

Análisis Preliminares de Casos y Estudio de Causas de Fallas en Fuentes de Alimentación Conmutadas

Jorge Alberto Olsson^{1*}, Oscar Dionisio Trochez², Jorge Luis López¹, Germán Andrés Xander¹, Matías Gabriel Krujoski¹, Lea Vanessa Santiago¹, Héctor Rolando Anocibar¹, Víctor Hugo Kurtz¹.

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

¹ Línea de investigación 16/1142 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas - Equipos y Sistemas

² Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación Paraguay.

e-mails: olsson@fio.unam.edu.ar, oscar.trochez@fiuni.edu.py, lopezj@fio.unam.edu.ar, gaxander@fio.unam.edu.ar, krujoskimatias@fio.unam.edu.ar, anocibar@fiobera.unam.edu.ar, kurtzvh@fio.unam.edu.ar

Resumen

Este trabajo contiene los avances del análisis de causas de fallas en fuentes de alimentación conmutadas o switching, dentro de un proyecto de investigación acreditado. La determinación de causas de fallas se realizó por medio de un seguimiento de casos de servicios electrónicos durante un periodo anual. La información obtenida se registró, documentó y analizó. De los análisis estadísticos de los datos resultó que las fallas en fuentes son por causas naturales en un 55% de los casos y en un 45% son fallas accidentales o forzadas. La información registrada permitió realizar una discriminación de los componentes involucrados en cada tipo de falla y su importancia en la fiabilidad de la fuente. Con el registro fotográfico de casos de fallas en los distintos componentes, se concluyó que la información presentada facilitara el mantenimiento y reparación de fuentes de poder y una vez finalizado el estudio de casos de fallas se podrá sugerir adecuados protocolos de mantenimiento predictivo y correctivo en equipos electrónicos.

Palabras Clave: Estrés en capacitores - Fallas - Fuentes conmutadas - Fiabilidad de componentes - Fuentes switching - Estrés en capacitores -

1. Introducción

La dependencia de la humanidad con la energía eléctrica hace necesario que esta sea lo suficientemente confiable [1-2]. Los equipos y herramientas que están al servicio del hombre funcionan con distintos niveles de tensión y distintas formas de presentación de la energía eléctrica, esto requiere de una adaptación de la energía disponible a la que requiere el equipo [3-4]. Esta adaptación se realiza por medio de fuentes de alimentación o fuentes de poder, las que pueden dividirse en dos tecnologías, fuentes lineales o estándar (ST) y fuentes conmutadas o switching (SW). Las ventajas principales de las fuentes SW son alta eficiencia, bajo costo, pequeño tamaño y peso, pero actualmente tienen mayor índice de fallas que las fuentes ST [4-5], estas ventajas ocasionan que la tecnología Sw desplace paulatinamente a la ST y justifica el estudio de causas de fallas en fuentes SW. Para que los equipos y productos eléctricos o electrónicos sean confiables también lo debe ser su fuente de poder, ya que ésta es un eslabón de la cadena entre el suministro de energía eléctrica de la red y las exigencias a la que es sometida, debido a las prestaciones del producto [6].

1.1. Revisión bibliográfica

1.1.1. Tipos de corriente eléctrica

Se puede clasificar a la energía eléctrica en dos presentaciones de uso comercial, corriente continua (CC) o corriente directa (DC) por sus sigas del inglés “*direct current*” y corriente alterna (CA) del inglés (AC) “*alternating current*” [4] y [7].

1.1.2. Corriente continua (DC)

Las fuentes de energía de corriente continua (DC) son aquellas en la que su tensión de bornes se mantiene constante en amplitud y dirección. Esta afirmación no se cumple en cuanto a la amplitud, ya que todos los generadores poseen una cierta resistencia interna, que puede variar con el tiempo, por lo que la tensión de salida podrá tomar distintas formas dependiendo de la corriente que entrega la fuente [4], [7]-[12], un valor de tensión caracterizado por su valor medio de continua ($V_{med} = V_{OCC}$) y su contenido o componente de AC ($V_{rms,AC}$), esto se da a través del factor de ripple o factor de rizado (Fr) [4], [7]-[10].

1.1.3. Corriente alterna (AC).

Las fuentes de corriente alternada (AC) son aquellas en que su modulo de tensión varían constantemente al igual que su sentido en función del tiempo, siguiendo alguna función periódica en general con forma de onda senoidal. Como los generadores reales poseen resistencia interna, además las cargas no son lineales en sus bornes existirá una deformación de la onda senoidal pura llamada contenido armónico [4], [7-10], [13-18]. Las fuentes de AC se caracterizan por su valor eficaz y su contenido armónico [4], [13-19].

1.2. Tipos de fuentes conmutadas

La norma [12] las clasifica a todas como *convertidores* de potencia estática de potencia eléctrica porque pueden convertir corrientes AC a DC, DC a DC, DC a AC, y AC a AC. Por otro lado autores como [10] llaman *conversor* o *convertidor* a aquellos dispositivos que entregan el mismo tipo de corriente con la que se alimenta, ya sea AC o DC, o sea que adapta niveles de tensión y no el tipo de corriente eléctrica. Quedando el nombre de *inversor* para el dispositivo que cambia el tipo de corriente eléctrica. El comercio y la industria [18] le dan el nombre principal seguido de la adaptación que realiza y las engloba a todas como *suministro de energía* o *fuentes de alimentación*. Esto fue más ampliamente tratado en [4].

1.2.1. Topologías de las fuentes conmutadas

Las fuentes conmutadas pueden clasificarse como reductores, elevadoras, reductoras elevadoras y de acuerdo a su topología reciben su nombre básico. Por otra parte pueden o no ser aisladas galvánicamente entre la entrada y la salida, además de acuerdo a su diseño serán unidireccionales o bidireccionales. Aquellas que se alimentan de AC también puede subdividirse en con corrección de factor de potencia (PFC) o sin PFC.

1.2.2. componentes de las fuentes conmutadas

Estas fuentes tienen tres elementos fundamentales, semiconductores trabajando como llaves o conmutadores y elementos pasivos como capacitores e inductores, que almacenan energía; en conjunto controlan el flujo de energía de la entrada para obtener la salida deseada [10]. En [11], [21] y [22] se estudian las principales ventajas de las fuentes conmutadas y en la Fig. 1 se ilustran los componentes disponibles para la construcción o diseño de la etapa de potencia. De estos se evitan los resistores y los semiconductores operando en su zona lineal, ya que disipan potencia que se pierde en forma de calor. Los condensadores y los dispositivos magnéticos son elementos que idealmente no consumen energía, la almacenan. Los dispositivos semiconductores en modo conmutado se emplean en estado apagado (off), su corriente es cero y, por lo tanto, su disipación de potencia es nula. Cuando el semiconductor funciona en estado encendido (on), su caída de tensión es pequeña y, por lo tanto, su disipación de potencia también es pequeña. Una forma de evaluar sus desempeños se trató en [23-24].

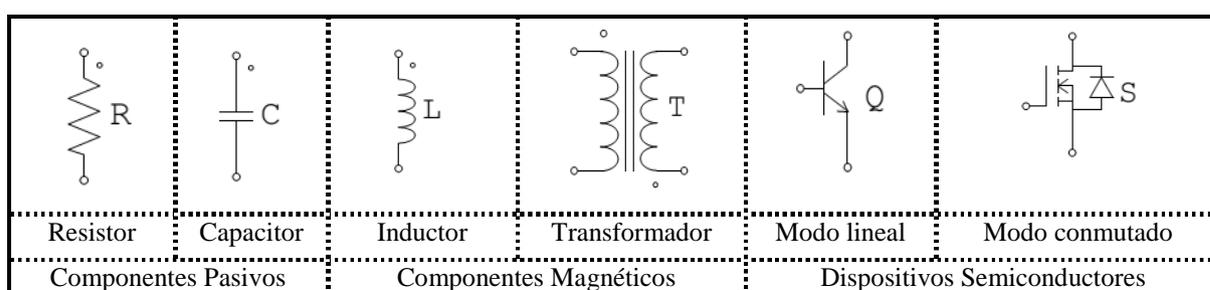


Fig. 1. Dispositivos disponibles para diseñar fuentes [4], [21]

Para el funcionamiento de la fuente se requiere además los siguientes componentes: el generador de ancho de pulso (PWM); el sistema de control; el elemento de referencia y para fuentes con aislamiento un sistema optoacoplador entre etapas.

Finalmente se precisa de un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de rutas o pistas de material conductor, grabados en hojas de cobre (generalmente), laminadas sobre un sustrato no conductor, comúnmente baquelita (fenólico) o fibra de vidrio (fiberglass), esto recibe el nombre de Circuito impreso y se denota como PCB (Printed Circuit Board). Los componentes se conectan eléctricamente al PCB y son sustentados eléctrica y mecánicamente por medio de soldadura con estaño a la pista de cobre [25-26].

1.3. Fallas en los dispositivos

1.3.1. Fallas en semiconductores

Los semiconductores cuando fallan suelen quedar en circuito abierto cuando por él circula una corriente mucho mayor a la que opera normalmente o está diseñado. También puede ponerse en corto circuito. Estas fallas pueden deberse a sobre tensiones, sobre temperatura, mala disipación térmica, fallas de conmutación o control, pérdidas de potencia de conmutación, fallas de soldaduras, etc. [4], [6-8], [13], [23-24].

1.3.2. Fallas en inductores

Los componentes magnéticos rara vez son los causantes de falla, cuando esta ocurre es debido a una falla de aislación que puede provenir de una sobre temperatura, sobrecarga y o sobretensión [4] y [6].

1.3.3. Fallas en Capacitores

Los capacitores están limitados por su vida útil que es un dato del fabricante dado en horas, bajo ciertas condiciones de funcionamiento, cuando estas condiciones se cambian su vida puede variar drásticamente. Existen distintas tecnologías de fabricación y autores estudiaron las causas de sus fallas como ser: cerámicos de baja tensión [27-28]; cerámicos de alta tensión [27], [29]; de poliéster [28]; capacitores electrolíticos de aluminio [4], [30-34]; el factor de estrés de componentes y estimación de eficiencia se estudio en [24].

1.3.4. Fallas en resistores

En la mayor parte de los casos los resistores se abren Las causas pueden ser varias, aunque la más frecuente es el haber superado su disipación de potencia o temperatura de trabajo nominal, estas condiciones también alteran su valor. La humedad y superar la tensión de aislación, también son causas de falla [35].

1.3.5. Fallas en soldadura

Este tipo de fallas es frecuente en las fuentes de poder y fueron estudiadas en [6] y [25-34].

1.3.6. Fallas en el circuito impreso

Son menos frecuentes que en la soldadura pero requieren atención para que no ocurran, las mismas fueron tratadas en [6], [8] y [25-34].

1.3.7. Fallas en el generador PWM, control y referencia

Los semiconductores cuando fallan suelen quedar en circuito abierto cuando por el circula una corriente mucho mayor a la que opera normalmente o está diseñado. También puede ponerse en corto circuito. Estas fallas pueden deberse a sobre tensiones, sobre temperatura, mala disipación térmica, fallas de conmutación o control, pérdidas de potencia de conmutación, fallas de soldaduras, etc. [4] - [8], [13], [23-25].

1.4. Objetivo

De acuerdo a la revisión bibliográfica y al estado del arte se propone analizar las fallas y sus causas en fuentes de alimentación mediante el seguimiento y estudio de casos de mantenimiento y reparación de equipos electrónicos cuantificando y calificando cada una de ellas. De esta manera poder recomendar lineamientos para el mantenimiento preventivo, correctivo y de reparación por fuera de servicio.

2. Desarrollo

2.1. fallas de fuentes de alimentación

Esta parte del trabajo es una continuación de [4], se basó en la clasificación de los registros de los servicios electrónicos realizados por una firma local dedicada al rubro electrónico [34]. Para esto solicitamos acceso a los datos de la firma, la que nos facilitó su registro de servicios del último año, en el periodo mayo de 2018 - abril de 2019, esto totalizó 627 trabajos. De este total se descartaron 281 servicios que no involucraban fuentes de alimentación, por ejemplo instalaciones o puesta a punto de equipamientos. Quedando una muestra de 346 trabajos que involucran fuentes de alimentación, de los cuales el 45,1% se corresponde con fallas en las mismas y el 54,9% es otro tipo de falla. Estos datos se muestran en la Tabla 2. Se aprecia una diferencia del 6% respecto al periodo cuatrienal estudiado en [4], [33].

Tabla 2. Fallas de fuentes de alimentación

| Cantidad de servicios en un periodo de 1 año | Cantidad que no involucran fuentes | Cantidad que involucran fuentes | Cantidad de fallas en fuentes | Cantidad de otras fallas |
|---|---|--|--------------------------------------|---------------------------------|
| 627 | 281 | 346 | 156 | 190 |
| | Porcentaje | 100% | 45,1% | 54,9% |

A continuación se caracterizaron las fallas en fuente por su tipo. El 81,4% le correspondió a tipo de fuentes conmutadas y el 18,6% a fuentes estándar. Se indica en Tabla 3, donde se observa un incremento de las fuentes conmutadas respecto a las lineales, donde el estudio anterior [4] dio 69,9% y 30,1% respectivamente.

Tabla 3. Caracterización de Fallas por tipo de fuente de alimentación

| Cantidad que involucran fallas en fuentes | Cantidad que involucran fallas en fuentes conmutadas | Cantidad que involucran fallas en fuentes lineales |
|--|---|---|
| 156 | 127 | 29 |
| 100% | 81,4% | 18,6% |

2.2. Causa de fallas de fuentes de alimentación

Luego se discriminaron las fallas en probable causa natural o normal dada por sus condiciones de servicio como ser vida útil, corrosión, soldadura; y causas forzadas o artificiales como descargas atmosféricas (rayos), sobre tensiones, sobrecargas etc. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4, en los que se observa que el porcentaje de fallas en condiciones normales es del 55%, mayor al 45% de causas forzadas por condiciones fuera de diseño.

Tabla 4. Caracterización de Fallas por causa posible

| Causas | Naturales | Forzadas | | |
|---------------|------------------|-----------------|---------------------------|-------|
| Causas | Naturales | Rayo | Sobrecarga o sobretensión | Otra |
| Cantidad | 70 | 18 | 35 | 4 |
| Porcentaje | 55,12% | 14,17% | 27,56% | 3,15% |
| Porcentaje | 55,12% | 44,88% | | |

2.3. *Componente dañado naturalmente*

Luego se discriminaron las fallas de acuerdo a los componentes involucrados o encontrados dañados en funcionamiento normal de la fuente durante el servicio realizado. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Componente involucrado en fallas naturales del las fuentes

| Componente | Cantidad | porcentaje |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------|
| Capacitor Electrolítico | 43 | 61,43% |
| Capacitor de poliéster - cerámico | 5 | 7,14% |
| Inductor | 1 | 1,43% |
| Semiconductor - CI | 19 | 27,14% |
| Resistor | 11 | 15,71% |
| Soldadura | 17 | 24,29% |
| Corrosión - PCB | 11 | 15,71% |
| Otros | 4 | 5,71% |
| Total de fallas | 70 | 100% |

2.4. *Análisis de Componentes dañado naturalmente*

2.4.1. *Estrés en Capacitor Electrolítico*

El estrés del capacitor y su vida útil fueron tratados en [4], [8], [33-34] y [36]. Se manifestó visualmente de distintas maneras, las más comunes se muestran en la Fig. 2 y Fig. 3. El cuerpo cilíndrico deformado y el corte de seguridad en la cara superior abierto se aprecia en la Fig. 2 (a), o a punto de abrirse en la Fig. 2(b).



Fig. 2.(a) Corte de seguridad abierto



Fig. 2.(b) Corte de seguridad a punto de abrirse

Fig. 2. Estrés en capacitores

En la Fig. 3 (a) se observa pérdida del líquido electrolito y en la Fig. 3(b) rotura de la envoltura.



Fig. 3.(a) Pérdida de líquido



Fig. 3.(b) Rotura de la envoltura

Fig. 3. Estrés en capacitores

Otra evidencia del estrés a partir de la inspección visual es la pérdida de líquido por los terminales del capacitor o por la parte inferior del mismo. Una o más de las evidencias visuales indican que el capacitor está alterado, y es necesario su replazo.

En muchos casos el estrés no se manifiesta en forma visible, entonces debe recurrirse a la medición del capacitor bajo sospecha. (ver capa Check)

2.4.2. Estrés en Capacitor Cerámico o Poliéster

En casos el estrés no se manifestó en forma visible, entonces debió recurrirse a la medición del capacitor bajo sospecha, su falla más frecuente es de ponerse en corto circuito. Cuando el capacitor se manifestó como circuito abierto se debió a rotura de los terminales interna o externamente, corrosión o corte por fatiga mecánica.

2.4.3. Fallas naturales en el Inductor

El inductor es uno de los componentes menos responsable de fallas naturales en fuentes. La más frecuente involucra altas tensiones y son debidos a pérdidas de aislación como se muestra en la Fig. 4 (b), estas se evidenciaron por el arco eléctrico durante el funcionamiento. En la Fig. 4 (a) se aprecia un corto circuito entre espiras del inductor, para visualizar esta falla fue necesario desarmar el inductor, externamente se recurrió a la medición para conocer su estado.

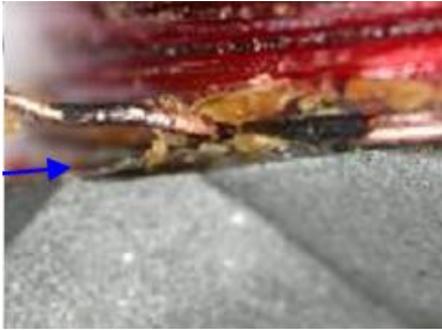


Fig. 4. (a) corto circuito entre espiras



Fig. 4. (b) Falla de aislación

Fig. 4. Fallas naturales en el inductor

Cuando la falla en el inductor se dio como circuito abierto en una bobina esto ocurrió en la unión entre uno de sus lados y el respectivo terminal.

2.4.4. *Fallas naturales semiconductores y circuitos integrados*

Cuando la falla de dio en alguna de las llaves de la fuente se manifestó en la medición como corto circuito entre sus terminales, el fusible de protección quemado. Al igual que los resistores asociados. Fueron pocas las veces que esto se manifestó visualmente, cuando lo hicieron fue con una explosión de su carcasa, como se aprecia en la Fig.5 (a). Es similar el caso de los circuitos integrados, como se registró en la Fig.5 (b), en un micro chip de montaje superficial.



Fig. 5. (a) Corto circuito llaves

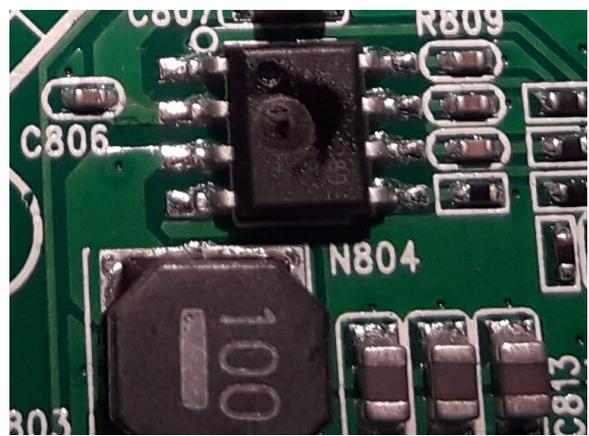


Fig. 5. (b) Corto circuito en CI.

Fig. 5. Fallas naturales semiconductores

2.4.5. Fallas Naturales en Resistores, Soldadura y PCB

La falla de los resistores, la soldadura y el PCB en muchos casos están relacionadas con la corrosión, esto se dio en ambientes agresivos, mal proceso en el montaje o en la soldadura o por la acumulación de polvo como se muestra en la Fig. 6 (a), el polvo con la humedad del ambiente entre otras cosas corroe los terminales de los componentes, degrada la soldadura y el PCB. También se encontró que adhesivos utilizados en el montaje del PCB provocan corrosión y pueden llevar a un colapso como el que se ilustra en la Fig. 6 (b).



Fig. 6. (a) Acumulación de polvo PCB



Fig. 6. (b) Corrosión en PCB

Fig. 6. Fallas naturales por corrosión

Cuando el proceso de la soldadura no es el adecuado durante el montaje del PCB lleva a fallas de soldadura como los que se encontraron en la Fig. 7.

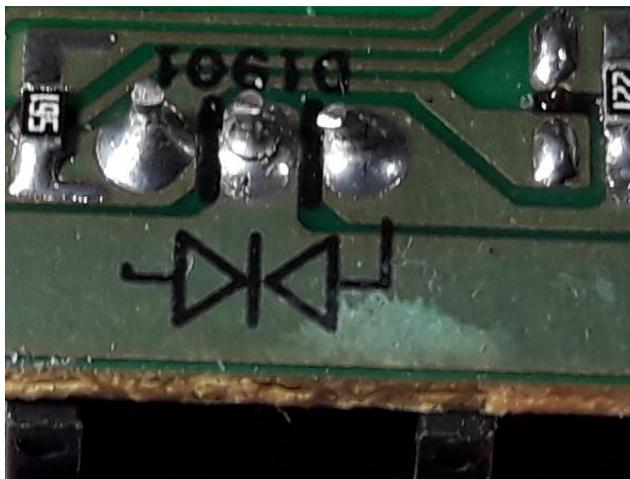


Fig. 7. (a) Falla de soldadura en una llave



Fig. 7. (b) Falla de soldadura en un inductor

Fig. 7. Fallas naturales por soldadura

La falla natural en los resistores no siempre es visible como las que se encontraron en la fig. 8, la forma de detectarla es por medio de mediciones indirectas tales como tensión y corriente.



Fig. 8. (a) Falla de resistor estandar



Fig. 8. (b) Falla de resistor superficial

Fig. 8. Fallas naturales de resistores

3. Conclusiones

Los datos de este seguimiento de casos de fallas en fuente conmutadas indican que, en el 55% de las mismas sus fallas se producen en condiciones de funcionamiento naturales dentro de sus condiciones de diseño, y constituye la principal causa de falla, el 45% restante se debe a causas accidentales o forzadas fuera de sus parámetros, dadas principalmente por descargas atmosféricas, sobre cargas o sobre tensiones. La discriminación de los componentes involucrados en las fallas naturales señala como principal responsable al capacitor electrolítico con el 62%, soldadura y PCB 24% y un 14% para las restantes fallas. Cabe aclarar que los semiconductores se encuentran involucrados en un 27% de los casos de estudio, pero su daño es por efecto colateral del causante original. La documentación de imágenes que se presentan permitirá un rápido reconocimiento de componentes estresados o dañados y facilitara el mantenimiento preventivo, predictivo y reparación por fuera de servicio.

Se propone para la continuación de este trabajo un análisis y desagregación de las causas de fallas accidentales y finalmente proponer un protocolo adecuado para el mantenimiento de equipos electrónicos.

4. Referencias

- [1] D. Biel, F. Guinjoan, E. Fossas, y J. Chavarria, "Diseño de control en modo deslizante de un convertidor de conmutación boost-buck para la generación de señales de CA", IEEE Trans. Circuitos Syst. Yo, Reg. Papeles, vol. 51, no. 8, pp. 1539 - 1551, agosto de 2004. [[Enlaces](#)]
- [2] SAAVEDRA, Julian; FIRACAITVE, Jonathan y TRUJILLO, Cesar. "Development board based on the TMS320F28335 DSP for applications of power electronics". Tecciencia [online]. 2015, vol.10, n.18 [citado 2017-12-14], pp.36-44. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-36672015000100007&lng=es&nrm=iso>.ISSN 1909-3667. <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2015.18.6>
- [3] F. Blaabjerg, C. Zhe y S. B. jaer, "Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems," Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 19, n° 5, pp. 1184-1194, 2004.

- [4] J. A. Olsson, O. D. Trochez, J. L. López, L. V. Santiago, H. R. Anocibar, y V. H. Kurtz, «Estudio de Fallas en Fuentes de Alimentación Conmutadas Debido al Estrés de los Capacitores Electrolíticos», *+Ing*, vol. 1, n.º 1, p. 46, jun. 2019.
- [5] RAMIREZ-MURILLO, Harrynson et al. “LMI Control Design of a Non-Inverting Buck-Boost Converter: a Current Regulation Approach”. *Tecciencia* [online]. 2017, vol.12, n.22 [citado 2017-12-14], pp.79-85. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-36672017000100079&lng=es&nrm=iso. ISSN 1909-3667. <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2017.22.9>.
- [6] Bin Yao; Hui Chen; Xiao-Qi He; Qing-Zhong Xiao; Xian-Jun Kuang. “Reliability and failure analysis of DC/DC converter and case studies”. 2013 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE). IEEE, 15-18 July 2013.
- [7] H. Anocibar “Ondas” Electrónica Analógica, Dpto. De Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNaM, 02 Ondas 2018.
- [8] V. Kurtz “FUENTE DE ALIMENTACIÓN” Electrónica y Dispositivos, Dpto. de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNaM, 03 EyD 2018.
- [9] R. F. de Camargo, “Contribuição ao Estudo de Filtros Ativos de Potência,” Dissertação de Mestrado, PPGEE, Universidade Federal de Santa Maria, Julho de 2002.
- [10] D. C. Martins, I. Barbi “Eletrônica de Potência - Conversores CC-CC Básicos Nao Isolados” 2ª edição, 2006, CDU: 621.614.22.
- [11] R. F. de Camargo, “Técnicas para Correção do Fator de Potência”, Maestría en Ingeniería Electrónica, Dpto. de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNaM, 2014.
- [12] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Std. 519-1992, 1993.
- [13] V. V. S. P. Kumar and B. G. Fernandes, "Active power decoupling topology with fault tolerant ability for a single phase grid connected inverter," *IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Yokohama, 2015, pp. 003423-003428. doi: 10.1109/IECON.2015.7392629. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7392629&isnumber=7392066>
- [14] IEC-INTERNATIONAL STANDARD Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase) IEC - 61000-3-2, 2005.
- [15] “Manual para Correção do Fator de Potência”, WEG, www.weg.net
- [16] “Harmônicas nas instalações elétricas, Causas, efeitos e soluções”, Procobre, Instituto Brasileiro do cobre.
- [17] W. A. Akagi “Instantaneous Power theory and Applications to Power conditioning”. ISBN: 978-0-470-10761-4.
- [18] J. Arrillaga, N.R. Watson, *Power System Harmonics*, John Wiley & Sons, Ltd, Second Edition, 2003
- [19] J. F. Hibbard, M. Z. Lowenstein “Meeting IEEE 519-1992 Harmonic Limits Using Harmonic Guard”. Trans-Coil, Inc. www.transcoil.com.
- [20] Arrow Electronics. <https://www.arrow.com>. Acceso 23/07/2019.
- [21] R. W. Erickson, D. Maksimovic, “Fundamentals of Power Electronics”, Second edition. eBook ISBN: 0-306-48048-4. Print ©2001 Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- [22] L. Schuch, “Electrónica de Potência”, Maestría en Ingeniería Electrónica, Dpto. de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNaM, 2014.

- [23] S. A. Saremi Hasari, A. Salemnia and M. Hamzeh, "High-efficiency voltage source converter with low switching power losses for application in islanded microgrids," in *IET Renewable Power Generation*, vol. 11, no. 10, pp. 1295-1304, 8 16 2017. doi: 10.1049/iet-rpg.2016.0226.
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8048597&isnumber=8048583>
- [24] A. M. S. S. Andrade, L. Schuch and M. Martins, "Analysis and Design of High-Efficiency Hybrid High Step-Up DC-DC Converter for Distributed PV Generation Systems," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. doi: 10.1109/TIE.2018.2840496
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8370773&isnumber=4387790>
- [25] V. H. Kurtz "Circuitos Impresos" Tecnología Electrónica y Dispositivos electrónicos, Dpto. de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNaM, 08 EyD 2019.
- [26] J. A. Olsson et al. "SEGURIDAD EN LA CONFECCIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS". Artículo. Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestras de la Producción a la Comunidad 2015- ISBN 978-950-579-384-6 -Res C.D.Nº 076/15
- [27] V. Kurtz, "Capacitores" Dispositivos Electrónicos, Dpto. de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNaM, 02 DE 2018.
- [28] R. Munikoti, P. Dhar, "Low-voltage failures in multilayer ceramic capacitors: a new accelerated stress screen", Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, IEEE Transactions on, Dec. 1988
- [29] J. Yan *et al.*, "The investigation and improvement of the lifetime of high voltage ceramic capacitor under repetitive frequency operation," in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 24, no. 4, pp. 2014-2024, 2017. doi: 10.1109/TDEI.2017.006275.
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8032570&isnumber=8032560>
- [30] V. V. S. Pradeep Kumar and B. G. Fernandes, "Switching strategy for improving the lifetime of dc-link capacitor in a fault-tolerant active power decoupling topology," in *IET Power Electronics*, vol. 11, no. 1, pp. 52-61, 1 12 2018. doi: 10.1049/iet-pel.2017.0202.
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8272206&isnumber=8272122>
- [31] J. A. Olsson, G. A. Xander *et al.*, "ESTUDIO DE FALLAS EN FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADAS DEBIDO AL ESTRÉS DE LOS CAPACITORES ELECTROLÍTICOS", Jornadas Científicas Tecnológicas - 45 Aniversario de la UNAM, resumen, mayo 2018.
URL: <https://jornadas.sistemas.unam.edu.ar>
- [32] J. L. Stevens, J. S. Shaffer and J. T. Vandenharn, "The service life of large aluminum electrolytic capacitors: effects of construction and application," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 38, no. 5, pp. 1441-1446, Sep/Oct 2002. doi: 10.1109/TIA.2002.802922
- [33] M. G. Olsson, "Electrónica Matias", Avelleneda 1171, Oberá, Misiones, Argentina. 2014 – 2018.
- [34] M. G. Olsson, "Electrónica Matias", Avelleneda 1171, Oberá, Misiones, Argentina. 2018 – 2019.
- [35] V. H. Kurtz "Ensayo de Resistores" Tecnología Electrónica y Dispositivos electrónicos, Dpto. de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, UNaM, 08 EyD 2019
- [36] Nichicon, URL: http://www.nichicon-us.com/english/products/alm_mini/index.html