

## La corrosión atmosférica del acero CT-3 en Cuba. Parte I

F. CORVO Y C. HACES

*Dptos. de Corrosión y Análisis Instrumental Inorgánico, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, La Habana, Cuba.*

*Recibido: 11 de julio de 1977*

**ABSTRACT.** The atmosphere in Cuba is considered very aggressive due to the tropical-humid climate and to the presence of salinity in the atmosphere over almost all the territory. In this paper the values of corrosion rate were determined for periods of 1, 2, 6 and 12 months in a year in two atmospheric test sites. The biggest values occurred in the period September-March. Simultaneously with the exposition of specimens to the atmosphere, concentration of chloride ions was determined. Concentration of  $\text{SO}_2$  and meteorological parameters were available. Individual and multiple correlations were made among mean monthly corrosion rates and different meteorological parameters. The corrosion rates determined in six months period were very similar for specimens exposed in summer and winter. These results being quite different than those obtained in other countries. X-Ray analysis were made to corrosion products, goethite and lepidocrocite were found as main products.

**RESUMEN.** La atmósfera de Cuba es considerada de gran agresividad debido a su clima tropical-húmedo y la presencia de salinidad en la atmósfera de casi todo el territorio. En el presente trabajo se determinaron los valores de velocidad de corrosión para períodos de 1, 2, 6 y 12 meses durante un año en dos estaciones de exposición a la atmósfera, observándose que los mayores valores se obtienen durante los meses correspondientes a la temporada invernal (setiembre-marzo). Conjuntamente con la exposición de las probetas se determinó la concentración de iones cloruro en la atmósfera, así como se obtuvieron datos sobre la concentración de  $\text{SO}_2$  y los parámetros meteorológicos. Se realizaron correlaciones individuales y múltiples entre las velocidades de corrosión promedio mensuales y los diferentes parámetros meteorológicos, obteniéndose ecuaciones que los relacionan. Al calcularse la velocidad de corrosión para 6 meses se obtiene un valor similar para las probetas expuestas en verano y en invierno, a diferencia de otros países. Se llevó a cabo un análisis roentgenofásico de los productos de corrosión, determinándose como fases fundamentales la goethita y la lepidocrocita.

## INTRODUCCION

Es ampliamente conocido lo importante que resulta poseer datos que permitan cuantificar la magnitud de la corrosión atmosférica, ya que ésta representa un gran por ciento de las pérdidas totales por corrosión

Esta necesidad es aún mayor para Cuba, ya que se considera que su atmósfera es de gran corrosividad debido al clima tropical-húmedo que posee y a lo largo y estrecho de la isla, factor causante de que en la mayor parte del país se haga sentir la influencia de la salinidad de la atmósfera.

Si a estos factores mencionados se une la influencia de contaminantes industriales, tales como el  $\text{SO}_2$ , se tiene una atmósfera de muy elevada agresividad<sup>1</sup>.

La influencia del  $\text{SO}_2$  sobre la corrosión atmosférica ha sido ampliamente estudiada en el mundo<sup>2-6</sup>, no resultando así con los iones cloruros, cuyo mecanismo de acción aún no se ha aclarado<sup>3</sup>. Actualmente no se poseen datos cuantitativos sobre la magnitud de la corrosión atmosférica en Cuba, habiéndose llevado a cabo pocas investigaciones en este campo hasta el momento<sup>7-15</sup>.

El presente trabajo ofrece los primeros resultados obtenidos durante tiempos de exposición relativamente cortos, de la magnitud de la corrosión atmosférica del acero CT-3, los factores que influyen sobre ella y la composición de los productos de corrosión formados.

## PARTE EXPERIMENTAL

Los ensayos se llevaron a cabo en las estaciones meteorológicas de Santiago de las Vegas y Casablanca, pertenecientes ambas al Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba, el cual nos suministró valores de humedad relativa, punto de rocío, temperatura del aire, precipitaciones, horas de sol, velocidad y dirección del viento.

La estación meteorológica de Casablanca se encuentra en la Bahía de la Ciudad de la Habana, zona de desarrollo industrial donde se combina la influencia de la salinidad, los posibles contaminantes industriales y la atmósfera tropical-húmeda; mientras que en Santiago de las Vegas la

estación se encuentra en el Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical de la Academia de Ciencias de Cuba, zona eminentemente agrícola.

Para los ensayos se utilizaron probetas de 150 mm × 100 mm × 1 mm de acero CT-3, que fueron colocadas en soportes verticales colocados de frente al sur. Para la sujeción de las placas se utilizaron aislantes de porcelana.

La investigación se llevó a cabo desde Diciembre de 1974 hasta Noviembre de 1975, exponiéndose probetas durante períodos de 1,2 6 y 12 meses.

Antes de su exposición, las probetas se pulieron hasta papel esmeril grado 400. La velocidad de corrosión se obtuvo por el método de pérdida de peso, utilizando una balanza analítica con precisión de 0,0001 g.

Después de la exposición a la atmósfera, se separaron mecánicamente los productos de corrosión para su análisis mediante difracción de Rayos X; siempre seguros de no eliminar metal en este proceso. Las probetas se decaparon en solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 20% con 0,5 g/l de Canarad (inhibidor comercial).

Durante el tiempo de ensayo se determinó mensualmente la concentración de iones cloruros en la atmósfera mediante el método de la vela húmeda<sup>17</sup>.

Finalmente se obtuvieron los coeficientes de correlación entre la velocidad de corrosión y los diferentes contaminantes y/o parámetros meteorológicos como índice para determinar las variables que más influyen, llevándose a cabo una correlación múltiple en una computadora CID-201-B.

La situación exacta de las estaciones es la siguiente <sup>16</sup>:

	Casablanca	Santiago de las Vegas
Latitud	23° 09,8'	22° 59,0'
Longitud	82° 20,9'	82° 23,7'
Elevación	51 m	79 m

## RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SU DISCUSION

En la Fig. 1 se presenta la variación de la velocidad de corrosión promedio mensual con los meses del año, pudiendo observarse que ésta resulta mayor en los meses correspondientes al período setiembre-marzo en ambas estaciones, así como que la velocidad de corrosión resulta siempre superior en la estación meteorológica de Casablanca, debido a la presencia en su atmósfera de cloruros y contaminantes industriales.

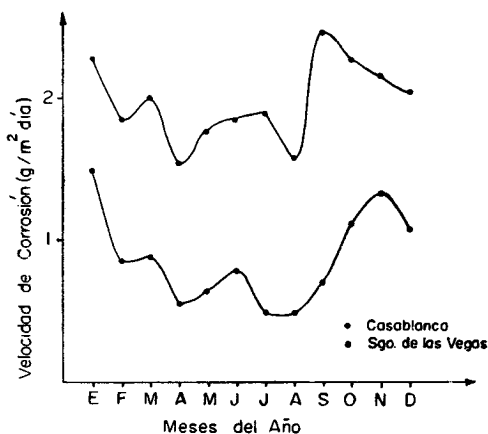


Fig. 1. Variación de la velocidad de corrosión con los meses del año para las estaciones de Santiago de las Vegas (1) y Casablanca (2).

El valor de la concentración de iones cloruro en la atmósfera determinado en Santiago de las Vegas queda en el rango de los errores experimentales, por lo que se puede considerar casi cero, mientras que en Casablanca fluctúa entre 6 y 20 mg/m<sup>2</sup> día durante todo el año. (Fig. 2).

Aunque no se determinaron los valores de la concentración de SO<sub>2</sub> en la estación de Casablanca, nos fueron suministrados por el MINSAP<sup>18</sup>, valores correspondientes a la Habana del Este, zona aledaña a ésta, los cuales se muestran junto a los de cloruros en la Fig. 2. Como se puede observar los máximos en la concentración de SO<sub>2</sub>, se encuentran en los meses correspondientes a la temporada invernal.

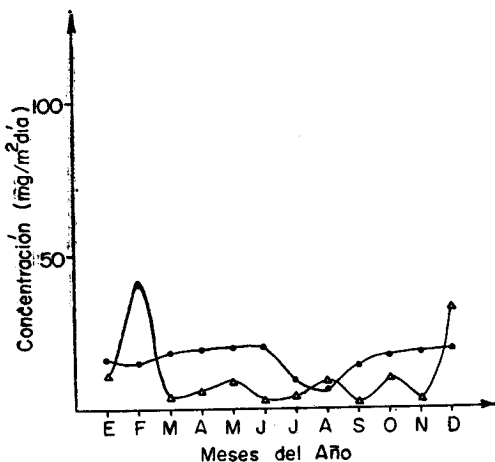


Fig. 2. Variación de la concentración de iones cloruros (●) y SO<sub>2</sub> (△) en la atmósfera durante los diferentes meses del año para la estación de Casablanca y la zona de La Habana del Este.

En la Fig. 3 se presenta la variación de la velocidad de corrosión con el tiempo en las dos estaciones. Se puede notar que en Santiago de las Vegas la velocidad de corrosión apenas disminuye con el tiempo; lo que podríamos explicar debido a la ausencia de contaminantes, hecho que provoca que no exista aceleración del proceso corrosivo.

En la estación de Casablanca, la velocidad de corrosión siempre se mantiene en un valor superior a la de Santiago de las Vegas debido a la presencia de contaminantes. Por esto último en Casablanca se acumula en la superficie de la placa una mayor cantidad de productos de corrosión con el tiempo, lo que puede provocar un mayor aislamiento entre el metal y el medio ambiente en comparación con Santiago de las Vegas.

Para cada estación se llevó a cabo una correlación lineal individual entre los valores de velocidad de corrosión y su logaritmo, y los valores promedio de temperatura del aire, contaminación (conc. Cl<sup>-</sup> + conc. SO<sub>2</sub>), viento total y viento en cada dirección, fracción de días con precipitación en el mes, punto de rocío, humedad relativa, horas de sol y precipitaciones. Los resultados obtenidos se utilizaron como índice para la

selección de las correlaciones lineales múltiples a realizar. Tomándose las variables con las cuales se obtuvo un mayor coeficiente de correlación (Tabla I) para llevar a cabo la correlación múltiple en la computadora CID-201-B.

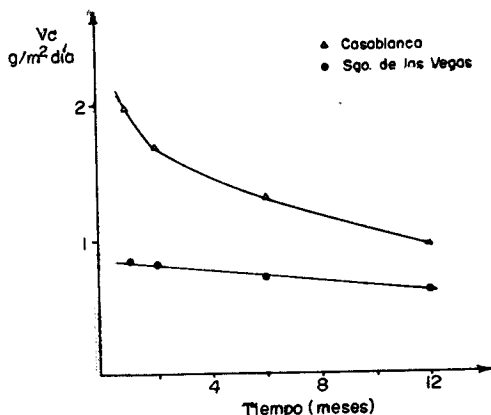


Fig. 3. Variación de la velocidad de corrosión con el tiempo para las estaciones de Santiago de las Vegas y Casablanca.

De los resultados obtenidos en la correlación múltiple se escogieron los que tenían significación al 95%, que son los siguientes:

Para Santiago de las Vegas:

$$V.C. = 2,85655 - 0,09611 T + 0,01336 V. \text{ Este} - 0,29127 F$$

$$\text{Coef} = 0,85563$$

Para Casablanca:

$$\log V.C. = -0,83205 - 0,01054 H. S. + 0,01459 H. R.$$

$$- 0,00241 V. \text{ Sur}$$

$$\text{Coef} = 0,92715$$

Siendo: V.C. = Velocidad de corrosión  
promedio mensual ( $\text{g}/\text{m}^2$  día)

T = Temperatura del aire  
promedio mensual ( $^{\circ}\text{C}$ )

V. Este = Vientos del Este promedio mensual      V = Velocidad ( $\Sigma V/\Sigma C$ ) km/h  
 C = cantidad

$$F = \frac{\text{Días con precipitación en el mes}}{\text{Días totales}}$$

H.S. = Horas de sol, promedio mensual.

H.R. = Humedad relativa, promedio mensual.

V. Sur = Vientos del Sur, promedio mensual.

TABLA I

## CASABLANCA

	Horas de sol	Humedad relativa	Viento del Sur	Fracción de días con precipitación en el mes	Temperatura del aire	Contaminación
Velocidad de corrosión	0,626	0,623	0,457	0,392	0,315	0,237
Logaritmo de la velocidad de corrosión	0,636	0,612	0,374	0,395	0,334	0,313

## SANTIAGO DE LAS VEGAS

	Temperatura del aire	Viento del Este	Fracción de días con precipitación en el mes	Horas de sol	Viento total	Precipitaciones
Velocidad de corrosión	0,827	0,670	0,574	0,492	0,536	0,302
Logaritmo de la velocidad de corrosión	0,823	0,650	0,591	0,447	0,697	0,199

Valores individuales de coeficientes de correlación lineal obtenidos entre la velocidad de corrosión del acero CT-3 y su logaritmo con diferentes parámetros.

Estas ecuaciones se cumplen solamente en las condiciones de los lugares de experimentación y como se observa no coinciden los mismos parámetros para las dos estaciones, teniendo en cuenta que sus características son bastante diferentes. No obstante, entre los seis parámetros de mayor coeficiente de correlación en la Tabla I se observa que coinciden en ambas estaciones las Horas de sol, fracción de días con precipitación en el mes, y temperatura del aire.

Se puede notar también que para una atmósfera que podríamos clasificar de rural (Santiago de las Vegas) se obtiene un mejor ajuste en una relación lineal, mientras que en otra que podríamos considerar industrial-marítima (Casablanca) se obtiene un mejor ajuste para una relación exponencial. Esto último coincide con lo planteado por Sereda<sup>9</sup> en presencia de  $\text{SO}_2$ .

En la ecuación obtenida para Casablanca no se encuentra el valor de contaminación por  $\text{SO}_2$ , sin embargo, está presente el viento del Sur. Según plantea Barton<sup>3</sup>, la dirección del viento resulta importante en las áreas costeras y regiones industriales por trasladar las sales y contaminantes. Esta situación tiene similitud con Casablanca.

Barton<sup>3</sup> también plantea que el viento puede tener una influencia considerable en la deposición de partículas que estimulen la corrosión, lo que podría aplicarse en este caso al viento del Este en Santiago de las Vegas.

Debe tenerse en cuenta que estas ecuaciones no son totalmente definitivas pues se han obtenido con datos correspondientes solamente a 12 meses de exposición. Actualmente se ha proseguido las exposiciones, lo que permitirá comprobarlas.

Debemos hacer notar que en este trabajo hemos utilizado solamente los datos meteorológicos directamente, sin hacer ninguna consideración sobre el tiempo de humectación, lo que será objeto de una futura publicación.

Otro hecho a destacar es que al calcularse la velocidad de corrosión semestral se obtuvieron valores similares para las probetas que fueron expuestas en los meses correspondientes al invierno (diciembre-mayo) y al verano (junio-noviembre) en las dos estaciones. Estos va-

lores están representados en la Tabla II. Este hecho es muy probable que pueda ser explicado al calcularse el tiempo de humectación<sup>20</sup>.

TABLA II

	Velocidad de corrosión promedio para probetas expuestas de: (Diciembre-Mayo) (g/m <sup>2</sup> día)	Velocidad de corrosión promedio para probetas expuestas de: (Junio-Noviembre) (g/m <sup>2</sup> día)	Velocidad de corrosión promedio para probetas expuestas de: (Diciembre-Noviembre) (g/m <sup>2</sup> día)
Casablanca	1,25	1,36	0,94
Santiago de las Vegas	0,76	0,67	0,60

Velocidades de corrosión atmosférica obtenidas después de la exposición de las probetas durante 6 meses.

### CONCLUSIONES

1. Se han obtenido datos que permiten cuantificar la velocidad de la corrosión atmosférica en dos estaciones de exposición de Cuba.
2. Se ha comprobado la mayor agresividad de la atmósfera cuando se encuentran presentes contaminantes industriales y salinos, lo que resulta de gran interés para Cuba.
3. Se ha determinado que la velocidad de corrosión atmosférica durante pequeños períodos de exposición resulta superior en los meses correspondientes a la estación invernal.
4. Los productos fundamentales de la corrosión atmosférica del CT-3 en la atmósfera cubana, determinados en las dos estaciones de ensayo han sido la goethita ( $\alpha$  — FeO(OH)) y la lepidocrocita ( $\gamma$  — Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O).
5. Se han obtenido ecuaciones empíricas que expresan la velocidad de corrosión en función de algunos parámetros meteorológicos para las estaciones de exposición.

6. La velocidad de corrosión para probetas expuestas semestralmente es prácticamente igual, tanto si se exponen en los meses correspondientes a la estación invernal como en verano, a diferencia de los países europeos.

## RECONOCIMIENTOS

La realización de este trabajo no hubiese sido posible sin la cooperación brindada por el Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba. Igualmente agradecemos a la Lic. Eneida Garriga su ayuda en la realización del Análisis Matemático de los resultados.

## REFERENCIAS

1. Norma CAME. Corrosión de los metales. Clasificación del clima y agresividad de la atmósfera en relación con los materiales de construcción y los medios de protección.
2. MIKHAILOVSKI YU N. Korroziia v atmosferyj uslovij Itogi Nauki; i Tehniki. Moscú, 1974.
3. BARTON K. Protection against atmospheric corrosion. Theories and Methods. John Wiley and Sons. 1976.
4. HEIMLER B. AND VANNERBERG N.G. *Corrosion Science* 12, 579, 1972.
5. BARTON K. UND BARTONOVA Z. *Werkstoffe und Korrosion* 20, 1969.
6. DUNCAN J.R. AND SPEDDING D.J. *Corrosion Science* 14, 241, 1974.
7. STREKALOV P.V. *Zaschita Metallov*, Tomo V, 6, 1969.
8. CORVO F. Y MÜLLER S. *Tecnológica* 1973.
9. MERTEL J. Trabajo presentado IV Seminario Científico CENIC, 11-14, Dic., 1973.
10. CORVO F., BOLUMEN S., HACES C. Y TARASEVICH M.R. Trabajo presentado V Seminario Científico CENIC 20-24, Oct. 1975.
11. MARTÍNEZ V. Y SELCIS R. Trabajo presentado V Seminario Científico CENIC 20-24, Oct. 1975.
12. VALDÉS D. Y LÓPEZ FALERO I. Trabajo presentado V Seminario Científico CENIC 20-24, Oct. 1975.
13. SÁNCHEZ ANGLADA C., COTO ACOSTA L. Y DE LA CAMPA J. Trabajo presentado V Seminario Científico CENIC 20-24, Oct. 1975.
14. MATOS TAMAYO R. Y ALAVERDÍAN O. *Tecnológica* 12, 1974.

15. TORRES F. Y COUSO J.F. Tesis de Diploma. Esc. Ing. Química, ISPJAE, 1977.
16. Resumen climático por estaciones. Dpto. de Climatología. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias, La Habana, 1976.
17. AMBLER H.R. AND BAIN A. A. *J. Journal of Applied Chemistry* 437, 467, 1955.
18. Datos suministrados por TSE Ramón Carreño. Dpto. Higiene Urbana y Rural. MINSAP, 1976.
19. SEREDA P.J. I/EC Workbook Features. 65A Industrial and Engineering Chemistry.
20. BERANEK E. Y BARTON K. Trabajo presentado en el coloquio científico "Bearbeitung meteorologischer werte in Zusammenhang mit der Erforschung der atmosphärischen Korrosion" 4-8 Junio 1973, Checoslovaquia.