

## La corrosión atmosférica en la industria electrónica de Mexicali evaluada con gráficos ABC

### Atmospheric corrosion in the electronic industry of Mexicali evaluated by ABC graphs

Gustavo López Badilla<sup>1\*</sup>, Arcelia Gómez Rodríguez<sup>2</sup>, Elizabeth Romero Samaniego<sup>3</sup>, Sandra Luz Toledo Perea<sup>3</sup>, Julio César Castillo Moreno<sup>4</sup>, Pamela Gómez Onod<sup>4</sup>, Tomás Rosendo Félix Domínguez<sup>4</sup>

López Badilla, G., Gómez Rodríguez, A., Romero Samaniego, E., Toledo Perea, S. L., Castillo Moreno, J. C., Gómez Onod, P., Félix Domínguez, T. R. La corrosión atmosférica en la industria electrónica de Mexicali evaluada con gráficos ABC. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 41-46, enero-abril 2015.

#### RESUMEN

La industria electrónica ha crecido en los últimos 50 años, sobre todo en los países desarrollados, y ha significado una contribución importante a su economía. Estas empresas han prosperado particularmente en Mexicali, Baja California, que se ubica en el noroeste de México. En la industria electrónica de esta ciudad los equipos electrónicos industriales disminuyen su nivel de operación por la exposición a la corrosión atmosférica y generan fallas eléctricas de manera continua o en ciertos periodos. Con base en esto se desarrolló un estudio para determinar las principales causas de la reducción del rendimiento operativo de los equipos electrónicos mediante los gráficos ABC como herramienta de análisis. El rendimiento operativo fue menor en invierno, con índices de humedad relativa y temperatura mayor al 70% y 25 °C, así como el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) que reaccionan con metales utilizados

**Palabras clave:** corrosión atmosférica, industria electrónica, gráficos ABC, factores climáticos, contaminantes del aire, equipos electrónicos industriales.

**Keywords:** atmospheric corrosion, electronic industry, ABC graphics, climatic factors, air pollutants, industrial electronic equipments.

**Recibido:** 14 de noviembre de 2013, **aceptado:** 25 de julio de 2014

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico de Mexicali.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Económicas Administrativas, Instituto Tecnológico de Mexicali.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Ensenada.

<sup>4</sup> Carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, Instituto Tecnológico de Mexicali.

\* Autor para correspondencia: glopezbadilla@yahoo.com

en la industria electrónica y promueven rápidamente la corrosión.

#### ABSTRACT

Electronic industry has grown in the last 50 years, especially in developed countries, contributing to its economy. Particularly in Baja California, located in the northwest of Mexico, these companies have prospered in Mexicali. In the electronic industry of this city, industrial electronic equipments reduce their operating level by the exposure to the atmospheric corrosion, generating electrical failures continuously or at certain moments. Based on this, a study to organize and then determine the main causes of the reduction of the operating yielding of the electronic equipments, using the ABC graphics was made. Operating yielding was lower in winter at indices of relative humidity and temperature higher than 70% and 25 °C and the concentrations of sulfur that exceeded the air quality standard, occurring the corrosion phenomenon.

#### INTRODUCCIÓN

La industria electrónica representa gran parte del sector productivo a nivel mundial y por eso es importante en la economía de cada país con empresas que se dedican a la manufactura de artículos electrónicos (López Badilla et al., 2011). En este tipo de empresas se utilizan herramientas con métodos estadísticos como los gráficos ABC para análisis de control de inventarios de partes de maquinaria industrial y materia prima, además de evaluaciones del rendimiento y productivo

(López Badilla et al., 2007). En el presente estudio se plantea el uso de esta herramienta para análisis de organización de causas de fallas eléctricas originadas por la corrosión. Los equipos y sistemas electrónicos utilizados en empresas contienen gran variedad de microdispositivos electrónicos que operan. Si la funcionalidad de algunos de estos componentes electrónicos disminuye, se afectan los equipos industriales y disminuye su rendimiento operativo (Chongchen, 2003; López Badilla, 2008).

Los sulfuros que reaccionan con superficies metálicas de conductividad eléctrica de equipos industriales penetran por orificios, rendijas y sistemas de aires acondicionados e incluso, en ocasiones, por los filtros que están colocados en las construcciones de las empresas (Veleva et al., 2008; López Badilla et al., 2011). Debido a esto se genera la corrosión y se reduce el tiempo de vida operativo de los equipos industriales, que dejan de funcionar antes de lo previsto por el proveedor (Shank y Govindarajan, 2003). Debido a ello se originan pérdidas económicas, que en Estados Unidos se estiman hasta en 276 billones de dólares al año (López Badilla, 2008) en las plantas industriales, y una gran preocupación al personal operativo, especializado y gerencial. Es muy común en empresas de esta región utilizar gráficos ABC (Kaplan y Cooper, 2000).

### Corrosión atmosférica en interiores de la industria electrónica

A niveles mayores de 70% y 25 °C de humedad relativa (HR) y temperatura, respectivamente, se inicia el proceso de corrosión en interiores de plantas industriales de ambientes áridos como lo es la ciudad de Mexicali. Esto genera un mayor cambio en el estado de valencia de los metales usados en dispositivos electrónicos de equipos industriales activos que se deterioran más rápido (Moncmanova, 2007). La corrosión es causada por la reacción química de la exposición a metales por sulfuros, NOx, amoníaco y compuestos orgánicos principalmente; y los sulfuros son los que generan un efecto mayor en el deterioro de los materiales metálicos (López Badilla et al., 2011).

En el proceso de corrosión los materiales metálicos sufren modificaciones que cambian sus propiedades fisicoquímicas. Un factor que influye para que ocurran las fallas eléctricas de equipos industriales es que los índices de calidad del aire (ICA) de contaminantes del aire como el sulfuro son superados cada año. Dichos índices fueron

propuestos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) de México y la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos (López Badilla, 2008). La formación de películas en metales incrementa su resistencia y esto genera falta de conductividad eléctrica y fallas eléctricas.

### Gráficos ABC

Los gráficos ABC son una importante herramienta en áreas de manufactura de la industria electrónica con el uso de métodos estadísticos que proporcionan información relevante de sucesos de interés en operaciones (Cartier, 2004). La información obtenida se concentra en secciones por niveles de porcentajes y se muestran los tres principales tipos de grupos de los datos evaluados. Estos datos pueden ser parte de las letras del gráfico: A, que es una sección del gráfico; B, un área de la misma representación gráfica; y C, como último conjunto de datos analizados. Al gráfico ABC se le denomina también *distribución ABC* o *representación gráfica de la regla 80/20*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La generación de corrosión en interiores de la industria electrónica de Mexicali preocupa al personal operativo especializado, directivo y gerencial por originar pérdidas económicas. Con base en diversas situaciones problemáticas presentadas en una empresa de esta ciudad se desarrolló un estudio para determinar de manera específica las causas principales del bajo rendimiento operativo de equipos industriales de la compañía donde se realizó la investigación. Una de las herramientas principales fue el uso del gráfico ABC para obtener diversas representaciones gráficas, con el cual se organizaron las causas principales del bajo rendimiento operativo. La investigación se realizó en el periodo comprendido desde enero de 2010 hasta diciembre de 2011 en tres etapas:

- 1) Análisis del historial de fallas eléctricas de 10 equipos industriales por periodos horarios, diarios, semanales, mensuales, estacionales y anuales, por medio de un programa de cómputo industrial llamado Scandia enlazado a una computadora para desarrollar de manera remota e instantánea las evaluaciones con el programa MatLab.
- 2) Se evaluaron los niveles de HR y temperatura con un higrómetro especializado que contiene un termómetro digital Mendity Instruments Co. en periodos horarios, diarios, semanales, mensuales,

estacionales y anuales. En conjunto se utilizó un instrumento de Gasman N-15 para monitorear los sulfuros en los mismos periodos, y la velocidad de corrosión con el método gravimétrico para determinar los niveles de corrosividad con los estándares ASTM (2000) e ISO (2005).

- 3) Se determinaron las principales causas del bajo rendimiento operativo de los equipos industriales para ordenarlas de acuerdo al nivel de intensidad y ocurrencia y se realizó un análisis de las superficies metálicas dañadas por la corrosión con la técnica de microscopía de barrido electrónico.

## RESULTADOS

### Evaluación de fallas eléctricas

Los periodos del estudio en los que se presentaron mayor cantidad de fallas eléctricas de los equipos industriales fueron, durante el verano, en julio y agosto; y en el invierno, en diciembre y enero. Esto ocurrió así por el efecto de la condensación, ya que en verano se forma la película de agua visible o invisible y se evapora más rápido que en el periodo invernal. Las Tablas 1, 2 y 3 muestran el análisis de acuerdo a las causas en orden decreciente de intensidad para el análisis horario, diario, semanal, mensual, estacional y anual. Tanto en la máquina axial como en la radial se asemejaron las causas de su defectuosa inoperatividad, solamente difiere la manera de colocación de componentes electrónicos.

En las Tablas 1, 2 y 3 se presentaron los porcentajes mayores de las fallas eléctricas en el turno matutino; los menores índices se encontraron en el horario vespertino. Esto indica que en el transcurso de la noche y madrugada se generaba el efecto de la condensación y con el incremento de

al menos 1 °C a 2 °C por la mañana se originaba la corrosión en las conexiones y conectores eléctricos de los equipos y sistemas eléctricos y electrónicos de la planta industrial analizada. En las evaluaciones diarias se presentaron las de mayor escala en días de inicio y final de semana, donde se observó que el fenómeno electroquímico se presentó de manera continua en estos días.

A nivel semanal, los periodos con mayores índices de fallas eléctricas fueron en las semanas correspondientes a los meses de enero, febrero y noviembre y a los meses de julio y agosto, en donde los niveles de HR fueron mayores al 80% y menores a 25 °C de temperatura. Lo mismo ocurrió al analizar en el periodo mensual, en el que la época invernal fue clave en la generación de fallas eléctricas de la maquinaria industrial y a nivel anual 2011 fue el de mayores índices, debido a que cada año en la ciudad de Mexicali se observa al menos el cambio de un pequeño porcentaje desde 1% hasta 3% de HR y un incremento en verano y decremento en invierno de al menos un 1 °C en la temperatura. Estas pequeñas variaciones modifican las atmósferas exteriores de las empresas y hacen variar sus ambientes de interior.

Los datos de las tablas 1, 2 y 3 son de importancia para conocer el rendimiento de los equipos industriales. Los índices de fallas eléctricas ayudan a conocer los periodos con mayor incidencia y a tomar medidas de prevención. Esto aunado al efecto negativo de los niveles de calidad del aire que aumentaron cada año y generan ambientes agresivos en los interiores de las empresas con sus consecuentes pérdidas económicas.

**Tabla 1.** Evaluación de fallas eléctricas en máquinas de sección axial (2010-2011)

Causas de inadecuada operatividad de máquina axial	Periodos					
	Horario	Diario	Semanal	Mensual	Estacional	Anual
Inadecuada alineación en instalación principal de componente electrónico	1 (33%) 10 a.m.	1 (31%) Jueves	1 (30%) Semana 3	1 (34%) enero	1 (33%) invierno	1 (30%) 2011
Deficiencia en suministro de aire comprimido del sistema electro-neumático de la máquina	2 (26%) 12 a.m.	2 (25%) Lunes	2 (25%) Semana 49	2 (26%) diciembre	2 (28%) invierno	2 (25%) 2011
Operación defectuosa del alimentador de componentes electrónicos por falta de ajuste	3 (18%) 5 p.m.	3 (21%) Martes	3 (21%) Semana 7	3 (18%) febrero	3 (21%) invierno	3 (22%) 2011
Falta de comunicación de la computadora con el programa de operación con la máquina	4 (13%) 2 p.m.	4 (15%) Jueves	4 (13%) Semana 30	4 (12%) agosto	4 (11%) verano	4 (14%) 2010
Desajuste en los sistemas de detección de componentes mal instalados	5 (10%) 4 p.m.	5 (08%) Viernes	5 (11%) Semana 25	5 (10%) julio	5 (7%) <sup>^</sup> verano	5 (9%) 2010

**Tabla 2.** Evaluación de fallas eléctricas en máquinas de sección radial (2010-2011)

Causas de inadecuada operatividad de máquina radial	Periodos					
	Horario	Diario	Semanal	Mensual	Estacional	Anual
Inadecuada alineación de parte principal de instalación de componente electrónico	1 (31%) 11 a.m.	1 (32%) jueves	1 (29%) Semana 4	1 (30%) enero	1 (31%) invierno	1 (29%) 2011
Deficiencia en suministro de aire comprimido del sistema electro-neumático de la máquina	2 (25%) 12 p.m.	2 (23%) martes	2 (24%) Semana 47	2 (26%) diciembre	2 (26%) invierno	2 (26%) 2011
Operación defectuosa del alimentador de componentes electrónicos por falta de ajuste	3 (20%) 3 p.m.	3 (19%) martes	3 (21%) Semana 8	3 (20%) febrero	3 (20%) invierno	3 (20%) 2011
Falta de comunicación de la computadora con el programa de operación con la máquina	4 (13%) 2 p.m.	4 (15%) viernes	4 (16%) Semana 29	4 (13%) agosto	4 (15%) verano	4 (15%) 2010
Desajuste en los sistemas de detección de componentes mal instalados	5 (11%) 5 p.m.	5 (11%) viernes	5 (10%) Semana 26	5 (11%) julio	5 (8%) <sup>^</sup> verano	5 (10%) 2010

**Tabla 3.** Evaluación de fallas eléctricas en máquinas de prueba eléctrica (2010-2011)

Causas de inadecuada operatividad de máquina radial	Periodos					
	Horario	Diario	Semanal	Mensual	Estacional	Anual
Componente faltante en tablero no detectado por el equipo de prueba eléctrica	1 (30%) 10 a.m.	1 (31%) jueves	1 (29%) Semana 5	1 (31%) febrero	1 (30%) invierno	1 (29%) 2011
Comunicación inadecuada del equipo hacia la computadora y no detecta posición adecuada de componentes en el tablero	2 (24%) 11 a.m.	2 (24%) martes	2 (25%) Semana 48	2 (25%) enero	2 (25%) invierno	2 (25%) 2011
Información errónea en equipo de prueba del valor adecuado de componentes instalados en el tablero	3 (19%) 4 p.m.	3 (18%) lunes	3 (20%) Semana 9	3 (19%) diciembre	3 (21%) invierno	3 (19%) 2011
Bloqueo del programa en equipo de prueba por baja conductividad eléctrica y necesario volver a encender sistema de programación	4 (15%) 3 p.m.	4 (15%) viernes	4 (17%) Semana 29	4 (14%) julio	4 (15%) verano	4 (16%) 2010
Plantilla de detección de componentes instalados en el tablero con defectos causaba confusión en la programación	5 (12%) 5 p.m.	5 (12%) jueves	5 (9%) Semana 27	5 (11%) agosto	5 (9%) <sup>^</sup> verano	5 (11%) 2010

### Análisis con gráficos ABC

Las evaluaciones se realizaron con gráficos ABC indicando los principales tipos de causas de fallas eléctricas en la maquinaria industrial. La Figura 1 indica las zonas del gráfico A, B y C, con los tres primeros tipos de FE en el 44% que es la región A, después la zona B, aunada a la A, de 66%; y finaliza el análisis con el área C, que representa una diferencia de la zona anterior al final de 34%. La Figura 1 es parte de la evaluación de la máquina radial en el periodo horario, en donde se observa que los tres primeros tipos de fallas eléctricas representan el 44%, que es la zona A, después la región B que alcanza el 69% y, por último, la zona C, con la que se llega al 100%. La Figura 2 presenta índices porcentuales de la máquina radial en el periodo diario; el 45% en la zona A, del 68% en la B y totaliza el 100% la región C, que indica que al igual que los gráficos anteriores los tres

primeros tipos de FE representan aproximadamente el 70%.

La Figura 2 es parte del análisis de la máquina radial en el periodo mensual mostrando niveles porcentuales del 44% en la zona A, 70% en la región B y el área C con 100%. En éste gráfico se contemplan las diferencias entre zonas para determinar cuál de los cinco tipos de fallas eléctricas evaluados se pueden valorar de manera rápida y fácil para ir eliminando poco a poco las FE que ocasionen la preocupación de todo el personal que labora en esta empresa. Se realizaron evaluaciones para la época invernal en cada año del estudio y en la máquina axial, por ser en donde más se presentaban las FE. El análisis en la Figura 3 muestra los índices porcentuales de la máquina radial con una evaluación semanal, siendo en la región A 47%, la región B 71% y el área C que conlleva al 100%.

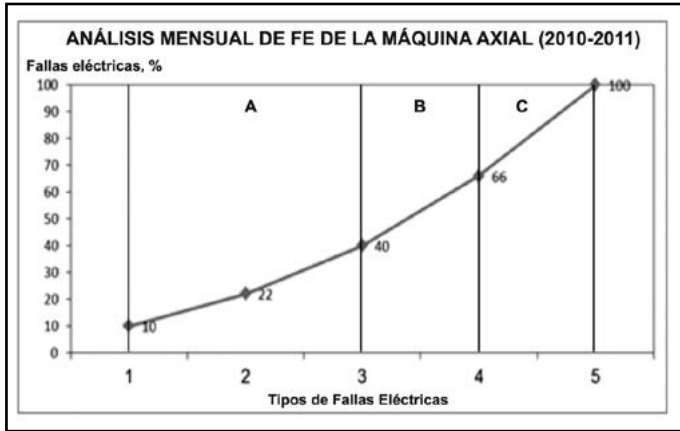


Figura 1. Evaluación mensual de las FE generadas en la máquina axial (2010-2011).

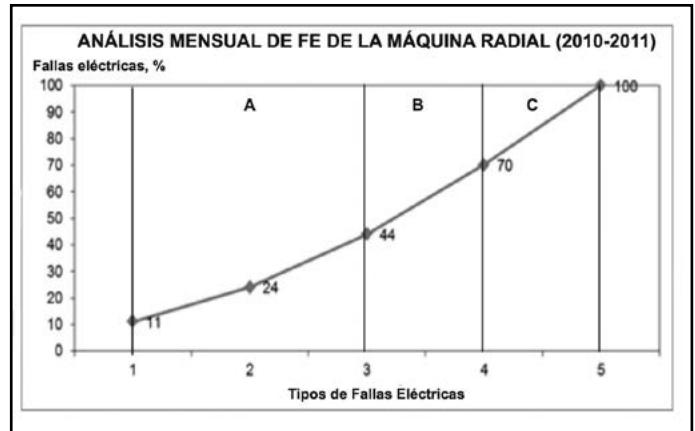


Figura 2. Evaluación mensual de las FE generadas en la máquina radial (2010-2011).

Una vez elaboradas las evaluaciones con los gráficos ABC se procedió a realizar un análisis de correlación de las variables de clima, fallas eléctricas y velocidad de corrosión (VC), que indica el grado de deterioro de las conexiones y conectores eléctricos de los equipos y sistemas electrónicos de la industria electrónica.

### Análisis de microscopía

Los agentes contaminantes que se adhirieron a las superficies metálicas generaron la corrosión y sus porcentajes se obtuvieron mediante un análisis a nivel microscópico en donde se observa el deterioro en las microfotografías (Figura 4). La Figura 4a muestra en tonalidad clara el daño en las conexiones eléctricas de los equipos electrónicos en la época de verano y en la Figura 4b se observa en tonalidad oscura para el invierno, ello debido a la presencia de humedad en mayor cantidad de ocasiones. Este análisis describe con detalle lo que ocurre a escala microscópica.

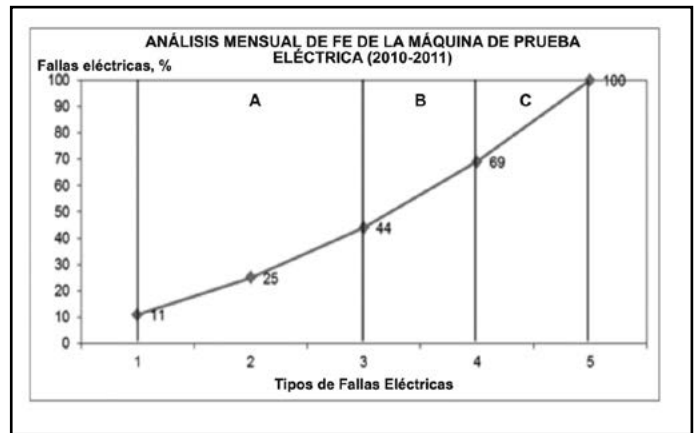


Figura 3. Evaluación mensual de las FE generadas en la máquina de prueba eléctrica (2010-2011).

## DISCUSIÓN

La presencia de corrosión en equipos industriales de la industria electrónica de Mexicali origina su inadecuada operación con fallas eléctricas. Esto tiene como consecuencia la disminución de operatividad y en ocasiones la entrega tardía de los productos a los clientes, lo que podría ocasionar la posibilidad de pérdida de los usuarios. Una de las herramientas que ayudan a determinar las causas de una diversidad de factores en situaciones problemáticas son los gráficos ABC, al organizar los principales factores con efecto negativo y mostrar las que se pueden resolver de manera inmediata

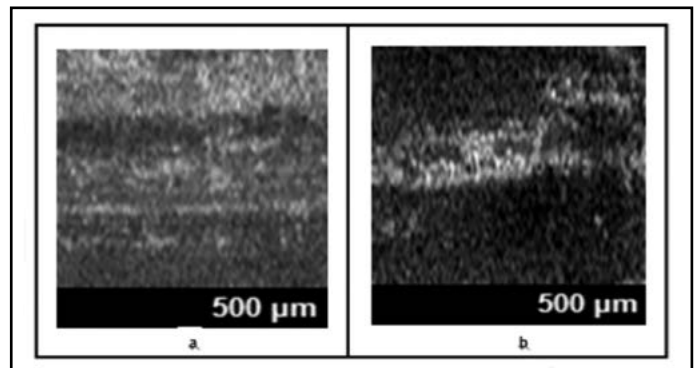


Figura 4. Microfotografía de deterioro de conexiones eléctricas de equipos industriales en la época de (a) verano y (b) invierno.

para reducir o eliminar las causas principales. De acuerdo a análisis con los gráficos ABC, las fallas eléctricas (FE) con mayores niveles de incidencia y de mayor preocupación para el personal de la empresa fueron los tres primeros datos de cada tabla,

donde se indicaron los porcentajes. Cabe señalar que con base en las evaluaciones con los gráficos ABC se presentaron otras FE en menor escala y se tomaron solo estas por ser las de mayor ocurrencia y las indicadas por la compañía para ser evaluadas y su información organizada con base en tablas y gráficas.

## CONCLUSIONES

El uso de gráficos ABC en los procesos de manufactura de la industria electrónica es parte fundamental en la detección de causas de paros de actividades que tanto preocupan al personal

de este tipo de plantas industriales. En este estudio se identificaron las opciones más importantes de lo que originaba el bajo rendimiento operativo de la maquinaria industrial de la empresa que permitió realizar la investigación. El efecto de la corrosión en el deterioro de las conexiones y conectores eléctricos de equipos y sistemas eléctricos y electrónicos de esta compañía fue un aspecto importante en la generación de fallas eléctricas. Esto ocasionó que en ciertos periodos horarios, diarios, semanales, mensuales, estacionales y anuales se presentaran las FE con mayor incidencia, lo que mantenía alerta al personal especializado y gerencial, pero descuidaban otras operaciones que debían realizar.

## LITERATURA CITADA

- ASTM Analysis Standards Techniques of Measurements, 2000.
- CARTIER, E. N. El costeo basado en actividades y la teoría del costo, 11, 1994.
- CHONGCHEN, X. Corrosion in Microelectronics. En *Partial Fulfillment of MatE 234*, 2003.
- ISO 11844-2. Corrosion of metals and alloys-Classification of low corrosivity of indoor atmospheres-Determination and estimation attack in indoor atmospheres. Geneva, ISO: 2005.
- KAPLAN, R. S. y COOPER, R. *Gráficos ABC: costo y efecto*. España: Editorial Gestión, 2000.
- LÓPEZ BADILLA, G. *Caracterización de la corrosión en materiales metálicos de la industria electrónica en Mexicali*, B. C. Tesis de Doctorado, 2008.
- LÓPEZ BADILLA, G. et al. Análisis de EEA en la corrosión de cobre utilizado en la industria electrónica de ambientes áridos y marinos. *Nova Scientia*, 4(7 noviembre-abril): 1-16, 2011.
- LÓPEZ BADILLA, G. et al. Corrosion of metals at indoor conditions in the electronics manufacturing industry. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 54(6): 354-359, 2007.
- MONCMANOVA, A. *Advances in Architecture Series: Environmental Deterioration of Materials* (pp 108-112). WITPress, 2007.
- SHANK, T. y GOVINDARAJAN, V. *Gráficos ABC: el alto costo de producir*. Trillas, 2003.
- VELEVA, L. et al. Atmospheric corrosion of electro-electronics metals in urban desert simulated indoor environment. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 43(2): 149-155, 2008.