

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE DOS ESTACIONES DE ENSAYO INTEMPERIE Y SOTERRADO EN MATANZAS

Dra. Idaelsys López Arias¹, Dr. Carlos Echeverría Lage¹

1. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.

Resumen.

En el presente trabajo se hace un análisis de la influencia del comportamiento de las principales variables climáticas en la velocidad de corrosión del acero, en dos estaciones de la provincia Matanzas. Dentro de las variables analizadas se destacan las horas de humectación y los vientos, por la influencia que ejercen en la velocidad de corrosión, aunque son tomadas en consideración otras variables como la temperatura y las precipitaciones. Los datos de las variables fueron tomados de estaciones meteorológicas que se encuentran en la zona donde están ubicadas las estaciones de ensayo. El comportamiento de las variables fue analizado usando el paquete estadístico Statgrafic 5.

Palabras Claves: corrosión atmosférica, factores climáticos y corrosión atmosférica.

Introducción.

La corrosión atmosférica es un fenómeno que afecta en gran medida a piezas y estructuras metálicas. El acero es uno de los metales que sufre los efectos de la corrosión y de este material se construyen la mayoría de las estructuras metálicas. Aunque el fenómeno está estrechamente relacionado con la presencia de contaminantes, existen otros factores que tienen una marcada influencia en la ocurrencia del fenómeno. Entre ellos se destacan los factores climáticos, cuyo comportamiento puede aumentar o disminuir los efectos de la corrosión atmosférica. La mayoría de las estructuras metálicas están expuestas a la atmósfera, por lo que se exponen a la corrosión atmosférica y a la influencia de los factores climáticos en este fenómeno.

Desarrollo.

Son diversos los factores que influyen en la corrosión atmosférica. El grado y forma en que influyen varía según la región, el tipo de clima, tipo de material, interacciones, entre otros. Partiendo de los diferentes tipos de materiales, los efectos fundamentales están dados por los factores climáticos y los contaminantes atmosféricos. En este trabajo se analizará el efecto del comportamiento de los contaminantes atmosféricos en la velocidad de corrosión, en dos estaciones de ensayo de Matanzas, en condiciones de intemperie y soterrado.

1. Influencia de los factores climáticos en la corrosión atmosférica.

(Corvo y Veleva, 2003) plantean que cuando se evalúa la corrosión atmosférica de metales, los parámetros más importantes son relacionados por la combinación de:

- Temperatura (T) y Humedad Relativa (HR): habitualmente descrito como el complejo T-HR. La humedad es una medida del contenido de vapor de agua en el gas (aire) y se expresa en porcentajes (%). Cuando la HR aumenta, la T disminuye y viceversa.
- Precipitación pluvial: valores anuales de las precipitaciones pluviales.

- Tiempo de humectación: (TDH), durante éste existe humedad en la superficie del metal y la corrosión puede desarrollarse. Esta capa de humedad puede ser generada por lluvia, niebla, nieve, condensación capilar, rocío u otros fenómenos similares.

1.1 Temperatura (T).

El aumento de la temperatura, cuando la humedad es alta, acelera la corrosión de los metales (Fuente y Alvarez, 2003; Cao et al., 2005) ya que aumenta la velocidad de las reacciones electroquímicas, pero conduce también a la disminución de la película de electrolito y de la duración de su permanencia en la superficie del metal ocurriendo como consecuencia la disminución de la solubilidad del oxígeno y de los gases activos del agua. (Torrens, 1999).

Vu Dinh Huy, plantea que en las condiciones del clima tropical, el efecto de la temperatura en la corrosión atmosférica de los metales se solapa frecuentemente con la influencia del espesor de la película del electrolito y con la actividad de las impurezas existentes en la superficie del metal. (Torrens, 1999).

En Cuba, el efecto fundamental de la temperatura se manifiesta en la temperatura de la superficie metálica, la que puede alcanzar niveles considerables (superiores a 70 °C), bajo la acción de la radiación solar, donde se elimina toda humedad, disminuye la velocidad de corrosión o se detiene el proceso. (Morcillo et al., 1998). Por ello, en muchos casos se observa que la corrosión atmosférica bajo techo simple es mayor que a la intemperie (Mertel, 1985; Echeverría, 1998, 2002). Algunos autores han establecido que el rango de temperatura dentro del cual ocurre la corrosión atmosférica del acero quedaría restringido prácticamente entre los valores de (10-25)°C. (Torrens, 1999; Núñez, 2000).

En locales soterrados se llega normalmente al punto de rocío del aire atmosférico pudiendo ocurrir la condensación de la humedad en el medio ambiente. Los valores por tipo de obra soterrada varían en el orden siguiente: Naves>Silo>Cuevas>Túneles. (Rodríguez et al., 2001). Aunque se plantea que existe una gran inercia al cambio de temperatura en estos locales, el análisis de las variaciones de un tipo de obra a otro y de una temporada (invierno o verano) a otra, se puede usar como herramienta para determinar en qué medida está ocurriendo el intercambio entre la intemperie y la atmósfera soterrada.

Existen pocas referencias sobre la influencia de la temperatura del ambiente en la velocidad de corrosión a partir de modelos dosis – respuesta. (Feliú, 1993; Gómez, 1999). Hasta el momento, ninguno de los modelos reportados corresponde a ambientes soterrados, a pesar de que en ellos la temperatura se encuentra en el rango óptimo estimado para que ocurra la corrosión, lo que puede deberse a la poca variación de este parámetro dentro de las obras.

1.2 Humedad Relativa (HR).

Este factor considerado el fundamental en la corrosión atmosférica húmeda, se presenta en la mayoría de las horas del día y períodos del año (Domínguez et al., 1987) en delgadas películas de humedad no visibles, que se forman por condensación capilar, higroscopicidad, adsorción, etc., lo cual tiene lugar para humedades relativas inferiores al 100 % y superiores al 50 %, según refieren investigadores del tema (Tomashov, 1979; Feliú, 1984). En condiciones interiores los rangos de humedad relativa media reportados, siempre superan los valores necesarios para el desarrollo de la corrosión (70%), manifestándose en el siguiente orden: túneles (90%), cuevas (89%), silos (85%), naves techadas (78%). (Rodríguez, Orestes et al., 2001).

1.3 Tiempo de humectación (TDH).

El parámetro TDH es una medida directa para el tiempo real de corrosión o de operación de las múltiples celdas de corrosión en la superficie del metal. Habitualmente el TDH es calculado en horas, de acuerdo con la norma internacional ISO 9223: 92, e incluye el complejo diario de T – HR, utilizando el valor de HR= 80 % como valor crítico ($t \geq 0^{\circ} \text{C}$), cuando inicia la condensación de agua sobre la superficie del metal. (Corvo y Veleva, 2003).

De acuerdo con el trabajo de Vu Dinh Huy (Torrens, 1999), se puede determinar el tiempo de humectación para valores de humedad crítica de 70%, 80% y 90% a partir de la humedad media mensual o anual, empleando ecuaciones de pronóstico como las siguientes:

$$\tau = \sum_{i=1}^{12} (a\bar{H}r_i - b) \quad (1.1) \qquad \tau = a\bar{H}r - b \quad (1.2)$$

donde:

τ : es el tiempo total humectación con humedad relativa por encima de la crítica en un año.
 Hr y Hri : humedades relativas medias anual y mensual en % y a y b son las constantes correspondientes a la ecuación y varían en dependencia de la humedad crítica. Por ejemplo para humedad crítica de 80%.

$$\tau_{Hc \geq 80\%} = 19.93 Hr - 1168.56 \quad (1.3)$$

Es importante destacar que hay una diferencia sustancial cuando se calcula el TDH para interiores, pues en estas condiciones no hay precipitaciones directas y por eso los ciclos de secado humectación son mucho menos violentos y el tiempo de humectación de fase es muy bajo o inexistente (Corvo y Veleza, 2003), de esta forma el TDH calculado por ISO 9223 debe tener un efecto muy diferente para interiores con respecto a exteriores. Debido a este particular, en la propuesta de norma para interiores (ISO/CD 11844, 2000) las clasificaciones se realizan con respecto a la humedad relativa.

Los tiempos de humectación en las obras, se calculan para una humedad relativa mayor del 80%, planteando que el proceso de desarrollo de la corrosión es prácticamente continuo, por lo que es necesario tenerlo en cuenta durante un almacenamiento prolongado de la técnica, el armamento y el material de guerra (Rodríguez et al., 2001).

De acuerdo con el planteamiento anterior, el tiempo de exposición de los materiales a la atmósfera en los locales soterrados, debe ser aproximadamente igual al tiempo total de humectación, por lo que la relación entre estos dos parámetros de tiempo y la velocidad de corrosión debe aportar resultados similares.

1.4 Efecto de las precipitaciones.

Se plantea que las precipitaciones (lluvia, niebla, rocío, nieve), tienen una influencia marcada en el proceso corrosivo de los metales, debido al efecto de lavado de los contaminantes acumulados sobre la superficie metálica, que puede provocar un retardo del proceso corrosivo. Aunque al aumentar el tiempo de humectación del metal, prolongan el desarrollo de la corrosión. Estas pueden traer consigo especies disueltas cuya concentración puede variar de un lugar a otro y provocar corrosión, sobre todo en superficies donde el agua se estanca. Por otra parte, provocan la disolución de los productos de corrosión

formados sobre la superficie metálica, por ejemplo, el caso de los carbonatos formados en Zinc, que al disolverse dejan expuesta la superficie metálica, a un nuevo ataque corrosivo. En ambientes interiores hay ausencia de precipitaciones, principal diferencia respecto al exterior. (Leygraf, 2002; Corvo y Veleva, 2003).

La lluvia aumenta la humedad del aire y cuando no se proyecta directamente sobre la superficie metálica, su efecto fundamental puede estar dado por el aumento de las horas de humectación. Por tanto, un aumento de las precipitaciones en la región, debe aumentar la velocidad de corrosión. Para los locales soterrados con mayor intercambio con la intemperie, las variaciones de humedad y temperatura pueden ser mayores en períodos de lluvia.

1.5 Influencia de los vientos.

Ambler y Bain 1955, observaron el paralelismo existente entre la salinidad atmosférica y la velocidad de corrosión (Echeverría et al., 2002) que a su vez dependen de la velocidad y dirección del viento, principalmente en atmósferas marinas (Feliú, et al., 1971; Morales et al., 2005).

El viento es considerado el principal encargado de transportar los contaminantes en Cuba (Mertel, 1985; Corvo, 1980; Echeverría, 1991). No obstante, se obtienen bajos coeficientes de correlación entre las pérdidas por corrosión, las horas viento procedentes de las direcciones predominantes y la salinidad (concentración de cloruros y sulfatos), (Betancourt, 1988 I y II), que se atribuye a los métodos de captación empleados y las determinaciones analíticas. (Echeverría et al., 2002).

En ausencia de lluvia, si es alta su velocidad, produce un efecto de secado sobre la superficie y por ende un decrecimiento en la velocidad de corrosión; en cambio, en presencia de lluvia, da lugar al lavado de la superficie del metal, removiendo los contaminantes que aceleran el proceso corrosivo y por tanto, también disminuye la velocidad de corrosión (Gómez, 2000).

En locales soterrados, la velocidad de corrosión aumenta cuando las superficies expuestas son alcanzadas por rachas de viento provenientes del exterior (Corvo et al., 2002). El grado

de contaminación del aire que penetra a estos locales, puede ser determinante en el desarrollo de la velocidad de corrosión de los materiales almacenados y puede provocar variaciones de temperatura y humedad. Es importante tener en cuenta la penetración de aire desde el exterior por las vías de acceso directo (puertas, entradas y salidas de las obras, entre otras).

2. Evaluación de los principales parámetros climáticos que influyen en la corrosión atmosférica en Matanzas.

Para el análisis de la influencia de los parámetros climáticos, los datos para exteriores fueron aportados por el Instituto de Meteorología Provincial de Matanzas. Para la estación 1, se tomaron datos de la estación de Varadero (aproximadamente a 10km de la E1) y para la estación 2, los datos se tomaron de la estación de Unión de Reyes (a menos de veinte kilómetros de la E2). Se tomaron datos de horas viento (rachas mayores que 15 km/h) de la dirección predominante (norte-nordeste), precipitaciones, temperatura, humedad relativa, horas de humectación.

Para interiores soterrados se tomaron datos de humedad relativa y temperatura utilizando un Termo-higrógrafo marca TESTO 235.

El tiempo de humectación para los interiores soterrados se calculó mediante la ecuación 1.3 sugerida por V. D. Huy, empleada en el estudio de obras soterradas en occidente (Torrens, 2005), ya que solo se contaba con los valores medios mensuales de humedad relativa en las obras estudiadas. La humedad crítica es de 80%.

$$\tau_{H_c \geq 80\%} = 19.93Hr - 1168.56 \quad (1.1)$$

donde:

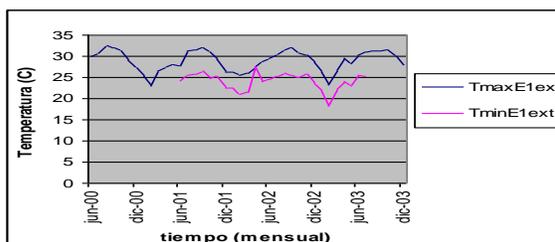
τ : es el tiempo total humectación con humedad relativa por encima de la crítica en un año
 Hr: humedades relativas medias anual y mensual en % y a y b son las constantes correspondientes a la ecuación y varían en dependencia de la humedad crítica.

2.1 Influencia de los factores climáticos en la intemperie de las estaciones 1 y 2 en Matanzas.

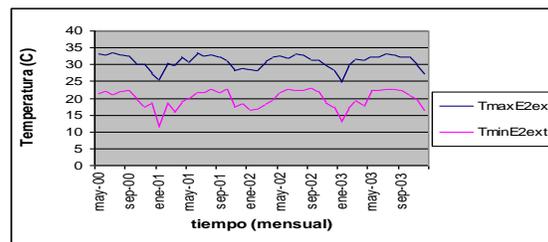
En las condiciones de intemperie de las estaciones 1 y 2 estudiadas en Matanzas los factores climáticos que se tienen en cuenta son las horas de humectación, las precipitaciones (cantidad de lluvias), las horas viento (horas en que las rachas superan los 15 km/h) y la temperatura. Los datos son obtenidos en estaciones meteorológicas que se encuentran en un radio menor de 20km de distancia de la estación de ensayo en cuestión. Para la estación de ensayos E1 los datos meteorológicos fueron aportados por la estación meteorológica de Varadero y para la estación de ensayos E2 fueron aportados por la estación meteorológica de Unión de Reyes. Los datos de horas de humectación, horas de temperatura (máxima y mínima), precipitaciones y horas viento, para los tiempos mayores de un mes, se obtienen de la sumatoria de los valores obtenidos mensualmente. Los valores de temperatura máxima y mínima se obtuvieron del promedio de los valores medidos diariamente, teniendo en cuenta el tiempo de exposición.

2.1.2 Influencia de la temperatura.

Se analiza el comportamiento de la temperatura ambiental en la intemperie de las estaciones 1 y 2 de Matanzas. Se observa variabilidad en los valores promedio mensuales máximos y mínimos en cada estación (Fig.1 a y b). Las curvas de tendencia reflejan que en la E2 (Fig.1 b) hay mayor diferencia entre la temperatura mínima y la máxima que en el caso de la E1 (Fig.1 a), lo que está dado por el efecto de continentalidad que se manifiesta en zonas alejadas de la costa.



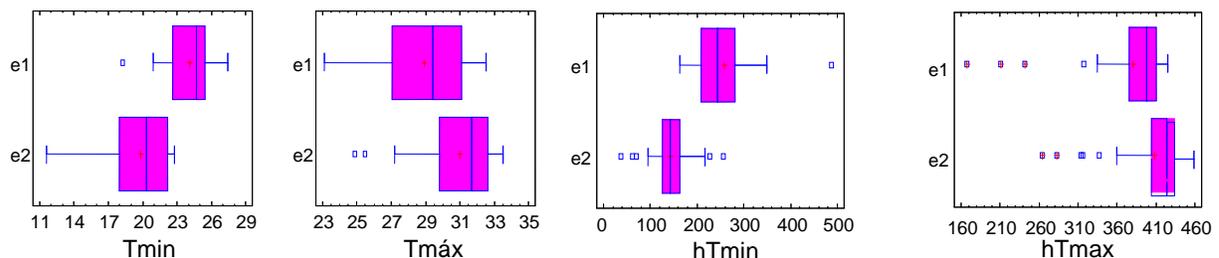
a)



b)

Fig. 1 Comportamiento de la temperatura en la intemperie de las estaciones 1 y 2 de Matanzas: a) E1; b) E2.

De acuerdo con el análisis de varianza (Fig.2), existen diferencias significativas en los valores medios de la temperatura en la intemperie de una estación y otra, tanto en la temperatura máxima (Fig.2 b) como en la mínima (Fig.2 a); así como, en los valores medios de horas de temperatura máxima (Fig.2 d) y mínima (Fig.2 c). En la E1 el valor medio de temperatura mínima es $23,6^{\circ}\text{C}$ y el valor medio de temperatura máxima es $28,9^{\circ}\text{C}$, mientras que para la E2 los valores se ubican en $19,7^{\circ}\text{C}$ y $30,7^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Como puede observarse la diferencia entre los valores medios de temperatura máxima y mínima de la E1 es de $5,3^{\circ}\text{C}$ y en la E2 es de 11°C . De acuerdo con estos valores, teniendo en cuenta las características de nuestro clima tropical húmedo, en la E2 hay mayor condensación en las horas de temperatura mínima comparada con la E1, por lo que la capa electrolítica que se forma sobre las superficies metálicas en la intemperie de la E2 debe ser más gruesa que en la E1. No obstante, el tiempo en que se manifiestan las temperaturas mínimas es menor en la estación 2, por lo que este fenómeno de condensación dura menos en ella. De la misma forma, hay mayor evaporación en las horas de temperatura máxima en la E2 y este proceso se manifiesta en un tiempo más largo, que disminuye la velocidad de corrosión, con respecto a la E1. No obstante, el proceso de humedecimiento y secado de la superficie metálica depende no solo de la temperatura, sino también, en gran medida, de la humedad relativa ambiental.



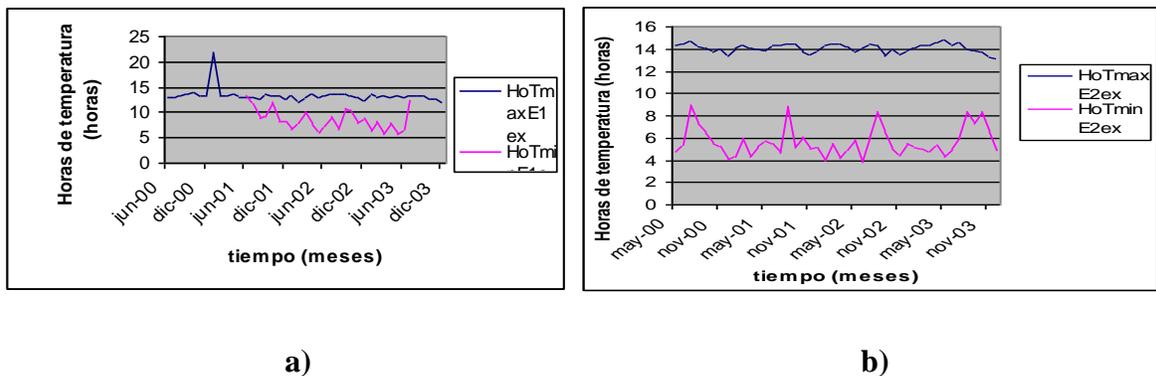
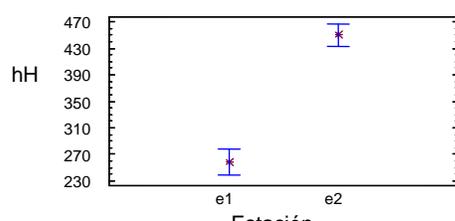


Fig.3 Gráficos comparativos de horas de temperatura máxima y mínima: a) E1; b) E2

2.1.3 Horas de humectación en la intemperie.

Las horas de humectación fueron calculadas para humedades relativas a partir del 80%. Se observan diferencias significativas en cuanto a este parámetro en estas dos estaciones (Fig. 4 a). En la E2 el valor medio de horas de humectación que se alcanzó en el período de estudio está alrededor de las 450 horas, mientras que en la E1 está por debajo de las 260 horas, por tanto en la E2 el tiempo real de corrosión es casi el doble que en la E1. Sin embargo, en la E1 se manifiesta un mayor deterioro del acero en estas condiciones de intemperie, porque la concentración de aerosol marino es mayor en ella por su mayor cercanía a la costa norte occidental.

También se observan diferencias significativas en las horas de humectación del invierno con respecto al verano (Fig. 4 b), registrándose la menor cantidad de horas de humectación en el invierno. Sin embargo, en esta temporada ocurren las mayores deposiciones de contaminantes por la mayor penetración del aerosol marino y se alcanzan los mayores niveles de corrosión.



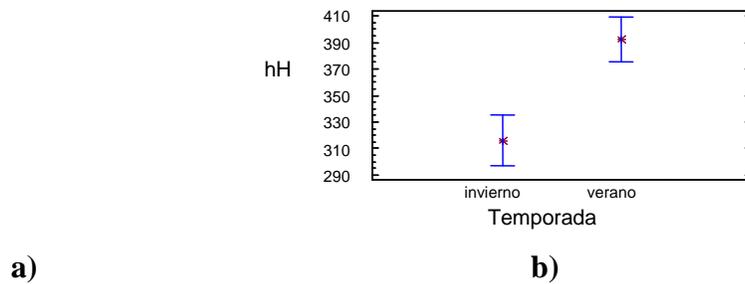


Fig.4 Gráfico de varianza de horas de humectación: a) Estaciones ; b) temporadas.

Se observa la relación entre las horas de temperatura máxima y mínima con las horas de humectación en las estaciones E1(Fig.5 a) y E2(Fig.5 b). En la E1, las horas de humectación calculadas para la humedad crítica del 80%, coinciden mayormente con las horas de temperatura mínima, casi siempre por debajo de las horas de temperatura máxima. Mientras, en la E2 las horas de humectación alcanzan valores por encima de las horas de temperatura máxima y mínima, según se observa en las curvas de tendencia, evidencia de que en la región donde se ubica esta estación, el clima se manifiesta con mayor humedad relativa que en el caso de la estación 1 y como ya habíamos visto el tiempo estimado de corrosión es mayor.

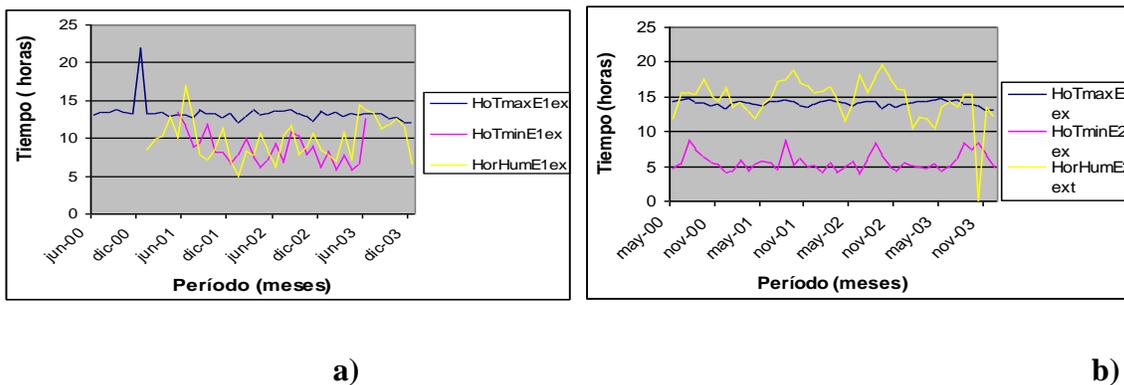


Fig. 5 Relación entre las horas de humectación y las horas de temperatura máxima y mínima: a) E1; b) E2

2.1.4 Influencia de las precipitaciones.

En la estación 2 se registra mayor cantidad de lluvias que en la estación 1, con diferencias significativas (Fig.6a) en el valor medio de precipitaciones de una estación a otra, de forma que coincide con lo planteado acerca de la influencia de las lluvias en el aumento de las horas de humectación y el tiempo real de corrosión en cada región estudiada, ya que a la zona de mayor cantidad de precipitaciones corresponde el mayor número de horas de humectación. Desde este punto de vista, las precipitaciones tienen una influencia positiva en el aumento de la velocidad de corrosión en estas regiones. No obstante, los mayores niveles de corrosión se registran en la estación 1, donde hay menos lluvias, pero también mayor concentración de contaminantes provenientes del aerosol marino, cuya acción es fundamental en el desarrollo de la corrosión en estas regiones. También puede señalarse que en la estación 1, debido a la menor cantidad de lluvias, el lavado de la superficie metálica, que podría disminuir la concentración de los contaminantes en ella y la velocidad de corrosión, ocurre con menos frecuencia. Las diferencias entre el invierno y el verano son igualmente significativas (Fig.6b). En invierno, las lluvias son menos frecuentes y su influencia de lavado en la velocidad de corrosión es menor, pero también influye menos en la elevación de la humedad relativa, las horas de humectación y el tiempo estimado de corrosión.

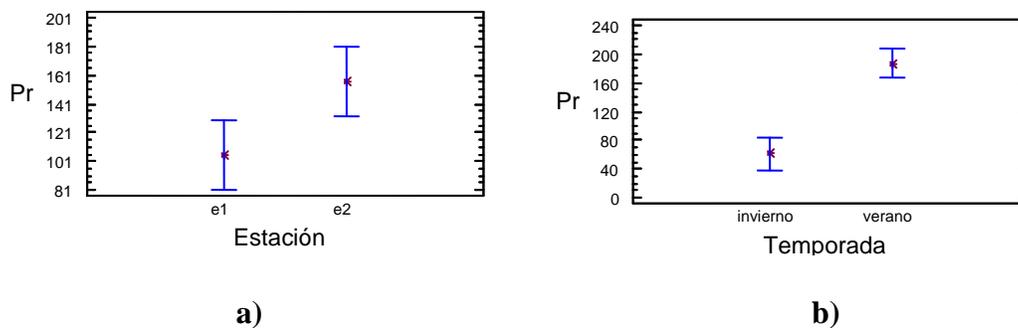


Fig.6 Gráficos de varianza en las precipitaciones: a) Estaciones ; b) Temporadas.

2.1.5 Influencia del viento

En la estación 1 hay mayor influencia de los vientos que en la estación 2, pero las diferencias no son significativas en cuanto a este parámetro en estas dos estaciones (fig 7a). No obstante, sí se observan diferencias significativas en las temporadas (fig 7b), manifestándose una mayor penetración de los vientos en el invierno, temporada en la que se registran los mayores niveles de corrosión y de deposición de contaminantes. Como ya se había mencionado anteriormente, entre los factores climáticos el viento refleja una marcada influencia positiva en la velocidad de corrosión y en la velocidad de deposición de los contaminantes, lo que se debe a que es el principal encargado de transportar el aerosol marino desde el océano hacia el interior de nuestro territorio, de ahí que favorezca el deterioro de los materiales, aunque también puede contribuir al secado de la superficie metálica y disminuir la velocidad de corrosión.

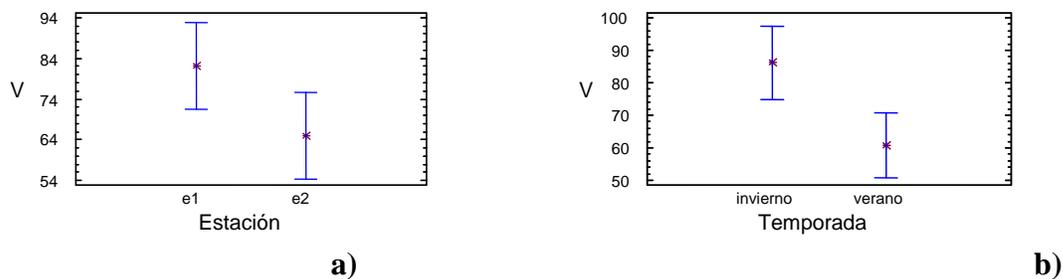


Fig. 7 Gráficos de Varianza de horas viento: a) Estaciones; b) Temporadas.

2.2 Influencia de los factores climáticos en las estaciones soterradas 1 y 2 de Matanzas.

En los interiores soterrados la influencia de los factores climáticos en la velocidad de corrosión y en los niveles de deposición de los contaminantes tiene un comportamiento diferente por el hecho de encontrarse protegidos de la intemperie y por tanto de la influencia directa de los mismos, como plantean (Corvo, F. y Veleva, L. 2003). En este trabajo se estudia el comportamiento e influencia en la velocidad de corrosión del acero, de los factores climáticos fundamentales: la temperatura, la humedad relativa y el tiempo de humectación.

2.2.1 Influencia de la temperatura en las obras soterradas 1 y 2 de Matanzas.

La temperatura, para las estaciones soterradas 1 y 2 respectivamente, oscila en valores por encima de 22°C y por debajo de 25°C en ambos casos. Las curvas de tendencia (Fig. 8), revelan que en los meses de verano la temperatura alcanza valores superiores a los de invierno y se observa una mayor variabilidad en los valores de la estación soterrada 2 que en los de la 1, tal como vimos que ocurre en la intemperie, lo que nos da una medida de la influencia de la atmósfera exterior en los ambientes soterrados de estas obras.

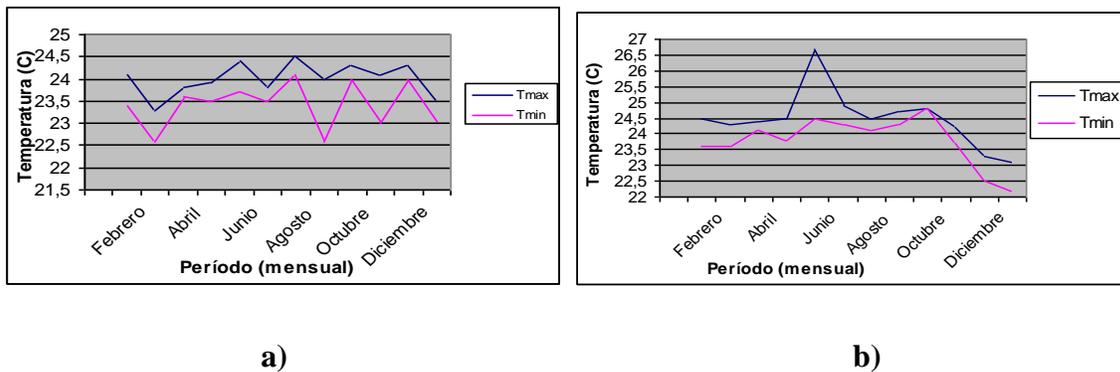


Fig. 8 Gráficos de tendencia de la temperatura máxima y mínima: a) E1; b) E2.

El análisis de varianza demuestra que hay diferencias significativas en el valor medio de temperatura alcanzado en una estación y otra (Fig.9a). En la estación 1 soterrada, los valores de temperatura media alcanzados son menores que en la estación dos, debido a que la temperatura mínima y la máxima en la estación 1 son menores. Las diferencias entre los niveles de temperatura en el invierno y en el verano no son significativas en la estación soterrada 1(Fig 9b), en cambio en la estación soterrada 2 sí lo son (Fig 9c). Este resultado denota una mayor influencia de las condiciones de la intemperie en los ambientes soterrados en la estación 2, lo que está en concordancia con las características topográficas y constructivas de esta obra ubicada en un terreno más elevado y con mayor penetración del aire.

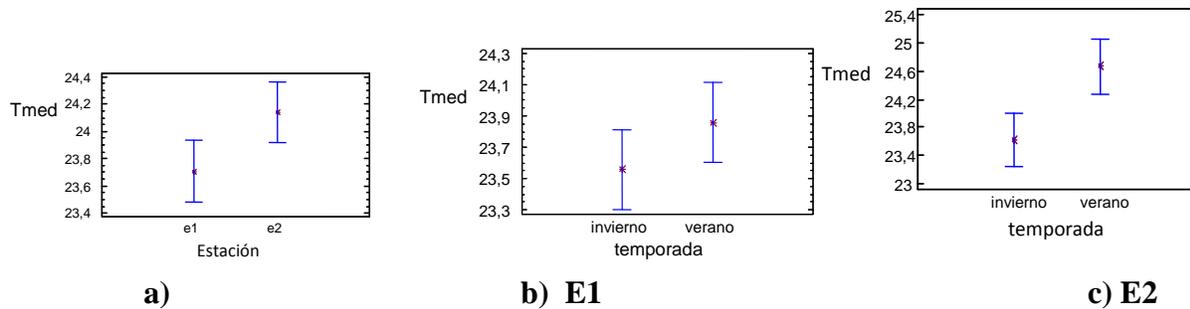


Fig.9 Gráficos de varianza de la temperatura media: a) Estaciones; b) temporada para la E1; c) temporada para la E2.

2.2.2 Influencia de la humedad relativa en las obras soterradas 1 y 2 de Matanzas.

Por debajo de 25°C , hay mayor condensación, por lo que en estos interiores soterrados hay predominio de la alta humedad. La humedad relativa media, se mantiene en rangos muy elevados en estas instalaciones y también con poca variabilidad, con un promedio de 96,4 % en la estación 1 y 89,99% en la estación 2, correspondiendo al rango establecido en la bibliografía (Rodríguez y col., 2001) para túneles.

El análisis de varianza muestra las diferencias significativas existentes en cuanto a humedad relativa entre estas dos estaciones (fig 10a). La estación 1 presenta mayores promedios de humedad relativa que la estación 2, debido a que la estación soterrada 1 se encuentra a mayor profundidad respecto a la superficie y esto provoca más bajas temperaturas, mayor condensación y viceversa. Otra diferencia radica en que las diferencias del invierno con respecto al verano solo son significativas en la estación 2 (Fig 10 b y c), denotando que hay mayor influencia de la atmósfera exterior en esta. De cualquier modo, en ambas estaciones la humedad es muy alta y el tiempo estimado de corrosión es mayor que en la intemperie, solo que la concentración de contaminantes es mucho más baja en interiores.

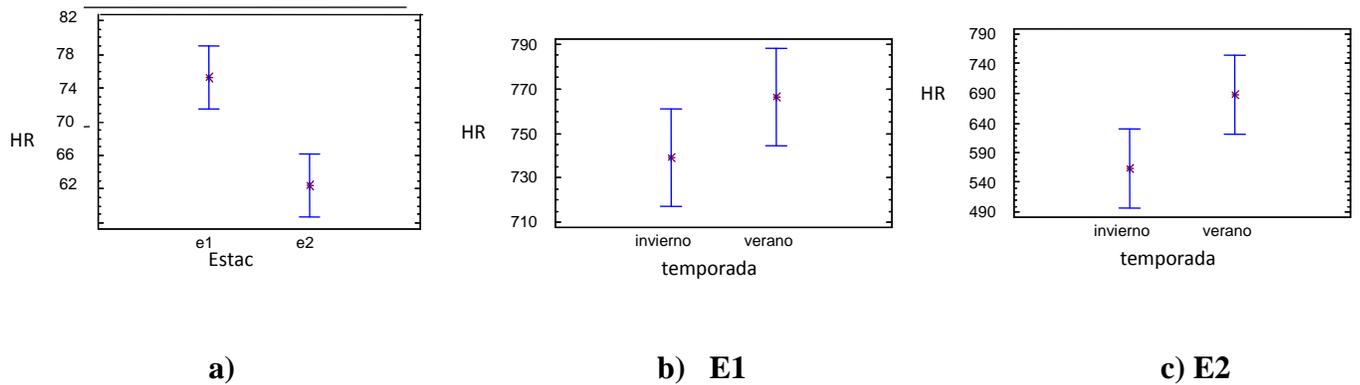


Fig. 10 Gráficos de varianza de humedad relativa en ambientes soterrados:
a)Estaciones; b) Temporada para E1; c) temporada para E2.

2.2.3 Influencia del tiempo de humectación en las obras soterradas 1 y 2 de Matanzas.

Las horas de humectación fueron calculadas para una humedad crítica del 80%. Los gráficos de varianza (fig.11a) demuestran que hay diferencias significativas en las horas de humectación de una estación y otra, reportando la estación 1 el mayor tiempo de humectación, y como consecuencia mayor tiempo de corrosión. Este resultado está en correspondencia con el planteamiento de que la obra de la estación 1 es más profunda y aislada del medio exterior que la obra de la estación 2, por lo que guarda más humedad. Sin embargo, los niveles de corrosión en una estación y otra no reflejan esta diferencia, de lo que se deduce que los niveles y variabilidad de los contaminantes, tienen particular importancia en la velocidad de corrosión en estos ambientes soterrados, aunque para que ocurra el fenómeno debe existir la capa electrolítica.

En los meses de invierno el tiempo de humectación es menor que en los meses de verano (fig.11 b y c), debido a que en el verano hay mayor humedad en ambas estaciones, pero las diferencias no son significativas.

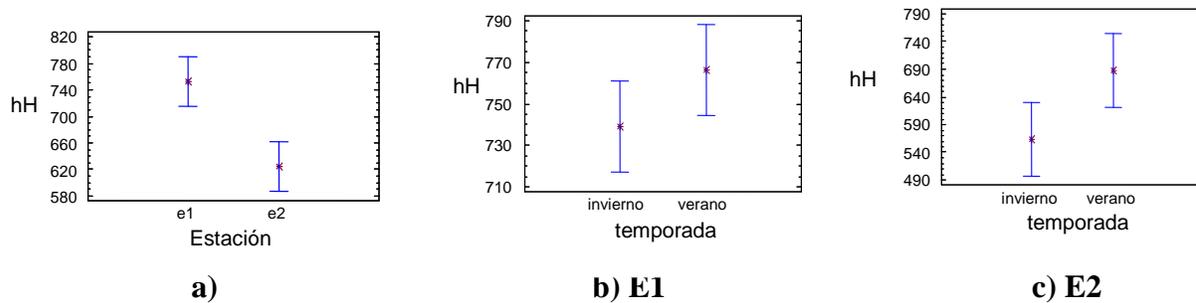


Fig. 11 Gráficos de varianza de horas de humectación en ambientes soterrados: a) Estaciones; b) Temporada para E1; c) Temporada para E2

Conclusiones.

Del análisis realizado se concluye que existe una marcada influencia del comportamiento de las variables climáticas en la velocidad de corrosión del acero en las estaciones 1y2 de Matanzas, donde las horas vientos son las de mayor influencia en la intemperie, por el transporte de contaminantes desde el océano hasta las estaciones de ensayo.

En los interiores soterrados la variable climática de mayor influencia son las horas de humectación, ya que la superficie permanece húmeda la mayor parte del tiempo propiciando la ocurrencia de la corrosión.

Bibliografía.

- 1- AFONSO, J. 2001 Estudio de la corrosión atmosférica en dos estaciones de la provincia Matanzas. Matanzas: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma.
- 2- BORGES, P. 2005. Estudio de la corrosión atmosférica interior y exterior en dos estaciones de la provincia Matanzas: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma. .
- 3- CAO, X., XIAO, Y., XIAO, Y., TANG, Z. 2005. Evaluation of atmospheric corrosivity with ACM Electrochemical Method. Proceedings of 16th International Corrosion Congress. September 19-24, 2005, Beijing, China.
- 4- CORVO, F. 1980. Estudio de la corrosión atmosférica en el clima tropical húmedo de Cuba. Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), Cuba. Tesis para optar por el grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias.

- 5- CORVO, F., TORRENS, A. D., MENDOZA, A. R. 2001. Performance of metallic materials in tropical climate. Influence of exposure conditions. *Corrosion Science*, vol., no., p.. Available online at www.sciencedirect.com, www.corrosionsource.com/discuss2/ubb/Forum40/HTML/000016.html.
- 6- CORVO, F., BETANCOURT, N., MENDOZA, A. 2002. Atmospheric corrosion in the tropics. Experiences obtained after more than 20 years of research in Cuba. *Corrosion Science*, vol., no., p. Available online at: www.sciencedirect.com.
- 7- CORVO, F., ROCHA, J. A. 2003. Proyecto TROPICORR. Metodología. En: ANDRADE, J.R. *Productos Electro - Electrónicos en Ambientes Tropicales*. Sao Paulo: Campinas, p. 223-260
- 8- CORVO, F., VELEVA, L., L. 2003. Corrosión Atmosférica. En: ANDRADE da SILVA, J.R.(Ed) *Productos Electro - Electrónicos en Ambientes Tropicales*. Sao Paulo: Campinas, p.137-170.
- 9- CORVO, F., TORRENS, A. D., BETANCOURT, N., PEREZ, J, GONZALEZ, E. 2006. Indoor atmospheric corrosion in Cuba. A report about indoor localized corrosion. *Corrosion Science*, vol. 48, no.6, p. 615-620. Available online at www.sciencedirect.com.
- 10- DOMINGUEZ, J. 1987. Introducción a la corrosión y protección de metales. La Habana: Editorial EMPES, p. 25-29, p. 426-431, p. 325-368.
- 11- ECHEVERRIA, C. 1991. La corrosión atmosférica del acero y la protección temporal de los centrales azucareros en la provincia de Matanzas. Matanzas: Instituto Superior Agroindustrial "Camilo Cienfuegos". Tesis de opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas.
- 12- ECHEVERRIA, C. 1998. Conservación Contra el Deterioro. Matanzas: Universidad de Matanzas. Reporte Centro de Estudios Tensoactivos y Anticorrosivos.
- 13- ECHEVERRIA, C. A., GONZÁLEZ, A., LÓPEZ, I., ECHEVERRIA, M. 2002. Corrosión atmosférica del acero en condiciones climáticas de Cuba: Influencia del

- aerosol marino. Matanzas: Universidad de Matanzas. 32 p. Disponible en: <http://monografias.umcc.cu>. ISBN: 9590-16-0188-3.
- 14- ECHEVERRIA, C.A. 2003. Conferencia de Corrosión Atmosférica. 32 h. Material complementario. Ingeniería de los Materiales II. Tema II.
- 15- FELIU, M. S. 1971. Principios de corrosión y protección de metales. *Corrosión y protección*, vol. 2, no. 4, p. 60-64.
- 16- FELIU, M. S. 1984. Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. Madrid: Ed. Geafimol, p. 45 – 48.
- 17- FUENTE, D. de la, ALVAREZ, J. F. 2003. Fundamentos de la corrosión. En: ANDRADE da SILVA, J.R. *Productos Electro - Electrónicos en Ambientes Tropicales*. Sao Paulo: Campinas, p. 59-94
- 18- GOMEZ, J. 1999. Estudio corrosivo sobre cuatro metales en estaciones cubanas del proyecto MICAT. La Habana. Ministerio de Industria Básica. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. 183 p.
- 19- LEYGRAF, K. 2002. Indoor Atmospheric Corrosion. *Corrosion Science*, no.7, p.678-682 Available online at www.sciencedirect.com.
- 20- LOPEZ, I., ECHEVERRIA, C. 2005a. Corrosión atmosférica en obras de alta protección en Matanzas. Matanzas: Universidad de Matanzas. Disponible en: <http://monografias.umcc.cu>. ISBN 954 – 16 – 0295 – 8.
- 21- MENDOZA, A. R., CORVO, F. 1999. Outdoor and indoor atmospheric corrosion of carbon steel. *Corrosion Science*, vol. 41, no.1, p. 75 - 86. Available online at www.sciencedirect.com.
- 22- MERTEL, J. 1985. Peculiaridades de la corrosión atmosférica del acero de bajo contenido de carbono en Ciudad de la Habana y sus implicaciones técnico-económicas. La Habana: Centro Universitario “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas.
- 23- MORALES, J., MATÍN-KRIJER, S., DÍAZ, F., HERNÁNDEZ-BORGES, J., GONZÁLEZ, S. 2005. Atmospheric corrosion in subtropical areas: influences of time of wetness and deficiency of the ISO 9223 norm. *Corrosion Science*, vol. 47,

- p.2005–2019.* Available online at www.sciencedirect.com,
www.elsevier.com/locate/corsci.
- 24- MORCILLO, M. 1998. Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica: Parte I, Mapas de Iberoamérica de Corrosividad Atmosférica. Proyecto MICAT. Editor Programa CYTED. p.787.
- 25- NÚÑEZ, L. 2000. Corrosión del acero al carbono y el cobre en agua de mar y sus aerosoles. La Habana, Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC). Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Químicas.
- 26- RODRIGUEZ, O. 1991. Análisis sobre el comportamiento de los contaminantes atmosféricos CL, SO₂ y polvo. Influencia del complejo temperatura-humedad relativa del aire sobre la corrosión atmosférica del acero en obras soterradas. Matanzas: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma.
- 27- RODRIGUEZ, J., ECHEVERRIA, C.A., GONZALEZ, A., LOPEZ, I., RODRIGUEZ, J. E. 2002. Conservación contra el deterioro de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. ANTICORROSION’2001. ISBN 959–16–0190–5, T 14.
- 28- SUVEAUT, O. 2006. Corrosión atmosférica en obras de alta protección en Matanzas. Influencia de los factores climáticos y la contaminación por iones cloruro y sulfatos. Matanzas: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma.
- 29- TOMASHOV, N.D. 1979. Theory of corrosion and protection of metals. La Habana. Ed. Revolucionaria. 672 p.
- 30- TORRENS, A. D. 1999. Corrosión Atmosférica en Interiores en el clima tropical. La Habana: Centro Nacional de Investigaciones científicas. CNIC
- 31- VELEVA, L.; PÉREZ, G., ACOSTA, M. 1997. Statistical analysis of the temperature-humidity complex and time of wetness of a tropical climate in the Yucatán Peninsula in Mexico. Atmospheric Environment, vol.31, no.5, p.773-776.