

## Incidencia de la corrosividad atmosférica de la zona industrial del sur de Tamaulipas, México

Nava, D.P., Calderón, S.C., Hoz, Z.E., Gómez, C.M.

Recibido 14 de Abril, 2015; Aceptado 4 de Junio, 2015

### Resumen

A lo largo del año 2013, se evaluó el nivel de corrosividad de la atmósfera prevaleciente en la zona industrial del sur de Tamaulipas, así como el grado de incidencia en paneles metálicos de acero. Para ello, en ocho puntos al interior de cinco plantas industriales, se colectaron muestras mensuales por los métodos de la vela húmeda para la obtención de cloruros y de la filtracita para la obtención del dióxido de azufre, acorde con normas ASTM e ISO. Las ubicaciones de los sitios elegidos fueron registradas vía GPS. La determinación de las concentraciones de cloruros y sulfatos fue efectuado por métodos de titulación y turbidimétrico, respectivamente, acorde con normas ASTM e ISO, equivalentes entre sí. Los resultados fueron asociados con la condición ambiental prevaleciente en la zona conurbada e industrial, y reconocidas por su impacto en la velocidad de corrosión, como son la humedad relativa, la temperatura y la precipitación pluvial, midiéndose diariamente para obtener con ello el grado de humectabilidad en las superficies de manera similar que el recomendado en el proyecto MICAT (Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica). El grado de corrosión fue medido a través del cambio de peso en placas muestras de fierro acorde con la normatividad ASTM.

**Corrosión atmosférica, metodología MICAT, vela húmeda, filtracita.**

### Abstract

Throughout 2013, the level of corrosiveness of the atmosphere prevailing in the industrial area of southern Tamaulipas, and the degree of impact on steel metal panels were evaluated. To this end, eight points into five industrial plants, samples were collected monthly by wet methods for obtaining candle chlorides and filtracita for obtaining sulfur dioxide, according to ASTM and ISO standards. The locations of the sites chosen were recorded via GPS. Determining concentrations of chloride and sulfate was carried out by turbidimetric & titration methods, respectively, in accordance with ASTM and ISO standards equivalent to each other. The results were associated with the prevailing environmental conditions in metropolitan and industrial area, and recognized for its impact on the rate of corrosion, such as relative humidity, temperature and rainfall, measured daily to thereby obtain the degree of wettability surfaces similarly recommended that the project MICAT (Map Iberoamerican Atmospheric Corrosion). The degree of corrosion was measured by weight change in iron plate samples according to ASTM standards. The atmosphere was of C4 level (industrial high) and the impact on the metal panels was C3 (middle), both in accordance with the ISO 9523 standard.

**Atmospheric corrosion, MICAT methodology, wet candle, filtracita.**

**Citación:** Nava, D.P., Calderón, S.C., Hoz, Z.E., Gómez, C.M. Incidencia de la corrosividad atmosférica de la zona industrial del sur de Tamaulipas, México. Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico 2015, 2-3:227-234

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

La zona industrial Madero-Altamira, localizada en la región sur del estado de Tamaulipas, México, es costera por naturaleza y se encuentra instalada en contra de los vientos dominantes, y dada la manifestación de corrosión observada es considerada de alta corrosividad. De enero a diciembre de 2013, se llevó a cabo un estudio para determinar cuantitativamente la potencialidad corrosiva del ambiente así como el grado de incidencia en paneles metálicos de acero expuestos en dicha zona industrial del área conurbada del Sur de Tamaulipas. Por lo que fue asignado evaluar la potencialidad corrosiva ambiental de ocho puntos estratégicos industriales así como medir en dos de esos puntos, el efecto en los paneles de acero, específicamente aquellos que fueron colocados en las planta MEXICHEM y PEMEX Refinería Madero<sup>[1]</sup>. El objetivo primordial fue proveer asesoría pertinente y servicios adecuados y oportunos, debido a la observancia de manifestaciones recurrentes y periódicas de corrosión en las instalaciones industriales. Por tanto, se presentan a continuación los resultados del potencial corrosivo de la zona industrial Madero-Altamira y del ataque corrosivo en el metal fierro en la planta MEXICHEM 1 dentro del Clúster Petroquímico Altamira, y la planta CH dentro de la Refinería Madero de PEMEX.

## Metodología y Materiales

Se colocaron estaciones de medición en ocho localizaciones de la zona industrial del Sur de Tamaulipas, 5 en Altamira y 3 en Madero.

Cada una de las estaciones consistían de una unidad de recolección de contaminantes ambientales, Cloruros y Sulfitos, y otra unidad de exposición de paneles metálicos de fierro, a fin de efectuar simultáneamente estudios de las condiciones de contaminación ambiental y del grado de deterioro de paneles metálicos expuestos al ambiente. La metodología seguida en este trabajo fue muy similar a la del proyecto MICAT “Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica”<sup>[4]</sup> aunque con algunas adecuaciones pues el período de trabajo fue de un año, durante el año 2013.

El procedimiento específicamente seguido por el estudio fue:

1. Habilitación de las unidades de monitoreo de contaminantes y de tasa de corrosión en especímenes metálicos, conforme las indicaciones de las normas ASTM-G1, ASTM-G4, ASTM-G33, ASTM-G50, ISO 8565 e ISO-9225 [11a, 11b, 11d, 11f, 11i, 11n].
2. Ubicación de las unidades de monitoreo en los puntos de inspección previamente establecidos, acorde indicaciones de las normas ASTM-G50 e ISO 8565 [11f, 11n].
3. Recolección periódica (mensual) previamente acordada de las soluciones para cloruros, discos de filtracita para sulfitos y especímenes metálicos, conforme lo indicado en normas ASTM-G91, ASTM-G140 e ISO 9225 [11g, 11i, 11j].
4. Monitoreo periódico de parámetros ambientales de la localidad, de manera similar al procedimiento empleado en el programa MICAT <sup>[4]</sup>.

5. Cuantificación de los agentes contaminantes de mayor incidencia corrosiva, cloruros y sulfitos en la atmósfera, conforme indicaciones de las normas ASTM-G91, ASTM- G92, ASTM-G140 e ISO 9225 [11g, 11h, 11i, 11j].
6. Cuantificación de la tasa y aspecto del fenómeno corrosivo en los especímenes metálicos, de conformidad con las normas ASTM-G1, ASTM-G46, ISO 9223, ISO 9224 e ISO 9226 [11a, 11e, 11j, 11k, 11m].
7. Previo análisis de los datos, determinación del grado de corrosividad de la localidad, por una parte basado en el índice de contaminación de los agentes cloruros y sulfitos en combinación con la humectación ambiental; y por la otra, basado en la tasa y forma de la corrosión observada en los paneles metálicos, conforme la categorización de la norma ISO 9223 y procedimiento de la norma ASTM-G16 [11c, 11j].

Los paneles metálicos se recibieron previamente preparados a fin de solo ser colocados en los marcos de exposición. Los reactivos utilizados para la captación y determinación de los agentes de contaminación atmosférica, cloruros y sulfitos, fueron de reciente adquisición expreso para el proyecto.

A los paneles metálicos después de exposición, le fueron removidos los productos de corrosión mediante limpieza electroquímica [10], conforme lo sugerido en la norma ASTM-G1 [11a].

## Resultados y Discusión

Con el propósito de desarrollar los estudios de las condiciones de contaminación ambiental y del grado de deterioro de paneles metálicos expuestos al mismo ambiente, a fin de determinar el grado de incidencia en las estructuras metálicas por el nivel de corrosividad en el ambiente, se colocaron en sitios estratégicos (tabla 1) colectores de depósitos de cloruros y sulfitos así como soportes de paneles metálicos.

Identificador		Sitio prueba	Latitud	Longitud
Abreviatura	No. Colector			
AMI	1	AMISA	22°24'23.35 "N	97°54'39.26" W
MXE	2	MEXICHEM 1, Esfera	22°24'31.92 "N	97°53'44.29" W
MX	3	MEXICHEM 1, Edificio	22°24'36.22 "N	97°53'42.01" W
MXP	4	MEXICHEM 2, Policyd	22°27'70.72 "N	97°59'16.72" W
PMXA	5	PMX Alquilación	22°15'54.07 "N	97°48'06.04" W
PMXC H	6	PMX CH	22°16'02.76 "N	97°48'28.01" W
PMXA LM	7	PMX Almacén	22°15'51.45 "N	97°48'58.42" W
COME GO	8	COMEGO	-	-

**Tabla 1** Posicionamiento de las estaciones colectoras de depósitos de la contaminación ambiental y de los marcos-soporte de los paneles de prueba.

Las condiciones meteorológicas de la localidad fueron monitoreadas a través de las estaciones automáticas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) [5]

Mes (horas de exposición)	Tiempo /Humedad Relativa >80%, hrs	Tiempo c/Temperatura >20°C, hrs	Dirección viento entre 0 - 140° (SE-E-NE), hrs	Tiempo c/vel. Viento >19 Km/h, hrs	Tiempo Precipitación Pluvial (pp), mm/h	
					pp<2	2<pp<15
Marzo (744)	329	429	362	139	22	5
Abril (720)	302	404	311	71	4	0
Mayo (744)	353	535	440	62	6	2
Junio (720)	346	504	487	23	17	9
Julio (744)	425	630	633	37	18	10
Agosto (744)	458	744	304	2	15	6
Septiembre (720)	442	696	-	-	-	-
Octubre (744)	363	617	-	-	-	-
Noviembre (720)	398	478	-	-	-	-
Diciembre (336)	263	162	-	-	-	-

**Tabla 2** Condiciones meteorológicas por mes del año 2013 proporcionados por la CONAGUA

Los resultados del monitoreo meteorológico se muestran en la tabla 2, como cantidad de tiempo en el que se manifestaron ciertas condiciones esenciales identificadas con la manifestación intensa del fenómeno corrosivo tal como la humedad relativa >80%, temperatura >20°C, la dirección del viento entre 0° y 140° (abanico de norte a sureste), la velocidad del viento > 19 Km/h y la precipitación pluvial escasa, media o intensa según la cantidad medida en mm/h.

Dado que la teoría electroquímica [5,10] sostiene la necesidad de un electrolito para que se lleve a cabo la reacción de disolución del ánodo, la persistencia de la humedad relativa superior a 80°C combinado con una temperatura por encima de 20°C son elementos esenciales para la manifestación de una significativa velocidad de corrosión. Por la posición geográfica de la zona conurbada Tampico-Madero-Altamira, vientos que soplan con una intensidad mayor a 19 Km/h y dirección entre noreste y sureste aseguran el suministro de aerosol marino. La precipitación pluvial provee un efecto de contribución o inhibición a la intensidad del fenómeno corrosivo observado, según ésta se manifieste en la localidad.

La estadística observada en la tabla 2 permite conocer que respecto al tiempo representado en el año 2013 más del 51% la humedad relativa fue superior a 80%, más de 76% la temperatura fue superior a 20°C.

Mes	Porcentaje tiempo Humectación	$\tau$
Marzo	44.2%	$\tau_4$
Abril	41.9%	$\tau_4$
Mayo	47.4%	$\tau_4$
Junio	48.1%	$\tau_4$
Julio	57.1%	$\tau_4$
Agosto	61.6%	$\tau_5$
Septiembre	61.4%	$\tau_5$
Octubre	48.8%	$\tau_4$
Noviembre	55.3%	$\tau_4$
Diciembre	78.3%	$\tau_5$

**Tabla 3** Tiempo de humectación mensual del año 2013 expresado en porcentaje y en el parámetro  $\tau$  conforme la norma ISO 9223

Lo anterior impacta en el tiempo de humectación, el cual está definido como la relación entre el tiempo con 80% de humedad relativa y el total del período mensual, que como se muestra en la tabla 3, es del orden  $\tau_4$  en promedio [11j]. Acerca de las estaciones colectoras, 3 de ellas se encontraban en el área del municipio de Madero donde se encuentra la Refinería Madero y 5 en el área del municipio de Altamira donde se encuentran las plantas Petroquímicas, ambas separadas por una distancia aproximada de 14 km en línea recta. Los resultados de la recolección de los depósitos de contaminantes cloruros y sulfitos se resumen por área de exposición en la tabla 4.

	Área Madero		Área Altamira	
	Valor	ISO 9523	Valor	ISO 9523
Cloruros, Cl	71	S2	118	S2
Sulfitos, SO <sub>2</sub>	139	P3	85	P3
Relación Cl/SO <sub>2</sub>	0.56	-	1.56	-

**Tabla 4** Resultados de la depositación de contaminantes cloruros y sulfitos por Áreas de Trabajo, cuantitativos y equivalentes según la norma ISO9523

Algunos autores resaltan la importancia de la relación Cl/SO<sub>2</sub> como un indicativo del grado de contaminación por los aniones reconocidos de alta incidencia corrosiva. Dicha relación ha sido estimada en un valor superior a 7 de manera natural provista en el aerosol marino. Basado en lo anterior, tanto en el área Madero como Altamira, dicha relación es significativamente inferior al valor natural, lo que sugiere que la contaminación de SO<sub>2</sub> es muy superior a la de Cl evidencia que es proveniente de la actividad industrial de la zona.

La combinación de los factores del tiempo de humectación y la velocidad de depositación de cloruros y sulfitos determinan el potencial de corrosividad del ambiente de la zona industrial Madero-Altamira (tablas 3 y 4) ciertamente de categoría C5.

	$\tau_4$			$\tau_5$		
	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
P <sub>0</sub> -P <sub>1</sub>	3	4	5	3 o 4	5	5
P <sub>2</sub>	4	4	5	4 o 5	5	5
P <sub>3</sub>	5	5	5	5	5	5

**Tabla 5** Extracto de la tabla 5 de la norma ISO 9223, categorización del ambiente corrosivo basado en la combinación del tiempo de humectación y grado de depositación de cloruros (S) y sulfitos (P).

Luego de efectuar el tratamiento recomendado en la norma ASTM-G1 [11a], se realizó el análisis de la manifestación de corrosión observada en los paneles del metal fierro (Fe), que fueron ubicados en las plantas de MEXICHEM 1 esfera y en PMX CH, es decir, las estaciones 2 y 6 respectivamente (tabla 1), arrojando los resultados que se muestran en la tabla 6.

Parámetro	Planta CH Refinería Madero	Planta MEXICHEM 1 en Altamira
Pérdida de peso medida en el panel, g	7.2	6.1
Cálculo velocidad de corrosión $V_{corr}$ , g/(m <sup>2</sup> -año)	472	208
Categoría de corrosión observada, tabla 5, ISO 9223	C4	C3
Densidad de la manifestación, ASTM-G46	A4	A3/A4
Tamaño de la manifestación, ASTM-G46	B3	B2
Profundidad de la manifestación, ASTM-G46	C1	C1

**Tabla 6** Resultados del análisis del grado de corrosión observado en el panel de Fe de las estaciones 1 y 6

Lo anterior indica que el ataque corrosivo observado es de categoría entre C4 en la localización 6 y C3 en la localización 2, manifestándose en forma de corrosión del tipo uniforme con ataque localizado en forma de cazuela, de densidad entre 50,000 y 100,000 picaduras, de tamaño entre 0.5 y 2 mm<sup>2</sup> y profundidad 0.4 mm [11e]. Respecto a la intensidad del ataque corrosivo observado en el panel metálico de Fe, éste difiere con la potencialidad determinada para el ambiente (tabla 5). [2,3] asegura que aún se continúa estudiando el efecto combinado de estos dos aniones en la velocidad de corrosión en el fierro, pues aunque se sabe que la velocidad de corrosión se eleva en cuanto mayor es la concentración de SO<sub>2</sub>, y que la herrumbre por sulfato no es tan influenciada por la intensidad de los vientos y/o de la lluvia como es el caso de los cloruros, sin embargo como él mismo cita del trabajo de Asdrúbal, 1994 [5,7]. Debe existir una relación de efecto conjunto en que la reacción debido al sulfito pareciera estar controlando la velocidad de reacción global, ya que su mecanismo consta de más etapas, haciendo diferir de lo que predice la potencialidad atmosférica de la localidad.

## Conclusión

Se efectuaron estudios en el año 2013 para determinar el potencial corrosivo del ambiente y su grado de incidencia en el metal fierro (Fe) de la zona industrial Madero-Altamira.

El estudio del comportamiento del medio ambiente (meteorología) desde el punto de vista corrosivo, es que la zona conurbada Tampico-Madero Altamira es una en la que el tiempo de humectación es de categoría  $\tau_4$  y 76% del tiempo en el año la temperatura fue superior a 20°C. También se observó un porcentaje elevado en que los vientos y su dirección son superiores a 19 Km/h y provienen desde el mar, favoreciendo el aerosol marino. Además la precipitación pluvial fue realmente dispersa y escasa, condiciones que predisponen al ataque corrosivo de sulfitos.

Se determinó el grado de depositación de los contaminantes cloruros y sulfitos en valores S2 y P3 respectivamente acorde con la norma ISO 9223 [11j]. Lo anterior, en combinación con el tiempo de humectación, ubica a la zona conurbada con un potencial de ambiente corrosivo de grado C5. También fue observado que la relación natural entre los cloruros y sulfitos, la cual debe ser alrededor de 7, es significativamente reducida (entre 0.5 y 1.6) lo que sugiere que existe una gran contaminación de sulfitos proveniente de la actividad industrial de la zona [2.3.4.5.6, 8, 9].

Se determinó que el grado de corrosión observado en los paneles metálicos de fierro retirados de las estaciones 2 y 6, son de grado C3 y C4 respectivamente, y que esa corrosión se manifiesta de manera macro con aspecto uniforme y micro con corrosión localizada en forma de pequeños puntos (cazuelas) entre 50,000 y 100,000 puntos/m<sup>2</sup> de densidad, tamaño de la cazuela entre 0.5 y 2 mm<sup>2</sup>, y profundidad de 0.4 mm. [9,11j].

Se interpretó que el desfase entre la potencialidad del ambiente y la manifestación observada fue debido a las diferencias entre los mecanismos de las velocidades de corrosión de las reacciones de los sulfatos y cloruros, estimando la primera como la controlante de la velocidad total, durante el período de estudio [2,3, 6].

### Agradecimientos

A la empresa Águila Mantenimiento Industrial, S.A. por incluirnos en el proyecto denominado “Desarrollo de un sistema integral para la administración de la corrosión atmosférica en ambientes industriales” que contó con apoyo del CONACyT INNOVA 185447.

### Referencias

Convenios de colaboración firmados por la compañía Águila Mantenimiento Industrial, S.A. de C.V. y la Universidad Tecnológica de Altamira, de fechas 20 de junio y 1 de noviembre de 2012) en relación con el proyecto CONACyT INNOVA 185547

Mayrén Echevarría Boán y col., “Determinación de iones cloruro y sulfato en un mismo captador en investigaciones de corrosión atmosférica” Revista CENIC Ciencias Químicas, pp11-16, vol. 40, No.1, 2009

Echeverría Lage, Carlos y col., “Corrosión atmosférica del acero en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”” Monografía, Universidad de Matanzas, 2003.

Mariaca Rodríguez Liboria y col., “Corrosividad atmosférica (MICAT-México), Plaza y Váidez Editores (1999), ISBN: 968-856-707-8.

Colegio Marymount, “Evaluación de la corrosión atmosférica en cinco sitios de Cuernavaca”, Metodología de la Investigación 2010.

Echevarría Lage, Carlos y col., “Esclarecimiento de los niveles de deposición de cloruros y sulfatos por diferentes métodos de captación establecidos internacionalmente en la Universidad de Matanzas” Monografía, Universidad de Matanzas, 2005.

Asdrúbal, G. “La corrosión atmosférica en Colombia” (1:1994; Maracaibo, Noviembre. Venezuela) Corrosión NACE- Región Latinoamericana. Memorias Tomo I No. 94106.

González Torres, Marcos. “Determinación de la corrosividad atmosférica y cinética de corrosión en”, Tesis de maestría, 2009.

Genescá, Joán. “Más allá de la herrumbre”, Fondo de Cultura Económica, S.A.de C.V., México (1994)

Mantell, C.L. “Ingeniería Electroquímica” Editorial Reverté, (1962)

### Estándares Internacionales utilizados

- a. ASTM-G1 “Standard practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens”,
- b. ASTM-G4 “Standard guide for Conducting Corrosion Tests in Field Applications”,
- c. ASTM-G16 “Standard guide for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data”,
- d. ASTM-G33 “Standard practice for Recording Data from Atmospheric Corrosion Tests of Metallic-Coated Steel Specimens”,

- e. ASTM-G46 “Standard guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion”,
- f. ASTM-G50 “Standard practice for Conducting Atmospheric Corrosion Test son Metals”,
- g. ASTM-G91 “Standard Practice for Monitoring Atmospheric SO<sub>2</sub> Using the Sulfation Plate Technique”,
- h. ASTM-G92 “Standard practice for Characterization of Atmospheric Test Sites”,
- i. ASTM-G140 “Standard Test Method for Determining Atmospheric Chloride Deposition Rate by Wet Candle Method”,
- j. ISO 9223 “Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification”,
- k. ISO 9224 “Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Guiding values for the corrosivity categories”,
- l. ISO 9225 “Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Measurement of pollution”,
- m. ISO 9226 “Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determinaion of corrosión rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity”.

ISO 8565 “Metals and alloys – Atmospheric corrosión testing – General requirements for field tests”.