

## Detección de capacitores de tantalio de montaje superficial con conexiones marginales

### Detection of surface mount tantalum capacitors with marginal connections

Sergio Isauro Flores Vázquez<sup>1\*</sup>, Juan López Hernández<sup>1</sup>, José Amparo Rodríguez García<sup>1</sup>, Enrique Martínez Peña<sup>1</sup>, Enrique Rocha Rangel<sup>1</sup>, Eddie Nahúm Armendáriz Mireles<sup>1</sup>, Karla Guadalupe Martínez González<sup>2</sup>, Héctor Chávez García<sup>2</sup>

Flores Vázquez, S. I., López Hernández, J., Rodríguez García, J. A., Martínez Peña, E., Rocha Rangel, E., Armendáriz Mireles, E. N., Martínez González, K. G., Chávez García, H. Detección de capacitores de tantalio de montaje superficial con conexiones marginales. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 35-40, enero-abril 2015.

#### RESUMEN

Los capacitores de tantalio de montaje superficial forman parte de una gran variedad de dispositivos electrónicos de uso masivo, como lo son los teléfonos móviles, televisores, tarjetas electrónicas, entre otros. Pueden presentar conexión marginal entre las uniones de sus elementos internos, lo que puede derivar en un mal funcionamiento o deterioro del dispositivo electrónico. En el presente trabajo se muestra un sistema capaz de detectar, de manera eficiente y eficaz, capacitores que presenten conexión marginal en diferentes porcentajes. Los resultados experimentales demuestran que es posible detectar conexiones marginales mediante la medición de temperatura en las terminales del capacitor operando bajo condiciones de estrés eléctrico.

#### ABSTRACT

Surface mount capacitors are part of a variety of widespread electronic devices such as mobile phones, televisions, electronic boards, etc. These capacitors may have marginal connection between the junctions of internal elements, which can lead to malfunction or damage to the electronic device. In

**Palabras clave:** capacitor, tantalio, montaje superficial, conexión marginal, detección.

**Keywords:** capacitor, tantalum, surface mount, marginal connection, detection.

Recibido: 26 de enero de 2014, aceptado: 22 de agosto de 2014

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Victoria.

<sup>2</sup> KEMET de México, Planta Victoria.

\* Autor para correspondencia: sfloresv@upv.edu.mx

this paper, a system capable of detecting a marginal connection at different percentages in capacitors efficiently and effectively is presented. Experimental results show that it is possible to detect marginal connections by measuring the temperature at the terminals of capacitor operating under electrical stress conditions.

#### INTRODUCCIÓN

Los capacitores son dispositivos pasivos constituidos por dos placas metálicas paralelas separadas entre sí por medio de un dieléctrico (aislante) que se emplean fundamentalmente en el almacenamiento de cargas eléctricas (Enríquez Harper, 1990). Pueden ser fabricados de diferentes formas y materiales, de lo cual dependerá el tamaño y la capacitancia del dispositivo. Nishino (1996) muestra una breve descripción de los materiales y técnicas utilizados para su fabricación, en donde resalta la creciente demanda de capacitores electrolíticos fabricados con tantalio o aluminio como base. Por su parte, un capacitor de tantalio de montaje superficial básicamente consiste en polvo del mencionado elemento químico prensado en forma de pastilla (ánodo), una estructura de MnO<sub>2</sub> (cátodo), el bastidor de conductores y el recubrimiento epoxi (Hahn y Paulsen, 2006). Debido a su delgada capa dieléctrica, un capacitor de tantalio puede tener alta capacitancia (almacenamiento de energía) en un volumen pequeño, característica que le proporciona una ventaja significativa en el diseño y desarrollo de circuitos eléctricos cuyas principales aplicaciones son en teléfonos móviles, tarjetas electrónicas, computadoras personales, electrónica automotriz, industria militar, etc. (Gill, 2012).

Los fabricantes de capacitores deben garantizar la calidad y confiabilidad de sus productos, logrando la satisfacción de sus clientes. Con este fin se deben realizar diferentes pruebas de calidad, en donde se verifica que los parámetros eléctricos de los capacitores se encuentren dentro de un margen aceptable para su venta. Dentro de los principales parámetros verificados se pueden mencionar la capacitancia (CAP), la resistencia en serie (ESR) y la corriente de fuga (*leakage*) (Qazi, 2014). Sin embargo, debido al diseño del cuerpo del capacitor pueden existir defectos mecánicos de fabricación que no se reflejen en la verificación de los parámetros eléctricos.

Existe el riesgo de presentarse fallas en el ensamble, como lo son los falsos contactos entre las terminales y el núcleo de tantalio conocidos como "conexiones marginales" (Vasina et al., 2002). Si estos dispositivos no son identificados y posteriormente segregados del proceso de fabricación, con seguridad provocarán el mal funcionamiento e inclusive el deterioro de los mismos al momento de ser integrados en los productos finales. Para el fabricante es muy importante verificar los capacitores haciendo uso de pruebas no destructivas y así minimizar costos de producción. Sin embargo, se recomienda hacer pruebas con el dispositivo montado sobre una aplicación y verificar desde la soldadura hasta sus entornos para discriminar posibles fallas por uso inadecuado. Además, es posible realizar una examinación externa en busca de fallas de ruptura por moldeo del material epóxico o incluso daño mecánico o térmico, entre otras. Una inspección interna es requerida cuando se buscan fallas en la construcción interna del capacitor como lo pueden ser los ánodos desalineados o las conexiones marginales. Estas pruebas típicamente hacen uso de estereomicroscopía para inspecciones externas y rayos X para inspecciones internas (Qazi, 2014).

No obstante todo este tipo de pruebas, capacitores defectuosos son comercializados al no ser posible hacer pruebas exhaustivas a todas las partes, lo que elevaría los costos de producción. Este tipo de pruebas sólo son aplicadas a todas las piezas cuando el cliente así lo demanda, por ejemplo, en aplicaciones militares. La incertidumbre sobre la confiabilidad de los dispositivos ha originado que en la actualidad se desarrollen técnicas de prueba en tiempo real que permitan prevenir o advertir de fallas debidas al mal funcionamiento o deterioro de los dispositivos utilizados (Bhargava et al., 2014). Por este

motivo, es deseable diseñar, construir e implementar dentro de las líneas de producción un sistema detector de capacitores de tantalio con conexión marginal (SIDEKOM), que identifique y segregue de manera eficiente y eficaz aquellos capacitores que presenten este tipo de falla. De esta manera se reducirán los costos y problemas debido a los daños generados por los dispositivos defectuosos y aumentarán los niveles de calidad y satisfacción del cliente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se enfoca en diseñar, desarrollar y validar a nivel laboratorio un sistema detector de conexiones marginales en capacitores de tantalio de montaje superficial (SIDEKOM) mediante la aplicación de estrés eléctrico y mediciones de temperatura.

Una conexión marginal implica que no existe una superficie de contacto completa entre el cátodo del capacitor y la terminal externa del dispositivo, lo cual aumentará la resistividad en la terminal negativa. Si bien la falta de contacto incrementa la resistencia, este incremento no es tan marcado como para ser detectado mediante pruebas de ESR. La cantidad de cargas que almacena un capacitor depende principalmente de la superficie de las placas conductoras que lo conforman y del grosor del dieléctrico, en donde otros factores como el ESR con valores dentro del estándar de calidad no son factores que afecten la capacidad del dispositivo para almacenar cargas. Esto quiere decir que para un lote de capacitores con exactamente la misma capacitancia se espera que todos los dispositivos almacenen la misma cantidad de carga en sus placas. Si el valor de ESR es el mismo en todos los capacitores también se espera que esta resistencia parasita disipe la misma cantidad de calor en todos los capacitores debido al efecto Joule, fenómeno que también se ha investigado en otras partes del capacitor, como lo es el dieléctrico (Kim et al., 2011).

Se sabe que cuando se presenta una conexión marginal se debe incrementar la resistencia serie y también sabemos que al cargar varios capacitores del mismo valor bajo las mismas condiciones de operación (voltaje-corriente), estos deben almacenar la misma cantidad de cargas en todo momento; lo cual implica que al cargar o descargar los capacitores se movilizarán las mismas cantidades de carga haciendo fluir corrientes iguales en las terminales de conexión, en donde por efecto Joule

habrá un incremento de temperatura mayor en los dispositivos con mayor resistividad en sus terminales de conexión. Según el porcentaje de conexión marginal será la cantidad de temperatura extra generada en las terminales de conexión comparada con la temperatura de capacitores sin fallas de conexión marginal.

Por otro lado, existe evidencia de que bajo ciertas condiciones es posible acelerar el proceso de prueba de fallas para capacitores de tantalio (Virkki et al., 2010). Es decir, se diseña un sistema de prueba que emula las condiciones de operación del producto donde comúnmente es utilizado el capacitor con el fin de acelerar el proceso de envejecimiento del dispositivo y verificar los mecanismos que puedan generar las fallas. La forma de acelerar este proceso generalmente consta de crear ambientes controlados donde se pueda manipular la temperatura, la humedad, los voltajes o las corrientes, siempre llevándolos a valores máximos tolerables para el dispositivo sin causar un daño irreversible. El objetivo del presente trabajo es poder acelerar el proceso de prueba y además evitar el deterioro del tiempo de vida de los capacitores bajo prueba. En la Figura 1 se muestra el esquema completo del SIDECOM propuesto, en el que se enmarcan las partes que conforman el sistema.

De acuerdo con la Figura 1, el capacitor en estudio debe montarse sobre un circuito de prueba, el cual aplica de manera controlada un voltaje que lo estresa eléctricamente en las terminales, sin sobrepasar las condiciones máximas de operación (de acuerdo a las especificaciones del fabricante)

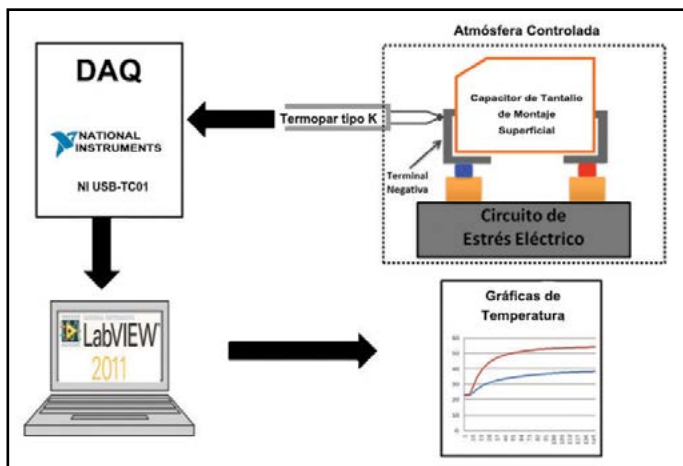


Figura 1. Sistema detector de conexiones marginales (SIDECOM).

para evitar disminuir el tiempo de vida o inclusive dañarlo. El estrés eléctrico provocará que el dispositivo presente un incremento de temperatura, la cual estará en relación con el porcentaje de unión marginal entre los elementos internos del capacitor. La medición de temperatura se realiza utilizando un termopar tipo K con un punto de contacto con el capacitor justamente en la primera sección de la terminal negativa que sobresale del encapsulado y así evitar pérdidas de calor por disipación. Esta etapa del proceso se realizó bajo condiciones de ambiente cerrado dentro del laboratorio de Electrónica de la Universidad Politécnica de Victoria para evitar mediciones erróneas por cambios de la temperatura ambiental o corrientes de aire que ventilen el calor disipado por el dispositivo.

La temperatura ambiental en cada prueba fue controlada para mantenerse en 23 °C, temperatura y ambiente similares a los utilizados dentro de una fábrica de capacitores. La señal de temperatura suministrada por el termopar es adquirida y procesada por un dispositivo de adquisición de datos de la marca National Instruments (NI USB-TC01), el cual está conectado a una PC en donde se grafican y almacenan las mediciones realizadas para su posterior análisis. El sistema de adquisición de datos integrado en la PC trabaja bajo el entorno de LabView de National Instruments (Versión 2011).

Para la realización del estudio se obtuvieron muestras de capacitores de una línea de producción, de las cuales el fabricante identificó por inspección de rayos X algunas piezas con conexión marginal y otras sin ella. Debe hacerse notar que dicha inspección es un proceso veloz realizado por un operador humano que utiliza la percepción visual como criterio para determinar si la imagen de rayos X de una pieza muestra una conexión marginal o no. En la Tabla 1 se denotan las principales características de las muestras obtenidas.

Tabla 1. Características específicas de los capacitores bajo prueba

Capacitancia	10uF
Tolerancia	+/-10%
Voltaje Nominal	10v
Aplicación	Propósito General
ESR	3.3 Ohm
Corriente de Fuga	1uA

Para lograr la detección de la conexión marginal es necesario que cada prueba se desarrolle durante 180 segundos (tiempo suficiente para obtener una medición estable de la temperatura) mediante un voltaje igual al máximo tolerable por la tecnología de fabricación que estrese eléctricamente al capacitor. Se realizaron varias pruebas por muestra para comprobar que el método es funcional y reproducible al analizar estadísticamente los datos obtenidos de las diferentes pruebas y obtener curvas representativas del calentamiento en función del tiempo de prueba.

## RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de la medición de la temperatura en la terminal negativa de 10 capacitores examinados mediante rayos X, en donde cinco de ellos fueron catalogados con conexión marginal y otros cinco sin falla. Además se debe considerar que los 10 capacitores pasan las pruebas de calidad de CAP, ESR y *leakage*, entre otras. La Figura 2 muestra de manera gráfica las curvas de temperatura obtenidas de dos capacitores analizados en el SIDECOM, con y sin conexión marginal, respectivamente. Se realizaron cinco pruebas para cada capacitor con el objetivo de validar los resultados obtenidos y garantizar que el experimento fuera reproducible. En el caso del capacitor con conexión marginal (curvas rojas) alcanzan un máximo alrededor de los 60 °C y para el capacitor sin falla (curvas azules) las temperaturas se elevan alrededor de los 32 °C. Con esto se corrobora

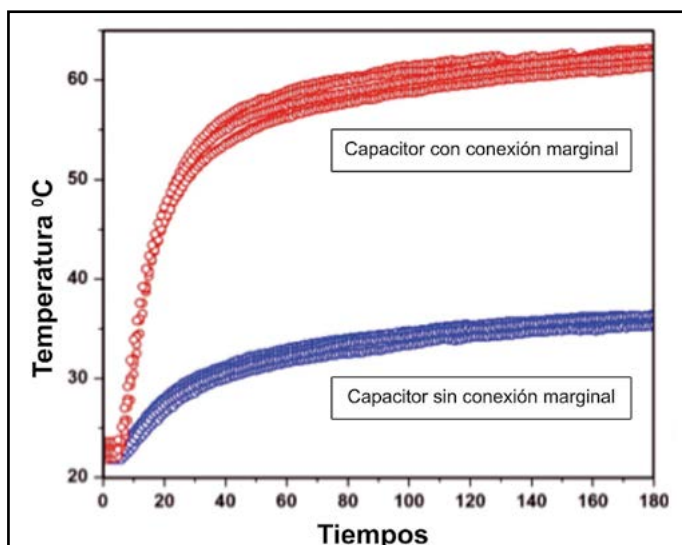


Figura 2. Respuesta térmica de los capacitores analizados en el SIDECOM.

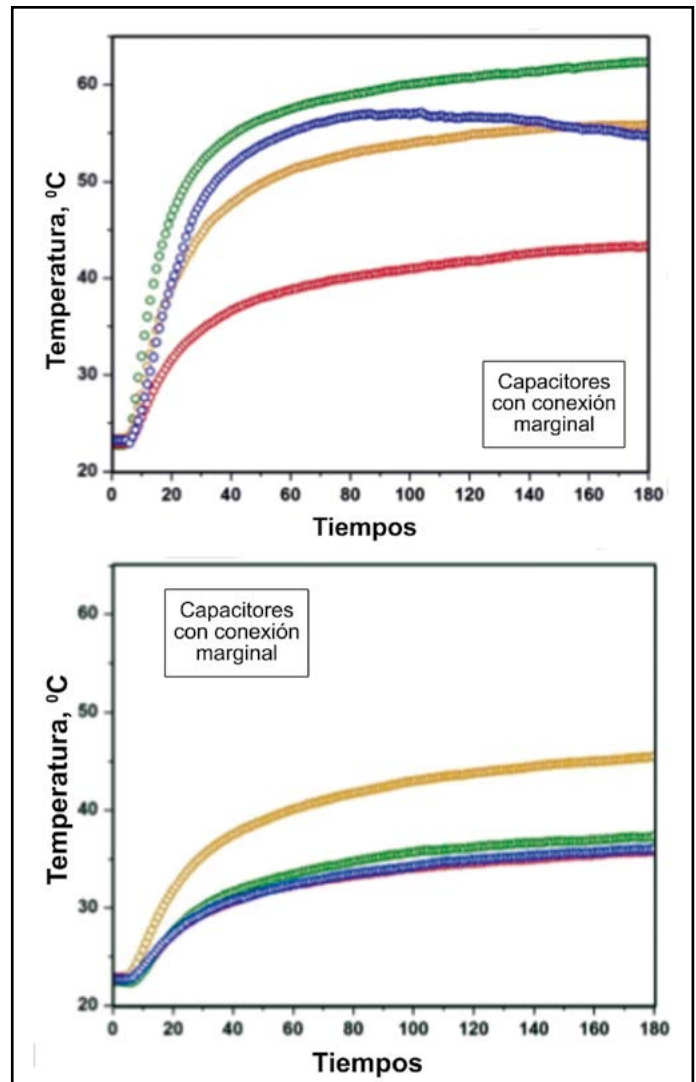


Figura 3. Curvas de temperatura promedio de las pruebas sobre diferentes muestras de capacitores.

que las condiciones ambientales y el sistema SIDECOM son confiables para realizar la prueba de las demás piezas.

La Figura 3 presenta la comparación gráfica entre las curvas de capacitores con y sin conexión marginal. Cada curva corresponde al promedio de cinco pruebas realizadas sobre cada uno de los capacitores analizados.

## DISCUSIÓN

Al analizar las curvas de la Figura 2 correspondientes a los capacitores sin conexión marginal (color azul) se puede observar que las cinco pruebas presentaron la misma tendencia y se registraron

temperaturas máximas entre los 30 °C y 35 °C. Para el caso de las muestras con conexión marginal (color rojo), las cinco curvas presentaron pendientes más pronunciadas en los primeros instantes de las pruebas y alcanzaron temperaturas máximas entre los 60 °C y los 63 °C. Con estos resultados se puede demostrar un comportamiento térmico diferente entre los capacitores con y sin conexión marginal.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 3, dentro del conjunto de muestras sin conexión marginal se observa que un capacitor se encuentra fuera del rango de temperatura por encima de la promedio (curva color amarillo). Esto se puede interpretar como que, a pesar de las inspecciones de calidad realizadas a este dispositivo, presenta cierto porcentaje de marginalidad (desunión) entre las soldaduras de sus elementos internos, lo que se refleja en un exceso de temperatura en respuesta a un flujo de corriente. Un caso similar se puede encontrar en las curvas del conjunto de muestras con conexión marginal, en específico la curva de color rojo. Se observa que dicha curva se encuentra fuera del rango de temperatura máxima alcanzada y presenta una temperatura menor que la promedio. Esto se puede interpretar como que, a pesar de haber sido clasificado como un capacitor con conexión marginal (imagen de rayos X) la falla se presenta en un bajo porcentaje.

Sin embargo, para solventar estas afirmaciones es necesario analizar mayor cantidad de muestras para determinar las zonas de clasificación de

capacitores. En este mismo conjunto de pruebas se observa que la curva azul alcanza el rango de temperaturas elevadas características de una conexión marginal pero presenta una respuesta diferente a las demás, primero alcanza un máximo de temperatura para después iniciar un descenso de la misma. El dispositivo SIDECOM no explica la naturaleza de este fenómeno, pero es posible que se genere al rebasar el voltaje de ruptura del dieléctrico y lo dañe momentáneamente, mientras se efectúa un proceso de reconstrucción llamado *self-healing* (Fritzler et al., 2014). El *self-healing* o autocurado implica un daño en el dieléctrico, por lo que durante el tiempo que esté presente el daño habrá una disminución drástica de la resistencia y una menor oposición al flujo de corriente. Es decir, a menor resistencia menor disipación de calor debido al efecto Joule causado en el dieléctrico (Kim et al., 2011).

Los resultados presentados en la Figura 3 fueron promediados para generar las curvas de la Figura 4 y así poder clasificar los capacitores con o sin este tipo de falla interna mediante una herramienta visual. Al observar estas curvas está claro que se puede establecer un valor intermedio como referencia o límite entre partes buenas o defectuosas o, visto de otra forma, como zonas de estabilidad o clasificación de capacitores con y sin conexión marginal. Bajo esta perspectiva, los resultados obtenidos muestran ser congruentes con los resultados arrojados por un análisis de rayos X. Es decir, aquellos capacitores donde la imagen de rayos X evidenció una conexión

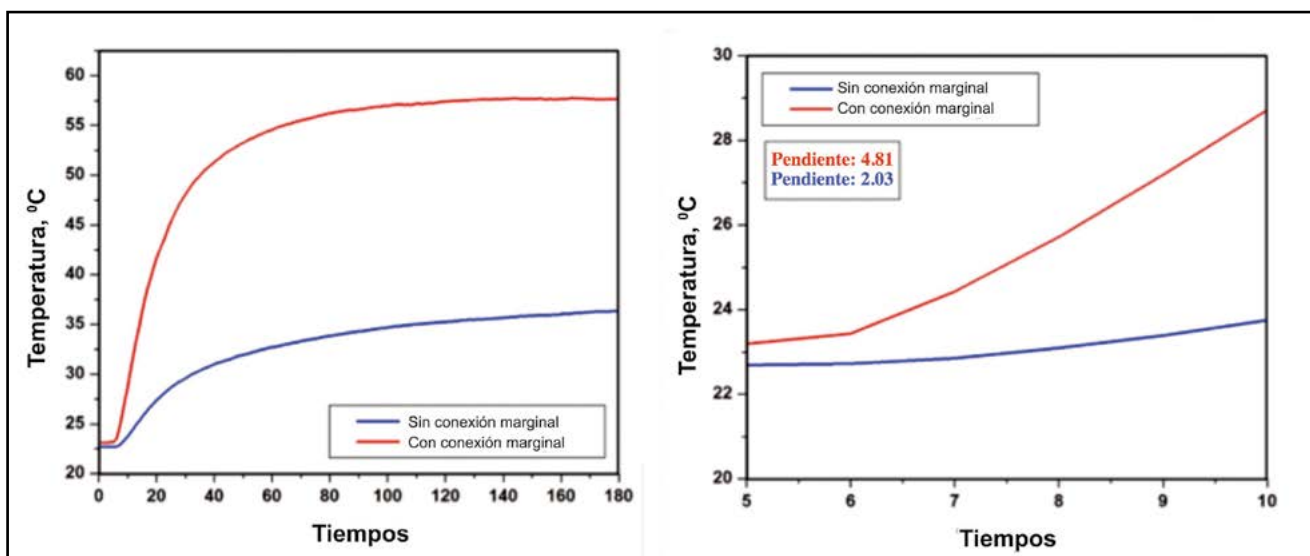


Figura 4. Curvas de temperatura promedio de todas las pruebas realizadas sobre los capacitores.

marginal también elevaron su temperatura a niveles considerados como causa de una conexión marginal al ser probados con el SIDECOM. Se sabe que un proceso industrial maneja altas velocidades de producción, un capacitor debe producirse en segundos.

Si lo que se desea es una discriminación de capacitores defectuosos sobre la línea de producción se debe garantizar que el tiempo de prueba por pieza se ajuste a los tiempos de producción del fabricante. La medición de una temperatura estable con el SIDECOM requiere de un periodo de tiempo muy grande comparado con los requeridos por los procesos de fabricación. Sin embargo, si se observa de nuevo la Figura 4, se notará que en los primeros segundos de la prueba se observa que el incremento de temperatura para capacitores defectuosos es mayor que en aquellos sin fallas. Esta característica puede hacer posible que el sistema SIDECOM sea utilizable dentro de una línea de producción al medir

pendientes de cambio de temperatura en vez de temperaturas máximas.

## CONCLUSIONES

Es posible la detección de conexiones marginales en capacitores de tantalio de montaje superficial mediante la medición de la temperatura en sus terminales cuando se les induce estrés eléctrico controlado. Los resultados obtenidos se pueden utilizar para construir gráficos de aceptación que permitirán identificar y posteriormente segregar aquellos capacitores que presenten conexión marginal. SIDECOM es un sistema propuesto que demostró ser viable para su implementación industrial, debido a su velocidad de respuesta, empleo de pruebas no destructivas y generación de resultados congruentes con los obtenidos por un análisis de rayos X. La eficiencia, eficacia y la automatización de SIDECOM son áreas de oportunidad factibles de ser mejoradas.

## LITERATURA CITADA

- BHARGAVA, C. et al. Failure Prediction and Health Prognostics of Electronic Components: A Review. *Proceedings of the 2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS)*, 1-5, 2014.
- ENRÍQUEZ HARPER, G. *Fundamentos de electricidad, dispositivos y circuitos en corriente continua*. Editorial Limusa, 1990.
- FRITZLER, T. et al. Scintillation Conditioning of Tantalum Capacitors With Manganese Dioxide Cathodes. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 14(2): 630-638, 2014.
- GILL, J. *Basic Tantalum Capacitor Technology*. Paignton, England: AVX Ltd., Tantalum Division, 2012.
- HAHN, R. y PAULSEN, J. Low-Impedance Ta Capacitors to Serve the Needs of the Electronics Industry. *20th Passive Components Symposium; CARTS-EUROPE 2006, CARTS EUROPE*, 20: 129-138, 2006.
- KIM, Y. et al. Nonlinear Phenomena in Multiferroic Nanocapacitors: Joule Heating and Electromechanical Effects. *ACS Nano*, 5(11): 9104-9112, 2011.
- NISHINO, A. Capacitors: Operating Principles, Current Market and Technical Trends. *Journal of Power Sources*, 60: 137-147, 1996.
- VASINA, P. et al. Failure Modes of Tantalum Capacitor Made from Different Technologies. *Microelectronics Reliability*, 42(6): 849-854, 2002.
- VIRKKI, J. et al. Accelerated Testing for Failures of Tantalum Capacitors. *Microelectronics Reliability*, 50: 217-219, 2010.

### De páginas electrónicas

- QAZI, J. An Overview of Failure Analysis of Tantalum Capacitors. *Electronic Device Failure Analysis*, ASM International, 16(2): 18-23, 2014. Recuperado de <http://www.kemet.com/Lists/TechnicalArticles/Attachments/199/2014%20EDFA%20Tantalum%20Cap%20Failure%20Analysis%20Review%20by%20Javaid%20Qazi.pdf>