



Tecnociencia 2004, Vol. 6, N° 2.

ESTUDIO DEL EFECTO ESTACIONAL SOBRE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA INICIAL DE ACEROS DE BAJO CARBONO EN LA CIUDAD DE PANAMÁ

Juan A. Jaén¹ y Gerardo Garibaldi²

¹Universidad de Panamá, Depto. de Química Física, CITEN, Lab. N° 105, Edificio de Laboratorios Científicos-VIP.

Email: jjjaen@ancon.up.ac.pa

² Escuela de Química, Universidad de Panamá.

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación de la corrosividad atmosférica sobre un acero de bajo carbono A-36, expuesto a la intemperie en la ciudad de Panamá (Campus Central de la Universidad de Panamá). Se determinó el efecto estacional de la exposición tanto en la época seca como en la época lluviosa. Los niveles de deposición de contaminantes (Cl⁻ y SO₂) observados durante el periodo de estudio, febrero 2002-febrero 2003, fueron menores que los observados en estudios previos (MICAT-Panamá). Las velocidades de corrosión en este estudio fueron menores a las obtenidas en el MICAT-Panamá. El valor extrapolado de la velocidad de corrosión fue de 13 $\mu\text{m}/\text{año}$ y 19 $\mu\text{m}/\text{año}$, para aceros cuyo inicio de exposición fue en la época seca y en la época lluviosa, respectivamente. La clasificación ISO de corrosividad fue C2, baja corrosividad. Mediante espectroscopia Mössbauer y el análisis infrarrojo de transformada de Fourier se determinó que la naturaleza de los productos iniciales de corrosión dependía de la época del año. La herrumbre obtenida en aceros con exposición iniciada en época seca está constituida inicialmente por oxihidróxidos férricos amorfos e hidratados; mientras que en la época lluviosa la herrumbre es una mezcla de lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$) y goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$). En periodos cortos, ambos tipos de muestras están formados por lepidocrocita y goethita. Las cantidades de goethita crecen con el tiempo de exposición. No se obtuvo fases de espinela.

PALABRAS CLAVES

Corrosión atmosférica, acero de baja aleación, productos de corrosión, espectroscopia Mössbauer, espectros infrarrojos.

ABSTRACT

In this work, the atmospheric corrosivity of a low carbon steel A-36 is assessed after exposure to the environment of Panama City (Main Campus of the University of Panama). Seasonal effect was determined by exposing, both, during dry and rainy season. The levels of contaminants (Cl^- y SO_2) observed during this study were lower than those obtained in previous studies (MICAT-Panama). The extrapolated corrosion values were $13 \mu\text{m}/\text{year}$ and $19 \mu\text{m}/\text{year}$, for steels that were exposed beginning in the dry and rainy season, respectively. Corrosivity was classified as C2 according to ISO. By using Mössbauer spectroscopy and Fourier transform Infrared analysis it was determined that the nature of the initial corrosion products was season dependent. Rust obtained from steels with exposure started during dry season was initially composed of amorphous and hydrated ferric oxyhydroxides; whereas during the rainy season it was a mixture of lepidocrocite ($\gamma\text{-FeOOH}$) and goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$). After short periods, lepidocrocite and goethite constituted both types of samples. The amount of goethite increased with time of exposition. No spinel phase could be identified.

KEYWORDS

Atmospheric corrosion, low carbon steel, corrosion products, Mössbauer spectroscopy, infrared spectra.

INTRODUCCIÓN

Dado el interés por conocer la composición y reactividad de los productos de corrosión formados sobre aceros al carbono o bajo aleados y su correlación con parámetros ambientales, se han realizado diversos estudios sistemáticos de la corrosión atmosférica de aceros en Panamá. Destacan los estudios de Southwell et al. (Alexander 1957; Southwell 1957) y los esfuerzos cooperativos de los proyectos Mapa Iberoamericano de Corrosividad atmosférica (MICAT) (Morcillo et al., 1999; Sánchez de Villalaz, Foti de Bósquez & Jaén 2000) y Protección Anticorrosiva de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica (PATINA) (Morcillo et al., 2002).

Se conoce por trabajos anteriores que la naturaleza y cantidad de los productos de corrosión dependen de las condiciones ambientales tales como la temperatura anual promedio, la humedad, el tiempo de humectación y el nivel de contaminantes (cloruros y SO_2), vientos y precipitación. La velocidad de corrosión que se observa en aceros al carbono en las fases iniciales de la exposición es alta y se nivela en el tiempo (Santana Rodríguez 2002). Estudios de exposición corta muestran que además existen diferencias en los productos de corrosión

formados sobre paneles según el ángulo de exposición y las condiciones atmosféricas al inicio de la exposición (Jaén & Fernández, 1989). En paneles de acero SAE 1010 y 1020 (Jaén et al., 1997) y en aceros A-36 (Jaén et al., 2001) se han logrado identificar los compuestos goethita (α -FeOOH) de tamaño de partícula intermedio (20-100 nm), lepidocrocita (γ -FeOOH), una fase de espinela $Fe_{3-x}O_4$ y/o γ - Fe_2O_3 , y nanopartículas (< 20 nm) de óxidos de hierro. La fase de espinela se correlacionó con la corrosión a etapas tempranas de exposición, con niveles de contaminación (cloruros y sulfatos) de moderados a altos. Es interesante observar que esta fase no se identificó en estudios previos (Jaén & Fernández 1989; González 1993). La resistencia a la corrosión se incrementa con la cantidad de goethita siguiendo una conducta de saturación (Jaén et al., 1997).

En este trabajo se reporta el efecto estacional en la etapa inicial de la corrosión de un acero al carbono expuesto en una estación de ensayo en el campus universitario, la velocidad de corrosión de las probetas de acero y la composición de fases de las herrumbres formadas en etapas tempranas de exposición a la atmósfera utilizando las técnicas de espectroscopia Mössbauer y la espectroscopia infrarroja. El efecto estacional se determinó iniciando la exposición de algunas muestras en la época seca y otras en la época lluviosa.

PARTE EXPERIMENTAL

Se utilizaron probetas de acero de bajo carbono (A-36) con dimensiones 7.7 cm x 10 cm y espesor de 4 mm con la composición nominales detalladas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición nominal del acero A-36 (wt %)

C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Mo
0.15	0.69	0.007	0.020	0.018	0.010	0.020	0.013	0.008

Las probetas fueron preparadas siguiendo los procedimientos de la norma ISO DP/2285 (ISO 9225, 1987). Las probetas se limpiaron y desengrasaron con acetona, posteriormente se lavaron con agua del grifo y abundante agua destilada. A continuación se procedió a secar

las láminas con papel toalla. Para remover la capa de oxido superficial las probetas se llevaron a metal blanco mediante chorreado de arena. Se recubrieron los bordes con una pintura anticorrosiva.

En el Cuadro 2 se presenta el programa de exposición a la atmósfera de las probetas de ensayo. El segundo dígito en los códigos se refiere al inicio de la exposición, sea en la época seca (1) ó la época lluviosa (2); u y d se refieren a herrumbre proveniente de la cara de la probeta que mira hacia arriba (cielo) o hacia abajo (suelo), respectivamente. La época seca tiene niveles de precipitación menores que 60mm.

Cuadro 2. Programa de las exposiciones de las probetas de ensayo a la atmósfera.

Código	Periodo de exposición	Código	Periodo de exposición
1-1u / d	6/02/02 - 16/02/02	1-2u / d	6/05/02 - 16/05/02
2-1u / d	6/02/02 - 21/02/02	2-2u / d	6/05/02 - 24/05/02
3-1u / d	6/02/02 - 8/03/02	3-2u / d	6/05/02 - 12/06/02
4-1u / d	6/02/02 - 7/05/02	4-2u / d	6/05/02 - 5/08/02
5-1u / d	6/02/02 - 6/08/02	5-2u / d	6/05/02 - 6/11/02
6-1u / d	6/02/02 - 6/03/03		

La estación de ensayo esta situada en el campus central de la Universidad de Panamá, aproximadamente a 2 km de las playas del Océano Pacífico. Se encuentra a 29 metros sobre el nivel del mar, latitud $8^{\circ} 58' 57''$ norte y longitud $79^{\circ} 31' 52''$ oeste. Es una zona de alto tráfico, con niveles de contaminación moderado. Nivel de corrosividad C3, contaminación por SO_2 P₁, contaminación por cloruros S₁ y tiempo de humectación τ_4 (Morcillo et al., 1999). Los niveles de concentración de cloruros y dióxido de azufre se determinaron mensualmente mediante el método de la vela húmeda y con platos de captación de sulfatos (ISO 9225, 1987).

Los productos de corrosión se separaron mecánicamente antes de determinar las velocidades de corrosión (penetración) a partir de las pérdidas de peso (ISO 9226, 1991; ASTM G1, 1991). Se caracterizaron mediante espectroscopia Mössbauer a temperatura ambiente y análisis infrarrojo de transformada de Fourier. Los

espectros Mössbauer se obtuvieron con un espectrómetro convencional de aceleración constante, con una fuente de $^{57}\text{Co}(\text{Rh})$ de 20 mCi. Los desplazamientos isoméricos se reportan respecto al centroide del $\alpha\text{-Fe}$. Las evaluaciones se realizaron con el programa Recoil, utilizando líneas de Voigt para las distribuciones de parámetros hiperfinos (Rancourt & Ping 1991). Los espectros IR se realizaron en un espectrómetro de transformada de Fourier Perkin Elmer modelo RXI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contaminantes atmosféricos que más influencia tienen sobre la velocidad de corrosión son los cloruros (Cl^-) arrastrados por el viento desde las costas marinas y la concentración de SO_2 . En el Cuadro 3 se presenta la concentración de estos contaminantes durante el periodo del ensayo. Se observa que las concentraciones en ambos casos son relativamente bajas y menores que las obtenidas en estudios previos (Morcillo & colaboradores, 1999; Sánchez de Villalaz, Foti de Bósquez & Jaén 2000) en esta misma estación, en las que la contaminación se clasificó como P_1S_1 según la norma ISO 9223 (ISO 9223, 1991).

Cuadro 3. Velocidades de deposición de cloruros y sulfatos obtenidos durante el ensayo.

Mes	Cl^- $\text{mg/m}^2\text{día}$	SO_2 $\text{mg/m}^2\text{día}$
Febrero-02	0.12	9.82
Marzo	0.20	10.84
Abril	0.42	8.66
Mayo	0.11	9.37
Junio	4.69	11.42
Julio	0.05	10.76
Agosto	0.20	7.53
Septiembre	1.99	4.69
Octubre	3.57	3.11
Noviembre	2.00	4.12
Diciembre	2.84	10.53
Enero-03	0.10	9.25
Febrero	0.16	10.02
Promedio	1.27	8.47

Los resultados en esta ocasión indican que la estación se debe clasificar como P₀S₀, es decir, de baja contaminación por cloruros y sulfatos. Se espera una disminución de las velocidades de corrosión para el periodo, dado el efecto sinérgico de estos contaminantes y los altos valores de humedad relativa (Sánchez de Villalaz, Foti de Bósquez & Jaén 2000).

La velocidad de corrosión de un metal en un medio dado, sigue generalmente la ecuación exponencial de Passano, $P = A t^n$, donde P representa la cantidad corroída expresada en μm , como pérdida de peso o penetración; t es el tiempo en años mientras que A y n son constantes empíricas.

En la Figura 1 podemos observar la relación bilogarítmica entre la penetración y el tiempo obtenidos en la estación de estudio en ambos periodos, seco y lluvioso. Obsérvese que el nivel de corrosividad es mayor en la época lluviosa que en la estación seca, hecho que podemos atribuir al mayor tiempo de humectación y por lo tanto mayor presencia del electrolito sobre la superficie metálica que en la época seca, cuando el tiempo de humectación es mucho menor.

En el Cuadro 4 pueden apreciarse las expresiones obtenidas en esta experiencia para la penetración. Se observa que la diferencia en la pendiente obtenida para la época seca y la lluviosa no es significativa, estadísticamente hablando. Tampoco se observan diferencias significativas entre las pendientes obtenidas en esta experiencia en relación con otras experiencias previas (Jaén et al., 1997) con aceros similares, con lo que se confirma un mecanismo similar de progreso de la corrosión en el tiempo. No obstante, si podemos notar una diferencia significativa en la velocidad de corrosión al primer año de exposición (valor de la constante A). El valor extrapolado de velocidad de corrosión al primer año, según los datos de la Figura 1, en la época seca es (13 $\mu\text{m}/\text{año}$) mucho menor que el obtenido para la época lluviosa (19 $\mu\text{m}/\text{año}$). Esto se explica por el mayor tiempo de humectación en la época lluviosa, lo que provocará la persistencia de una capa gruesa del electrolito sobre la superficie metálica y por ende la tasa de corrosividad será mayor. Los valores de las velocidades de deposición de los cloruros y sulfatos en el Cuadro 3 son mucho más altas para las muestras cuyo inicio de exposición corresponde a la

época lluviosa que a la época seca. Por supuesto, que el lavado de los contaminantes de la capa del electrolito en contacto con el metal es más efectivo en la cara de la probeta expuesta al cielo (mirando hacia arriba). Estas conductas también pueden tener fuertes implicaciones en la diferencia de la estructura y composición de la herrumbre en ambas caras. En los productos de corrosión de las muestras de este estudio, no se obtiene ninguna fase espinela. Su presencia se supone tiene un efecto autocatalítico en la velocidad de corrosión, lo que se correlaciona con las importantes diferencias en las velocidades iniciales obtenidas en otros estudios (Jaén et al., 1997; Rivera 2000; Sánchez de Villalaz, Foti de Bósquez, Jaén 2000, & Jaén et al., 2001)

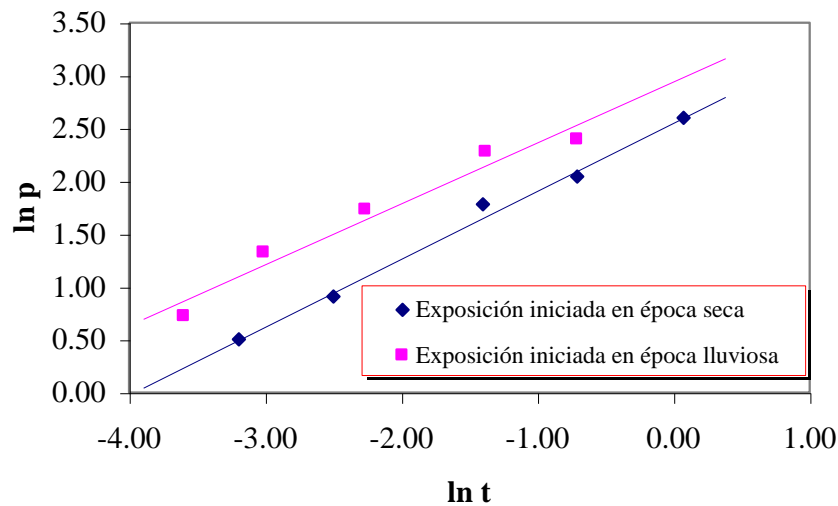


Fig. 1. Gráfica Bilogarítmica de penetración vs tiempo de exposición.

Cuadro 4. Relación bilogarítmica entre el grado de penetración P (μm) y el tiempo de exposición t (años), y su coeficiente de correlación (C.C.).

ÉPOCA	ECUACIÓN	σ_A^*	σ_n^*	C.C.
Seca	$\ln P = 2.561 + 0.643 \ln t$	0.061	0.032	0.993
Lluviosa	$\ln P = 2.954 + 0.577 \ln t$	0.168	0.069	0.959

* σ_A y σ_n son las correspondientes incertidumbres en A y n, respectivamente.

La atmósfera de la estación, según su corrosividad atmosférica (penetrabilidad) se clasifica como C2, según la norma ISO 9223. Este resultado nuevamente es mayor que el de los estudios previos en los que se había obtenido una clasificación C3, atribuible a la disminución en el nivel de contaminantes. Además, otro factor que puede estar contribuyendo a la diferencia de velocidades observadas es el tratamiento inicial de preparación de las probetas. El tratamiento inicial de la probeta en este trabajo se realizó por chorreado abrasivo de arena, quedando el metal blanco (totalmente desnudo). En las experiencias previas las probetas fueron preparadas mediante lijado, por lo que no se removió totalmente el recubrimiento anticorrosivo de fábrica, y se pudieron tener algo de productos remanentes, como fases de espínela, con el consecuente aumento moderado en la corrosividad.

En la Figuras 2 y 3 se muestran los espectros infrarrojos de muestras seleccionadas. Es de interés observar que en los resultados obtenidos en la estación lluviosa y en la estación seca, sobre todo en los espectros que reflejan los productos de corrosión obtenidos en etapas tempranas de exposición de las probetas a la atmósfera, no se obtiene la fase espínela ($\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) encontrada en otros trabajos (Sánchez de Villalaz, Foti de Bósquez & Jaén 2000; Jaén et al., 2001).

Los espectros infrarrojos de las herrumbres formadas durante la época seca son poco definidos. Entre sus características se observan bandas a 1122, 885 y 480 cm^{-1} , que se pueden asociar a la presencia de óxido/hidróxidos amorfos, similares a la $\delta\text{-FeOOH}$ y su forma pobremente cristalizada $\delta'\text{-FeOOH}$ conocida como feroxihita (Schwertman & Cornell 1991). También se observan bandas a 1024 y 745 cm^{-1} , típicas de lepidocrocita $\gamma\text{-FeOOH}$, y en muestras expuestas por tres meses se obtiene además bandas a 885 y 800 cm^{-1} pertenecientes a la goethita $\alpha\text{-FeOOH}$. Por su parte, los espectros de herrumbres formadas durante la época lluviosa muestran claramente la presencia de una mezcla de lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$ bandas IR a 1020 y 750 cm^{-1}) y de goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$ bandas IR a 880 y 800 cm^{-1}). Es de interés notar que a medida que aumenta el periodo de exposición la concentración de la lepidocrocita disminuye mientras que la concentración de goethita aumenta. Se puede inferir la transformación de la lepidocrocita en goethita, que se explica por conocidos mecanismos de disolución-precipitación, y que ocurre más pronunciadamente en la época lluviosa por el mayor tiempo de humectación respecto a la época seca.

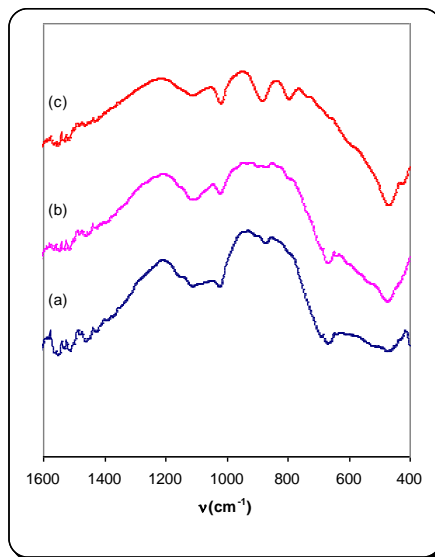


Fig. 2. Espectros Infrarrojo de las muestras (a) 1-1u, (b) 3-1u y (c) 4-1u.

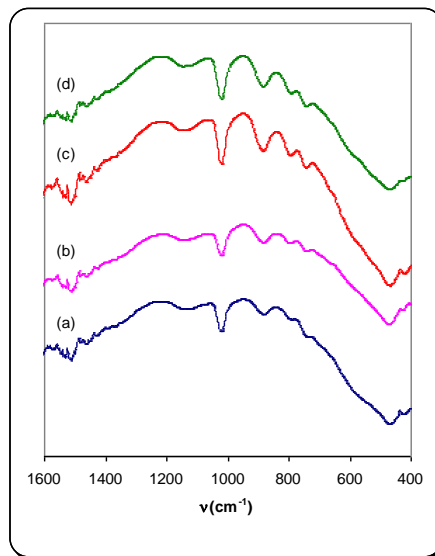


Fig. 3. Espectros Infrarrojo de las muestras (a) 1-2d, (b) 2-2d, (c) 3-2d y (d) 3-2u.

En la Figura 4 se muestran espectros Mössbauer representativos obtenidos a temperatura ambiente para las herrumbres en los distintos periodos de exposición estudiados, y en el Cuadro 5 se presentan los parámetros Mössbauer obtenidos para cada muestra.

Los espectros Mössbauer de las herrumbres de las probetas expuestas durante la época seca exhibieron un doblete cuadrupolar con parámetros $\delta = 0.36 - 0.43$ mm/s y $\langle\Delta\rangle = 0.64 - 0.72$ mm/s. Hay una diversidad de sustancias con parámetros Mössbauer a temperatura ambiente en el rango obtenido, tales como la lepidocrocita y la goethita superparamagnética, y oxihidróxidos amorfos como la ferrihidrita y la feroxihita (Murad & Johnston 1987), por lo que se infiere que el doblete obtenido en nuestros espectros se puede atribuir a una mezcla de óxidos/hidróxidos férricos amorfos e hidratados.

Las muestras de la época seca con más de un mes de exposición y las probetas expuestas en periodos de lluvia, muestran, además de un doblete cuadrupolar central, un sexteto de líneas muy anchas que se ajusta como una distribución de campos hiperfinos. Su apariencia y parámetros de ajuste corresponden a la goethita de tamaño de partícula intermedio (Barrero et al., 1995). El doblete tiene parámetros Mössbauer $\delta = 0.33 - 0.37$ mm/s y $\langle\Delta\rangle = 0.59 - 0.70$ mm/s, atribuibles a una mezcla de goethita en nanopartículas y lepidocrocita. Es interesante notar que, en términos generales, los valores de desdoblamiento cuadrupolar están en el extremo bajo, de lo que se infiere una importante contribución del componente lepidocrocita al doblete cuadrupolar. Se requieren experimentos Mössbauer a bajas temperaturas para cuantificar estas componentes en la herrumbre.

Es interesante observar que de los espectros Mössbauer a temperatura ambiente no se infieren diferencias en la naturaleza de los compuestos en las herrumbres obtenidas de la cara hacia arriba y cara hacia abajo, pero sí en las cantidades relativas. En la época seca, las cantidades relativas de goethita de tamaño intermedio son mayores en la cara que mira hacia abajo. Esta cara permanece húmeda mayor tiempo que la cara que mira hacia el cielo, por lo que a pesar de los contaminantes que se depositan en esta, el proceso disolución – precipitación es mayor, favoreciendo la transformación lepidocrocita – goethita.

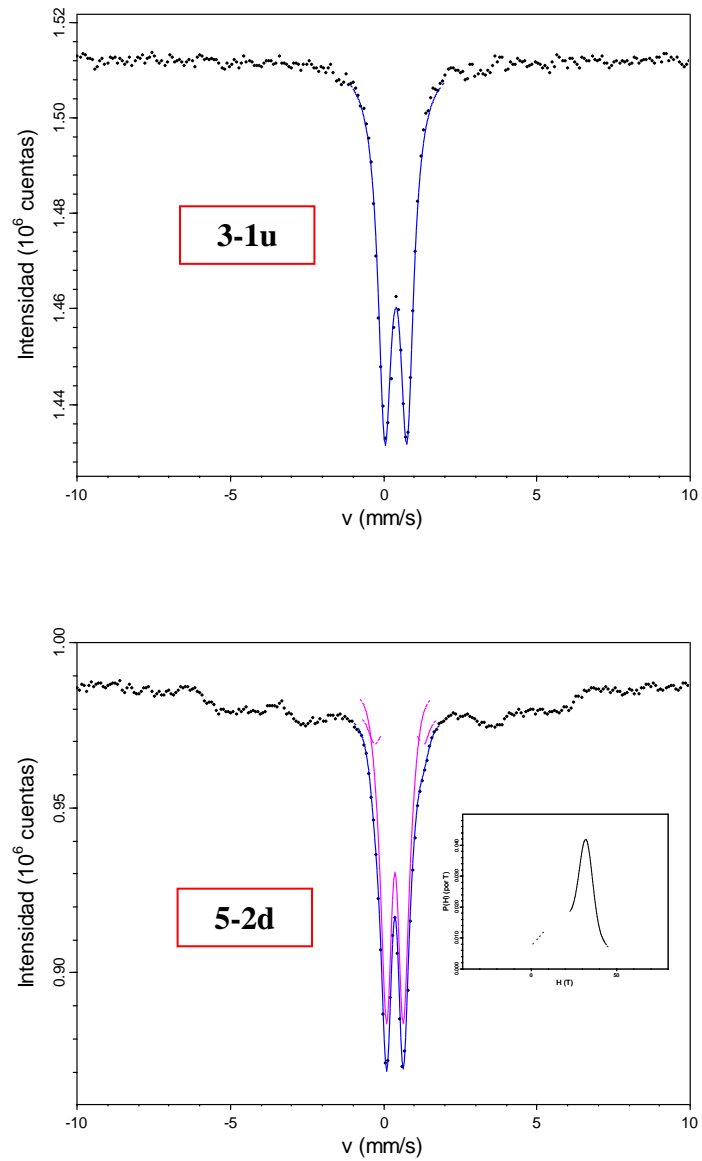


Fig. 4. Ejemplos de espectros Mössbauer a temperatura ambiente de los productos de corrosión. En el inserto la distribución de campos hiperfinos.

Cuadro 5. Parámetros Mössbauer para las herrumbres obtenidas durante la estación seca y lluviosa.

<i>Muestra</i>	<i>Sitio</i>	δ mm/s	$\langle H \rangle$ T	σ_H T	$\langle \varepsilon \rangle$ mm/s	$\langle \Delta \rangle$ mm/s	σ_Δ mm/s	<i>A</i> %
1-1u	--	0.36	--	--	--	0.69	--	100
1-1d	--	0.35	--	--	--	0.64	--	100
2-1d	--	0.40	--	--	--	0.72	--	100
3-1u	--	0.43	--	--	--	0.70	--	100
3-1d	--	0.40	--	--	--	0.73	--	100
	QS	0.37	--	--	--	0.64	0.21	77.3
4-1u	HFD	0.33	25.3	9.7	-0.01	--	--	22.7
	QS	0.36	--	--	--	0.64	0.20	59.9
4-1d	HFD	0.20	25.9	16.0	-0.15	--	--	40.1
	QS	0.36	--	--	--	0.66	0.20	54.2
5-1u	HFD	0.34	23.2	21.4	-0.11	--	--	46.7
	QS	0.37	--	--	--	0.60	0.20	46.1
5-1d	HFD	0.37	25.5	15.9	-0.10	--	--	53.9
	QS	0.36	--	--	--	0.64	0.20	60.7
1-2u	HFD	0.23	31.9	16.4	-0.13	--	--	39.3
	QS	0.36	--	--	--	0.65	0.12	75.1
1-2d	HFD	-0.10	28.5	16.6	-0.31	--	--	24.9
	QS	0.37	--	--	--	0.69	0.19	65.6
2-2u	HFD	0.41	24.6	24.8	-0.15	--	--	34.4
	QS	0.36	--	--	--	0.64	0.20	60.4
2-2d	HFD	0.13	30.2	19.5	-0.21	--	--	39.6
	QS	0.36	--	--	--	0.63	0.20	61.6
3-2u	HFD	0.18	26.8	19.0	-0.16	--	--	38.4
	QS	0.37	--	--	--	0.62	0.07	63.7
3-2d	HFD	0.22	30.8	14.6	-0.17	--	--	36.3
	QS	0.36	--	--	--	0.62	0.20	61.7
4-2u	HFD	0.26	26.5	14.1	-0.13	--	--	38.3
	QS	0.37	--	--	--	0.59	0.20	53.2
4-2d	HFD	0.37	28.9	13.6	-0.04	--	--	46.8
	QS	0.36	--	--	--	0.70	0.22	53.8
5-2u	HFD	0.44	26.6	17.0	-0.11	--	--	46.2
	QS	0.37	--	--	--	0.70	0.27	48.5
5-2d	HFD	0.37	27.0	20.8	-0.13	--	--	53.7

δ : corrimiento isomérico (mm/s) con respecto al α -Fe

$\langle H \rangle$: valor promedio del campo hiperfino magnético (T) del sitio HFD

$\langle \varepsilon \rangle$: valor promedio del corrimiento cuadrupolar (mm/s) del sitio HFD

$\langle \Delta \rangle$: valor promedio del desdoblamiento cuadrupolar (mm/s) del sitio cuadrupolar QS

σ : anchura gaussiana (desviación estándar) del componente (mm/s o T)

La herrumbre proveniente de la cara hacia arriba no muestra esta tendencia de transformación lepidocrocita-goethita, más bien parece tener una composición menos variable. Probablemente esto sea el resultado de los bajos niveles de contaminación observados en el período de estudio y a la similitud de los períodos de humectación en ambas caras.

Los resultados infrarrojos y Mössbauer reflejan en época de lluvia alta concentraciones de lepidocrocita y cantidades pequeñas de goethita en etapas tempranas de exposición sin embargo a medida que transcurre el tiempo la concentración de la lepidocrocita disminuye y aumenta la concentración de goethita. Sobre la superficie aparecerán productos de corrosión más solubles en la capa del electrolito ya que la disolución de los iones contaminantes (cloruros y sulfatos) inducen un cambio en el pH en el electrolito promoviendo de esta manera a la transformación de un producto de corrosión a otro.

En general se observa que la cantidad de goethita de tamaño intermedio crece con la velocidad de corrosión (P) y el tiempo de exposición. La goethita es un amortiguador de la velocidad de corrosión en tiempos prolongados ya que las velocidades de corrosión registradas disminuyeron considerablemente al aumentar la concentración de la misma.

En el periodo de estudio no se obtienen fases de espínela como productos de corrosión. Se ha observado fase de espínela en probetas expuestas horizontalmente (Jaén & Fernández 1989) y en aquellas preparadas mediante lijado mecánico (Jaén et al., 2001). Esto sugiere la realización de estudios variando los ángulos de exposición y que se verifique sistemáticamente el efecto de la preparación de la superficie sobre la naturaleza de los productos de corrosión observados en las etapas tempranas.

CONCLUSIONES

La atmósfera en la estación de estudio, en el Campus Universitario, en el periodo estudiado presentó bajos niveles de contaminantes atmosféricos (S_0P_0) y se clasifica como una atmósfera de con corrosividad baja (C2).

Los productos de corrosión obtenidos en épocas secas y lluviosas difieren, principalmente en periodos cortos de exposición a la atmósfera. Si se inicia en la estación seca, se observa inicialmente la presencia de oxihidróxidos férricos amorfos e hidratados. A medida que transcurre el tiempo, al mes de exposición, se obtiene una herrumbre formada por lepidocrocita y goethita. Si se inicia en la época lluviosa se obtiene una mezcla de lepidocrocita y goethita. En ambos casos, inicialmente se observa que una cantidad de lepidocrocita se transforma en goethita al transcurrir el tiempo.

REFERENCIAS

Alexander, A.L., B.W. Forgeson, H.W. Mumdt, C.R. Southwell & S.J. Thompson, NRL Report 4929 Corrosion of Metals in Tropical Environments, Part-1 Test Methods Used and Result Obtained for Pure Metals and a Structural Steel, Naval Research Laboratory, Washington. D.C., (1957).

ASTM G1, Preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens (American Society for Testing of Materials, Philadelphia, 1991).

Barrero, C., C. Vandenberghe, R. De Grave, E. & G. Pérez. 1995. Un estudio Mössbauer sobre goethitas sintéticas: primeros resultados. Rev. Col. Fis 27 (2): 387-390.

González, A.E., R. Lloyd, L. de Araque. C. Hernández, N. Acosta & J. A. Jaén. 1993. Los Productos de Corrosión Atmosférica del Acero A-36 formados en el Clima de Panamá, Revista COPAQUI 13 : 51-55.

ISO 9223, Corrosion of metals and Alloys. Clasification of Corrosivity of Atmospheres, (International Standars Organizations, Geneve 1991).

ISO 9225, Corrosion of Metals and Alloys, Corrosivity of Atmospheres Methods of Measurement of Pollution (International Standards Organization, Ginebra, 1987).

ISO 9226, Corrosion of metals and alloys, Method for determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity. International Standards Organization, Geneve, 1991).

Jaén, J. A., M. Sánchez de Villalaz, L. de Araque, C. Hernández & A. de Bósquez. 2001. Study of the Corrosion Products Formed on Carbon Steels in the Tropical Atmosphere of Panama, *Scientia* 16: 7-16.

Jaén, J. A. & B. Fernández. 1989. Mössbauer Spectroscopy Study of Steel Corrosion in a Tropical Marine Atmosphere, *Electrochem. Acta*, 34: 885-886.

Jaén, J. A., M. Sánchez de Villalaz, L. de Araque & A. de Bósquez. 1997. Kinetics and Structural Studies of the Atmospheric Corrosion of Carbon Steels in Panama, *Hyp. Int.* 110: 93-99.

M. Sánchez de Villalaz, A. F. de Bósquez & J. A. Jaén (Eds.). 2000. *Corrosividad Atmosférica de Panamá. Proyecto MICAT-Panamá.* Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.

Morcillo, M., E. Almeida, B. Rosales, J. Uruchurtu & M. Marrocos. 1999. *Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica. Parte I: Mapas de Iberoamérica de Corrosividad Atmosférica (Red Temática MICAT, XV.1/CYTED).* CYTED, Madrid.

Morcillo, M., E. Almeida, F. Fragata & Z. Panossian. 2002. *Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica. Parte II: Protección Anticorrosiva de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica (Red Temática PATINA, XV.D/CYTED).* CYTED, Madrid.

Murad, E. & H. Johnston. 1987. Iron oxides and oxyhydroxides, en: C. J. Long (Ed.). *Mössbauer Applied to Inorganic Chemistry. Vol. 2.* Plenum Pub Co. New York – London. 507 – 582pp..

Rancourt, D. G. & J. Y. Ping. 1991. Voigt-based Methods for Arbitrary-shape Static Hyperfine Parameter Distributions in Mössbauer Spectroscopy, *Nucl. Instr. Meth.*, B58: 85-97.

Rivera, D.Y. 2000. Caracterización Mössbauer de Herrumbre de un Acero A-36 Expuestos en Estaciones de Panamá y Colón. Tesis de Licenciatura, Universidad de Panamá. 29 p.

Santana Rodríguez, J.J., F.J. Santana Hernández & J.E. González González. 2002. XRD and SEM studies of corrosion products for carbon steel in various different environments in the province of Las Palmas (The Canary Islands, Spain), *Corr. Sci.* 44: 2425-2438.

Schwertman, U. & R.M. Cornell. 1991. *Iron Oxides in the laboratory: Preparation and Characterization*. VCH Publishers, Inc. , New York, NY (USA). 130 pp.

Southwell, C.R., B.W. Forgeson & A.L. Alexander, NRL Report 5002, *Corrosion of Metals in Tropical Environments. Part-2 Atmospheric Corrosion of ten Structural Steels*, Naval Research Laboratory, Washington D.C., (1957).

Recibido mayo de 2004, aceptado agosto de 2004.