

Diseño y Evaluación de la Confiabilidad de un Convertidor de Potencia para un Sistema de Generación de Energía Basado en Celdas de Combustible

Chan P. Freddy I., Escobedo H. Enrique, Smith Mascha A., Torres M. Emmanuel, Sánchez H. Víctor M., Toral C. Homero, Acosta O. Roberto

Design and Reliability Evaluation of a Power Converter for Energy Generating System Based on a Fuel Cell (FC)

Abstract— DC-DC converter is one of the stages inside an Energy Generating System based on a Fuel Cell (FC). In this kind of systems is required an energy conditioning system in order to become useful the energy generated by it. The output voltage of a FC is DC so that is necessary turn it into AC voltage in order to feed electronics loads such as cell phones, computers, digital cameras, etc. Besides, the magnitude of the output voltage generated by a FC is small, hence a power converter is required in order to amplify it and then to be turned into AC voltage by a power inverter. In addition, the operating point of the FC determines the output voltage generated which it can be compensated by a power conditioner converter. This work focuses on the design and reliability evaluation of a boost converter either when it is operating in fail conditions or in load-variable conditions.

Keywords— Energy, Fuel Cell, DC-DC converters, reliability.

Resumen— Una de las etapas del sistema de alimentación basado en celdas de combustible es el convertidor CD-CD. Para poder aprovechar la energía que proporcionan estas celdas, se requiere implementar un sistema de acondicionamiento de energía, esto debido a que las celdas de combustible producen voltaje de CD que requiere ser transformada en voltaje de corriente alterna (CA) para alimentar aplicaciones tales como teléfonos celulares, cámaras

Manuscrito recibido el 20 de Octubre de 2013. Este trabajo fue realizado en conjunto por la Universidad de Quintana Roo y el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán.

Dr. Freddy Chan hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo., México. E-mail: freddy@uqroo.mx.

M.C. Enrique Escobedo hasta la fecha se ha desempeñado como investigador adjunto en la Unidad de Energía Renovable del Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Dra. Mascha Smit hasta la fecha se ha desempeñado como investigador en la Unidad de Energía Renovable del Centro de Investigación Científica de Yucatán. mascha@cicy.mx.

M.C. Emmanuel Torres hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, UQROO.

Dr. Víctor Sánchez hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, UQROO.

Dr. Homero Toral hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, UQROO.

MES Roberto Acosta hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, UQROO.

digitales, etc. El voltaje de CD producido por la celda de combustible tiene niveles relativamente bajos, requiriendo de un convertidor (acondicionador de potencia) que proporcione los niveles necesarios para luego ser transformados por el inversor a CA. Asimismo, el voltaje de CD generado por la celda de combustible varía dependiendo de las condiciones de operación, características que puede ser compensada de igual manera por un convertidor acondicionador de potencia. Este trabajo se enfoca al diseño y evaluación de la confiabilidad de un convertidor de potencia, ante diversas condiciones de falla. También se presenta su comportamiento ante variaciones de carga.

Palabras clave— energía, celdas de combustible, convertidores CD-CD, confiabilidad.

I. INTRODUCCIÓN

Los convertidores CD-CD son circuitos electrónicos empleados para el acondicionamiento de energía, con capacidades de elevar o reducir el voltaje. El convertidor empleado para este caso de estudio es del tipo elevador (Boost), cuyo esquema se presenta en la Figura 1.

El convertidor Boost es un convertidor CD a CD que obtiene a su salida un voltaje mayor que a su entrada. Es una de fuente de alimentación conmutada que incluye al menos dos interruptores semiconductores (MOS1 y D1) y al menos un elemento para almacenar energía (Ld y C1). Frecuentemente se añaden filtros construidos con inductores y condensadores para mejorar el rendimiento.

La energía de entrada (V_{in}) también puede provenir de fuentes CD como baterías, paneles solares, celdas de combustible, rectificadores y generadores CD.

Como se puede observar en la Figura 1, el transistor MOS1 funciona como un interruptor electrónico con control en la compuerta, siendo el dispositivo de conmutación que requiere de una señal por modulación de ancho de pulsos (PWM) para la activación y desactivación.

El PWM es una técnica que modifica el ciclo de trabajo de una señal cuadrada de frecuencia constante. El convertidor elevador tipo Boost tiene la característica que eleva el voltaje de entrada en relación a la ecuación (1):

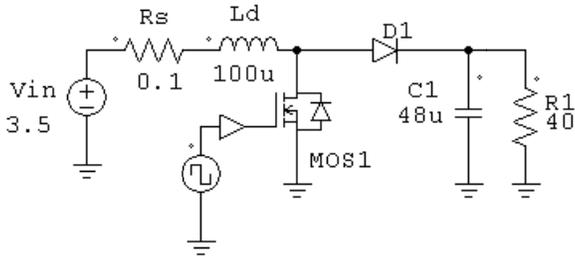


Fig. 1 Diagrama electrónico del convertidor.

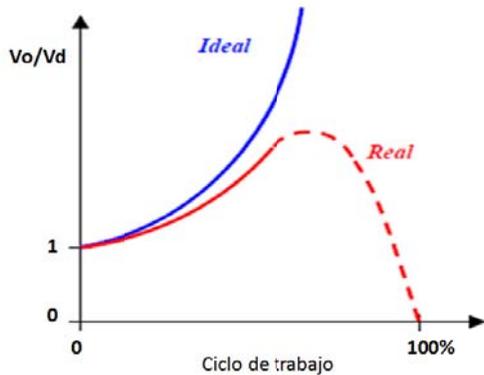


Fig. 2 Relación de ganancia del convertidor.

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$

Donde D es el ciclo de trabajo que se le aplica al convertidor, V_d valor de voltaje de entrada y V_o el voltaje de salida. La respuesta de este tipo de convertidor se muestra en la Figura 2 [1].

Como se puede observar en la Figura 2, un convertidor elevador de tipo Boost tiene un valor de ganancia inicial de 1 cuando no hay ciclo de trabajo, es decir, cuando el convertidor no está conmutando. Además, el convertidor de manera ideal tiende a una ganancia infinita cuando el ciclo de trabajo se acerca al 100%. Sin embargo, a causa de algunos límites de los mismos componentes electrónicos usados en el convertidor, su comportamiento real hace que exista un valor máximo de ganancia después del cual, existe un decremento en su valor.

En términos de potencia, este decremento de ganancia se debe al calentamiento de los componentes o incluso el fallo de alguno, razón por la cual la gráfica que representa el comportamiento real aparece en línea punteada. En la sección III se analiza brevemente el comportamiento térmico de los componentes.

II. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ACONDICIONADOR DE POTENCIA

A. Celda de combustible (V_d)



Fig. 3 Celda de combustible de membrana de intercambio protónico.

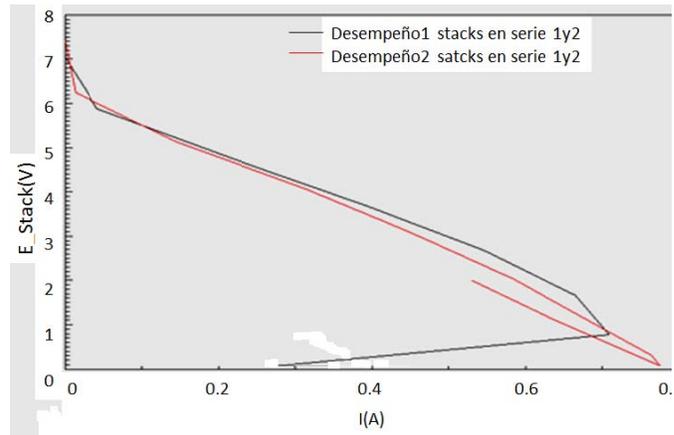


Fig. 4 Curvas de desempeño del Stack.

Se empleó como fuente de entrada una celda de combustible tipo PEMFC (Celda de combustible de membrana de intercambio protónico) fabricada en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). El diseño de la celda se detalla en [2]. La figura 3 muestra la celda fabricada.

La figura 4 muestra las Curvas de desempeño de dos stack's. Los dos pequeños stack's conectados en serie proporcionan hasta 7.4 Volts y una corriente máxima de 0.8 A, sin embargo, el valor de la corriente donde operan las cargas es entre 0.4 y 0.5 A (3.5 Volts).

B. Convertidor CD-CD

El objetivo es diseñar y construir un convertidor de CD-CD del tipo Boost, que permita tener un voltaje constante de salida (12 Volts) al interconectar en serie pequeñas fuentes de voltaje variable en la entrada (stack's celdas de combustible tipo PEMFC).

Una de las desventajas de los stack's de celdas de combustible, es la variación de voltaje y corriente de salida de estos dispositivos cuando operan durante largos intervalos de tiempo siendo algunas de las causas la acumulación de agua en el

TABLA I
ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Datos de la aplicación	Datos del Convertidor
-Motor reductor metálico con relación de engranaje 50:1	• $V_i = 3.5$ a 7 Volts
-Rango de voltaje de operación: (6-12) vdc	• $V_o = 12$ Volts
-Velocidad: 200 Rpm	• Frecuencia de operación 100 kHz
-Corriente sin carga: 300 mA	• Inductor $100\mu\text{H}$
-Corriente máxima: 5 A	• Mosfet (2SK1307) 100v y 20A
Torque máximo: 12 kg.cm	• Capacitor $47\mu\text{f}$ a 50v
	• Diodos de recuperación rápida (HFA30TA60C) de 600v y 15 A
	• Resistencia de la compuerta de 100 ohm

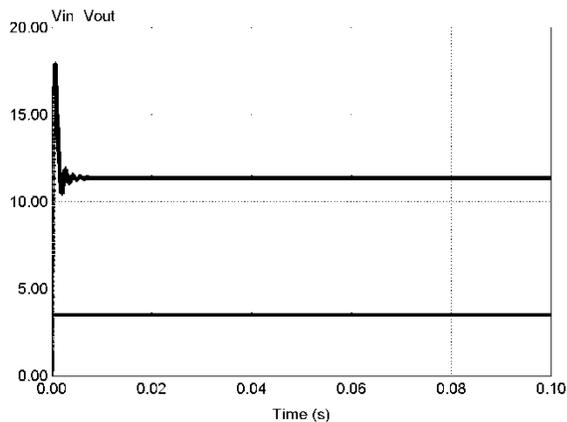


Fig. 5 Curvas del voltaje de entrada/salida del convertidor.

área activa, reducción de la vida útil de los ensamblados, entre otros. Otra desventaja de grandes stack's es la complejidad del armado y la dificultad para eliminar fugas de gases. El interconectar pequeños stack's en serie (bajo voltaje) asegura la eficiencia entregada del sistema. La tabla I muestra las especificaciones de diseño.

Con los datos del stack's de celdas y la carga, se diseñó la etapa de potencia. El procedimiento de diseño se establece en [1, 2]. La figura 5 muestra las curvas del voltaje de salida y de entrada obtenidas en la simulación del convertidor.

En la figura 6 muestra el primer prototipo implementado. Se observa solo la etapa de potencia

Se realizó una caracterización del convertidor para determinar su relación de ganancia. La figura 7 muestra el comportamiento de ganancia de dicho convertidor ante las variaciones del ciclo de trabajo. Se observa un deficiente desempeño del convertidor debido a diversas pérdidas en los componentes.

III. ANÁLISIS TÉRMICO DEL ACONDICIONADOR DE POTENCIA

Durante el proceso de diseño de un sistema, normalmente se seleccionan los elementos que ofrecen la más alta confiabilidad bajo las condiciones de operación establecidas. En la selección de los dispositivos inciden diversos factores: esfuerzos, ambiente de

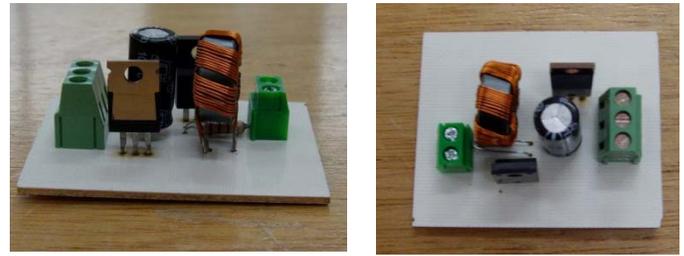


Fig. 6 Prototipo inicial del convertidor Boost.

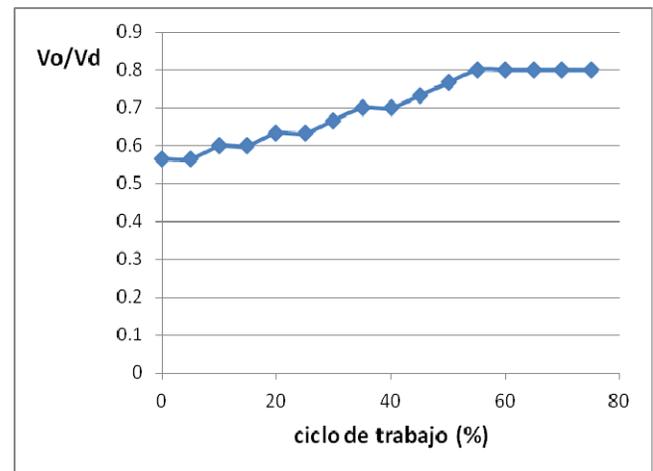


Fig. 7 Relación de ganancia del convertidor Boost.

operación, factores de carga, y las temperaturas de operación, tanto para el sistema como para los componentes. Debido a que la temperatura de operación es especialmente crítica en la selección de los dispositivos, los modelos de predicción deberán considerar diferentes métodos para calcular las variaciones de temperatura [3], [4].

En ocasiones, mediante mediciones, es posible conocer el incremento de la temperatura (ΔT) o la temperatura de unión (T_j). Otras veces ésta puede determinarse a partir de ciertos factores del dispositivo (conocidos o proporcionados por el fabricante). En las ocasiones en las que no se conoce nada acerca de la temperatura de un componente, se deberá usar un incremento de temperatura estandarizado ($\Delta T_{\text{default}}$). Emplear un método incorrecto para determinar la temperatura de unión podría conducir no solo a una temperatura de unión equivocada, sino también a un análisis de confiabilidad del sistema incorrecto.

En el análisis de confiabilidad deberá seleccionarse entonces el método de cálculo de temperatura apropiado, basándose en el conocimiento de los factores de temperatura disponibles para dicho componente.

Durante el proceso de caracterización se introdujeron algunas situaciones de falla de manera intencional para observar cuáles producen mayor pérdidas en los componentes de la etapa de potencia. Las siguientes figuras muestran las imágenes termográficas del convertidor ante diversas situaciones de fallas. Se indica el punto de mayor temperatura en cada imagen (en $^{\circ}\text{C}$).

La Figura 8 muestra el sobrecalentamiento del capacitor ante un sobre voltaje (83.1°C).

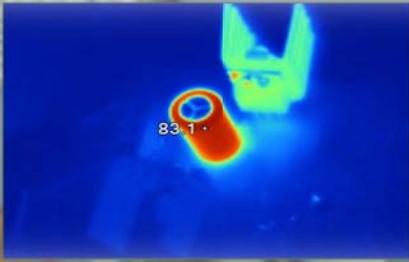


Fig. 8 Imagen termo-gráfica de etapa de potencia ante sobre voltaje en capacitor.



Fig. 9 Imagen termo-gráfica de etapa de potencia ante falta de pulso en el transistor.

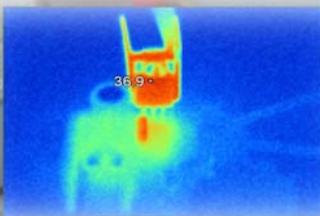


Fig. 10 Imagen termo-gráfica de etapa de potencia ante falla de pulso en el transistor.

La figura 9 muestra el sobrecalentamiento del diodo ante una condición de falta de pulso en el interruptor. Nótese que no es excesivo el calentamiento en el dispositivo (45.1 °C)

La figura 10 muestra una falla del transistor ante un pulso de CD en la compuerta, quedando conectado el interruptor. En este caso el transistor es el dispositivo que sufre mayor esfuerzo sin ser excesivo (36.9 °C).

La figura 11 muestra el comportamiento térmico ante un ciclo de trabajo excesivo en el convertidor. En este caso se nota un calentamiento excesivo tanto en el diodo como en el

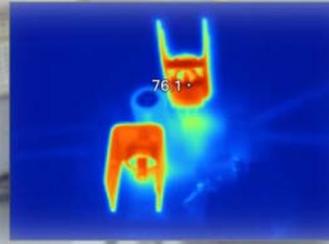


Fig. 11 Imagen termo-gráfica de etapa de potencia ante ciclo de trabajo excesivo.

TABLA II

FACTORES DE ESFUERZO PARA INDUCTORES, TRANSISTORES Y CAPACITORES

Dispositivo	π_T	π_Q	π_E	π_A	π_C	π_V	π_S
Inductor/ Transformador	•	•	•				
Transistor	•	•	•	•			
Capacitor	•	•	•		•	•	
Diodo	•	•	•				•

transistor. De acuerdo a [5], el incremento de temperatura no solo produce una eficiencia baja sino también una reducción en la confiabilidad y tiempo de vida útil del convertidor.

IV. ESTIMACIÓN DE LA CONFIABILIDAD

El estándar MIL-HDBK-217F [6] presenta los valores de la tasa de fallo base λ_b para dispositivos electrónicos. Para estimar la confiabilidad de un sistema electrónico, es necesario calcular primero la tasa de fallo real λ_C de los componentes involucrados. El valor real se obtiene multiplicando el valor base de la tasa de fallo λ_b , por los factores de ajuste π_i que toman en cuenta los esfuerzos. De acuerdo al modelo de Eyring, la tasa de fallo real para un componente está dada por:

$$\lambda_C = \lambda_b \left(\prod_{i=1}^n \pi_i \right) \quad (2)$$

Dónde n es el número de factores de ajuste π para un dispositivo en particular.

Los esquemas de potencia están constituidos principalmente por transistores, diodos, capacitores e inductores. Los factores de esfuerzos para estos dispositivos se listan en la Tabla II.

Dónde:

π_E = el factor ambiental

π_A = el factor de aplicación (potencia)

π_Q = el factor de calidad

π_S = el factor de esfuerzo de voltaje del diodo

π_C = el factor de capacitancia

π_V = el factor de esfuerzo de tensión del capacitor

El factor π_T se relaciona con la temperatura. Puede calcularse de acuerdo a las expresiones que se listan en la Tabla III.

TABLA III
FACTORES DE ESFUERZO TÉRMICOS [6]

Transistor	$\pi_T = \exp\left\{-1925\left(\frac{1}{T_j + 273} - \frac{1}{298}\right)\right\}$
Capacitor	$\pi_T = \exp\left\{-\frac{0,35}{8.617 \times 10^{-5}}\left(\frac{1}{T_{HS} + 273} - \frac{1}{298}\right)\right\}$
Diodo	$\pi_T = \exp\left\{-3091\left(\frac{1}{T_j + 273} - \frac{1}{298}\right)\right\}$
Inductor	$\pi_T = \exp\left\{-\frac{0.11}{8.617 \times 10^{-5}}\left(\frac{1}{T_{HS} + 273} - \frac{1}{298}\right)\right\}$

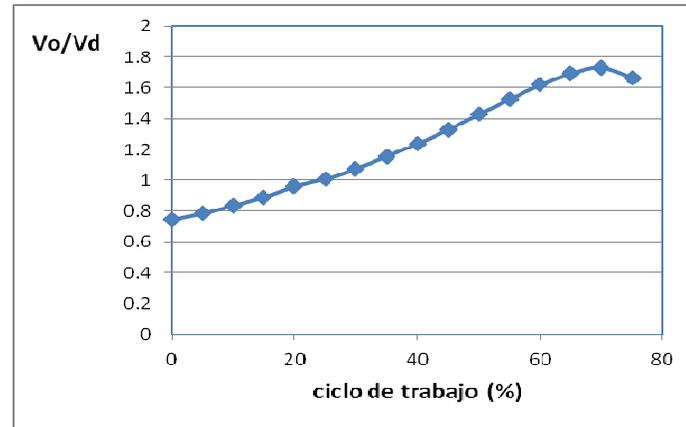


Fig. 13 Relación de ganancia en convertidor modificado.

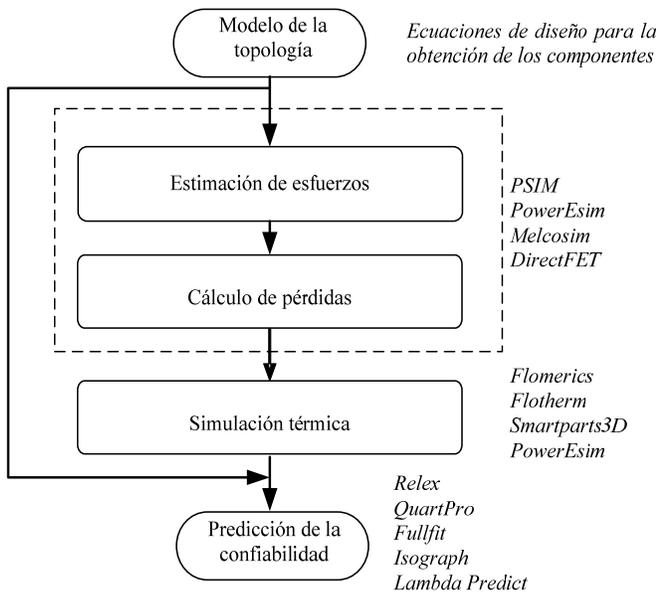


Fig. 12 Procedimiento para el cálculo de la confiabilidad.

En el caso de los transistores y diodos, el término T_j se refiere a la temperatura de unión. Para el caso de inductores y capacitores, el término T_{HS} se refiere a la temperatura del denominado punto caliente (hot-spot). Las mediciones térmicas nos proporcionan estos valores para la estimación de la vida útil (MTBF).

La figura 12 resume el procedimiento para la estimación de la confiabilidad.

Una vez conocidos los tipos y valores de los componentes, el valor de λ_b puede obtenerse de manera rápida en el MIL-HDBK-217F; sin embargo, los factores de esfuerzos deben calcularse para aplicaciones particulares. Esos factores dependen de los máximos valores de voltaje y corriente en los dispositivos. Dichos parámetros se pueden obtener a través de simulaciones de la etapa de potencia realizadas en PSIM u otro similar.

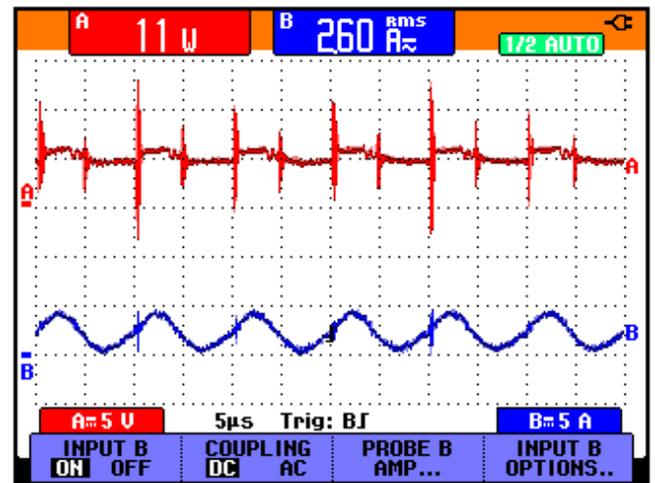


Fig. 14 Voltaje y corriente de salida de la celda de combustible.

A partir de los datos de voltajes y corrientes máximos, y de la potencia disipada, el software RELEX® [7] calcula los factores de esfuerzo en cada componente. Se calculan y grafican los parámetros de confiabilidad tales como la tasa de fallo, el MTBF y sus comportamientos contra temperatura o tiempo. Los cálculos se enfocan exclusivamente a los dispositivos de la etapa de potencia y no incluyen los circuitos de control, impulsores (drivers), ni otros periféricos.

Existen diversas técnicas para optimizar el tiempo de vida útil en los convertidores de potencia [8,9].

Se observa que seleccionando el derating adecuado en el voltaje del capacitor y limitando el ciclo de trabajo, se puede incidir en las pérdidas ya que fueron las condiciones donde se produjo mayor disipación de potencia.

Optimizando el diseño, considerando el manejo térmico, la elección adecuada de disipadores, el derating del capacitor y la distribución de componentes, se puede obtener un mejor desempeño del convertidor.

Tomando en cuenta esas consideraciones, se rediseña el convertidor y se caracterizó de nuevo. En la figura 13 se muestra la repuesta de la ganancia ante las variaciones del ciclo de trabajo.

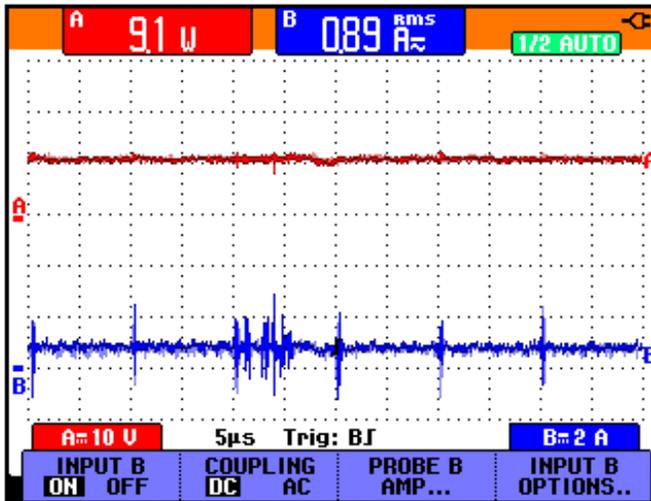


Fig. 15 Voltaje y corriente de salida del convertidor Boost.

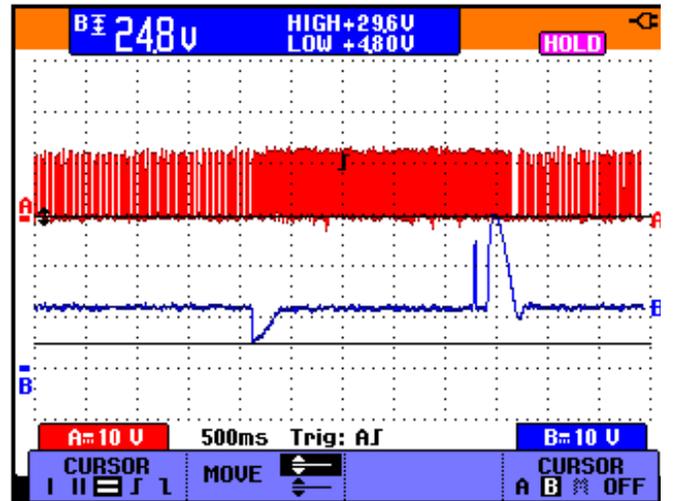


Fig. 17 Medición del pico de Voltaje de salida y ciclo de trabajo del convertidor Boost.

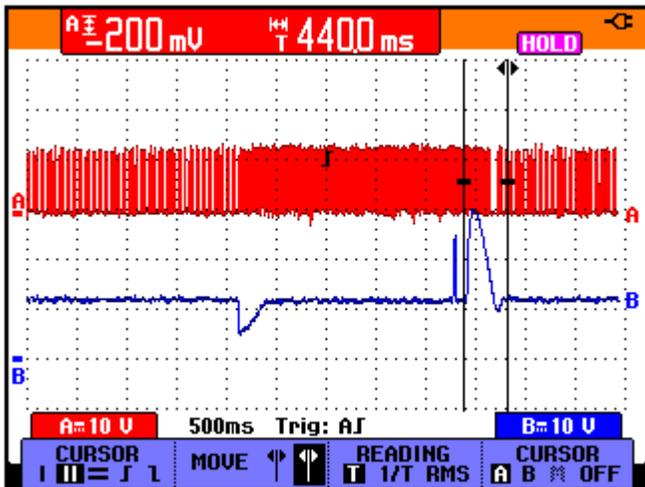


Fig. 16 Medición del tiempo de recuperación del Voltaje de salida y ciclo de trabajo del convertidor Boost.

V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

La figura 14 muestra el voltaje de salida de la celda de combustible alimentando a una carga de un motor de CD. La curva A muestra el voltaje de salida, se observan las perturbaciones (excesivas) en el voltaje de salida. La curva B muestra la corriente de salida, se observa ciertas oscilaciones en la corriente de salida.

La figura 15 muestra el voltaje de salida (curva A) y la corriente de salida (curva B) empleando el convertidor Boost entre la celda de combustible y el motor de CD. Se puede observar que en el voltaje de salida se eliminan las perturbaciones (sobre-impulsos) y en la corriente de salida ya no existe la oscilación, esto debido a la regulación del convertidor Boost.

El ancho de banda de un lazo de control es determinado generalmente por la frecuencia de corte del filtro de salida. Por lo

tanto, las frecuencias altas de operación permiten lograr una rápida respuesta dinámica a los rápidos cambios en la corriente de carga y/o la tensión de entrada.

Las figuras 16 y 17 se presentan la respuesta del convertidor ante variaciones de carga. La curva A (en ambas figuras) muestra el ciclo de trabajo "D" en la señal de control del transistor MOS1. Se puede apreciar el ajuste automático del ciclo de trabajo para compensar la nueva condición de carga. La curva B (ambas figuras) muestra el voltaje de salida ante una perturbación en la carga.

El tiempo de recuperación en el voltaje de salida ante un incremento de carga fue de 300 ms y el tiempo de recuperación ante un decremento de carga fue de 440 ms (Fig. 16 curva B).

El voltaje máximo instantáneo en la salida fue de 4.8 Volts ante un incremento de carga, pero ante el decremento de carga se obtuvo hasta 29.6 Volts lo cual resulta excesivo (Fig. 17 curva B).

VI. CONCLUSIONES

Los convertidores de potencia son empleados como acondicionadores de energía en sistemas basados en fuentes renovables (por ejemplo las celdas de combustible). Este trabajo presentó el diseño y análisis de la confiabilidad de un convertidor elevador utilizado para acondicionar el voltaje de una Celda de combustible de membrana de intercambio protónico. Se analizó el desempeño del convertidor. Se presentaron las pruebas ante condiciones de falla y su impacto en las pérdidas de los componentes. Se requirió optimizar el diseño para mejorar el desempeño del convertidor y la estimación de su vida útil. También se presentaron algunas pruebas de la respuesta del convertidor ante variaciones de carga. Aunque el sistema logra regular ante perturbaciones en el voltaje de entrada y en la variación de carga, su repuesta es un poco deficiente ya que presentó un sobre impulso excesivo en su voltaje de salida (300%) durante unos 200 milisegundos.

REFERENCIAS

- [1] Ned Mohan; Tore M. Undeland; William P. Robbins. *Electrónica de Potencia; Convertidores, aplicaciones y diseño*. 3/Ed. Editorial Mc Graw Hill. México, D.F. (2009).
- [2] E. Escobedo, O. Antonio, Z. Martínez, J. Polanco, F.I. Chan Puc, M.A. Smit, Fuel Cell Stack Design and Construction Implementing a DC/DC Converter. Proc. XI International Hydrogen Congress of the Mexican Hydrogen society.
- [3] RELEX articles, "Calculating Junction Temperature Variations" [online] Available: www.relex.com/resources/art/art_prism3.asp
- [4] RELEX articles, "Thermal Management and Reliability: Heat Sinks" [online] Available: www.relex.com/resources/art/art_heatsinks.asp
- [5] M. Cushing, D. Mortin, T. Stadterman, A. Malhorta. "Comparison of electronics-Reliability Assesment Approaches", IEEE Transactions on reliability Vol. 42, No 4, 1993 December, Page(s):542-546.
- [6] Reliability Prediction of Electronic Equipment, Military Handbook 217-F, 1991
- [7] RELEX reliability studio [online] Available: www.relex.com/
- [8] . F. Chan and H. Calleja, "Design strategy to optimize the reliability of grid-connected PV systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 56, no. 11, pp. 4465-4472, Nov. 2009.
- [9] Mark Levin and Ted Kalal. "Improving product Reliability. Strategies and Implementation". John Wiley and sons. Chichester, England 2003.

fuentes renovables, convertidores de potencia de alta eficiencia y sistemas de generación distribuidos.



Toral Homero recibió el grado de Doctor y Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con opción en Telecomunicaciones por el CINVESTAV Unidad Guadalajara en 2010 y 2006 respectivamente. En el 2002 recibió el grado de Ingeniero Electrónico por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Sus áreas de interés incluyen evaluación de desempeño y modelado de sistemas de comunicación. Desde 2010 es Profesor Investigador de la Universidad de Quintana Roo. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Acosta O. Roberto titulado de la Maestría en Energía Solar de la UNAM. Profesor-Investigador Asociado "B", Definitivo de la Universidad de Quintana Roo, adscrito a la División de Ciencias e Ingeniería desde 2002. Sus áreas de interés son la medición de la radiación solar, los sistemas fototérmicos (particularmente los sistemas de calentamiento de agua y de concentración solar) y la evaluación de sistemas fotovoltaicos.



Chan F. Freddy nació el 5 de marzo de 1973 en Mérida Yucatán. Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Mérida en 1991. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica y el Doctorado en ciencias en Ingeniería Electrónica en el *cenidet* de Cuernavaca en 1999 y 2008 respectivamente. Desde el 2000 funge como profesor investigador de la Universidad de Quintana Roo. Sus áreas de interés son la electrónica de potencia y la conversión de energía. Es miembro del Sistema Nacional

de Investigadores.



Smit Mascha Afra, Investigadora Titular del Centro de Investigación Científica de Yucatán, en la Unidad de Energía Renovable. Obtuvo la Maestría en Física en la Universidad de Amsterdam, Holanda, en 1993. Obtuvo el Doctorado Ciencia de Materiales en la Universidad de Oxford, Inglaterra en 1999. Sus líneas actuales de Investigación son Electroquímica de polímeros electroconductores; supercapacitores; celdas de combustible. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.



Torres M. Emmanuel, nació el 2 de Septiembre de 1979 en Chetumal Quintana Roo, obtuvo el título de Ingeniero eléctrico por el Instituto Tecnológico de Chetumal, en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, México en el 2002. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el CINVESTAV Unidad GDL, en

la ciudad de Guadalajara Jalisco en el 2006. Del 2002 al 2004 laboró en la Industria de la Construcción en el diseño y supervisión de instalaciones eléctricas en baja y media tensión. En el 2007 participó como profesor por

honorarios en la Universidad de Quintana Roo. A partir del 2008 es profesor Investigador de la Universidad de Quintana Roo en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, México. Sus líneas de investigación de interés son: análisis y control del generador de inducción auto-excitado, calidad de energía y ahorro de energía.



Escobedo H. Enrique, Obtuvo la Maestría en Ciencias en Mecatrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico en 2006. Obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico-Electricista por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. 1996. Actualmente adscrito al Centro de Investigación Científica de Yucatán, en la Unidad de Energía Renovable. Sus líneas actuales de Investigación son Celdas de combustible de Membrana de Intercambio Protónico (PEM).



Sánchez H. Víctor ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba (1996), Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (2000) y Dr. En Ingeniería Eléctrica por el CINVESTAV Unidad GDL (2011). De 2002 a la fecha es profesor investigador de la Universidad de Quintana Roo. Sus áreas de estudio son sistemas de generación de energía eléctrica a partir de