

CONVERTIDOR CD-CD PUENTE COMPLETO EN MODO DE CONDUCCIÓN CONTINUA, AISLADO, A 1.2 kW PARA SU APLICACIÓN EN UNA MICRO-RED DE CD

COMPLETE BRIDGE DC-DC CONVERTER IN CONTINUOUS DRIVING MODE, ISOLATED AT 1.2 kW FOR APPLICATION IN A DC MICRO-NETWORK

Julio Ortega Alejos

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato, México
j.ortega@itsur.edu.mx

Leonel Estrada Rojo

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato, México
j.ortega@itsur.edu.mx

Elías José Juan Rodríguez Segura

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato, México
elias.rodriguez@itcelaya.edu.mx

Recepción: 16/septiembre/2019

Aceptación: 31/octubre/2019

Resumen

En este documento se presenta el desarrollo de un convertidor CD-CD para su aplicación en una Micro-Red de CD. El convertidor se diseñó para operar en lazo cerrado a una potencia de 1.2 kW y ser interconectado entre un bus de 190 V y uno de 125 V; en la sección 1 se presenta el principio de operación del convertidor. La sección 2 presenta la metodología de diseño del convertidor; se desarrolló un instrumento virtual en LabVIEW, en donde se implementó el procedimiento de diseño para obtener los valores mínimos necesarios de los elementos almacenadores de energía para operar al convertidor en modo de conducción continua. Se desarrolló también un instrumento virtual en LabVIEW para generar los pulsos de control del convertidor; desde la Interfaz Gráfica de Usuario se pueden configurar los diferentes modos de operación de los pulsos de control de los puentes activos que se están generando en el dispositivo programable MyRIO. En la sección 3 se presentan los resultados experimentales obtenidos al conectar diferentes cargas al convertidor.

Palabra(s) Clave: Aislamiento, Bidireccional, Bus, Convertidor CD-CD, Micro Red.

Abstract

This document presents the development of a DC - DC converter for application in a DC Micro-Grid. The converter was designed to operate in a closed loop at a power of 1.2 KW and be interconnected between a 190 V bus and a 125 V bus; Section 1 presents the principle of operation of the converter. Section 2 presents the converter design methodology; a virtual instrument was developed in LabVIEW, where the design procedure was implemented to obtain the minimum necessary values of the energy storage elements to operate the converter in continuous driving mode. A virtual instrument was also developed in LabVIEW to generate the control pulses of the converter; from the Graphical User Interface the different modes of operation of the control pulses of the active bridges that are being generated in the MyRIO programmable device can be configured. In section e the experimental results obtained by connecting different loads to the converter are presented.

Keywords: *Isolated, Bidirectional, Bus, DC-DC converter, Micro-grid.*

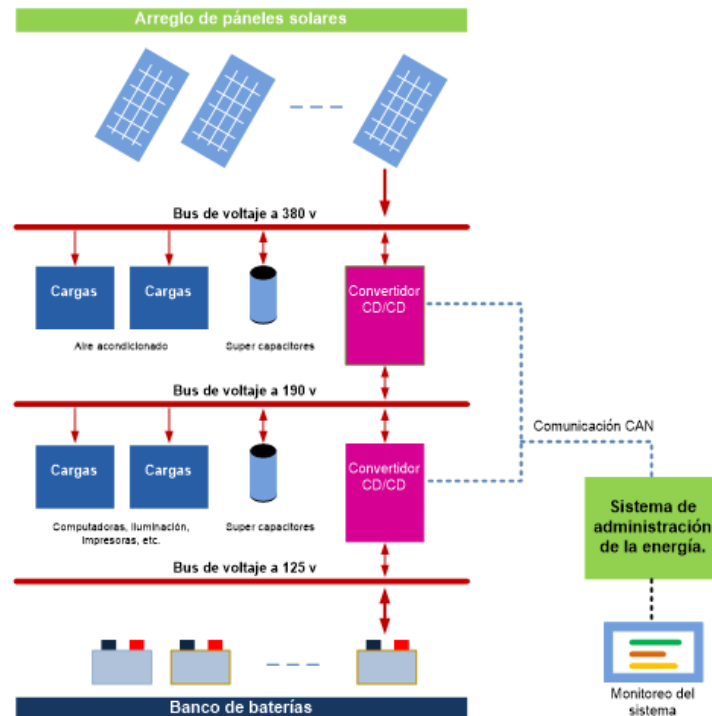
1. Introducción

La integración de la energía renovable en el sistema eléctrico moderno como una manera sustentable de satisfacer la demanda de energía tiene muchos problemas que resolver. Un problema principal es convertir la infraestructura existente a una red inteligente que sea capaz de usar energías renovables como la fotovoltaica, eólica y celdas de combustible de una manera eficiente.

Las Micro-Redes de corriente directa (CD) han emergido recientemente como una alternativa que puede mejorar la eficiencia del sistema eléctrico. Especialmente, las Micro-Redes de CD pueden incrementar el nivel de penetración de las fuentes de energía renovable debido a que la mayoría de ellas, generan energía eléctrica en la forma de CD (Hammerstrom, 2007).

Una Micro-Red se compone de buses de voltaje de CD de diferentes niveles, que a saber son: 125, 190 y 380 V. Los convertidores electrónicos de potencia son usados

en las Micro-Redes para controlar el flujo de potencia y convertirla adecuadamente en los diferentes niveles de CD (J. Ortega, Vol. 39, 2017), (Saeed Peyghami, 2019). La arquitectura de una Micro-Red se muestra en la figura 1, la cual consta de 3 buses de voltaje de CD a 125,190 y 380 V. Un arreglo de paneles solares se conecta al bus de 380 volts en donde se conectan aires acondicionados, un convertidor CD-CD reduce el voltaje a 190 volts para alimentar cargas tales como computadoras e iluminación y finalmente otro convertidor CD-CD permite reducir el voltaje a 125 V, para cargar a un banco de baterías. Cuando no hay recurso solar se toma energía de las baterías, se eleva el voltaje a 190 y 380 V a través de los convertidores CD-CD.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1 Arquitectura de una Micro-Red de CD.

Para lograr la bidireccionalidad de la energía puede emplearse solamente un convertidor o puede utilizarse un convertidor para cada sentido. El hecho de utilizar solamente un convertidor que sea bidireccional, tal como el convertidor Dual Active Bridge, significa controlar 8 interruptores y lidiar con la contaminación provocada por la conmutación de estos (Jamil, Hussain, Abu-Sara, & Boltryk, , 2009). Se han

propuestas aplicaciones en donde se utilizan convertidores que trabajen de manera independiente para la carga y descarga de las baterías tal como en (Chub, Vinnikov, Kosenko, Liivik, & Galkin, 2019); durante la descarga de las baterías se opera como el convertidor puente completo convencional qZS con un rectificador doblador de voltaje síncrono, mientras que durante la descarga de la batería opera como un convertidor medio puente con un rectificador puente completo síncrono y un Filtro LC. Se utiliza un relevador para cambiar el modo de operación.

En este trabajo se pretenden utilizar dos convertidores puentes completos aislados, uno para cada dirección de la energía y controlar solamente a cuatro interruptores por sentido, específicamente, se presenta el desarrollo del convertidor que obtendrá la energía de las baterías para alimentar las cargas conectadas al bus de 190 V.

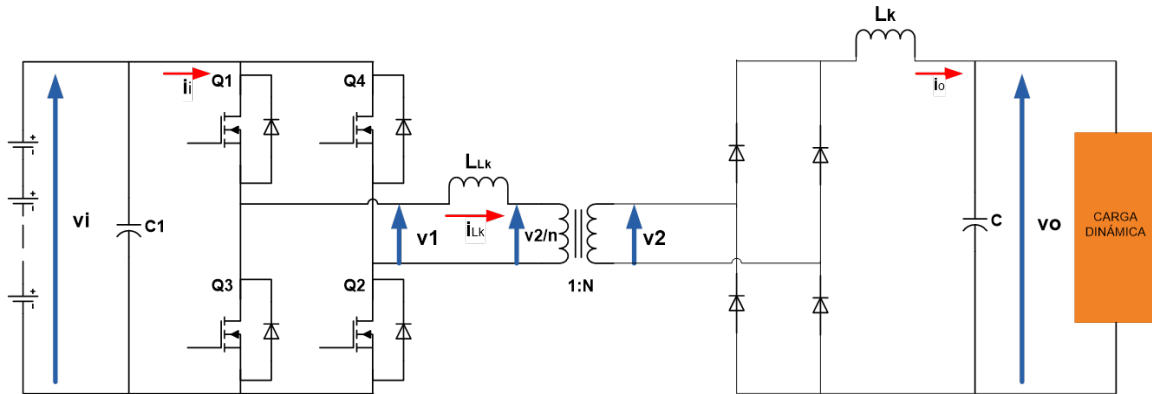
Principio de funcionamiento del convertidor CD-CD puente completo

El convertidor PWM puente completo contiene dos ramas de conmutación. Por lo tanto, suministra de la fuente de alimentación dos pulsos de corriente por ciclo de conmutación del transistor y es capaz de suministrar más potencia que un convertidor medio puente. El estrés de voltaje en los transistores es bajo e igual al voltaje de alimentación de CD. Esta topología ofrece los más altos niveles de potencia, de 500 W a 5 kW. El núcleo es excitado en ambas direcciones y es relativamente pequeño. Este convertidor pertenece a la familia de convertidores derivados del convertidor reductor.

Un convertidor CD-CD puente completo PWM está compuesto por un inversor PWM y un rectificador PWM, figura 2. El inversor consiste de un transformador y cuatro MOSFETs de potencia usados como interruptores controlados Q1, Q2, Q3 y Q4. Los transistores en cada rama de conmutación son controlados por señales de voltaje que no se traslapan y están desfasados por 180°. El ciclo de trabajo máximo de los voltajes de control compuerta-fuente es ligeramente menor al 50%.

El transformador de aislamiento no es requerido para almacenar energía. Su inductancia de magnetización debería de ser suficientemente grande para reducir la corriente a través de esta inductancia. Por otro lado, si la inductancia de magnetización es demasiado grande, se requiere un gran número de vueltas.

Idealmente, la componente en CD de la corriente a través de la inductancia de magnetización es cero (KAZIMIERCZUK, 2008).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Convertidor CD-CD aislado, puente completo.

En la etapa de salida se pueden utilizar dos topologías para un convertidor puente completo:

- Rectificador con transformador con derivación central: Este rectificador es más conveniente para aplicaciones de bajo voltaje de salida porque solamente conduce un diodo, cuando dos interruptores están encendidos. El estrés de voltaje en los diodos es $2 V_i/n$, el cual es muy alto comparado con el del convertidor tipo puente. No es adecuado para aplicaciones de alto voltaje.
- Rectificador puente completo: es adecuado para aplicaciones de alto voltaje porque el estrés de voltaje de los diodos es V_i/n . Este rectificador no es apto para aplicaciones de bajo voltaje porque dos diodos conducen cuando dos interruptores están conduciendo y la caída de voltaje a través de los dos diodos puede ser comparable con el voltaje de salida, resultando en una baja eficiencia.

Inductancia de dispersión del transformador

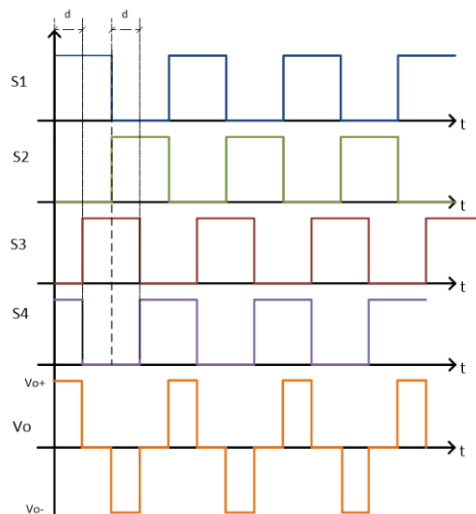
- Los transformadores utilizados en electrónica de potencia en la mayoría de los casos se diseñan para tener una inductancia de dispersión mínima porque

tal inductancia puede ser perjudicial para la operación apropiada de los circuitos electrónicos de potencia. La inductancia de dispersión puede causar sobre voltajes en los interruptores de potencia cuando estos pasan del estado de encendido al de apagado, requiriendo el uso de una red snubber para ayudar a mitigar el transitorio.

- La inductancia de dispersión surge del flujo magnético que no se enlaza completamente con los devanados del primario y del secundario, o no enlaza completamente todas las vueltas en devanado que genera el flujo (Ned Mohan, 1994).

Técnicas de conmutación del convertidor puente completo

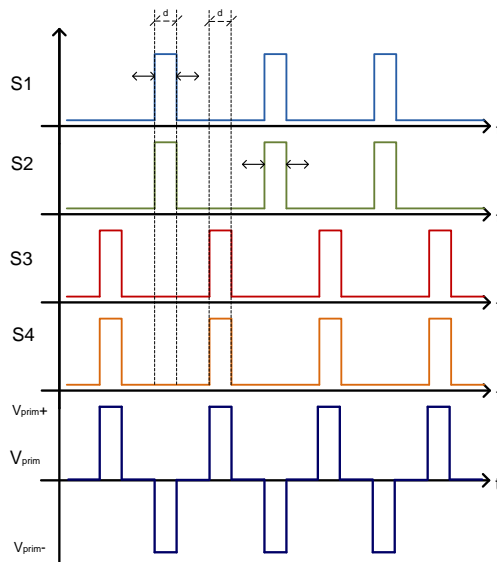
Para lograr las conmutaciones en los interruptores que componen la topología del convertidor se pueden utilizar varias técnicas, entre las más utilizadas se encuentran la conmutación PWM por desplazamiento de fase y la técnica PWM Push-Pull. Para generar una onda cuadrada a la salida del puente completo se ocupa desfasar la señal de control S1 y S3 (S2 y S4 son el complemento respectivamente), en la figura 3 se muestran las señales de control desfasadas 90° y logrando un ciclo de trabajo (d) del 50% en el voltaje de salida del puente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3 Pulsos de control de un puente completo generando un ciclo de trabajo del 50% utilizando la técnica Desplazamiento de fase.

La técnica PWM Push-Pull consiste en generar dos señales PWM con la particularidad de estar desfasadas 180° entre sí, además, de que el ciclo de trabajo máximo permitido es del 50%. Una de las señales de control maneja el encendido de Q1 y Q2, y la otra señal el encendido de Q3 y Q4, esta técnica evita añadir circuitería extra para generar tiempo muerto entre las señales de control y evitar el encendido de interruptores de la misma rama. En la figura 4 se muestra esta técnica para dos ciclos de trabajo diferentes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4 Pulsos de control de un puente completo, utilizando la técnica Push-Pull.

Convertidor puente completo con operación en ZVS

Un modo de operación del convertidor PWM puente completo permite que todos los interruptores operen bajo Conmutación a Voltaje Cero (ZVS, Zero Voltage Switching), utilizando los elementos parásitos para lograr una conmutación resonante. El convertidor PWM puente completo se opera en un modo que puede encender a sus interruptores a voltaje cero. El mecanismo por el cual se logra la conmutación a voltaje cero es diferente para las dos ramas del puente completo. Para los transistores Q2 y Q4, la conmutación a voltaje cero se logra gracias a la resonancia entre la inductancia de dispersión, la capacitancia de salida del transistor y la capacitancia de los devanados del transformador; dicha resonancia genera un

voltaje senoidal a través de las capacitancias que alcanza un valor máximo a un cuarto del periodo de resonancia.

La conmutación a voltaje cero (ZVS) se logra al utilizar la energía almacenada en la inductancia de dispersión del transformador para descargar la capacitancia parásita de salida de los transistores antes de encenderlos.

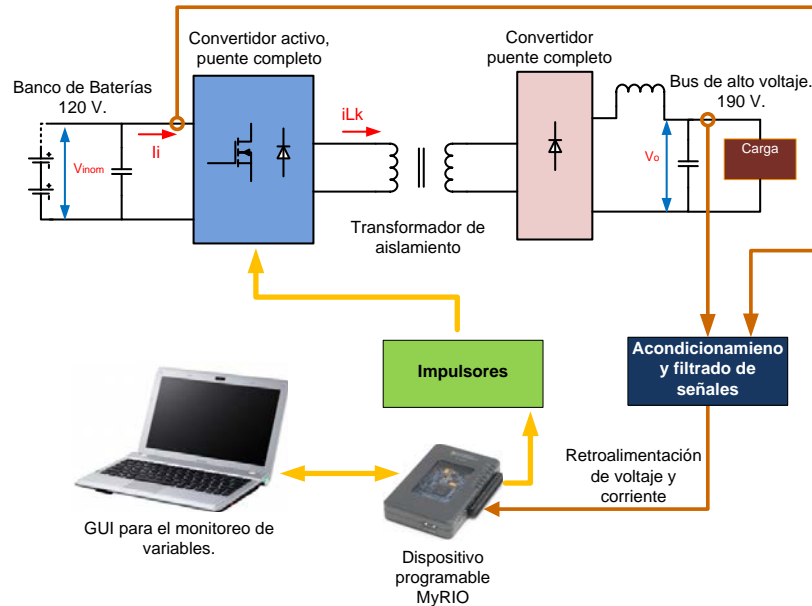
A fin de lograr la conmutación a voltaje cero en el encendido de los transistores, la energía almacenada en la inductancia de dispersión ha de ser lo suficientemente grande que la energía almacenada en las capacitancias parásitas del transistor. Por lo tanto, la conmutación a voltaje cero se pierde para corrientes de carga pequeñas. Para los interruptores Q1 y Q3, la conmutación a voltaje cero se logra por un proceso diferente. Cuando el transistor Q1 se apaga, la corriente a través del primario del transformador es la corriente del secundario reflejada en el primario.

La energía del inductor del filtro de salida del convertidor se utiliza para obtener una conmutación a voltaje cero, por lo tanto, Los interruptores Q1 o Q3 conmutan a voltaje cero (J. Sabate, 2002).

2. Métodos

Diseño del convertidor

La propuesta para el desarrollo del convertidor se muestra en la figura 5 el sistema está compuesto en su etapa de potencia por un convertidor activo puente completo, el transformador de aislamiento, un convertidor puente completo de diodos y un filtro de salida; las señales de control se generarán en el dispositivo programable MyRIO para posteriormente ser aisladas ópticamente y reforzadas en corriente y voltaje por los impulsores de las señales de compuerta de cada interruptor; opcionalmente, en una computadora se tiene una interfaz gráfica de usuario (Graphic User Interface, GUI por sus siglas en inglés) desarrollada en LabVIEW para la selección del modo de operación del convertidor (Lazo abierto o Lazo cerrado) y monitoreo de variables (Voltaje de entrada, voltaje de salida, corriente de salida). El convertidor puede operar independientemente de la computadora, el uso de esta es para propósitos de diagnóstico y optimización del sistema. Los parámetros de diseño se establecen en la tabla 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 Elementos que conforman al convertidor.

Tabla 1 Especificaciones de diseño del convertidor.

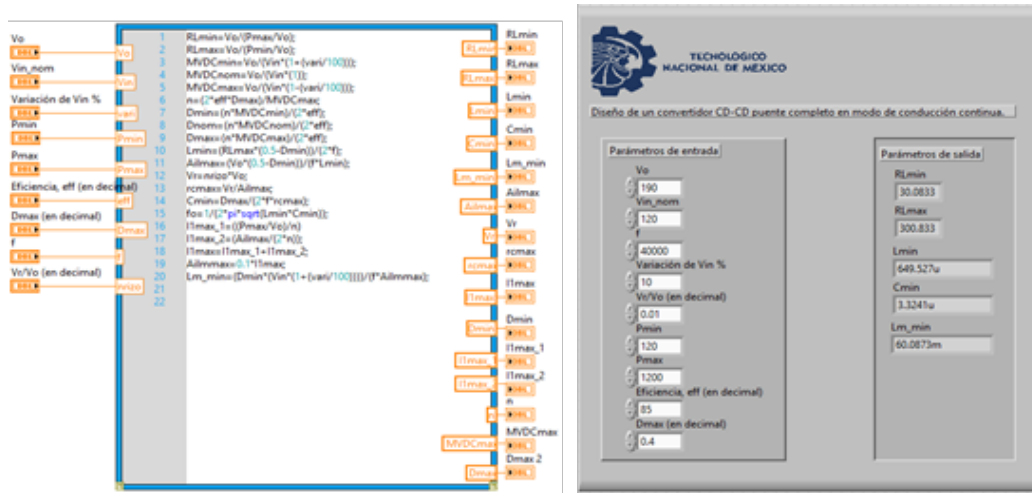
| Parámetro | Valor | Unidad |
|--|--------|--------|
| Voltaje de entrada nominal, V_{Inom} . | 120 | Volt |
| Variación del Voltaje de entrada, $V_{Ivariacion}$. | 10 | % |
| Voltaje de salida, V_o . | 190 | Volt |
| Potencia máxima, P_{max} . | 1200 | Watt |
| Potencia mínima, P_{min} . | 120 | Watt |
| Eficiencia, η . | 85 | % |
| Ciclo de trabajo máximo, D_{max} . | 0.4 | s.u. |
| Frecuencia de conmutación, f . | 40,000 | Hz |

Fuente: Elaboración propia.

Instrumento virtual para el diseño del convertidor

El procedimiento de diseño de la referencia (KAZIMIERCZUK, 2008) se implementó en LabVIEW para agilizar el proceso de diseño y optimización del convertidor. En la figura 6 se muestra el programa y el panel frontal de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI). En la GUI se introducen los mismos parámetros de diseño de la tabla 1, se realizan los cálculos y como parámetros de salida se obtienen el valor mínimo del inductor, la capacitancia mínima requerida y el valor de la inductancia de magnetización mínima para el transformador. El procedimiento descrito permite obtener los valores mínimos necesarios para operar al convertidor

en modo de conducción continua, en la práctica se utilizaron valores mayores para asegurar su operación en dicho modo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Interfaz Gráfica de Usuario para el diseño del convertidor.

Los valores de los elementos almacenadores de energía se presentan en la tabla 2. Es importante mencionar que cuando se utiliza una fuente de CD para emular las baterías, es necesario utilizar un capacitor de entrada para estabilizar el bus, ya que al no hacerlo las señales de control se contaminan y causan que se dañe el convertidor.

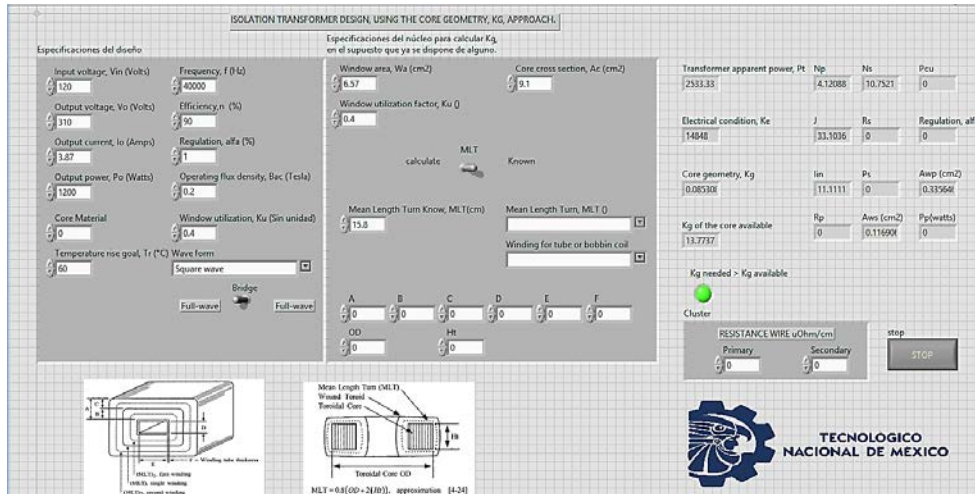
Tabla 2 Valores de los elementos almacenadores de energía utilizados en el convertidor.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|-------------------------------------|--------------------|--------|
| Inductancia del filtro de salida, L | 1663.1 u (@ 0.3 Ω) | Henry |
| Inductancia de magnetización, L_m | 494.7 u | Henry |
| Inductancia de dispersión, L_s | 1.25 u (@ 0.08 Ω) | Henry |
| Capacitancia del filtro, C | 68u, 400 V | Farad |
| Capacitancia de entrada, Cin | 220u | Farad |

Fuente: Elaboración propia.

Instrumento virtual para el diseño del transformador

Para el diseño del transformador se utilizó el procedimiento que se establece en la referencia (McLYMAN, 1997), el cual se implementó en LabVIEW como se muestra en figura 7.



Fuente: Elaboración propia.

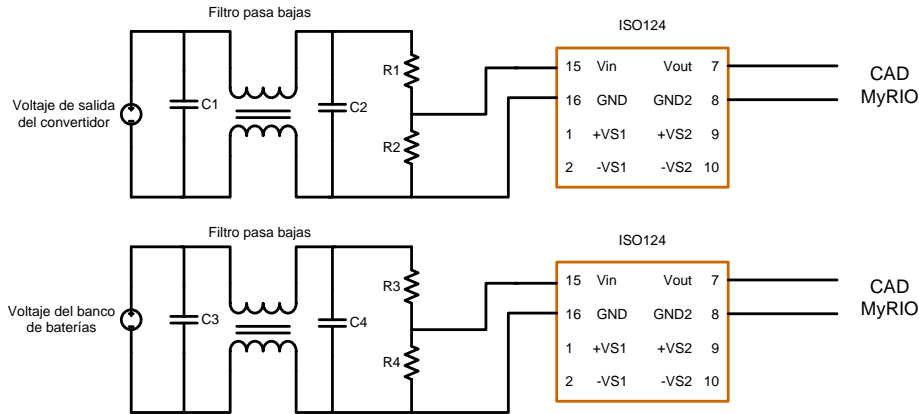
Figura 7 Interfaz Gráfica de Usuario para el diseño del transformador.

Se utilizaron como datos de entrada las especificaciones de diseño tales como voltaje de entrada, voltaje de salida, corriente de salida, potencia de salida, frecuencia, eficiencia y la forma de onda; es necesario también introducir las especificaciones del núcleo que se tenga disponible, las cuales son: densidad de flujo de operación, factor de utilización de la ventana, área de la ventana, sección transversal del núcleo y la longitud media de una vuelta.

De acuerdo con el diseño para el núcleo disponible PM87, material Siferit N87 de TDK, se requieren 4 vueltas en el primario y 11 vueltas en el secundario, sin embargo, se debe de reunir también la especificación del valor de la inductancia de magnetización mínima de 583.7 uH, se duplicó el valor de vueltas tanto en el primario como en el secundario para satisfacer dicha especificación.

Acondicionamiento de señales

Los niveles de voltaje del banco de baterías y la salida del convertidor se obtienen por medio de sensores ISO124 con aislamiento capacitivo, figura 8. El sensor correspondiente al voltaje del banco de baterías proporciona un voltaje directo de 2.5 V cuando en el bus de entrada se tienen 120 V y el sensor correspondiente al voltaje de salida del convertidor, proporciona un voltaje directo de 2.5 V cuando en el bus de salida se tienen 190 V, las señales se transmiten directamente a los canales de conversión del CAD.

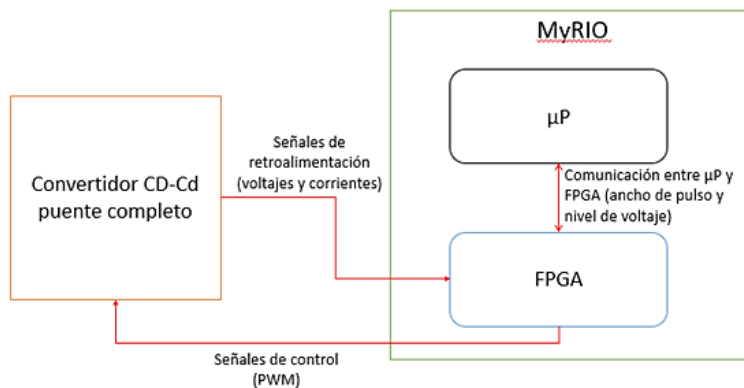


Fuente: Elaboración propia.

Figura 8 Acondicionamiento de señales de voltaje.

Generación de pulsos de control utilizando dispositivo Programable MyRIO

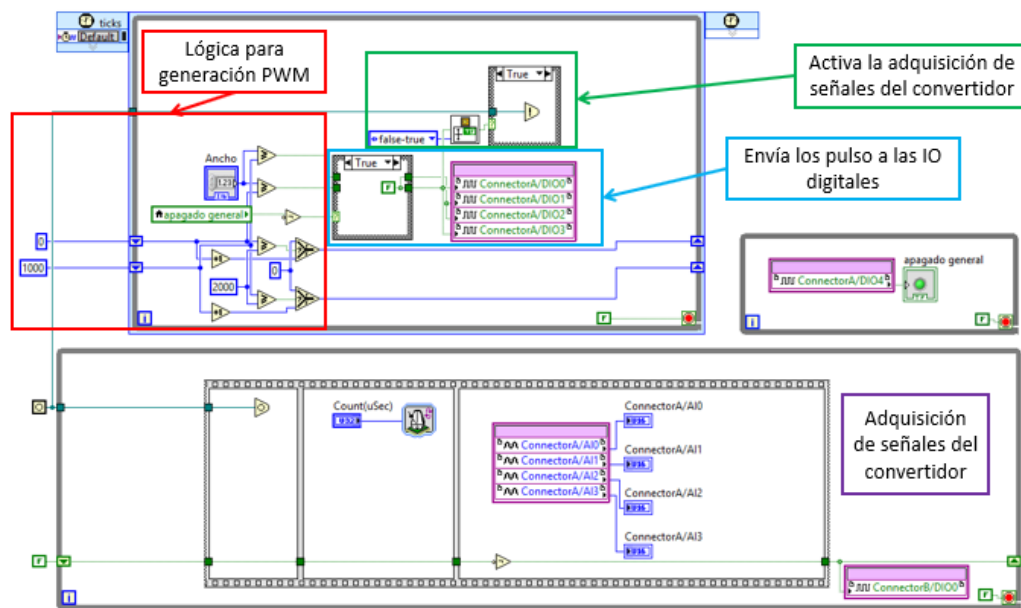
Los pulsos de control del convertidor se implementaron sobre un sistema embebido conocido como MyRIO el cual está basado en el Sistema en Chip (SoC, por sus siglas en inglés) Zinq de la compañía Xilinx, este dispositivo cuenta con una FPGA y también con un procesador en tiempo real (National Instrument). Aprovechando las capacidades inherentes de la FPGA en la tarjeta MyRIO se pueden lograr señales de control en alta frecuencia con una buena resolución y además permite adquirir las señales de retroalimentación para realizar el control de las mismas, y aprovechando las capacidades de tiempo real del procesador se realizará el control del convertidor. En la figura 9 se muestra un esquema general de las partes que componen este prototipo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 Esquema general de control del convertidor.

La figura 10 muestra el programa para generar pulso y adquirir las señales del convertidor. Consiste en cuatro bloques diferenciados por colores en la imagen. En rojo se muestra la lógica para generar los pulsos de control la cual se basa en dos contadores desfasados 180° entre sí, esto se logró iniciando el valor de un contador en la mitad de la cuenta máxima (2000 para este caso. Con esta cuenta se logra una frecuencia de conmutación de 20 kHz). En azul se observa el bloque para enviar hacia los puertos de entrada y salida digitales el valor de la señal de control. En verde se observa un bloque que se encarga de activar y sincronizar la adquisición de señales, las cuales se realizan en cada flanco de subida de la señal PWM. En morado se muestra todo el diagrama para adquirir las señales, se adquieren el voltaje y corriente de salida, y el voltaje y corriente de entrada.

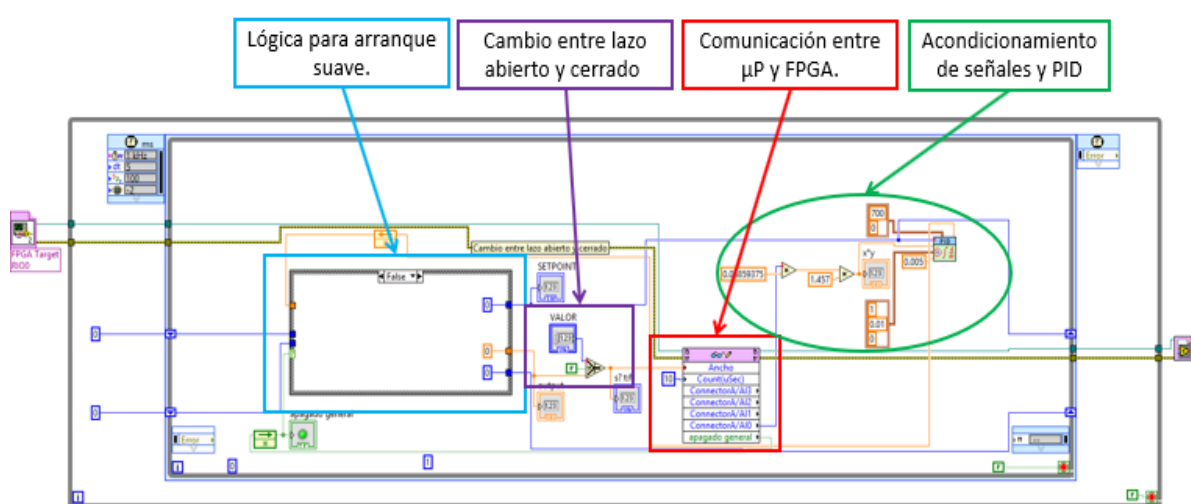


Fuente: Elaboración propia.

Figura 10 Programa en LABVIEW FPGA para generación de señales de control y adquisición de variables del convertidor.

En la figura 11 se muestra el programa realizado para el procesamiento de las señales adquiridas por la FPGA y el control clásico realizado para mantener el voltaje de salida regulado a 190 V, cabe mencionar que este programa esta implementado en el microprocesador de la tarjeta MyRIO. Este programa consiste en una sección para arranque suave, la cual funciona aumentando en uno el valor de

referencia del control PID entre 0 y 190 cada 5 ms, cuando se alcanzan los 190 V se acaba el arranque suave y se mantiene fija esta referencia. También cuenta con un control que permite operar el programa en lazo abierto y lazo cerrado, con la finalidad de realizar pruebas, otro aspecto importante es la comunicación entre el microprocesador (μP), y la FPGA esto sirve para modificar el valor del ancho de pulso respecto a la salida obtenida por el controlador PID clásico. Con esto se logra la regulación del voltaje ante diferentes escalones de carga, también es en este código en el que se acondiciona el voltaje adquirido por la FPGA, el cual consiste en una multiplicación del dato adquirido por la FPGA el cual está en el rango de 0 a 5 V y es multiplicado por un factor con el cual el voltaje se transforma a un valor de 0 a 380 V. En figura 12 se muestra un diagrama de flujo del programa implementado en el microprocesador.

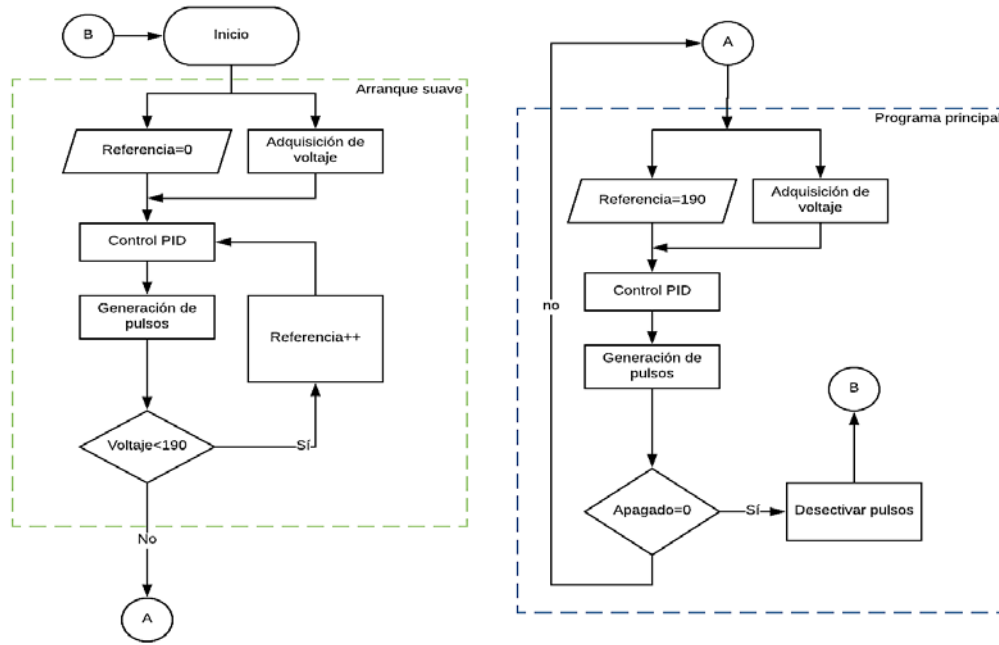


Fuente: Elaboración propia

Figura 10 Programa en LabVIEW RT para control del convertidor.

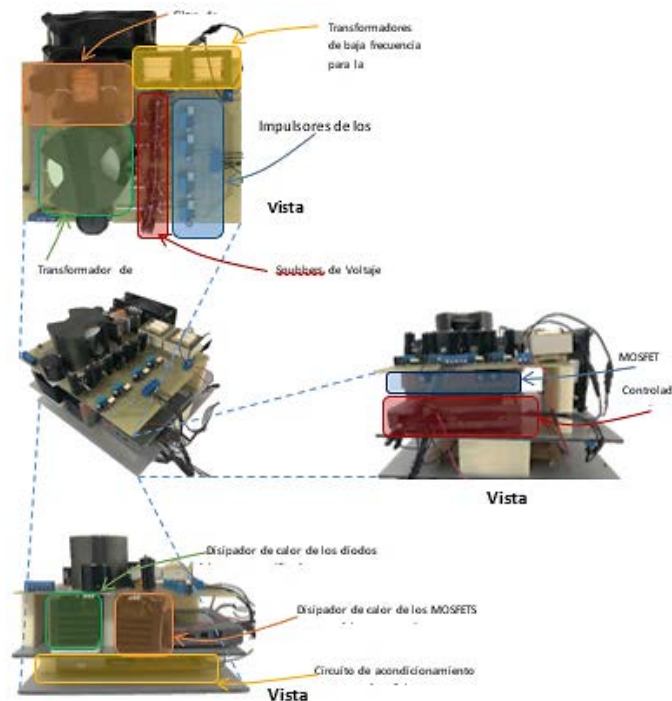
3. Resultados

La implementación del convertidor se presenta en la figura 13, desde diferentes vistas se pueden identificar los elementos que integran al sistema. En la primera vista se observan los elementos que almacenan energía: capacitor de entrada, transformador, inductor y capacitor del filtro de salida; en la misma vista se pueden apreciar los impulsores para los cuatro MOSFETs del puente completo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12 Diagrama de flujo programa implementado en microprocesador tarjeta MyRIO.

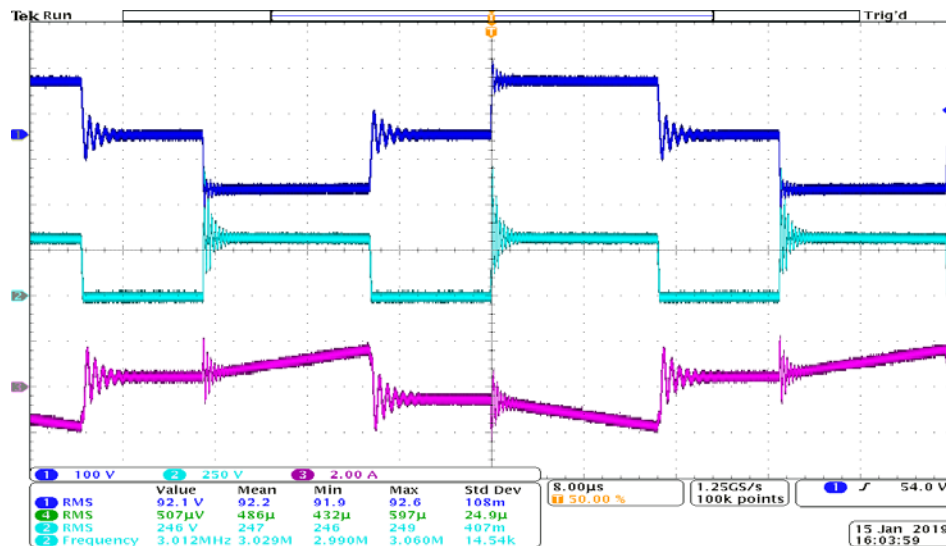


Fuente: Elaboración propia.

Figura 11 Implementación del sistema.

La segunda vista presenta la ubicación de los MOSFETs montados sobre su disipador de calor y la interconexión del controlador con los circuitos de disparo.

En la tercer vista, se pueden apreciar los tres niveles en los que se distribuyen los componentes del sistema, en el nivel inferior se tiene la tarjeta del circuito acondicionador de señal, en el segundo nivel se encuentran ubicados los disipadores de calor de los MOSFETs del puente activo y del puente rectificador de diodos; se encuentra también alojado el controlador del sistema, el cual se encuentra implementado en una tarjeta MyRIO de National Instruments, en el nivel más alto se encuentran los elementos almacenadores de energía y los circuitos de disparo. El convertidor se diseñó para operar a una potencia mínima de 120 W, potencia a partir de la cual se pierde el modo de operación en conducción continua. Se conectó una carga de 200 W, las formas de onda del voltaje en el primario del transformador, el voltaje de salida del rectificador y la corriente en el secundario se presentan en la figura 14 En la forma de onda de la corriente en el secundario del transformador (Canal 3, color morado, 2 A/div), se puede apreciar como el convertidor opera todavía en conducción continua, puesto que la corriente mínima es de aproximadamente 0.5 A.



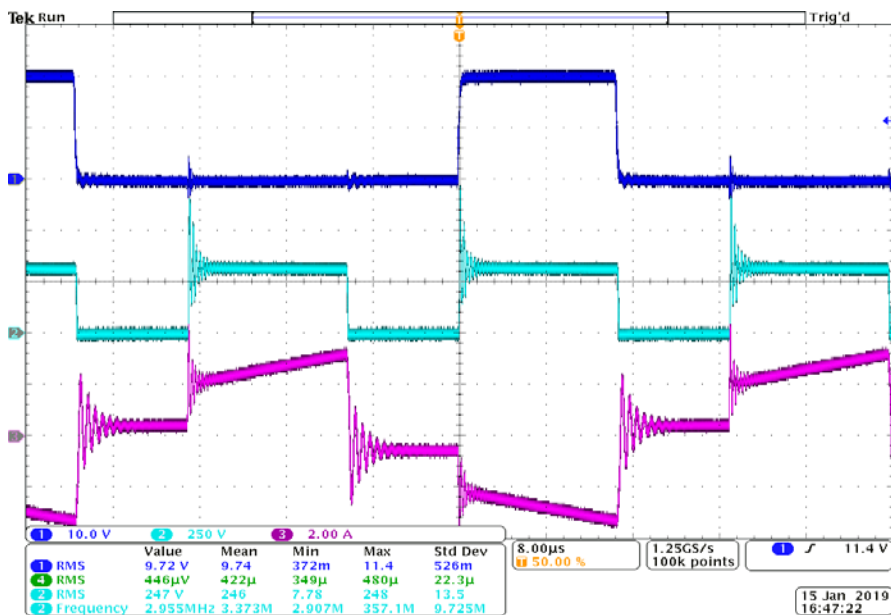
Fuente: Elaboración propia.

Figura 14 Formas de onda convertidor.

En la forma de onda del voltaje de salida del rectificador (Canal 2, color azul, 250 V/div) se pueden apreciar los transitorios de segundo orden con picos de voltaje de 700 V; el transitorio es causado por la interacción de elementos que almacenan

energía entre los que se encuentran: capacitancia parásita asociada al secundario del transformador, capacitancia parásita de los diodos del puente rectificador, inductancia de dispersión del transformador e inductancia del filtro de salida. Se está trabajando en un circuito recortador para evitar que estos picos de voltaje puedan provocar la conducción de algún diodo del puente rectificador.

En la figura 15 se muestran las formas de onda cuando el convertidor está demandando una potencia de 600 W; la corriente aumentó su valor, permanece el transitorio de segundo orden en el voltaje de salida del rectificador y además se presenta la forma de onda de una señal de control de compuerta de un MOSFET (canal 1, color azul, 10 V/div), en dicha señal se evidencia su contaminación en el tiempo en el que se presenta el pico del transitorio.

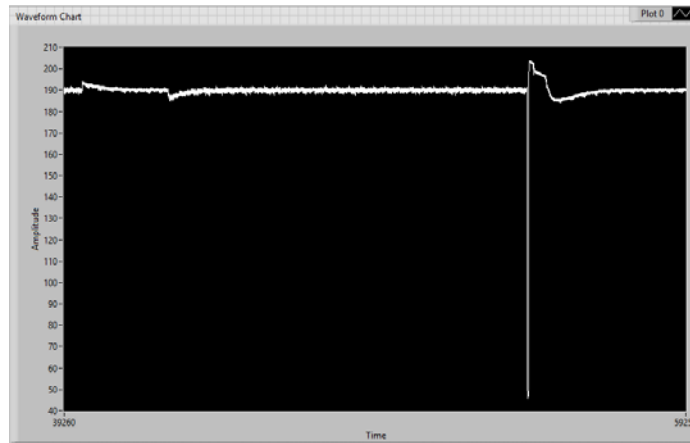


Fuente: Elaboración propia.

Figura 15 Formas de onda del convertidor.

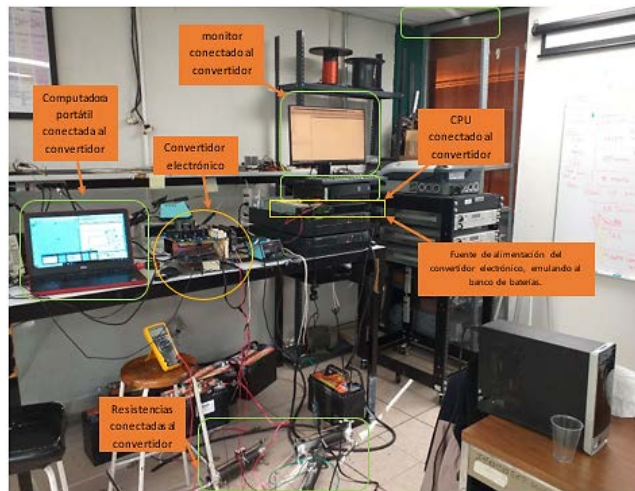
El convertidor se sometió a una prueba de cambio de carga, se conectó una carga resistiva para demandar 200 W y un convertidor electrónico que alimenta a 5 luminarios para demandar 350 W, cuando las dos se encuentran operando se demandan 550 W. El desbalance del voltaje es de ± 4 V. En la figura 16, se presenta la operación bajo condición de cortocircuito, el voltaje de salida calló hasta 45 V y cuando se quitó el cortocircuito se recuperó el voltaje hasta los 190 V después de

un transitorio. La captura de pantalla del comportamiento del voltaje corresponde a la Interfaz Gráfica de Usuario desarrollada en LabVIEW. Al convertidor se conectaron cinco cargas reales: un CPU, un monitor, una computadora portátil, un proyector y una resistencia de 200 Ohms (figura 17); los equipos funcionaron correctamente durante el encendido y operaron adecuadamente durante el tiempo en que se mantuvieron energizados. Cuando el convertidor arranca con una carga que demanda una potencia menor de 150 W, la corriente del inductor entra en el modo de conducción discontinua; bajo estas condiciones, si se conecta otra carga de mayor potencia el convertidor no puede arrancar y elevar su voltaje hasta 190 V.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16 Voltaje salida del convertidor ante cambios de carga y corto circuito de salida.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12 Conexión de cargas reales al convertidor.

4. Discusión

Se desarrolló un convertidor CD-CD puente completo en modo de conducción continua para su aplicación en una Micro Red, el cual se sometió a diferentes condiciones de operación. Se implementaron dos técnicas de conmutación de los transistores, desplazamiento de fase y push pull, aunque la técnica de desplazamiento de fase proporciona una señal más limpia del voltaje en el primario del transformador, presentó dos desventajas substanciales: el calentamiento excesivo de los transistores, llegando hasta 90 °C y la destrucción del convertidor durante los arranques a plena carga. Con la técnica de conmutación push pull son más evidentes los transitorios en la señal del voltaje en el primario del transformador, sin embargo, esta no tuvo problemas de sobrecalentamiento; durante el arranque del sistema, este no sufrió destrucción cuando se operaba a plena carga. Con el controlador PID implementado, el convertidor reguló el voltaje de salida ante diferentes condiciones de la carga; las condiciones bajo las cuales el voltaje de salida del convertidor cae por debajo del 50% del su valor nominal son cuando se presenta una condición de corto circuito, sobre carga y carga muy ligera (menor a 150 W). Se observó que los transitorios de voltaje en el secundario del transformador contamina las señales de control de los MOSFETs, pudiendo provocar el encendido de uno de ellos cuando no debería de conducir y en consecuencia dañar el sistema. La contaminación se hace más evidente cuando el convertidor opera a más de 700 watts. Para aumentar la confiabilidad del sistema es necesario implementar un circuito recortador de voltaje para mitigar dicha contaminación de las señales.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Chub, A., Vinnikov, D., Kosenko, R., Liivik, L., & Galkin, I. (2019). Bidirectional DC-DC Converter for Modular Residential Battery Energy Storage Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* .
- [2] Hammerstrom, D. (2007). AC Versus DC Distribution Systems Did We Get it Right? Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE. Tampa, FL, USA.

- [3] J. Ortega, L. E. (Vol. 39, 2017). Desarrollo De Convertidor CD-CD Puente Dual Active, Aislado y Bidireccional para su aplicación en Microred De CD. *Pistas educativas* No. 125, .
- [4] J. Sabate, V. V. (2002). Design Considerations For High-Voltage High-Power Full-Bridge Zero-Voltage-Switched PWM Converter. Fifth Annual Proceedings On Applied Power Electronics Conference And Exposition, 275-284.
- [5] Jamil, M., Hussain, B., Abu-Sara, M., & Boltryk, , R. J. (2009). Microgrid Power Electronic Converters: State of the Art and Future Challenges. Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2009 Proceedings of the 44th International. Glasgow, UK.
- [6] Kazimierczuk, M. K. (2008). Pulse-Width Modulated Dc-Dc Power Converters. Dayton, Ohio, Usa: Wiley.
- [7] Mcllyman, C. W. (1997). Magnetic Core Selection For Transformers And Inductors . Pasadena, California. : Marcel Dekker, Inc.
- [8] National Instrument. (n.d.). User guide and specifications NI MyRIO-1900.
- [9] Ned Mohan, . T. (1994). Power Electronics: Converters, Applications, and Design. John Wiley & Sons Inc; Edición: 2nd.
- [10] Sabate, J., Vlatkovic, V., Ridley, R., Lee, F., & Cho, B. (2002). Design considerations for high-voltage high-power full-bridge zero-voltage-switched PWM converter. Fifth Annual Proceedings on Applied Power Electronics Conference and Exposition(INSPEC Accession Number: 3788112), 275-284.
- [11] Saeed Peyghami, H. W. (2019). Mission Profile based System-level Reliability Analysis in DC Microgrids. *I E E E Transactions on Industry Applications*.