

Capítulo 8

Microcorrosión en sensores ópticos usados para detectar microorganismos en industrias de alimentos de Tijuana, México

Gustavo López Badilla,¹ Benjamín Valdéz Salas,² Michael Schorr Wiener,² Mónica Carrillo Beltrán,² Nicola Radnev Nedev,² Roumen Zlatev,² Margarita Stoytcheva Stilianova,² Rogelio Ramos Irigoyen²

¹ Universidad Politécnica de Baja California, Mexicali, B.C., México.

² Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México.

glopezbadilla@yahoo.com

Doi: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.82>

Referenciar este capítulo

López Badilla G, Valdez Salas B, Schorr Wiener M, Carrillo Beltrán M, Radnev Nedev N, Koytchev Zlatev R, Stoytcheva Stilianova M, Ramos Irigoyen R. *Microcorrosión en sensores ópticos usados para detectar microorganismos en industrias de alimentos de Tijuana, México*. En Valdez B, & Schorr M (Eds.). *Corrosión y preservación de la infraestructura industrial*. Barcelona, España: OmniaScience; 2013. pp. 157-173.

1. Introducción

El desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la fabricación de dispositivos electrónicos ha permitido utilizar estos micro componentes en varias operaciones de empresas dedicadas a diversas actividades industriales.¹ Los sistemas electrónicos a nivel macro o micro más utilizados son los sensores ópticos en procesos de manufactura para detectar variaciones en las características de los procesos y productos fabricados. Esto ocurre por varias causas como los periodos acumulados de servicio de los equipos y sistemas eléctricos y electrónicos y sus accesorios con los que operan. Además, se presentan cambios drásticos de los factores climáticos mencionados y en su mayor efecto, la presencia de niveles de concentración que exceden los estándares de calidad del aire de los sulfuros y cloruros, que son los que se presentan índices más altos en interiores de plantas industriales.² Esto origina la corrosión atmosférica, que ocasiona el deterioro de las superficies metálicas de conexiones y conectores de los micro dispositivos electrónicos.

Una de las causas principales, de las variaciones de HR y temperatura en los interiores de las empresas instaladas en la costa de Baja California, donde están instaladas una gran cantidad de plantas industriales, es por la presencia de los VSA.³ Esta región del noroeste de la República Mexicana es considerada una zona industrial y es frontera con el estado de California de los Estados Unidos, con quien la ciudad de Tijuana con gran cantidad de compañías, tiene una gran relación comercial.⁴

Los VSA son flujos de viento muy secos provenientes de la Gran Cuenca y el Desierto de Mojave en el suroeste de California y su comportamiento se basa en los niveles de temperatura y humedad que hacen que estos parámetros climáticos, varíen drásticamente.^{5,6} Esto origina un efecto adverso en los microclimas de interiores de empresas como las ubicadas en esta región. Uno de los tipos de industrias de importancia en la costa de Baja California son las de conservación y empaques de alimentos de mar como lo son el atún y la sardina originarios de esta región marítima.⁷ Estos productos alimenticios deben de tener las condiciones climáticas requeridas y establecidas por agencias de regulación sanitaria e higiene, como la FDA (Food and Drug Administration, United States).⁸

1.1. Industrias de alimentos

La industria alimenticia contiene una diversidad de operaciones sencillas y complejas, siendo a nivel global de gran importancia por manufacturar productos que son necesarios para obtener la energía requerida por los seres vivos para sus actividades cotidianas. La industria alimentaria incluye algunos aspectos de interés en la infraestructura industrial de la fabricación de alimentos, para tener el mejor rendimiento productivo:^{9,10}

- *Actividades agrícolas, ganaderas y pesqueras.* Es la parte fundamental en la materia prima de la industria de alimentos, donde se debe tener las mejores tecnologías para el máximo rendimiento en las cosechas que proveen a los procesos de manufactura de estas compañías.
- *Procesamiento de alimentos.* Representa la preparación de productos frescos para el mercado, elaboración de productos alimenticios preparados, por medio de las técnicas

de manufactura más avanzadas con el fin de obtener los máximos niveles de producción y calidad, y con ello altas ganancias.

- *Normas de manufactura.* Representa los reglamentos locales, regionales, nacionales e internacionales para la producción y venta de alimentos, para siempre obtener la calidad e inocuidad de los alimentos sin generar algún daño a la salud. Además, se regula la relación entre las empresas de este tipo para mejorar la competitividad.
- *Desarrollo de investigación.* Es indispensable en actividades de evaluación de los productos y procesos para tener día a día, el mejor aprovechamiento del personal que labora en estas compañías, así como la maquinaria industrial y la satisfacción del cliente que consume los productos para obtener las mejores ganancias.
- *Análisis de mercado.* Representa la promoción de productos que la empresa fabrica y el desarrollo de nuevos alimentos siempre cumpliendo con los requisitos que los clientes desean para su máxima satisfacción. Esto se lleva a cabo a través de la opinión pública por medios de publicidad, empaques representativos y relaciones públicas, principalmente. En base a esto, se realizan las ventas al por mayor y distribución con actividades de almacenaje, transporte, logística, manufactura y colocación de los productos alimenticios en los mercados donde se desean.

1.2. Sensores ópticos electrónicos

Los dispositivos electrónicos son fundamentales en cualquier actividad industrial, donde son utilizados de diversas formas, siendo una de ellas, en la detección de microorganismos que en ocasiones. Estos, se desarrollan en los procesos de manufactura y forman parte de los productos alimenticios que se envían a los consumidores. La aplicación de micro dispositivos electrónicos como los MSO en las operaciones de producción de la industria de alimentos, es de gran utilidad para detectar varios tipos de microorganismos que se desarrollan por la presencia de CMB.¹¹ Este proceso electroquímico ocurre cuando no se tiene un control adecuado de los microclimas en los interiores de las plantas industriales, donde los niveles de humedad y temperatura varían constantemente en ciertos periodos del año. Esto es debido a que se presentan fenómenos naturales como los VSA, que generan variaciones drásticas en el exterior de las empresas e influyen en la sección interna de las compañías de este tipo.¹² Los MSO son herramientas ideales para la detección de los MO y para determinar el nivel de desarrollo de las comunidades microbianas dentro de los recipientes metálicos principalmente. Estas poblaciones de MO se adhieren a las superficies de las profundidades de las latas metálicas, donde se empacan los alimentos, como biopelículas que forman los MO.¹³ Estos MSO realizan mapeos detallados de las superficies de interior de las latas metálicas por medio de un sondeo de intensidad de luz a una frecuencia determinada, con el fin de obtener información de la región en la parte profunda de la lata.¹⁴ Una vez transmitido el haz de luz, se genera un reflejo en forma de dispersión para tener datos del monitoreo elaborado. Además, tienen la función de detectar las propiedades ópticas de la luz que absorben los sistemas microbianos, para conocer si están formados o en proceso de desarrollo.¹⁵ Los MSO se utilizan en combinación con micro sensores de especies químicas, y micro sondas de irradiación que permiten estudios detallados de la fotosíntesis y la regulación de los MO.¹⁶ Estos MO, se desarrollan en el interior de los recipientes metálicos bajo condiciones ambientales que forman parte de su hábitat natural. Además los MSO, interactúan con sistemas de fibra óptica unidos a micro sondas fluorométricas sensibles a niveles de micro escala que permiten mediciones de fluorescencia.¹⁷ De esta forma, son utilizados para un mapeo

de difusión y el flujo del rápido desarrollo y distribución de MO, de manera fotosintética y la actividad de la fotosíntesis con oxígeno través de clorofila y variables que generan mediciones de fluorescencia. Además, se obtiene información de los niveles de HR, temperatura, salinidad, pH, O₂ y CO₂, que son factores clave en el desarrollo de los MO,^{18,19} y sus mediciones se llevan a cabo mediante la inmovilización de tintes ópticos con indicadores en el extremo de las fibras ópticas. Dichos MSO forman parte de la infraestructura de la industria alimenticia.

1.3. Vientos Santa Ana

Los VSA se originan por diferencias de temperatura en los vientos a ciertos niveles del suelo y que una vez generados tienen una gran fuerza, proviniendo de cerca de la costa de California de los Estados Unidos (EU), y se expanden hacia las regiones costeras de este estado y de Baja California que está ubicado en el sur de esta zona.²⁰ Este fenómeno natural afecta a los hábitats de esta región sureste de los EU y noroeste de México y es parte fundamental en las variaciones drásticas de humedad y temperatura de los exteriores de edificaciones que tienen un efecto adverso en los interiores de plantas industriales principalmente. La ocurrencia de los VSA en la época final del otoño y a principios de primavera, es parte por los índices de HR y temperatura de esas épocas en donde se origina este fenómeno natural.³ El origen de los VSA son principalmente por la presencia de un clima caluroso y seco que interfiere con cambios repentinos en los niveles de humedad que ocasionan los frentes de diferencia de temperaturas del aire en la costa de California o cerca de ésta.²¹ Además de causar variaciones en la humedad y temperatura, los VSA pueden ocasionar incendios por la generación de climas muy secos que con actividades antropogénicas. Los VSA son factor del inicio de una flama y de su rápida expansión, siendo famosos por avivar incendios en regiones forestales. Según el Servicio Meteorológico (SM) de los Estados Unidos, los VSA son fuertes vientos que soplan hacia el sur de los EU, a través de la costa y montañas del suroeste de California.²² Los VSA pueden superar los 40 kilómetros por hora, ser cálidos y secos y agravar ambientes por donde fluyan, principalmente en cambios estacionales. El aire de los VSA, se calienta por calentamiento adiabático durante su descenso y una vez que el aire de estos vientos, ya ha sido secado por elevación orográfica antes de llegar a la Gran Cuenca del estado de California. Así como intercambio de la atmósfera superior, la HR del aire se reduce aún más a medida que desciende desde el alto desierto hacia la costa, con frecuencias hasta de 30% a 50% en un par de horas. El aire del desierto alto es debido a lo árido de la región donde se forman los VSA, y por lo tanto tiende a canalizar hacia los valles y cañones en rachas que pueden alcanzar fuerza de huracán a veces. A medida que desciende, el aire no sólo se vuelve más seco, sino que también se calienta por la compresión adiabática.²³ El sur de California, es una región costera que presenta índices de alta temperatura, en su periodo más caluroso del año durante el otoño, mientras que los VSA fluyen a otras zonas del estado de donde se originaron. Durante las condiciones de Santa Ana es típicamente más caliente a lo largo de la costa que en los desiertos.²⁴ Este fenómeno natural daña la infraestructura industrial de las plantas con procesos de manufactura donde se empacan alimentos.

1.4. Corrosión atmosférica

La corrosión atmosférica es un proceso electroquímico que origina deterioro de metales que se exponen a cambios drásticos de HR y temperatura o atmósferas agresivas con la presencia de contaminantes del aire principalmente por sulfuros y cloruros.²⁵⁻²⁶ Este fenómeno daña las micro conexiones de los MSO disminuyendo su rendimiento operativo y permitiendo que en las latas metálicas usadas para empaque de alimentos se corroan y se formen MO.²⁷ Estos recipientes

metálicos están en áreas de almacén, así como en operaciones de manufactura y en zonas de embarque de los interiores de la industria de alimentos de mar. Los recipientes de envasado, expuestos a microclimas de interiores de empresas se corroen muy rápido en atmósferas deterioradas porque los MSO no operan adecuadamente. La humedad es el parámetro climático, y en base a sus variaciones por la presencias de los VSA, se origina la condensación que inicia el deterioro de los MSO.²⁸ Esto genera que no se detecte la micro corrosión en las latas metálicas, y permanezcan húmedas en ciertas épocas del año, lo que facilita el deterioro de estos recipientes y promueve la CMB. En base a esto, se realizan evaluaciones de los tiempos de humectación (TH). El TH representa los periodos horarios, diarios, semanales, mensuales y estacionales, en que las micro superficies metálicas de los MSO permanecen húmedas.²⁹ En ambientes secos, la película de óxido que crece normalmente protege al micro metal y con ello disminuye la velocidad de corrosión (VC). En ambientes no controlados de interiores de la industria de alimentos, la VC inicialmente es alta y permanece constante durante un período. Posteriormente, al generarse la micro capa con un cierto espesor de apreciable tamaño, la VC disminuye originándose la corrosión uniforme y con ello es cuando la VC es baja, aun con el proceso de la condensación.³⁰ Otro aspecto de interés, con la presencia de índices de HR mayores al 75%, es el desarrollo de MO en los interiores de las latas metálicas, que origina el deterioro de los alimentos envasados. El efecto de atmósferas húmedas es la creación de gotas de algún electrolito fuerte con un patrón clásico de la corrosión como un pequeño ánodo en el centro de la gota que actúan como fuente de iones del micro metal del MSO que sufre de deterioro.³¹ En cambio, las zonas catódicas donde existe reducción de oxígeno es en los bordes que producen iones hidroxilo. Dependiendo de las condiciones atmosféricas, estas gotitas pueden permanecer por largos periodos de tiempo, o pueden diseminarse o producir productos de corrosión que son fundamental en el desarrollo de los MO que no son detectados por los MSO dañados por la corrosión. Cuando la película de óxido en la superficie interna de la lata metálica, se ha formado de manera uniforme, dicha área del recipiente puede ser privada de oxígeno y se genera rápidamente la corrosión.^{32,33} La presencia de sales corrosivas como agentes contaminantes, facilitan el deterioro de las micro superficies metálicas de las latas.

1.5. Análisis numérico

El análisis del efecto de la corrosión atmosférica en los materiales, es realizado por el programa MATLAB. Este sistema de programación, es un lenguaje de alto nivel y un entorno interactivo para cálculo numérico, visualización y programación. Al utilizar el MATLAB se pueden analizar los datos, desarrollar algoritmos matemáticos y crear modelos y aplicaciones para procesos de simulación.³⁴ El lenguaje, las herramientas y funciones incorporadas de matemáticas le permiten explorar múltiples enfoques y llegar a una solución más rápida que con las hojas de cálculo o lenguajes de programación tradicionales, tales como C / C + + o Java. Este programa tiene amplia gama de aplicaciones, incluyendo el procesamiento de señales y comunicaciones, elaboración de imágenes y video en dos y tres dimensiones, sistemas de control y pruebas de medición en las áreas de análisis de materiales. Más de un millón de ingenieros y científicos en la industria y el mundo académico utilizan MATLAB, como lenguaje del cálculo técnico. El lenguaje MATLAB incluye funciones matemáticas que apoyan de manera común análisis de ingeniería de materiales y operaciones científicas de evaluación de corrosión. Las funciones básicas de matemáticas utilizan el procesador optimizado para proporcionar una rápida ejecución de cálculos vectoriales y matriciales. Los métodos que utiliza el MATLAB, disponen de aspectos de interpolación y regresión, diferenciación e integración de funciones matemáticas, análisis de sistemas lineales de ecuaciones y de Fourier, y de ecuaciones diferenciales y matriciales. Este

programa utiliza funciones en áreas especializadas, como las estadísticas, optimización, análisis de señales y el aprendizaje de la máquina.

1.6. Técnicas de análisis de superficies

Existe una gran variedad de técnicas de análisis, con una amplia gama de instrumentos de alto rendimiento de análisis de superficie para proporcionar una caracterización detallada física y química de las áreas que se evalúan. Estos equipos de análisis de superficies, son a micro y nano escala con caracterización de diversos procesos, donde se forman películas delgadas y gruesas.³⁵ Las evaluaciones son en base a las tecnologías que mejor se adapten a sus necesidades para cada análisis de superficie.³⁶ Existen diversas técnicas con las cuales se pueden evaluar las superficies de los materiales, siendo las más comunes a nivel microscópico la MBE y de Dispersión de Rayos X (DRX). A nivel nano, se tienen las de mayor uso como la EEA, Espectroscopia de Foto electrónica de Rayos X, Espectroscopia de Masa de Iones Secundarios (EMIS). Los análisis de superficie, tienen un efecto enorme en el éxito o el fracaso de la operación de cualquier tipo de material, lo que significa la importancia y la necesidad de una adecuada caracterización de la superficie metálica que se evalúa.³⁷ Las técnicas de microscopía y nanoscopía, determinan los tipos y concentraciones de los elementos químicos que constituyen las superficies que son analizadas.³⁸ La medición de ángulos de contacto en cualquier técnica, es una herramienta muy útil en la evaluación de la formación de películas de productos de corrosión, así como los mecanismos que participan en este fenómeno electroquímico.³⁹ Todos los análisis de superficie son de gran importancia, pero en ocasiones, es necesario utilizar más de una técnica para obtener evaluaciones detalladas de los agentes químicos que reaccionan con las superficies metálicas de las latas donde se empaican los alimentos de mar. Unas son técnicas principales y otras son emergentes, que han demostrado ser útiles en los análisis de las propiedades superficiales de estos tipos de materiales metálicos. Estos equipos de micro y nano análisis de superficies, a veces son parte de la infraestructura de las empresas que empaican alimentos como en donde se tuvo la oportunidad de realizar el estudio. En otras ocasiones, solicitan el apoyo de estas evaluaciones a institutos de investigación de unidades educativas o privadas.

2. Metodología

La micro corrosión en MSO usados en la detección de microorganismos, genera grandes pérdidas económicas a la industria de alimentos de mar. El estudio realizado en una empresa en la ciudad de Tijuana considerada como zona costera y donde se presentan el fenómeno de los VSA, es de gran utilidad a este tipo de industrias y de otro tipo. Esto ocurrió por la generación de ambientes agresivos en interiores de plantas industriales por la corrosión atmosférica. Los MSO reducían su rendimiento operativo, y con ello no se detectaban al máximo los microorganismos formados en el interior de las latas metálicas y con ello reaccionaban con el atún y sardina y las deterioraba originando un problema de salud con enfermedades gastrointestinales.⁴⁰

2.1. Materiales y métodos

La investigación realizada en la industria alimenticia donde se empaican alimentos de mar, conllevó a utilizar métodos y técnicas de análisis de micro superficies de MSO para determinar los mecanismos de generación de la micro corrosión. Este fenómeno se originó en estos

dispositivos,⁴¹ que no detectaban adecuadamente los MO en el interior de las latas metálicas usadas en los procesos de empaque de estos alimentos.

2.2. Monitoreo de factores climáticos y efecto de los VSA

Los factores climáticos mencionados anteriormente modifican rápidamente sus índices permitidos para evitar la generación de corrosión. Estos parámetros, son monitoreados en zonas externas de la industria alimenticia por las Estaciones de Monitoreo Meteorológico (EMM) y en los interiores de este tipo de empresas por dispositivos especializados como higrómetros y termómetros. La Tabla 1 contiene características de los factores meteorológicos de las EMM. Al ser los VSA un aspecto de importancia en los cambios drásticos de HR y temperatura, el personal especializado en estos tópicos debe tomar las medidas adecuadas para evitar la presencia de corrosión.

2.3. Medición de VC

Con el uso del MATLAB se obtuvieron las correlaciones de la VC influenciada por la HR, temperatura y presencia de sulfuros y cloruros. En base a eso, se observaron los niveles mayores y menores de la VC de acuerdo a los índices de los parámetros climáticos. Además, se consideran las concentraciones de los contaminantes más predominantes en esta ciudad costera del noroeste de la República Mexicana, mencionados (sulfuros, óxidos de nitrógeno y cloruros (EPA, 2012)⁴²), que en ciertos periodos del año, sobrepasan los niveles estándares de calidad del aire.⁴³⁻⁴⁵ La VC se mostró alta desde el inicio del proceso electroquímico y fue lenta, conforme transcurría el tiempo, se formaban las películas de productos de corrosión de manera uniforme. Para obtener la relación de los niveles de concentración de los sulfuros y cloruros con la VC, se utilizaron la técnica de platos de sulfatación (TPS)⁴⁶ y el método de la vela húmeda (MVH).⁴⁷

2.4. Método de análisis superficial

El proceso desarrollado en las evaluaciones de superficie, mostró información detallada, con la cual se observa el proceso de corrosión desde su inicio y después de un periodo de tiempo analizado. Las técnicas utilizadas en el estudio fueron la de MBE y EEA, indicando las representaciones gráficas de las etapas del fenómeno electroquímico y determinando los principales agentes químicos que reaccionaron con las micro conexiones de los MSO y sus niveles de concentración. Esta información obtenida corroboró la analizada en la bibliografía de estudios anteriores en esta ciudad y de otras investigaciones donde señalan a los sulfuros y cloruros, así como la HR y temperatura como factores de la generación de corrosión⁴⁸.

3. Resultados

Las variaciones de factores climáticos afectan a la velocidad de corrosión de metales usados en la industria electrónica. En los períodos de otoño y primavera, que es cuando se tienen variaciones mayores originadas por el cambio climático, se generan una mayor cantidad de fallas eléctricas, principalmente en la época de la presencia de los VSA. Estos cambios drásticos ocasionan en interiores de plantas industriales que un material que es materia prima no pueda ser utilizado en la manufactura de productos electrónicos y es considerada como pérdidas económicas.

3.1. Análisis del clima en interiores de la industria de alimentos

Los valores de HR y temperatura fueron superiores al 70% y 35°C en verano y 80% y 20°C en invierno. Los altos niveles de humedad y temperatura elevada incrementan la velocidad de corrosión del cobre. En verano la velocidad de corrosión (VC) fue la más elevada en el periodo de seis meses. En la época de verano, a temperaturas en el rango de 25°C a 35°C, y HR del 30% al 70%, la VC fue alta. En invierno, a temperaturas de 15°C a 25°C y HR de 35% a 75%, el agua se condensaba y se generaba una película húmeda sobre la superficie del metal y la velocidad de corrosión del cobre se incrementó muy rápido. La Tabla 1 muestra la correlación entre la VC del cobre de las micro conexiones de MSO y los contaminantes del aire: SO₂, NO_x y Cl⁻, HR y temperatura, nivel de concentración de contaminación y VC en el interior de la empresa instalada en ésta ciudad. El SO₂, fue el contaminante atmosférico con un mayor efecto a la corrosión del cobre.

Factores climáticos	Bióxido de azufre (SO ₂)				Óxidos de Nitrógeno (NO _x)				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.	69.3	39.2	0.54	192	80.2	27.5	117	205	62.3	29.8	313	243
Min.	27.8	20.1	0.39	141	42.4	17.8	94	133	34.5	19.1	222	188
Verano												
Max.	90.240	42.7	0.51	213	79.9	43.6	101	199	80.2	45.6	299	278
Min.	.3	24.5	0.32	194	39.5	27.9	78	151	44.3	27.7	205	232
Invierno												
Max.	85.6	29.7	0.76	289	83.5	24.2	143	222	91.5	33.4	389	317
Min.	30.2	18.4	0.48	196	34.1	13.4	112	171	47.9	18.4	257	229

^aHR. Humedad Relativa (%); ^bT. Temperatura (°C); ^cC. Niveles de Concentración de Contaminación del Aire (ppm);

^dVC - Velocidad de corrosión (mg/m².año). Estándares permitidos: SO₂ = 0.5 ppm en un periodo de 3 horas, NO_x = 100 ppb en periodos de una hora Cl⁻ = 250 mg/l

Tabla 1. Correlación del clima y contaminación con la VC en interiores de la empresa (2011)

La VC evaluada con el SO₂, tuvo el valor más alto de 289 mg/m² año, con rangos de HR, temperatura y SO₂ de 85.62%, 29.7°C y 0.76 ppm, respectivamente. Las variaciones de la HR y temperatura en el rango de 30% a 80% y de 0°C a 35°C, y con elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos, como sulfuros y cloruros en este ambiente marino donde está ubicada la ciudad de Tijuana, superan los niveles de los estándares de calidad del aire determinados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), siendo una condición importante que favorece la corrosión.

3.2. Evaluación de VC en micro conexiones de MSO

Los microcircuitos, conectores y contactos eléctricos utilizados en las plantas industriales, principalmente en la industria de alimentos, son susceptibles a la corrosión atmosférica, que se produce en interiores de este tipo de compañías de la ciudad de Tijuana y en las épocas con la presencia de los VSA. Las variaciones de clima por la presencia de los VSA, generaron en interiores de la empresa donde se realizó el estudio, cambios de humedad y temperatura, en las épocas de principios de primavera y finales de otoño. Estas variaciones climáticas, aunadas a los contaminantes del aire mencionados, originaron rápidamente el fenómeno de la corrosión. En base a esto, se determinaron los niveles de corrosividad (NC) en interiores de la industria electrónica de las ciudades evaluadas y con ello la VC, como se muestran en las Figuras 1 y 2. La

Figura 1 representa la correlación de los niveles de clima y la VC, mostrándose los índices mayores de deterioro de los materiales metálicos con el color rojo y una VC en menor escala con el color azul verde. El color azul indica índices de VC lentos debido a que el proceso de corrosión se estabiliza, por la generación de corrosión uniforme. Las secciones de esta figura que presentan coloración continua, indican el proceso de corrosión uniforme y las áreas blancas sin color, representa corrosión por picaduras. La Figura 1 que representa la época de verano, indica que existen mayores áreas discontinuas con corrosión por picaduras y en la Figura 2 que presenta la correlación de invierno, se observa mayores secciones con corrosión uniforme en su mayor proporción y con menor nivel por corrosión por picaduras.

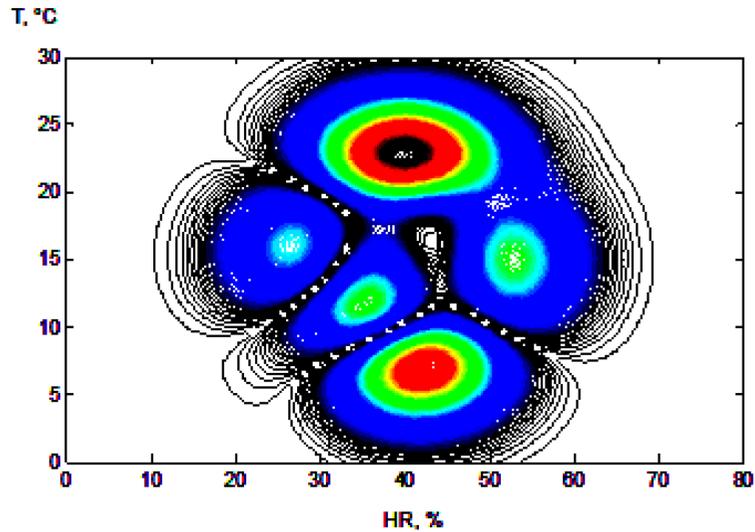


Figura 1. Correlación de VC con niveles de clima en el interior de la planta industrial de Tijuana en la época de verano (2011)

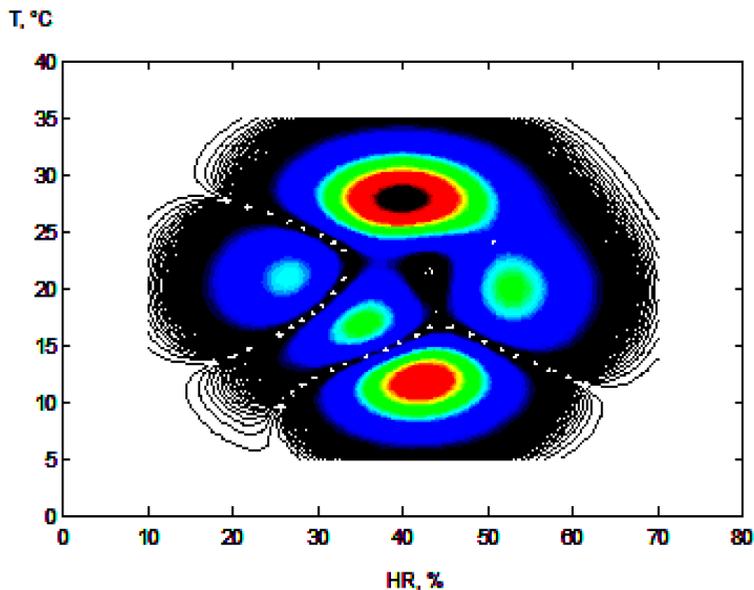


Figura 2. Correlación de VC con niveles de clima en el interior de la planta industrial de Tijuana en la época de invierno (2011)

3.3. Análisis de deterioro de los MSO con la técnica de espectroscopia

El análisis de los mapas Auger (Figuras 3 y 4) mostraron los espectros de señales de las muestras de micro conexiones de MSO evaluados, en la industria mencionada predominando en mayor porcentaje los sulfuros y cloruros. Las figuras 3 y 4 muestran los análisis de EEA. Se utilizó una resolución espacial de esta técnica es de alrededor de 100 nano metros y de 1 nano metro de profundidad. Con ésta técnica se observaron a detalle los agentes contaminantes que reaccionaron con las superficies de cobre de las micro conexiones de los MSO, donde se utiliza una cámara de ultra vacío (UV). El sistema de obtención de la información de los elementos químicos se realizó con un bombardeo de electrones Auger, al someter un átomo a una prueba por un mecanismo externo, como un fotón o un haz de electrones con energías en el rango de 2 keV a 50 keV.

Los espectros de EEA de las Figuras 3 y 4 que muestran los análisis de la corrosión en los micro conexiones de los MSO, con la mayor parte de material de cobre (Cu), fueron generados utilizando un haz de electrones 5keV, que indican una evaluación de la composición química de las películas formadas en la superficie de Cu. Dichos espectros muestran el análisis de superficie de tres puntos evaluados en diferentes zonas de las probetas metálicas. Los picos de Cu aparecen entre 905 y 915 eV, con picos de 181 para cloruros y 152 para sulfuros.

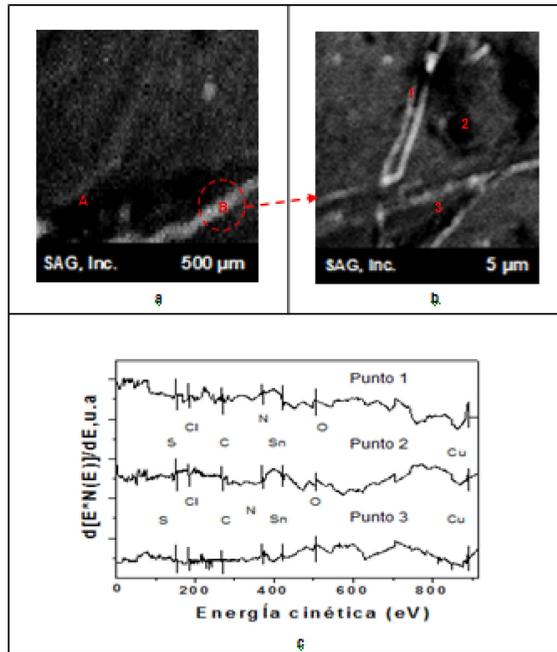


Figura 3. Análisis Auger de conexiones eléctricas de MSO con mapa Auger a: (a) 500X, (b) 5X, (c) espectro de Auger en la época de verano en interiores de la planta industrial de Tijuana (2011)

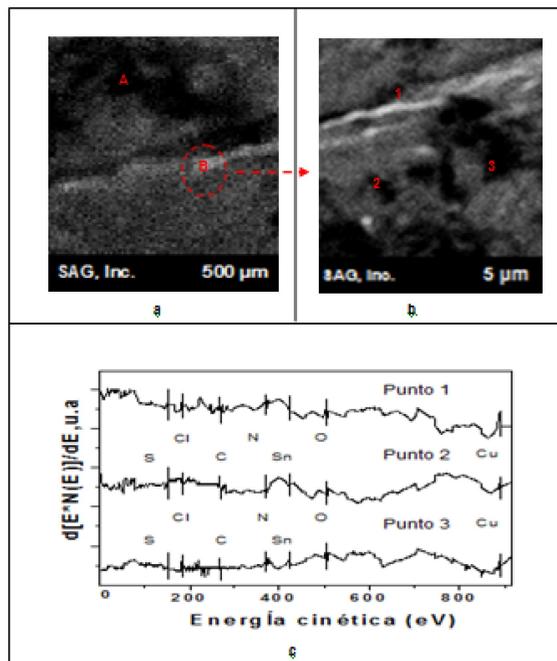


Figura 4. Análisis Auger de conexiones eléctricas de MSO con mapa Auger a: (a) 500X, (b) 5X, (c) espectro de Auger en la época de invierno en interiores de la planta industrial de Tijuana (2011)

En las Figuras 3 y 4 se observan los niveles máximos de los agentes contaminantes (SO_x , Cl^- y NO_x), además de los materiales que conforman las micro conexiones de los MSO. La Tabla 2 muestra la concentración atómica de las zonas de las muestras de las superficies metálicas de cobre evaluadas, donde se indican los contaminantes que reaccionan con este material, con sus porcentajes obtenidos en dos principales áreas de la empresa (almacén de materiales y manufactura), donde se desarrolló el estudio.

Áreas Elementos	Almacén			Manufactura		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3
C	31	31	30	29	30	29
Cl	14	14	15	16	15	14
Cu	12	10	11	13	11	12
O	10	11	12	10	14	13
S	33	34	32	32	30	32

Tabla 2. Concentración atómica (%) de zonas analizadas en áreas de la empresa (2011)

Los espectros de EEA de los especímenes de Cu fueron generados utilizando un haz de electrones 5keV, que indican un análisis de la composición química de las películas formadas en la superficie de Cu.

3.4. Evaluación por microscopia de micro sensores ópticos y formación de MO

La técnicas de MBE se realizó para determinar los productos de corrosión formados en la superficie de cobre y con las imágenes se muestran las microfotografías del efecto de la corrosión, detectado con mayor incidencia en algunas zonas. En todos los análisis, se observan en mayor porcentaje niveles de sulfuros y cloruros en interiores de la empresa ubicada en la ciudad de Tijuana. La presencia de Cl^- y S_2^- actúan como los iones corrosivos principales presentes en el cobre como productos de la corrosión. En las regiones de la superficie de cobre analizado se observaron diferentes concentraciones de azufre, carbono y oxígeno, siendo el principal contaminante del aire que se detectó fue los SO_x , como se muestran en las Figuras 5, 6 y 7. Las Figuras 5a y 5b, representan la generación de una dendrita en un espacio de las micro conexiones de los MSO a escalas de 500 X y 5X respectivamente, donde se generó una conexión innecesaria y con ello un corto circuito que ocasionó daño en el MSO y dejara de funcionar. Las Figuras 6a y 6b, muestran la formación de MO en los interiores de las latas a escalas de 500 X y 5 X respectivamente, observando a nivel superficial la composición externa de los MO.

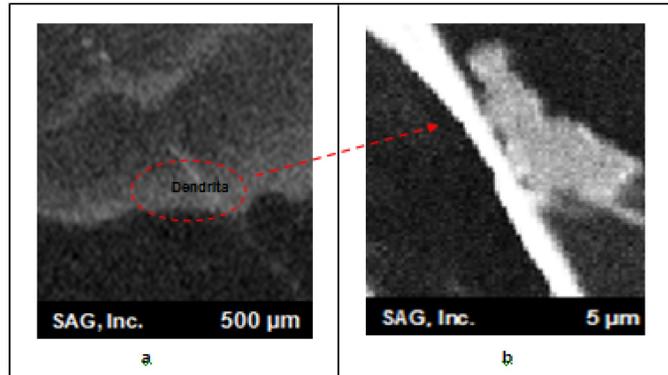


Figura 5. Microanálisis de formación de dendritas en conexiones eléctricas de MSO en procesos de manufactura de planta industrial de Tijuana en invierno (2011) a: (a) 500 X y (b) 5X en el invierno

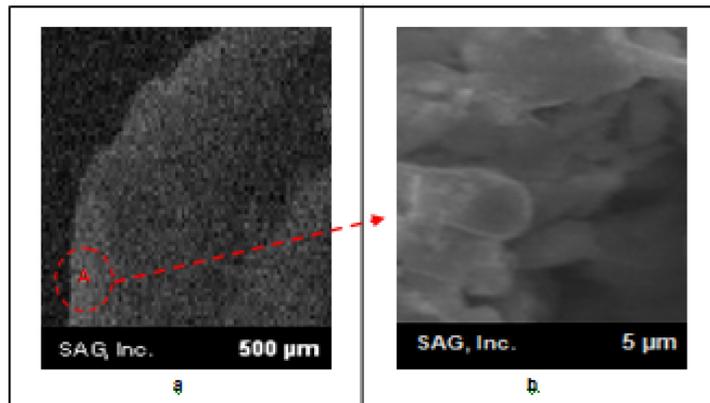


Figura 6. Microanálisis de MBE de formación de microorganismos en interior de latas metálicas en proceso de manufactura de planta industrial de Tijuana en verano (2011) a: (a) 500 X y (b) 5X

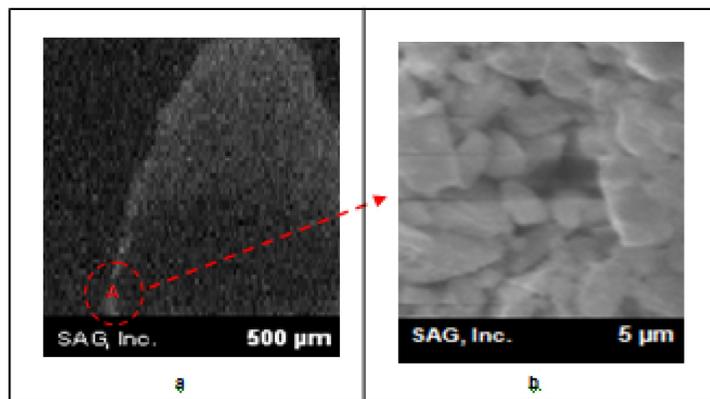


Figura 7. Microanálisis de MBE de formación de microorganismos en interior de latas metálicas en proceso de manufactura de planta industrial de Tijuana en invierno (2011) a: (a) 500 X y (b) 5X

4. Conclusiones

Los microcircuitos, conectores y contactos eléctricos utilizados en la industria electrónica, son susceptibles a la corrosión atmosférica, que se produce en interiores de plantas industriales ciudades de la costa de Baja California. Las VC observadas en los micro dispositivos electrónicos como los MSO, que detectan a los MO en los interiores de las latas metálicas, utilizadas para el empaque de atún y sardina en esta región, fueron más altas en las épocas cuando se presentaron los VSA. Los principales agentes corrosivos mencionados anteriormente fueron emitidos por el tráfico vehicular e industrias donde se tiene un gran número de automóviles y plantas industriales en la ciudad de Tijuana. Además, se emitieron óxidos de nitrógeno de la planta termoeléctrica ubicada a alrededor de 25 km. de esta ciudad, y son dispersados por el flujo de viento. Estos contaminantes del aire deterioraron rápidamente las superficies de cobre de las micro conexiones de los MSO, afectando su rendimiento operativo y con ello no se detectaban los MO que se formaban en los interiores de los envases usados para empacar los alimentos de mar. Esto contribuyó a que en la empresa evaluada, se envasaran los alimentos deteriorados siendo un factor en la generación de enfermedades gastrointestinales para los clientes que consumían estos productos alimenticios. La mayor parte de la producción de esta industria alimenticia, se envía al centro de la República Mexicana y una pequeña parte es consumida por la población de Baja California. Los materiales utilizados en las latas de envase, perdieron sus propiedades de resistencia a la corrosión, al ser expuestos a ambientes agresivos en los interiores de la empresa donde se realizó el estudio. Las emisiones de gases contaminantes de las fuentes mencionadas, penetraron por pequeños orificios y rendijas de paredes y techos de la empresa analizada y por los sistemas de aire acondicionado. Además al ser la ciudad de Tijuana una zona con un clima agradable en la mayor parte del año, estos agentes químicos se introducían por puertas y ventanas, que permanecían abiertas. Aunado a las variaciones de los factores climáticos, se observaron procesos de corrosión uniforme y por picaduras por la presencia de contaminantes del aire como cloruros principalmente y sulfuros como segundos agentes contaminantes con un efecto que contribuía al deterioro de los MSO. Los MSO operaron en condiciones en mal estado o dejaron de operar, sin realizar el proceso de detección adecuado y se generó CMB que deterioró los alimentos y originó pérdidas económicas. Estos cambios radicales generan efectos adversos en las atmósferas de interior de plantas industriales y causan modificaciones que provocan alteraciones en los procesos de manufactura, ocasionando deterioro en los materiales utilizados en empresas de esta región.

Referencias

1. Valdez B, Schorr M. *Control de la Corrosión en la industria electrónica*. Revista Ciencia de la Academia Mexicana de Ciencias. Julio-Septiembre 2006; 57(3): 72-80. ISSN 1405-6550.
2. López Badilla G, Valdez Salas B, Koytchev Zlatev R, Flores PJ, Carrillo Beltrán M, Schorr Wiener M. *Corrosion of metals at indoor conditions in the electronics manufacturing industry*. Anti-Corrosion Methods and Materials. 2007; 54(6): 354-359. <http://dx.doi.org/10.1108/00035590710833510>
3. López Badilla G, Valdez Salas B, Schorr Wiener M. *Spectroscopy analysis of corrosion in the electronic industry influenced by Santa Ana winds in marine environments of*

- Mexico. En Orosa JA (Ed.). *Indoor And Outdoor Polluton*. Chapter 4. INTECH Ed. ISBN 978-953-307-310-1; Book, 2011.
4. Asociación de la Industria Maquiladora (AIM) y de Exportación de Tijuana. *Anuario Estadístico, 2011*.
 5. Veleva L, Valdez B, Lopez G, Vargas L, Flores J. *Atmospheric corrosion of electro-electronics metals in urban desert simulated indoor environment*. Corrosion Engineering Science and Technology. 2008; 43(2): 149-155.
<http://dx.doi.org/10.1179/174327808X286275>
 6. López Badilla G. *Caracterización de la corrosión en materiales utilizados en la industria electrónica de Mexicali*. Tesis Doctoral. 2008.
 7. López Badilla G, Valdez Salas B, Schorr Wiener M. *Micro and nano corrosion in steel cans used in the food industry*. En Valdez Salas B, Schorr Wiener M (Eds.). *Scientific, Health and Social Aspects of the Food Industry*. Chapter 7. INTECH Ed. ISBN 978-953-307-916-5; Book, 2012.
 8. Food Drug Administration (FDA). *FDA Food Industry Systems and Regulations*. 2012.
<http://www.fda.gov/Food/ResourcesForYou/FoodIndustry/default.htm>
 9. Avella M, De Vlieger JJ, Errico ME, Fischer S, Vacca P, Volpe MG. *Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications*. Food Chem. 2005; 93(3): 467-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.024>
 10. Brody A, Strupinsky ER, Kline LR. *Odor removers*. En: Brody A, Strupinsky ER, Kline LR (Eds.). *Active packaging for food applications*. Lancaster, Pa.: Technomic Publishing Company, Inc.; 2001. Pp. 107-17.
 11. Dubiel M, Hsu H, Chien CC, Newman DK. *Microbial Iron Respiration Can Protect Steel from Corrosion*. Applied and Environmental Microbiology. 2002: 1440-5.
<http://dx.doi.org/10.1128/AEM.68.3.1440-1445.2002>
 12. López Badilla G, Valdez Salas B, Schorr Wiener M, Navarro GCR. *Microscopy and spectroscopy analysis of MEMS used in the electronics industry of Baja California Region, Mexico*. En López Badilla G, Valdez Salas B, Schorr Wiener M (Eds.). *Scientific, Health and Social Aspects of the Food Industry*. Chapter 9. INTECH Ed. ISBN 978-953-51-0674-6; Book, 2012.
 13. Costerton JW, Stewart PS. *Battling biofilms*. Sci. Am. 2001; 285: 74-81.
<http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican0701-74>
 14. Lord JB. *The food industry in the United States*. En Brody AL, Lord J (Eds.). *Developing new food products for a changing market place*. 2nd ed. Boca Raton, Fla.: CRS Press; 2008. Pp. 1-23.
 15. Newman DK. *How bacteria respire minerals*. Science J. 2001; 292: 1312-3.
<http://dx.doi.org/10.1126/science.1060572>
 16. Ray S, Easteal A, Quek SY, Chen XD. *The potential use of polymer-clay nanocomposites in food packaging*. Int J Food Eng. 2006; 2(4): 1-11.
<http://dx.doi.org/10.2202/1556-3758.1149>
 17. Cooksey K. *Effectiveness of antimicrobial food packaging materials*. Food Addit Contam. 2005; 22(10): 980-7. <http://dx.doi.org/10.1080/02652030500246164>
 18. Brody AL., Bugusu B, Han JH., Sand K, Mchugh TH. *Innovative Food Packing Solutions*. Journal of Food Science. 2008; 73(8).
 19. Brown H, Williams J. *Packaged product quality and shelf life*. En Coles R, McDowell D, Kirwan MJ (Eds.). *Food packaging technology*. Oxford, U.K.: Blackwell Publishing Ltd.; 2003. Pp. 65-94.

20. Santa Ana Wind - NOAA's National Weather Service Glossary. NOAA National Weather Service. 2011.
21. Lenihan JM, Drapek R, Bachelet D, Neilson RP. *Climate change effects on vegetation distribution, carbon, and fire in California*. Ecological Applications. 2003; 13(6): 1667-81. <http://dx.doi.org/10.1890/025295>
22. Westerling AL, Cayan DR, Brown TI, Hall BL, Riddle LG. *Climate, Santa winds and autumn wildfires in the southern of California*. EOS, Transactions, American Geophysical Union; Eos. 3 August 2004; 85(31).
23. Moritz MA, Stephens SL. *Fire and sustainability: Considerations for California's altered future climate*. Climatic Change. 2008; 87 (Suppl 1): S265-71. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-007-9361-1>
24. Raphael MN. *The Santa Ana winds of California*. Earth Interactions. 2003; 7(8): 1-13. [http://dx.doi.org/10.1175/1087-3562\(2003\)007<0001:TSAWOC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1087-3562(2003)007<0001:TSAWOC>2.0.CO;2)
25. López Badilla G, Valdez Salas B, Schorr Wiener M, Rosas GN, Tiznado VH, Soto HG. *Influence of climate factors on copper corrosion in electronic equipment and devices*, Anti-Corrosion Methods and Materials. 2010; 57(3): 148-152. <http://dx.doi.org/10.1108/00035591011040119>
26. López Badilla G, Tiznado VH, Soto HG, De la Cruz W, Valdez Salas B, Schorr Wiener M, Koytchev Zlatev R. *Corrosión de dispositivos electrónicos por contaminación atmosférica en interiores de plantas de ambientes áridos y marinos*. Nova Scientia. 2010; 5(3): 11-28.
27. Ibars JR, Moreno DA, Ranninger C. *Microbial corrosion in steel cans of food industry*. Electrochemical J. 2002: 123-9.
28. López Badilla G, Valdez Salas B, Schorr Wiener M, Zlatev R., Tiznado VH, Soto HG, De la Cruz W. *AES in corrosion of electronic devices in arid in marine environments*. Anti-Corrosion Methods and Materials. 2011; 6(8): 331-336. <http://dx.doi.org/10.1108/00035591111178909>
29. Rice DW, Peterson P, Rigby EB. *Atmospheric corrosion of electronic devices*. J. Air Pollution. 2001; 51(7): 346-51.
30. Moncmanova A. (Ed.). *Environmental Deterioration of Materials*. WITPress. 2007: 108-12.
31. López Badilla G, Valdez Salas B, Koytchev Zlatev R, Flores PJ, Carrillo Beltrán M, Schorr Wiener M. *Corrosion of metals at indoor conditions in the electronics manufacturing industry*. Anti-Corrosion Methods and Materials, United Kingdom. 2007; 54(6); 354-9. <http://dx.doi.org/10.1108/00035590710833510>
32. Kim H. *Corrosion process of silver in environments containing 0.1 ppm H₂S and 1.2 ppm NO₂*. Materials and Corrosion. 2003; 54: 243-50. <http://dx.doi.org/10.1002/maco.200390053>
33. Kleber Ch, Wiesinger R, Schnöller J, Hilfrich U, Hutter H, Schereiner M. *Initial oxidation of silver surfaces by S₂⁻ and S₄⁺ species*. Corrosion Science. 2008; 50: 1112-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2007.12.001>
34. Walsh G, Azarm S, Balachandran B, Magrab EB, Herold K, Duncan J. *Engineers Guide to MATLAB*. Prentice Hall; 2010. ISBN-10: 0131991108.
35. Anoikin TV, Spratt GWD. *Microscopic corrosion in metals used in the food industry*. Atmospheric Pollution. 2003; 4: 56-61.
36. Asami K, Hashimoto K. *Auger spectroscopy analysis of materials used in the electronics industry*. Air Pollution J. 2007; 8(5): 178-83.

37. Bastidas JM, Mora N, Cano E, Polo JL. *Characterization of copper corrosion products originated in simulated uterine fluids and on packaged intrauterine devices*. Journal of Materials Science: Materials in Medicine. 2004; 12(5).
38. Clark AE, Pantan CG, Hench LL. *Auger Spectroscopic Analysis of Bioglass Corrosion Films*. Journal of the American Ceramic Society. 2006; 59 Issue 1-2: 37-9.
39. AHRAE; Handbook; *Heating, Ventilating and Air-Conditioning*; applications; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.; 1999.
40. Soroka, W. *Fundamentals of Packaging Technology*. Institute of Packaging Professionals (IoPP); 2002. ISBN 1-930268-25-4.
41. Yang CJ, Liang CH, Liu X. *Tarnishing of silver in environments with sulphur contamination*. Anti-Corrosion Methods and Materials. 2007; 54(1): 21-6.
<http://dx.doi.org/10.1108/00035590710717357>
42. Environmental Protection Agency (EPA). *Sulfurs and nitrogen oxides air quality standards*. 2012. <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
43. ISO 11844-1:2006. Corrosion of metals and alloys - Classification of low corrosivity of indoor atmospheres - Determination and estimation of indoor corrosivity. ISO, Geneva; 2006.
44. 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; 2005.
45. ISO 9223:1992. Corrosion of metals and alloys, Corrosivity of Atmospheres, Classification; 1992.
46. ASTM G91-97. Standard Practice for Monitoring Atmospheric SO₂ Using the Sulfation Plate Technique (SPT); 2010.
47. ASTM G140-02. Standard Test Method for Determining Atmospheric Chloride DepositionRate by Wet Candle Method; 2008.
48. Valdez Salas B, Schorr Wiener M., Lopez BG, Carrillo Beltrán M, Koytchev Zlatev R, Stoycheva M, Dios Ocampo DJ, Vargas OL, Terrazas GJ. *H₂S Pollution and Its Effect on Corrosion of Electronic Components*. En López Badilla G, Valdez Salas B, Schorr Wiener M (Eds.). *Air Quality-New Perspective*. Chapter 13. INTECH Ed. ISBN 978-953-51-0674-6; Book, 2012.