voltaje.

En [11] se presenta un inversor de medio puente para cuyo control se evita el uso de microcontroladores, en su lugar se utiliza un circuito integrado IC555 como generador de pulsos para el control del gate driver. Este inversor cuenta con protección contra sobre corriente además de que filtra la señal de salida a partir de un filtro pasa bajas y una configuración de transformador.

Para entender la versatilidad de esta tecnología, en [12] se hace una comparativa tanto de topologías como de técnicas de modulación utilizadas en áreas de estudio como baterías de autos eléctricos, motores eléctricos, etc. Mostrando un panorama más amplio de las aplicaciones que pueden tener los inversores de voltaje.

En este artículo se presenta el diseño de un inversor monofásico puente completo basado en MOSFETs y los criterios que se siguieron para el diseño electrónico. En la sección I se presenta la introducción y marco teórico del proyecto. En la sección II se muestra el desarrollo del inversor, los criterios y cálculos utilizados para diseñar el componente. En la sección III se muestra el principio de operación del SPWM implementado. En la sección IV se presentan las conclusiones del proyecto.

II. DESAROLLO

La metodología seguida para desarrollar este proyecto corresponde al *Diseño por confiabilidad* [7], la cual consta de 7 puntos específicos en los que el diseño se divide por subsistemas de los cuales a cada uno se le evalúa y valida individualmente antes de integrarlo al diseño completo.

A. Diseño del Inversor.

Existen diversas topologías a tomar en cuenta para diseñar inversores sin embargo tras hacer una revisión en el estado del arte se optó por la topología de puente H completo, la cual se muestra en la Figura 2.

Esta topología presenta considerables ventajas en comparación con las demás existentes entre las que destacan el

menor requerimiento de componentes, el control más ligero que requiere y menor cantidad de pérdidas [5].

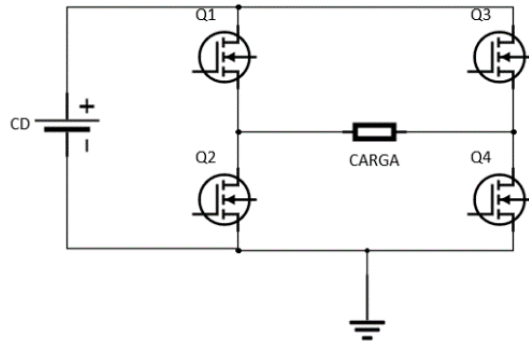


Figura 2. Esquema de un inversor monofásico puente H completo.

Este inversor estará diseñado para el aprovechamiento de la energía proporcionada por los paneles solares instalados en el Instituto Tecnológico de Apizaco. Estos paneles proporcionan un voltaje de 34 V_{DC} aproximadamente con una corriente de 8 A. Se prevé elevar este voltaje a 180 V_{DC} para poder alimentar el inversor y de modo la señal a la salida del inversor tenga el valor RMS que tiene una red eléctrica doméstica.

B. Selección de Componentes

Para seleccionar los componentes a utilizar en este inversor se siguieron criterios específicos de diseño encontrados en [12]. Los principales componentes del inversor son los dispositivos de conmutación y los circuitos integrados que controlaran a los dispositivos de conmutación.

Para convertidores de potencia los dispositivos de conmutación más utilizados son los MOSFETs y los IGBTs (insulated gate bipolar transistor). Ambos tienen excelentes características de rendimiento, sin embargo, la tecnología MOSFET destaca por alcanzar más altas frecuencias de trabajo con menores pérdidas por conmutación, mientras que los IGBT pueden soportar valores de voltaje relativamente más altos [13]. Al ser este un inversor de potencia media se ha optado por utilizar MOSFET tomando en cuenta que el voltaje de operación será el voltaje de red, así como la frecuencia de conmutación será un poco más alta de los valores promedio considerados para los IGBT.

Tras hacer un análisis de la literatura se eligió utilizar MOSFETs tomando en cuenta que soportan mayor frecuencia que un IGBT y el voltaje que pueden manejar es aceptable para los parámetros requeridos en este inversor. La aplicación para la que se desarrolla el inversor no requiere características muy específicas ni condiciones de operación extrema, por lo tanto, se usarán MOSFET de alta capacidad de conmutación de construcción convencional.

Para seleccionar el transistor a utilizar además de las capacidades de corriente y voltaje que debe cumplir el dispositivo, se debe tomar en cuenta la máxima frecuencia de conmutación que este puede soportar sin dañarse para lo cual se usa la siguiente fórmula encontrada en [12].

$$f_{max} = \frac{\left(\frac{T_J - T_C}{R_{\theta JC}} - P_{cond}\right)}{E_{on2} + E_{off}} \quad (1)$$

Los parámetros requeridos en esta fórmula se encuentran en las hojas de datos de los componentes.

Haciendo una búsqueda en los catálogos de fabricantes se encontró el dispositivo IRFB4332 [15], MOSFET de alta conmutación que soporta hasta 300V y 50 A a una máxima frecuencia de conmutación estimada de 100 kHz.

Otro componente importante es el drive. Por su construcción, los transistores de potencia no se pueden activar con voltajes de niveles lógicos de 3.3 V y 5 V, requieren voltajes más elevados para lo cual se emplean circuitos de activación de compuerta que permiten la conmutación de los dispositivos de potencia [7]. Para la selección de estos drivers se toman en cuenta los valores de operación de voltaje y corriente, así como la velocidad a la que pueden trabajar y conmutar.

Estos parámetros se encuentran por lo general en las hojas de datos de los fabricantes. En la literatura se ha sugerido múltiples veces el drive IR21010SPBF [16].

Este dispositivo es un drive de medio puente con control independiente para switch de lado alto y de lado bajo, además cuenta con la conexión interna necesaria para elevar el voltaje al nivel requerido de activación de los drives. Este driver puede manejar puentes alimentados hasta 500 V_{DC} y soporta hasta 2 A a la entrada. La hoja de datos indica los siguientes tiempos que puede manejar:

- Tiempo de encendido $t_{on} = 120$ ns
- Tiempo de apagado $t_{off} = 90$ ns
- Tiempo de retardo de hasta 10 ns

Utilizando la fórmula (2) encontrada en [17] para calcular la máxima frecuencia de conmutación se encuentra que la frecuencia de conmutación máxima a la que puede operar es de 2 MHz, lo cual es suficiente para la implementación en este inversor.

$$f_{max} = \frac{1}{2(t_r + t_f + t_{delay})} \quad (2)$$

Donde:

- f_{max} = Frecuencia máxima de conmutación de switch
- t_r = tiempo de subida del switch
- t_f = tiempo de caída del switch
- t_{delay} = tiempo de retardo utilizado.

Los parámetros requeridos en esta fórmula se encuentran en las hojas de datos de los componentes.

Parte importante del diseño es el desarrollo de la llamada fuente de bootstrap [8] esta se encarga de elevar el voltaje lógico de las señales de activación enviadas al drive para obtener el voltaje necesario para la activación del MOSFET. Esta se compone de un diodo, un capacitor y una resistencia (esta última es opcional). Debido a la velocidad a la que se envían las señales es necesario utilizar un diodo de recuperación rápida que además soporte los niveles de voltaje

que se manejaran. Tomando todo esto en cuenta se utiliza el diodo UF4007 [18] que es un diodo de recuperación ultra rápida capaz de soportar hasta 1000 V con un tiempo de recuperación en inversa de 75 ns.

El otro componente de la fuente de bootstrap es el capacitor, el valor de este capacitor se calcula a partir de la fórmula:

$$C_{boot} \geq \frac{Q_{total}}{\Delta V_{boot}} \quad (3)$$

Donde:

- C_{boot} = Valor del capacitor bootstrap (faradios)
- Q_{total} = carga total en el drive de compuerta
- ΔV_{boot} = caída de voltaje permisible en el capacitor

El drive seleccionado cuenta con un PIN cuya alimentación define el valor lógico al cual estará operando en la entrada sea de 3.3 V o lógica de 5.0 V. Para hacer esta alimentación se seleccionó un dispositivo AMS1117-5.0 [19] que es un regulador cuya configuración correcta provee un voltaje constante de 5 V_{DC} con la cual se establece una lógica de operación a la entrada del drive TTL 5.0 V.

El circuito regulador se muestra en la Figura 3, este es proporcionado por el fabricante para configurarlo como fuente constante. Como se observa en la configuración requiere únicamente de capacitores a la entrada y salida del integrado, sin embargo, es importante mencionar que en la misma hoja de datos del fabricante recomienda utilizar capacitores de tantalio, así como los valores específicos de dichos capacitores que en este caso son de 22µF y 10 µF.

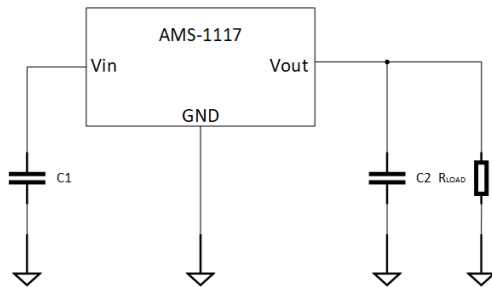


Figura 3. Configuración del regulador AMS1117-5.0.

El resto de componentes como resistencias y conectores se eligieron de acuerdo a las necesidades del inversor y las regulaciones necesarias de corriente. En la Tabla 1 se presenta la lista de componentes utilizados para montar el inversor.

Tabla 1. Lista de componentes.

Cantidad	Componente	Referencia
2	IR2110SPBF	[16]
4	IRFB4332	[15]
1	AMS1117-5.0	[19]

6	UF4007	[18]
2	Capacitor electrolítico 22 µF	[21]
2	Capacitor cerámico 100 nF	[22]
1	Capacitor de tantalio 22 µF	[23]
1	Capacitor de tantalio 10 µF	[23]
4	Resistencia 1 kΩ	[24]
4	Resistencia 100 Ω	[25]
3	Bornera de 2 vías	[26]
1	Conector header de 3 pines	[27]
2	Socket DIP14	[28]

C. Diseño electrónico.

El diseño del inversor está basado en el esquema sugerido por el fabricante del drive, este se presenta en [16] para medio puente. Al ser un drive de medio puente es necesario conectar dos circuitos para formar el puente completo, ambos se dimensionan de la misma manera y comparten la alimentación del bus de CD. En la Figura 4 se muestra el diseño sugerido por el fabricante obtenido de la hoja de datos.

Typical Connection

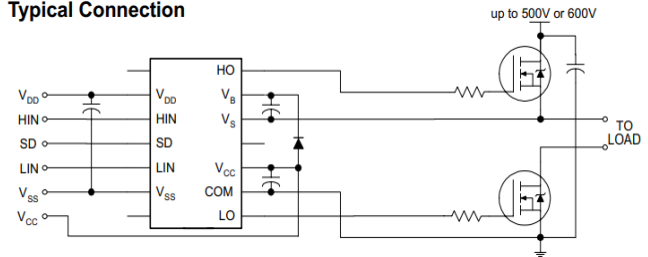


Figura 4. Circuito recomendado por el fabricante del driver.

El diseño esquemático se realizó en KiCAD [20] que es un software de diseño electrónico de código abierto, este nos permite desarrollar el diagrama esquemático del circuito y a partir de este diseñar la PCB para poder mandar a fabricación.

Siguiendo las recomendaciones técnicas presentadas en [13] así como los parámetros de la normativa IPC-2221, se realizó el enrutado de los componentes para el diseño de la PCB (ver Figura 5) Al ser un diseño prototipo se desarrolló una tarjeta simple cumpliendo con las normativas generales de diseño electrónico. La tarjeta es una PCB electrónica diseñada para dispositivos de agujero pasante. Las dimensiones de la tarjeta son de 80 mm × 100 mm. Dicha tarjeta tiene solo dos capas de pistas de conexión tomando en cuenta la capa de cobre para tierra.

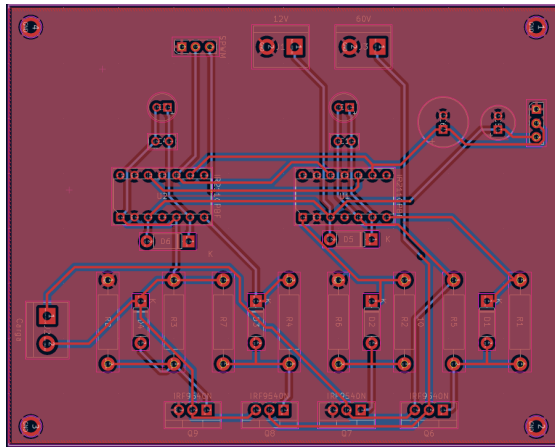


Figura 5. Enrutamiento de la PCB.

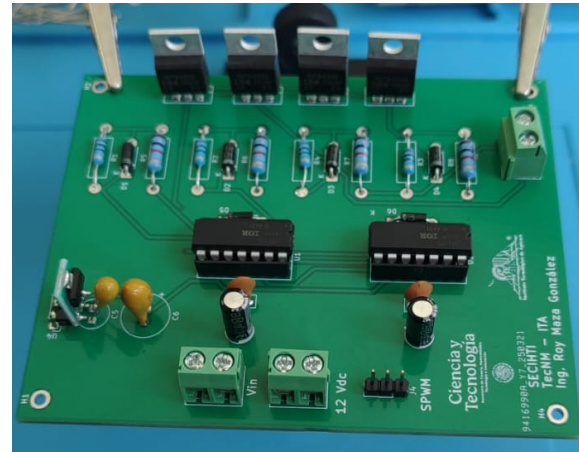


Figura 7. Tarjeta armada.

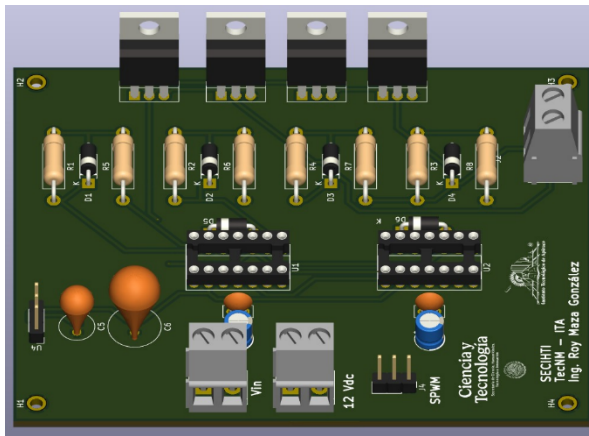


Figura 6. Modelo 3D del inversor puente H desarrollado.

Con la ayuda de la herramienta KiCAD, los diagramas de circuitos se pueden convertir en una imagen tridimensional (3D) de la PCB, para tener el diseño conceptual, funcionalidad y facilidad de construcción, la cual se muestra en la Figura 6.

III. RESULTADOS

Terminado el diseño de la PCB se fabricó sin componentes (sin los componentes). Tras adquirir los componentes necesarios para su fabricación se armó la tarjeta (se soldaron los componentes) para realizar pruebas de laboratorio necesarias. En la Figura 7 se presenta la foto de una celda de potencia armada.

Para realizar las pruebas se implementó un código S-PWM en un FPGA. El lenguaje de programación es VHDL y se utilizó el programa QUARTUS II, la FPGA utilizado es un CYCLONE II EP2C5T144C8N de la familia de ALTERA, las salidas totales son 4, para conmutar Q1, Q2, Q3, Q4 de la Figura 2.

Para generar la señal sinusoidal, se emplearon dos señales de entrada (*clk* y *rst*) y dos de salida (*sine* y *sine_1*), como se muestra en la figura 5. Esto es necesario ya que, como se mencionó anteriormente, se deben crear dos señales

sinusoidales, una de las cuales está desplazada medio período respecto a la otra, donde:

- *clk*: Señal de reloj que sincroniza la operación.
- *rst*: Señal de reinicio que restablece el sistema.
- *sine* y *sine_1*: Señales de salida en formato *std_logic_vector* de 16 bits, que representan las dos señales sinusoidales unipolares.

Se generó una *LUT table* para guardar valores que representan la señal seno. La constante LUT es un arreglo que almacena 1000 valores de una señal sinusoidal. Cada valor representa un punto de la señal sinusoidal en formato entero. La amplitud de la señal en la LUT es 4500, con valores que oscilan entre 0 y 4500, centrados alrededor de 2250. Se crearon contadores en el cual dependiendo del valor en el que se encuentre busca un dato de la LUT table y se lo asigna a la salida *sine*. De la misma manera el *contador_2* realiza el mismo proceso pero este le asigna el valor a *sine_1*.

Para la alimentación del bus de CD del puente se utilizó un panel solar y a la salida de este se colocó un capacitor de potencia como filtro de voltaje, dando a la salida un voltaje de 32 V_{CD}. La alimentación de la etapa de control del circuito se hizo con una fuente conmutada de 12 V_{CD}.

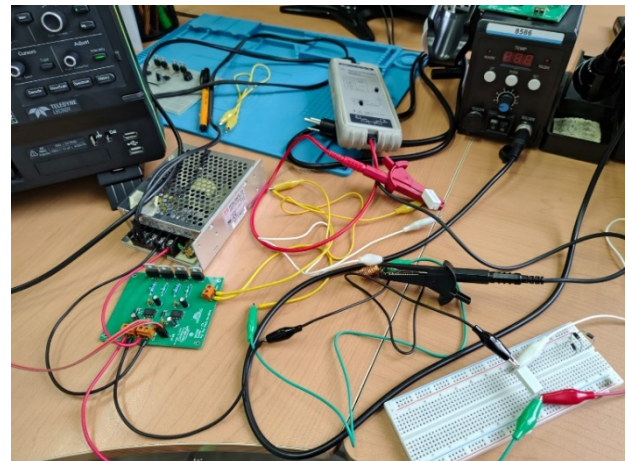


Figura 8. Inversor conectado para pruebas.

Durante las pruebas de laboratorio se utilizó un osciloscopio leeroy de 100 MHz con punta de prueba diferencial a fin de evitar daño en el equipo de medición. El montaje experimental se muestra en la foto de la Figura 8.

La carga conectada al inversor fue de tipo resistiva-inductiva (RL). La primera prueba fue la verificación de la conmutación de los MOSFETs, para esto la punta negativa del probador diferencial se conectó al pin *Source* del dispositivo y la punta positiva al *Gate*, de este modo se observaron las señales de conmutación de los cuatro dispositivos de potencia del inversor. En la Figura 9 se muestra la señal de conmutación para un solo MOSFET.



Figura 9. Señales de conmutación de un MOSFET.

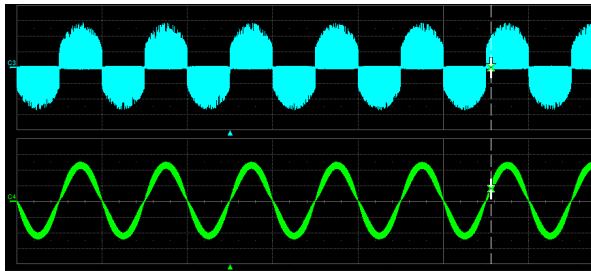


Figura 9. Señales de voltaje (azul) y corriente (verde).

Por último, en la Figura 10 se muestran las señales de corriente y voltaje obtenidas en el osciloscopio a la salida del inversor monofásico puente H desarrollado.

Es importante mencionar que para estas pruebas se han colocado filtros a la salida que decodifican y limpian las señales.

IV. CONCLUSIONES

El inversor demostró funcionar apropiadamente de acuerdo con las pruebas elementales de funcionamiento. La parte fundamental de este trabajo fue lograr la correcta conmutación de los dispositivos de potencia de modo que soportaran la demanda de corriente a la salida del inversor sin embargo aún es posible mejorar la calidad de las señales tanto de conmutación como de salida mediante la implementación de filtros y redes snubber. Además, en [20] se explica que a pesar de que el tiempo muerto en la modulación es necesario para evitar daño irreversible en los transistores de potencia, este también genera cierto grado de distorsión armónica que si bien

no causa un daño repentino provoca desgaste paulatino que terminará acortando la vida útil del inversor y reduciendo su rendimiento. Es por esto que también se plantea analizar un método de compensación del tiempo muerto para lo cual podría recurrirse a cálculo de ángulos de conmutación por inteligencia artificial.

REFERENCIAS

- [1] P. Moriarty and D. Honnery, "What is the global potential for renewable energy?," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 244–252, Jan. 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.151>Efwf
- [2] T.-Z. Ang, M. Salem, M. Kamarol, H. S. Das, M. A. Nazari, and N. Prabakaran, "A Comprehensive Study of Renewable Energy sources: Classifications, Challenges and Suggestions," *Energy Strategy Reviews*, vol. 43, no. 100939, p. 100939, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>.
- [3] S. Padmanaban, C. Dhanamjayulu, and B. Khan, "Artificial Neural Network and Newton Raphson (ANN-NR) Algorithm Based Selective Harmonic Elimination in Cascaded Multilevel Inverter for PV Applications," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 75058–75070, 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3081460>.
- [4] J. Pacher, J. Rodas, A. Renault, M. Ayala, L. Comparatore, and R. Gregor, "Design and validation of a multilevel voltage source inverter based on modular H-bridge cells," *HardwareX*, vol. 15, pp. e00452–e00452, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2023.e00452>.
- [5] Rashid, M. H. (2015). *Electrónica de Potencia* (4ª ed.). Pearson Educación. (Obra original publicada en 1988).
- [6] P. B. Green, L. Zheng, "Gate Driver for Power MOSFET in Switching Applications". Infineon Technologies. 2022. Munich, Germany.
- [7] J. Wang, "Cálculo del consumo de energía y la disipación de energía de los MOSFET", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1754, n.º 1, p. 012132, febrero de 2021, doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1754/1/012132>.
- [8] R. Morales-Caporal, J. F. Pérez-Cuapio, H. P. Martínez-Hernández, and Raúl Cortés-Maldonado, "Design and Hardware Implementation of an IGBT-Based Half-Bridge Cell for Modular Voltage Source Inverters," *Electronics*, vol. 10, no. 20, pp. 2549–2549, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10202549>.
- [9] O. O. Omitola, "Design and Construction of 1KW (1000VA) Power Inverter," Bapalola University Repository, vol. 5, no. 2, p. 13, 2014.
- [10] E. H. Aboadla et al., "Suppressing Voltage Spikes of MOSFET in H-Bridge Inverter Circuit," *Electronics*, vol. 10, no. 4, p. 390, Feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10040390>.
- [11] Samhar Saeed Shukir, Design a Half Bridge Inverter and a Full Bridge Inverter with Overload Protection Circuit Using IC555. Industrial Engineering. Vol. 5, No. 1, 2021, pp. 21-27. doi: 10.11648/j.ie.20210501.13.
- [12] A. Balal, S. Dinkhah, F. Shahabi, M. Herrera, and Y. L. Chuang, "A Review on Multilevel Inverter Topologies," *Emerging Science Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 185–200, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.28991/esj-2022-06-01-014>.
- [13] J. F. Pérez Cuapio, "DESARROLLO DEL HARDWARE DE UN MEDIO PUENTE H DE IGBTs PARA CONVERTIDORES DE POTENCIA," Tesis, Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Apizaco, 2021.
- [14] C. Blake and C. Bull, "IGBT or MOSFET?: Choose Wisely", El Segundo, California, 1970. [ONLINE]. Available: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IGBT_or_MOSFET_Chose_Wisely-Article-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d462533600a40153574048b73edc#:text=The IGBT technology is certainly, some preferring MOSFETs%2C some IGBTs.
- [15] Infineon, "IRFB4332PbF Power MOSFET", 2019
- [16] International Rectifier, "IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF", PD60147, 2005
- [17] Texas Instruments, "Fundamental of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits", 2018, SLUA628A

- [18] Fairchild, "UF4001-UF4007 Fast Rectifiers", 2016
- [19] Advanced Monolithic Systems, "AMS1117-5.0", 2016
- [20] "KiCad EDA," www.kicad.org. <https://www.kicad.org/>
- [21] Panasonic Industry, "Aluminium Electrolytic Capacitors", RCR2367D, 2017
- [22] Welson, "Capacitor cerámico", CC-.1/50
- [23] TANCAP, "Capacitores de Tantalio", CT-10/35V-TANCAP
- [24] HSR, "Carbon Film Fixed Resistor", RC1000E/1/2
- [25] HSR, "Carbon Film Fixed Resistor", RC100E/1/2
- [26] AG, "Bornera Paso 200 de 2 Terminales", 2019, TRTM-02/NAT
- [27] PHC, "3 Terminales para Bornera Tipo Desmontable", 2019, PHC-036000000
- [28] AG, "Base Doble Contacto para CI 14 Pines", 2018, 14P300



Roy Maza-González recibió el título de licenciado en Ingeniería Electrónica con especialidad en Control y Automatización en la Industria 4.0 por el Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala, México en 2024. Ingresó a estudiar la Maestría en Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala, México en 2024 y desde entonces se ha formado como investigador. Sus intereses de investigación incluyen el diseño electrónico, convertidores de potencia, sistemas de control digital y el aprovechamiento de energías renovables.



Roberto Morales-Caporal (Senior Member IEEE), obtuvo el título de ingeniero electromecánico por el Tecnológico Nacional de México, Campus Apizaco (TecNM-ITA), Apizaco, México, en 1999; el grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica en el Departamento de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME-Z), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Ciudad de México, México, en 2001, y el grado de Doctorado en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Siegen, Siegen, Alemania, en 2007. Desde 2008, es profesor investigador de tiempo completo en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del TecNM-ITA. Sus líneas de investigación incluyen sistemas de control de tiempo discreto, control predictivo de convertidores de potencia, control predictivo de variadores de frecuencia para motores de CA, diseño de hardware e Internet de las Cosas (IoT). El Prof. Morales-Caporal es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores Nivel 2 (SNII-2), Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), México.

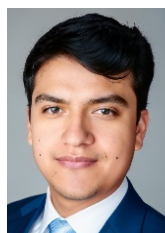


Juan Carlos Hernández-Coyoth, se tituló de Ingeniero en Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST), Teziutlán, Puebla en 2021. Fue estudiante del Posgrado de Maestría en Ingeniería Mecatrónica en el TecNM-ITA, actualmente se encuentra en proceso de titulación. Se dedica al mantenimiento y

desarrollo de tarjetas electrónicas de control en la industria.



Rafael Ordoñez-Flores. Doctor en Ingeniería Eléctrica, Universidad de París 11, Escuela Superior de Electricidad (SUPELEC), Francia, 2007. Maestría en Ing. Electrónica, CENIDET, Cuernavaca, Mor. Profesor - investigador adscrito al Tecnológico Nacional de México campus Apizaco. Cuerpo Académico "Control de accionamientos eléctrico-electrónicos y sus aplicaciones" en consolidación. Las áreas de interés son en automatización y control, electrónica de potencia, calidad y ahorro de energía eléctrica, energías renovables y calentamiento por inducción electromagnética.



Brayán Daniel Vázquez-Gasca recibió el título de licenciatura en Ingeniería Electrónica con la especialidad en automatización y control de la industria 4.0, por el Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala, México, en 2024. Actualmente cursa la maestría en Ingeniería Mecatrónica en la misma institución. Sus intereses de investigación incluyen el diseño e implementación de sistemas electrónicos embebidos, dispositivos IIoT, instrumentación industrial y monitoreo de calidad de energía eléctrica.