

Revista Electrónica Nova Scientia

Análisis de EEA en la corrosión de cobre utilizado en la industria electrónica de ambientes áridos y marinos

Analysis of AES in the corrosion of copper used in the electronics industry of arid and marine environments

**Gustavo López-Badilla¹, Hugo Tiznado-Vázquez² y Gerardo
Soto-Herrera²**

¹ UNIVER, Plantel Oriente, Mexicali, Baja California, México

² Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de
México, Ensenada, B.C. México

México

Gustavo López-Badilla. Calzada Manuel Gómez Mo
rín No. 2000, Col. Rancho La Bodega, 21379, Tel/Fax 016868416098. E-Mail: gLopezbadilla@yahoo.com

Resumen

El proceso de oxidación (PO) que ocurre en superficies de cobre (Cu), de conexiones y conectores eléctricos de equipos electrónicos, instalados en la industria electrónica del noroeste de México, es un factor importante para determinar la velocidad de corrosión (VC) de este metal. La VC obtenida de la instalación de probetas metálicas de cobre en empresas, una en Ensenada (ambiente marino) que manufactura videojuegos, y una en Mexicali (zona árida), que fabrica computadoras personales; indicaron el grado de deterioro del Cu. La VC en cada ciudad fue determinada por el método gravimétrico, y se incrementaba o mantenía conforme al tipo de películas delgadas formadas en los metales: películas porosas y no porosas. Se realizó una correlación de la VC con datos de sulfatos (SO_x) y cloruros (Cl^-), obtenidos con la técnica de platos de sulfatación (TPS) y el método de la vela húmeda (MVH). Los análisis de VC en ambas ciudades, mostro una representación casi lineal en Mexicali, indicando la VC aumentando rápidamente y en Ensenada una curva parabólica, con un incremento lento. Se caracterizaron productos de corrosión por microscopía electrónica de barrido (MBE) y las películas de Cu formados con la técnica de espectroscopía de electrones Auger (EEA), representando los agentes contaminantes que reaccionaron con la superficie de cobre en cada ciudad. Los perfiles de análisis de profundidad, muestran incrementos y decrementos de carbono, oxígeno, sulfatos, cloruros y cobre, respecto a un periodo de tiempo, indicando el grosor de cada película formada en la superficie de Cu, para el PO en las dos ciudades. El valor máximo de la VC en Ensenada fue $188 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$, y en Mexicali de $299 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$.

Palabras clave: Corrosión, factores climáticos, contaminantes del aire, técnicas MBE y EEA.

Recepción: 21-06-2011

Aceptación: 29-08-2011

Abstract

The process of oxidation (OP) that occurs on surfaces of copper (Cu), of electrical connections and connectors of electronic equipments installed in the electronics industry in the northwest of Mexico; is an important factor to determine the corrosion rate (CR) of this metal. The CR obtained from the installation of metallic copper specimens in the companies, one in Ensenada

(marine environment) that manufactures video games, and one in Mexicali (arid zone), which manufactures personal computers; indicated the degree of deterioration of Cu. The CR in each city was determined by the gravimetric method, and increased or maintained of the CR was according to the type of thin films formed on the metals: porous and nonporous films. A correlation of CR with sulfates (SO_x) and chlorides (Cl^-) was made, and the data were obtained with the technique of sulfation plates (TPS) and the wet candle method (WCM). The analysis of CR in both cities showed an almost linear representation in Mexicali, indicating the rapidly growing of CR, and in Ensenada a parabolic curve with a slow increase. The corrosion products were characterized by the scanning electron microscopy (SEM) and the Cu films formed with the technique of Auger Electron Spectroscopy (AES), representing the air pollutants that reacted with the copper surface in each city. The analysis of depth profiles show the increases and decreases in carbon, oxygen, sulfates, chlorides and copper, over a period of time, indicating the thickness of each film formed on the surface of Cu, for the OP in the two cities. The maximum value of CR in Ensenada was $188 \text{ mg/m}^2\cdot\text{year}$, and in Mexicali was $299 \text{ mg/m}^2\cdot\text{year}$.

Key words: Corrosion, climatic factors, air pollutants, SEM and AES techniques.

Introducción

La corrosión es un ataque destructivo de un material por la reacción con el medio ambiente al que se expone. Las consecuencias serias del proceso de corrosión son un problema de gran significancia a nivel mundial (López y col. 2011). Un aspecto de importancia es conocer la manera en como se deterioran los materiales, presentándose diversos tipos de corrosión en diferentes ambientes o casos en los que ocurre, ocasionando paros de producción en la industria electrónica (López y col., 2010), además de devaluación de recursos por considerarse productos o materiales de desecho, pérdida y contaminación de productos, reducción de la eficiencia de producción, costos de mantenimiento y grandes gastos por sobre diseño (Moncmanova, 2007). Los aspectos multidisciplinarios de problemas de corrosión, combinados con las responsabilidades asociadas y los problemas de incremento de complejidad en los dispositivos y equipos industriales aumentan los costos de los productos por el fenómeno de la corrosión (López y col., 2007). El análisis y control de la corrosión son llevados a cabo para comprender los mecanismos de ésta, así como la resistencia de los materiales y diseños, con sistemas y métodos de protección, dispositivos y tratamientos. Muchas plantas industriales, compañías y agencias de gobierno dedicadas al control de la corrosión, han establecido comités para evaluar el efecto de este proceso químico y están estrechamente vinculadas para determinar las posibles causas en cada situación problemática y poder deslindar responsabilidades de lo ocurrido en un sistema o proceso industrial, por la presencia de corrosión. La aparición de la corrosión en la industria electrónica, preocupa a los especialistas de corrosión, debido a que se generan grandes pérdidas económicas y en ocasiones humanas. En base a esto, se elaboró un estudio requerido por las dos empresas mencionadas anteriormente, para entender los factores que la generan, los mecanismos de reacción química y los efectos de la presencia de corrosión en ambos ambientes. Los microcircuitos, conectores y contactos eléctricos utilizados en la industria electrónica, son susceptibles a la corrosión atmosférica (G López B. y col., 2011), que se produce en interiores de plantas industriales en Mexicali y Ensenada. Los mecanismos de corrosión uniforme y localizada se detectan en sistemas electrónicos. Cuando la VC se incrementó, se deterioraron las conexiones eléctricas y los conectores eléctricos, generando fallas eléctricas en equipos industriales, y una reducción en su operatividad. El proceso de formación de óxidos en la superficie de Cu fue un factor importante en la generación de los dos tipos de corrosión: uniforme o por picaduras.

Funcionalidad de equipos electrónicos

La eficiencia de operación de un equipo industrial se basa en la productividad que genera en una empresa, dependiendo del ambiente al que se expone, que es un factor importante en el rendimiento productivo en plantas industriales. Las principales características que muestran la eficiencia productiva son la apariencia, costo-beneficio, facilidad de operación y mantenimiento, seguridad en el uso y cantidad de operaciones. Los dispositivos y equipos electrónicos se utilizan en áreas de recepción de materiales, almacén, producción y embarque, por lo que están expuestos a factores ambientales de exteriores e interiores (López, 2008). Los factores climáticos como la humedad relativa (HR) y temperatura en combinación con cloruros en Ensenada y sulfatos en Mexicali, afectan la operación de sistemas electrónicos. Los sulfatos provienen de fuentes de exteriores como el parque vehicular y actividades de plantas industriales en Ensenada y los cloruros de la brisa marina, y el ácido sulfhídrico y sulfatos en Mexicali de la central geotérmica, que originan la corrosión y dañan la superficie metálica del Cu. La adhesión de contaminantes del aire en conexiones y conectores eléctricos de equipos industriales origina fallas eléctricas y una disminución en su rendimiento operativo (López y col., 2010).

Factores que generan corrosión

A niveles mayores de 70% y 35° C de HR y temperatura se inicia el proceso de corrosión, originándose un proceso electroquímico. Esto genera un cambio de valencia más alta en el estado de metales activos que se deterioran más rápido (López B.G y col., 2010). En el caso de la intervención de agentes contaminantes, la corrosión se origina por la reacción química de la exposición de materiales metálicos a cloruros, sulfuros, NO_x, amoníaco y compuestos orgánicos. Esto ocurre cuando las películas de óxido formadas en la superficie de Cu, no son cubiertas de manera uniforme, solo en algunas áreas y es donde se tiene una reacción instantánea con los sulfatos, y se inician las picaduras en la superficie de Cu de los conectores y conexiones eléctricas en los interiores de la industria electrónica de Mexicali. El uso del cobre en diversas actividades industriales, depende de la manera en se expone a las condiciones ambientales a las que estará expuesto. En el proceso de su utilización y formación de aleaciones, los metales experimentan modificaciones que hacen variar sus propiedades fisicoquímicas, ocasionando que a veces, ocurra un deterioro en estos, producto del fenómeno de corrosión (Veleva y col., 2008). El objetivo de esta investigación fue el de conocer el proceso de la VC en el Cu de equipos

electrónicos en el ambiente árido y marino que dependió de la formación en forma total como en Ensenada o parcial como en Mexicali, siendo la corrosión más dañina en la región árida por la presencia de corrosión por picaduras, porque solo se observaban los productos de corrosión en las conexiones y conectores eléctricos, y después de un periodo de seis meses, se presentó falta de continuidad eléctrica, que origina fallas eléctricas.

Materiales y Métodos

Se instalaron muestras de cobre para las pruebas de corrosión, que fueron expuestas en interiores de las empresas mencionadas, por un período de uno, tres, seis y doce meses en Mexicali y Ensenada. Las probetas metálicas, se evaluaron aplicando el método gravimétrico con los estándares ASTM G 1 (ASTM G1-03), G 4 (ASTM G4-01), G 31 (ASTM G31-72), y se correlacionó la VC con los rangos mínimos, promedios y máximos de HR y temperatura en diferentes períodos estacionales en ambas ciudades. Las probetas rectangulares evaluadas eran de dimensiones de 2,5 cm. x 1 cm. x 0,5 cm. Se limpiaron con alta pureza de alcohol isopropílico en ultrasonido durante 15 minutos. Inmediatamente después de la limpieza de las muestras de cobre se colocaron en bolsas de plástico herméticamente cerradas, y listas para ser instaladas en las plantas industriales. Después de cada periodo de exposición, se extrajeron las muestras, pesaron y limpiaron para obtener la pérdida de peso y la VC (ISO 11844, 2005, ISO 11844, 2006, AHRAE, 1999). La morfología de los productos de corrosión se examinó con la técnica Auger (G. López y col., 2011, Asami y col., 1997), para conocer si los tipos de películas que cubrían toda la superficie de cobre tuvieron un efecto protector. Para saber si el proceso de corrosión era activo o pasivo, se utilizaron los perfiles de análisis y profundidad (Briggs y col., 1990). Los contaminantes gaseosos antes mencionados causaron el deterioro de los metales usados en los dispositivos electrónicos. Los gases más activos fueron el ácido sulfhídrico (H_2S) y el SO_x en Mexicali y los cloruros en Ensenada. El H_2S es un corrosivo y contaminante tóxico que se origina de las aguas residuales municipales y por la descomposición química o biológica del azufre que contienen materia orgánica. Los contaminantes del aire se evaluaron de la siguiente manera: El H_2S por un dispositivo portátil TGas 1021. El SO_2 en Mexicali con los dispositivos de las “Estaciones de Monitoreo Ambiental”, EMA, y la Técnica de Platos de Sulfatación (TPS) (ASTM G91-97). Los sulfuros y cloruros en Ensenada por el método de TPS y por el método de

la Vela Humada MVH (STM G140-02). También se determinó en ambas ciudades, los índices de corrosividad (NC), lo que indica el nivel de agresividad de los ambientes interiores de las plantas industriales evaluados. Se analizaron los dos tipos de corrosión presentados en el estudio: uniforme y localizada (por picaduras), con pequeñas manchas en algunas zonas de la superficie de cobre, que dependía del tipo de películas de óxido formadas: no protectores o películas protectores (Chunhua y col. 2000).

Resultados y Discusión

La VC en las zonas desérticas (Mexicali), son mayores que en los ambientes marinos (Ensenada). Un análisis comparativo en los cuatro periodos mencionados, representa una mayor intensidad de la corrosión uniforme en Ensenada y localizada con picaduras y hendiduras en Mexicali. Esto indica que los NC en la industria electrónica de las zonas áridas son más altos que en las zonas marinas. Los NC en Mexicali y Ensenada después en los cuatros periodos analizados se presentan en la Tabla 1, según la norma ISO / CD11844 ((ISO 11844, 2005, ISO 11844, 2006).

Tabla 1. Niveles de corrosividad en interiores de empresas en Mexicali y Ensenada

Tiempo, meses	Niveles de corrosividad	
	Ensenada	Mexicali
1	1	1
3	2	2
6	2	3
12	2	3

Influencia de los factores climáticos y contaminantes del aire en la VC

Los valores de HR y temperatura en Mexicali fueron superiores al 70% y 45 °C en verano y con un mínimo de 20% y 5 °C en invierno, con vientos del desierto cálido (invierno y primavera). En cambio en Ensenada se presentaron índices máximos de HR y temperatura de 90% y 35 °C en verano y mínimos de 30% y 5 °C en invierno. Los altos niveles de HR aceleraron la VC en la corrosión por picaduras. En verano en ambas ciudades, en los primeros seis meses de exposición, la VC no tuvo un incremento considerable, pero a partir de ese periodo, se observó un aumento de este parámetro. En ambas ciudades en el rango de 25 a 35°C, con un nivel de HR de 30% a 70%, la VC fue la más alta. Además, en invierno, a temperaturas de alrededor de 15 °C a 25 °C

y la HR es del 35% al 75%, el agua se condensó en la superficie del cobre y la VC aumentó muy rápido, generando películas húmedas, en cambio cuando la temperatura fueron mayores a 35 ° C, y se generaron algunas zonas húmedas y observaron manchas que posteriormente se originaron hendiduras o picaduras. Otro factor importante fueron las concentraciones de los contaminantes del aire, como sulfuros en ambas ciudades, que superaron los niveles permitidos de las normas de calidad del aire, y con las variaciones de HR y temperatura descritas en el rango de 30% a 80% y de 0 °C y 35 °C, se originó la corrosión. En Mexicali, a temperaturas superiores a 35 °C con niveles de HR del 50% al 85%, se formaron manchas en diversas zonas del Cu, y no se generó una película que cubriera todo el Cu y sirviera de protección, como en los casos en la ciudad de Ensenada. Por lo tanto, la VC fue mucho mayor, afectando la conductividad eléctrica del Cu en las conexiones y conectores eléctricos de equipos electrónicos (López G. y col., 2010). En Ensenada este fenómeno no se observó, porque sí se cubrió la superficie de Cu en su totalidad, con rangos de temperatura de alrededor de 25 °C y niveles de HR mayores al 85%. En las tablas 2 y 3 se muestran el efecto de la exposición del cobre a los contaminantes atmosféricos: H₂S, NO_x, SO₂ para Mexicali y H₂S, SO₂ y Cl⁻ para Ensenada, niveles de HR y temperatura, concentración de la contaminación y la VC. Para Ensenada el valor más alto de VC fue de 188 mg/m².año, con valores de HR 95.1%, temperatura de 17.2 °C y niveles de concentración de cloruros de 21.4 mg/m².año. Para la ciudad de Mexicali, el valor más alto de VC fue de 299 mg/m².año, en valores de HR 86.7%, temperatura de 30.1 °C y niveles de concentración de 0.56 ppm de H₂S.

Tabla 2. Correlación de la VC con factores climáticos y ambientales en Ensenada (2010)

Factores climáticos	Acido sulfídrico (H ₂ S)				Bióxido de azufre (SO ₂)				Cloruros (Cl ⁻)			
	HR ^a	T ^b	C ^c	VC ^d	HR ^a	T ^b	C ^c	VC ^d	HR ^a	T ^b	C ^c	VC ^d
Primavera												
Max	83.2	28.3	0.13	147	88.4	22.3	0.32	143	77.8	23.3	17.7	162
Min	43.5	14.2	0.06	111	49.8	13.7	0.19	87	42.3	15.4	8.9	145
Vera no												
Max	94.3	38.5	0.11	157	89.8	37.8	0.42	124	89.9	38.7	14.5	148
Min	56.5	21.9	0.09	124	49.7	27.9	0.13	102	47.8	20.9	5.3	125
Invierno												
Max	92.4	21.4	0.38	169	90.4	19.8	0.61	147	95.1	17.2	21.4	188
Min	38.3	12.5	0.21	132	56.7	10.7	0.21	1116	56.7	10.9	11.2	154

[a] HR. Humedad Relativa, %, [b] T. Temperatura, °C, [c] C. Nivel de Concentración de Contaminación del Aire (NCCA), mg/m².año, [d] VC. Velocidad de corrosión (VC), mg/m².año

Tabla 3. Correlación de la VC con factores climáticos y ambientales en Mexicali (2010).

Factores climáticos	Acido sulfhídrico (H ² S)				Bióxido de azufre (SO ₂)				Óxidos de Nitrógeno (NO _x)			
	HR ^a	T ^b	C ^c	VC ^d	HR ^a	T ^b	C ^c	VC ^d	HR ^a	T ^b	C ^c	VC ^d
Primavera												
Max	72.1	38.1	0.17	198	83.3	27.8	0.47	185	66.7	29.9	0.29	183
Min	27.8	17.8	0.09	143	42.1	17.3	0.28	102	31.3	19.2	0.19	135
Vera no												
Max	90.2	43.2	0.15	216	80.2	44.3	0.58	181	80.6	45.2	0.48	193
Min	44.3	25.6	0.12	195	39.3	27.8	0.19	132	36.3	26.5	0.24	156
Invierno												
Max	86.7	30.1	0.56	299	84.5	25.6	0.86	169	90.2	33.3	0.75	196
Min	30.1	22.3	0.28	199	34.8	14.3	0.29	128	48.7	17.9	0.37	169

[a] HR. Humedad Relativa, %, [b] T. Temperatura, °C, [c] C. Nivel de Concentración de Contaminación del Aire (NCCA), mg/m².año, [d] VC. Velocidad de corrosión (VC), mg/m².año

Análisis por EEA

La técnica EEA se utilizó para determinar los tipos de corrosión (Clark y col., 2006) formados en las probetas de cobre instaladas en las plantas industriales. Los espectros de EEA mostraron el análisis de superficie de tres puntos evaluados en diferentes zonas de las probetas metálicas. La Figura 1 representa dos imágenes de mapa Auger de los especímenes instalados en la industria electrónica. Las nanofotografías de los productos de corrosión que cubrían toda la superficie de cobre en Ensenada (Figura 1a), por haberse formado la película protectora y con ello la VC fue lenta y en la Figura 1b se representa una muestra instalada en Mexicali, detectándose manchas aisladas. El análisis Auger realizado en las tres zonas puntuales, mostró la presencia de Cl y SO_x, que reaccionaron con la superficie de cobre fue realizado con la técnica en la cámara de vacío requiere de dos pasos: usar un aceite de la bomba mecánica para disminuir la presión ambiente a 50 mili torr y el uso de una bomba turbo molecular junto con la bomba mecánica para reducir la presión a 1 nano torr (Asami y col., 1997).

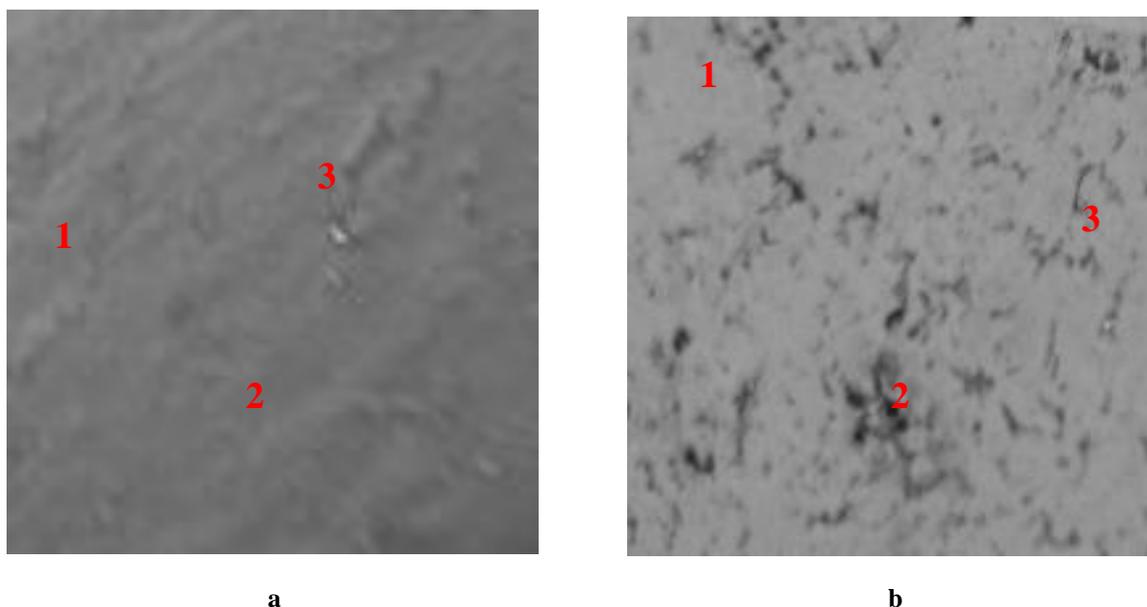


Figura 1. Mapa Auger de productos de corrosión: (a) Ensenada y (b) Mexicali

Los espectros Auger de muestras de Cu se generaron mediante un haz de electrones con un voltaje de 5keV, lo que muestra la composición química de los productos de corrosión en las muestras de Ensenada (Figura 2) y Mexicali (Figura 3). En ambas ciudades, los picos de Cu, sulfatos, cloruros, carbono y oxígeno, aparecen en los espectros a sus distintos niveles de intensidad de energía cinética. La concentración atómica de los productos de corrosión se muestra en la Tabla 4. Para el análisis de la información se utilizó el programa Origin Pro 6.1. La resolución espacial de esta técnica fue de 100 nm y una resolución de 1 nm de profundidad (López-B. y col., 2010). Los perfiles de profundidad se obtuvieron de las muestras evaluadas en ambas ciudades, mostrándose en las Figuras 4 y 5. La técnica de perfiles de profundidad se define por la alternancia de ciclos de iones Ar^+ de pulverización para eliminar una capa delgada (5 a 10 Å) de los contaminantes del aire (López y col., 2011) y su caracterización en algunas regiones con la técnica de EEA (Van Ingelgem y col., 2007). En la Figura 4, el cloro y azufre situados entre las partículas de carburos fueron bombardeadas durante el primer ciclo de pulverización (10 Å). Una pequeña proporción de cloruro y azufre persistió más en las partículas de carburo (punto 2). En la Figura 5, el perfil de profundidad indica una escasa presencia de azufre entre las partículas de carburo.

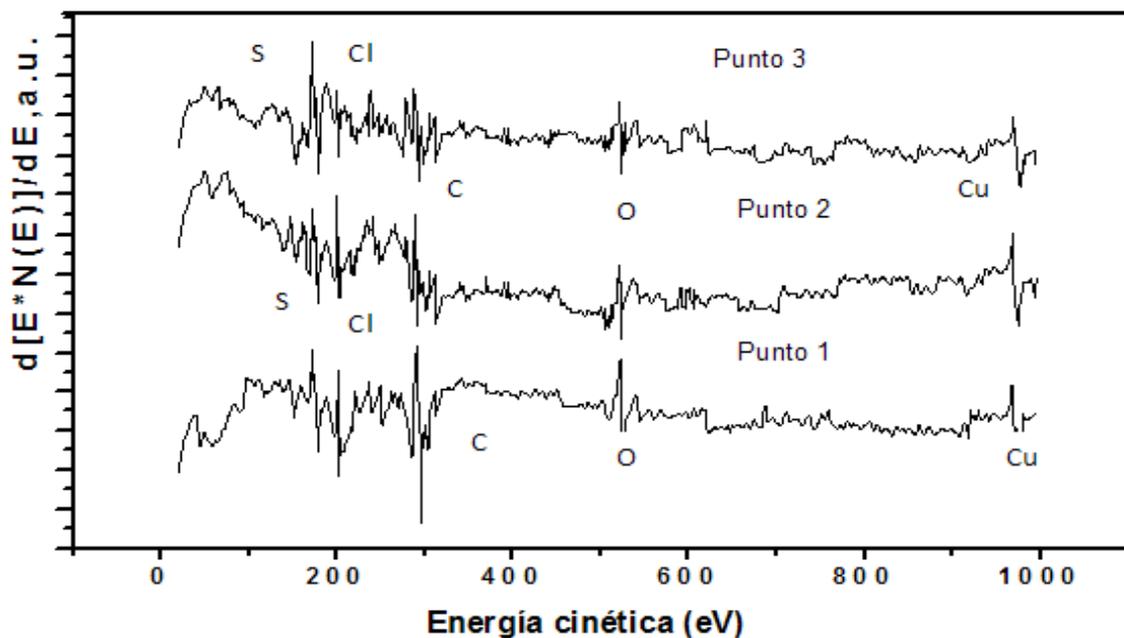


Figura 2. Análisis EEA para Cu después de seis meses de exposición en Ensenada

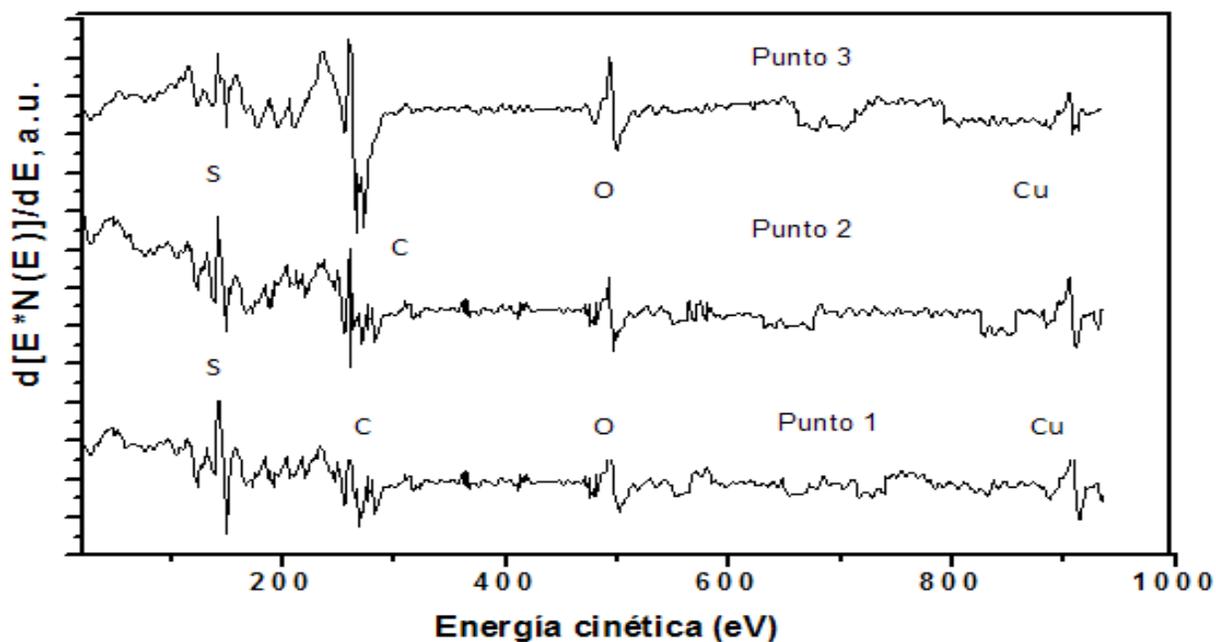


Figura 3. Análisis EEA para Cu después de seis meses de exposición en Mexicali

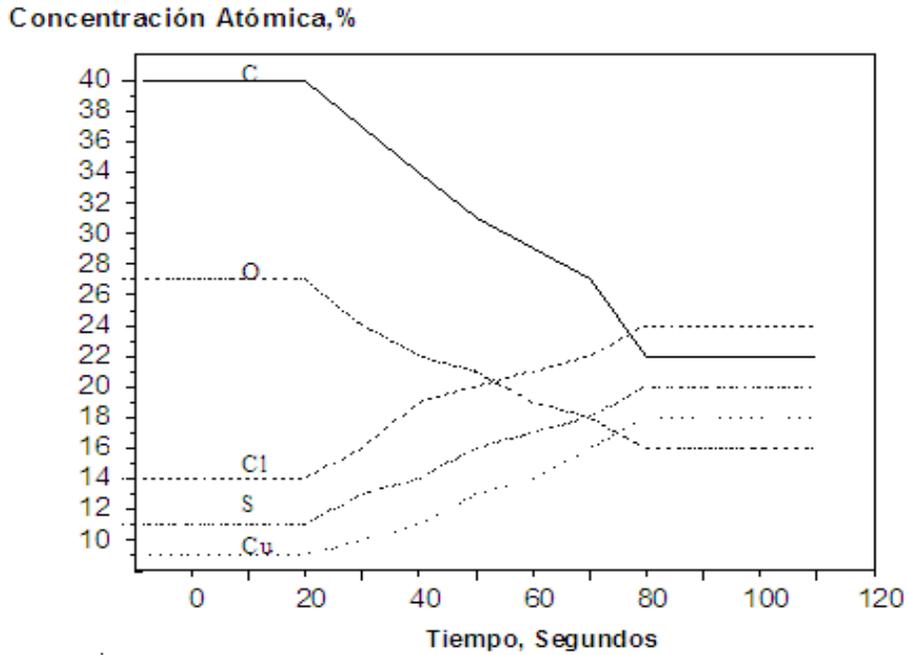


Figura 4. Perfil de profundidad Auger para el Cu después de seis meses de exposición en Ensenada

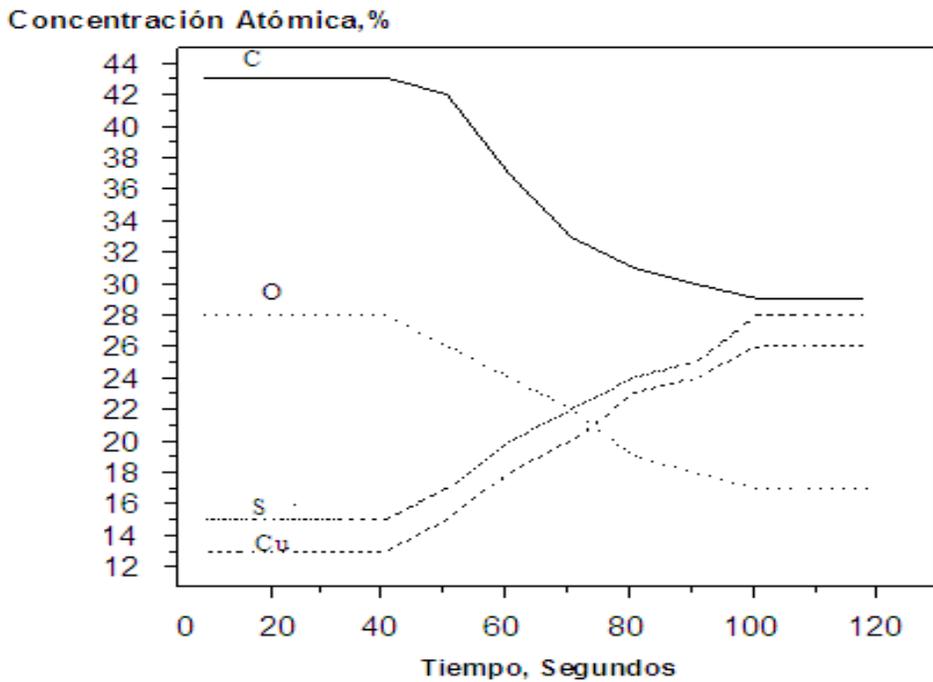


Figura 5. Perfil de profundidad Auger para el Cu después de seis meses de exposición en Mexicali

Formación de películas en superficie de Cu

El mecanismo del proceso de formación de películas en forma de depósitos cubiertos por óxidos en la superficie de Cu, se desarrolló en base a diversos factores como los niveles de humedad y temperatura que proporcionan el tiempo de humectación (TH). El TH es muy importante porque permite conocer si una superficie metálica se cubre totalmente de óxidos, para servir como películas protectoras que inhiben o disminuyen el fenómeno de corrosión, o solo permitir el mojado de ciertas zonas del metal, lo que promueve e incrementa la VC. En este estudio se desarrollaron los análisis de la pérdida de peso, en relación a los periodos de exposición de las probetas metálicas en cada ciudad evaluada. Las Figuras 6 y 7 muestran los dos tipos de comportamiento lineal y parabólico, indicando si el óxido es poroso y poco protector, si se rompe fácilmente la película o si es protector, lo cual representara que la VC disminuya. La Figura 6, representa una curva parabólica del análisis en Ensenada, mostrando que se forma la película protectora porque el transporte de iones a través del óxido es lento. En cambio en la ciudad de Mexicali, la Figura 7 muestra un transporte de iones en el óxido mas rápido, con un gráfico casi lineal, e indicando que la película tendera a formarse porosa y no cubrirá totalmente la superficie de Cu, incrementando la VC.

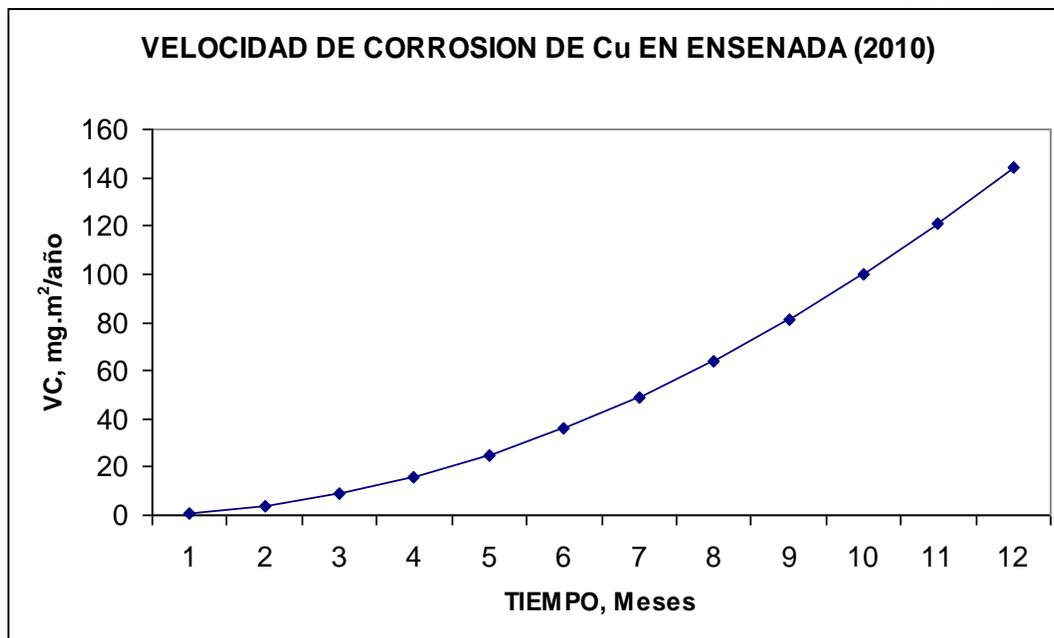


Figura 6. Análisis de VC al año de exposición en Ensenada

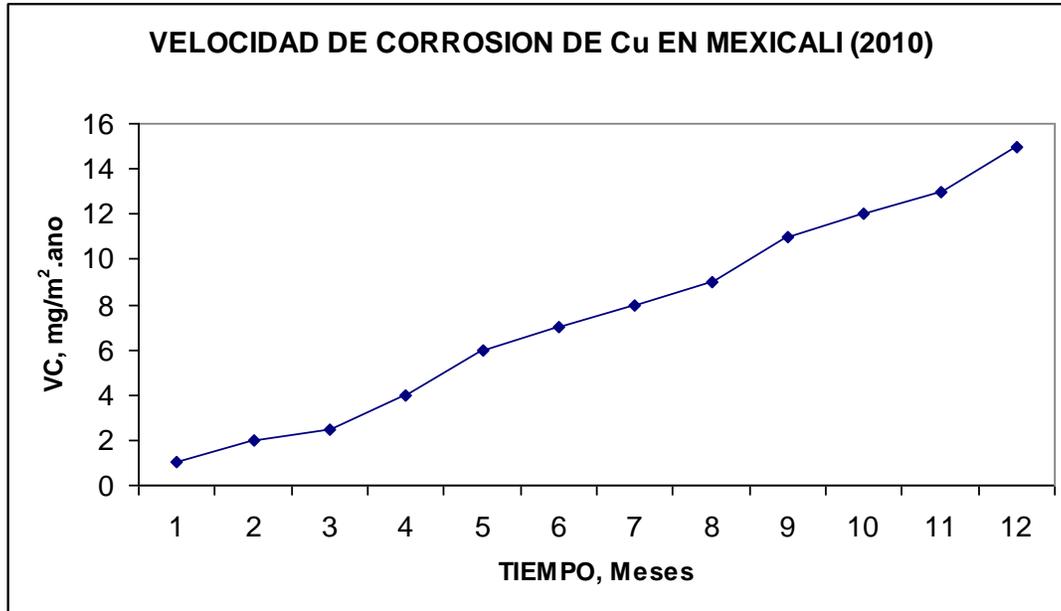


Figura 7. Análisis de VC al año de exposición en Mexicali

De acuerdo con la relación matemática de Pilling-Bedworth (PB)

$$P.B.= \frac{\text{Volumen de óxido producido por la oxidación}}{\text{Volumen de metal consumido por la oxidación}} \quad (1)$$

se obtienen los valores numéricos que van de 0 a 1 como película poroso y no protectora, de 1 a 4 como una capa que se rompe y no es protectora, pero si es igual o lo más cercano a 1, la película es protectora (Chunhua, 2000).

Conclusiones

La generación de corrosión en las plantas industriales ha sido un factor importante en los últimos 30 años por la complejidad de los dispositivos electro-electrónicos y equipos que se caracterizan por la demanda del mercado, su funcionamiento y la fiabilidad. La competitividad se rige por la fabricación de dispositivos electrónicos y equipos, aumentando la necesidad de desarrollar mayor cantidad de las operaciones y disminuir su tamaño a un bajo costo. Este ha sido el principal efecto de cambiar los diseños de los espacios más pequeños entre los dispositivos electrónicos y el uso de nuevos materiales en los conectores eléctricos y las conexiones de los dispositivos electrónicos y equipos. Otros factores son la falta de control del clima en interiores como la

humedad y la temperatura, que promueven e incrementan la VC. En la mayoría de los casos las empresas no saben del fenómeno de la corrosión o no se consideran como un factor importante, hasta que se provoca un fallo en algunos dispositivos electrónicos y equipos, y se detiene el proceso de fabricación. Actualmente el equipo de medición como la técnica de análisis de superficie y bajo ésta, como la EEA se utiliza en la mayoría de los procesos industriales son muy utilizados para detectar partículas añadidas a las superficies metálicas. Con esta técnica, se pueden obtener resultados de la reacción química de los agentes atmosféricos que forma las películas delgadas de metales de cobre.

De acuerdo con el objetivo de esta investigación se puede concluir que sin un control de clima en interiores de la industrial electrónica y con valores mayores de HR y temperaturas de 70% y 35 °C de exterior que afecta a los microclimas de interiores de plantas industriales en zonas áridas, se generará corrosión por picaduras y en ambientes marinos con valores de HR y temperaturas menores a 50% y 25 °C, se forma un óxido protector en las superficies de Cu de conexiones y conectores eléctricos de equipos electrónicos en interiores de empresas. Este estudio es de gran importancia para considerar estos factores y evitar pérdidas económicas o accidentes.

Referencias

- AHRAE; Handbook; Heating, Ventilating and Air-Conditioning; applications. 1999. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.*
- Asami K., Kikuchi M. and Hashimoto K. 1997. An Auger electron spectroscopic study of the corrosion behavior of an amorphous Zr₄₀Cu₆₀ alloy. *Corrosion Science*. Volume 39, Issue 1. pp 95-106.
- ASTM G1 – 03. 2003. Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.
- ASTM G4 – 01. 2008. Standard Guide for Conducting Corrosion Tests in Field Applications.
- ASTM G31 – 72. 2004. Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals.
- ASTM G91–97. 2010. Standard Practice for Monitoring Atmospheric SO₂ Using the Sulfation Plate Technique (SPT).
- ASTM G140-02. 2008. Standard Test Method for Determining Atmospheric Chloride Deposition Rate by Wet Candle Method (WCM).
- Briggs D., Seah M.P. 1990. *Practical surface analysis*, Second Edition, Volume 1 Auger and XPS, Photoelectron Spectroscopy. Wiley Publishing.
- Chunhua X.; Wei G.; Pilling-Bedworth ratio for oxidation of alloys. 2000. *Materials Research Innovations*. ISSN 1432-8917. Vol. 3. No. 4. pp 231-235.
- Clark A. E., Pantan C. G, Hench L. L. 2006. Auger Spectroscopic Analysis of Bioglass Corrosion Films. *Journal of the American Ceramic Society*; Vol. 59 Issue 1-2, pp 37–39.

- G. López., B. Valdez, M. Schorr. 2011. Spectroscopy analysis of corrosion in the electronics industry influenced by Santa Ana winds in marine environments of Mexico. Air Quality Book 4. ISBN (Accepted).
- G. López B., B.Valdez, M. Schorr. 2011. Micro and nano analysis of corrosion in steel cans used in the food industry. The Food Industry. Book 1. ISBN 979-953-307-283-7. (Accepted).
- ISO 11844-2.2005. Corrosion of metals and alloys - Classification of low corrosivity of indoor atmospheres - Determination and estimation attack in indoor atmospheres. ISO, Geneva.
- ISO 11844-1.2006. Corrosion of metals and alloys - Classification of low corrosivity of indoor atmospheres- Determination and estimation of indoor corrosivity. ISO, Geneva.
- López, B.G., Valdez, S.B., Zlatev, K. R., Flores, P.J., Carrillo, B.M., Schorr, W. M.. 2007. Corrosion of metals at indoor conditions in the electronics manufacturing industry. *Anti-Corrosion Methods and Materials*. Vol.54, Issue 6, pp 354-359.
- L. Veleva, B. Valdez, G. López, L. Vargas and J. Flores., 2008. Atmospheric corrosion of electro-electronics metals in urban desert simulated indoor environment. *Corrosion Engineering Science and Technology*, Vol. 43. No. 2. Pp 149-155.ISSN 148-422X.
- Moncmanova A. 2007. *Environmental Deterioration of Materials*, WITPress Publishing, ISBN 978-1-84564-032-3.
- López Badilla Gustavo. 2008. Caracterización de la corrosión en materiales metálicos de la industria electrónica en Mexicali, B.C. Tesis de doctorado. UABC, Instituto de Ingeniería, Mexicali, B.C. México.
- López G., Tiznado H., Soto G., De la Cruz W., Valdez B., Schorr M., Zlatev R. 2010. Corrosión de dispositivos electrónicos por contaminación atmosférica en interiores de plantas de ambientes áridos y marinos; *Nova Scientia*, No. 5. Vol. 3(1). ISSN 2007-0705.
- López B. G., Valdez S. B., Schorr W. M., Tiznado V. H., Soto H. G. 2010. Influence of climate factors on copper corrosion in electronic equipments and devices, *Anti-Corrosion Methods and Materials*. Vol. 57. Issue 3. pp 148-152.
- López B. Gustavo, Valdez S. Benjamin, Schorr W. Miguel, Zlatev R., Tiznado V. Hugo, Soto H. Gerardo, De la Cruz W.. 2011. AES in corrosion of electronic devices in arid in marine environments; , *AntiCorrosion Methods and Materials*. (Accepted).
- Van Ingelgem Y., Vandendael I., Vereecken J., Hubin A.. 2007. Study of copper corrosion products formed during localized corrosion using field emission Auger electron spectroscopy, *Surface and Interface Analysis*, Volume 40 Issue 3-4, pp 273–276.