CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN OBRAS SOTERRADAS EN MATANZAS

Dr. C. Idaelsys López Arias [1], Ing. Asael González Betancourt [1], Dr. C. Carlos A. Echeverría Lage [1], Dr. C. Francisco E. Corvo [2], Ing. Milay Villalonga Rodríguez [1]

1. *Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"*
   Autopista a Varadero Km 31/2

2. *IMRE. Universidad de la Habana. Zapata y G. s/n.*
   CP 10400. Ciudad de la Habana. Cuba.

Resumen.

El estudio simultáneo en la intemperie y en ambientes soterrados de dos estaciones de la provincia Matanzas, permite caracterizarlos desde el punto de vista de la corrosión atmosférica, establecer la relación interior/exterior y determinar el origen de los agentes corrosivos (iones cloruro y compuestos de azufre) presentes en ellos.

Para ello se determina por el método gravimétrico, la velocidad de corrosión del acero expuesto en la intemperie (1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 meses) y en ambientes soterrados (6, 12, 24, 36 meses). Se utilizan diferentes captadores para los contaminantes cloruro y compuestos de azufre, cuyas muestras se procesan en el laboratorio por diferentes técnicas de análisis químico. Luego del procesamiento estadístico de los resultados mediante Statgraphic 5 y Excel, se establecen los niveles de agresividad corrosiva tanto en la intemperie como en ambientes soterrados. Con la determinación de los dos contaminantes en cada captador, se esclarece la presencia del aerosol marino en los ambientes de las obras, a pesar de encontrarse ubicadas en zonas rurales. Se comprueba, mediante el uso de la relación cloruro/sulfato que el aerosol marino es la fuente principal de compuestos de azufre en estos ambientes estudiados.

Palabras claves: corrosión en interiores, corrosión atmosférica, aerosol marino, aerosol marino en interiores.

Indice.

	Pag.
Resumen	**1**
Introducción	**3**
Desarrollo	**3**
1. Corrosión atmosférica	**3**
1.2 Aerosol marino y corrosión atmosférica.	**4**
1.3 Corrosión atmosférica en ambientes interiores.	**5**
1.3.1 Relación atmósfera interior/atmósfera exterior	**5**
2. Materiales y Métodos	**6**
3. Análisis y discusión de resultados	**7**
3.1 Caracterización atmosférica de los ambientes de estudio	**7**
3.1.1 Estudio de la velocidad de corrosión del acero en la intemperie	**7**
3.1.2 Influencia de los factores climáticos en la intemperie	**9**
3.1.3 Influencia de los contaminantes en la intemperie de las estaciones 1 y 2	**10**
3.1.4 Modelos Dosis/Respuesta para la intemperie	**11**
3. 2 Corrosión atmosférica del acero en ambientes soterrados	**13**
3.2.1 Influencia de los factores climáticos en las estaciones soterradas 1 y 2 de Matanzas	**14**
3.2.2 Influencia de los contaminantes en las obras soterradas	**15**
3.2.3 Modelos dosis/respuesta para interiores soterrados en Matanzas	**16**
3.3 Análisis de la influencia de la atmósfera de la intemperie en ambientes soterrados	**17**
3.3.1 Influencia del aerosol marino en las estaciones 1 y 2 de Matanzas.	
3.3.1.1 Relación cloruro/sulfato en las estaciones 1 y 2 de Matanzas	**19**
3.3.2 Relación interior/exterior en las estaciones 1 y 2 de Matanzas	**19**
Conclusiones	**20**
Bibliografía	**21**

Introducción.

La corrosión atmosférica es un fenómeno de interés común para muchos países por los problemas que causa en lo social y lo económico, por lo que ha sido objeto de estudio en proyectos de investigación, nacionales e internacionales. Se plantea que este proceso de naturaleza electroquímica ocurre de forma espontánea, pero puede ser controlada, prevenida y disminuida su velocidad de corrosión (Andrade, 2003).

En países tropicales, como es el caso de Cuba, el fenómeno adquiere carácter más agresivo debido, entre otros factores, a la humedad relativa elevada que garantiza la permanencia de la capa húmeda sobre la superficie metálica y a la presencia del aerosol marino, que aporta iones que interaccionan con el metal, propiciando la formación de celdas electrolíticas.

El aerosol marino es transportado desde el océano por los vientos con una carga importante de contaminantes causantes de la corrosión metálica, afectando a la casi totalidad del territorio nacional. Este hecho está favorecido por la ubicación geográfica y la forma alargada y estrecha de nuestra isla que permite que en los meses de invierno las masas de aire frío penetren por la costa norte, transportando el cloruro y el sulfato en forma de aerosol, junto a otros contaminantes menores (por ej., carbonatos) presentes en el agua de mar.

Se ha demostrado que la corrosión atmosférica causa deterioro en los materiales almacenados en obras soterradas en Cuba y se reconoce, en investigaciones recientes, la influencia de la atmósfera exterior en la atmósfera de los interiores soterrados. (Corvo et al., 2001, 2002, 2003; Torrens, 1999). Sin embargo, al analizar los contaminantes de las atmósferas soterradas, no se tiene en cuenta la influencia del aerosol marino y se atribuye el mayor efecto corrosivo al SO_2, incluso en zonas costeras, a pesar de que se observan mayores niveles de agresividad corrosiva y mayor contaminación en las obras más cercanas a la costa y una disminución en estos valores en obras ubicadas en zonas rurales, de forma similar a como se manifiesta en la intemperie.

Una de las causas del resultado anterior, es la determinación de los niveles de deposición de compuestos de azufre y de cloruros en captadores diferentes, que como se ha demostrado en la intemperie, influye en los resultados. (Echeverría, 1991; Echeverría et al., 2005). En investigaciones realizadas con anterioridad en obras soterradas en Cuba (Torrens, 1999; Mendoza y Corvo, 1999; Corvo et al., 2001,2006), se reportan mayores deposiciones de SO_2 en la filtracita que es un captador con mayor higroscopicidad y se le atribuye mayor influencia en la corrosión que al cloruro, cuyos valores de deposición más bajos son obtenidos en tela seca. No se tiene en cuenta que la aceleración de la corrosión dentro de las obras soterradas puede estar relacionada con el aerosol marino, con efectos más notables en las zonas costeras.

Desarrollo.

1. Corrosión atmosférica.

La importancia de la atmósfera como medio corrosivo natural ha sido demostrada en numerosos estudios. Por su amplia difusión, en este medio ocurre la mayor parte del daño por corrosión a equipos y estructuras metálicas.

Los factores que influyen en la corrosión atmosférica son diversos, como lo demuestran numerosos trabajos. (Morcillo et al., 1998; Leygraf, 2002; Corvo y Veleva, 2003; Tsuru et al., 2004; Cai y Lyon, 2005; Chen et al. 2005; Cao et al., 2005; Morales et al. 2006; Fuente et al. 2006; Lan et al., 2006; Watanabe et al., 2006; Veleva et al., 2007). Partiendo de los diferentes tipos de materiales, los efectos fundamentales están dados por los factores climáticos y los contaminantes atmosféricos. El conocimiento más exacto posible de estos factores, ayudaría a la planificación de las medidas anticorrosivas y por ende a la disminución de las pérdidas o costos por corrosión (Morcillo, 1998).Cuando se evalúa la corrosión atmosférica de metales, los parámetros más importantes son relacionados por la combinación de: Temperatura y Humedad Relativa; Precipitación pluvial; Tiempo de humectación.

En las condiciones climáticas de Cuba los vientos adquieren particular importancia por el papel que juegan en el transporte del aerosol marino y por ende en la velocidad de corrosión metálica, aspecto que será tratado en este trabajo.

1.2 Aerosol marino y corrosión atmosférica.

La corrosión atmosférica es una de las formas más comunes en que se analizan los efectos del aerosol marino, considerando la mayoría de los autores que el viento es el encargado de transportarlo desde el mar en pequeñas partículas, aumentando la salinidad atmosférica y la velocidad de corrosión, que disminuye a medida que aumenta la distancia desde la costa. (Ambler y Bain, 1955; Asdrúbal, 1994; Marrocos, 1994; Prato y Almeida, 1994; Rincón et al., 1994; Corvo et al., 1995; Leiva, et al.. 1996; Morcillo et al., 1998; Echeverría et al., 2000; Gómez, 2000; Lan et al., 2006). Es el más abundante de todos los componentes particulares que penetran en la atmósfera, transportado por los vientos a grandes distancias y grandes alturas. (Echeverría, 1991).

Para los países costeros y las islas, el aerosol marino constituye uno de los factores de mayor influencia en las elevadas pérdidas por corrosión. Se ha comprobado su efecto, no solo en atmósferas marinas, sino también en atmósferas rurales (Echeverría et al., 1985, 1999; Morales et al., 2006).

En países tropicales, se plantea que se distinguen 2 períodos cualitativamente diferentes en el año: - temporada invernal o de seca y temporada de lluvias o de verano. (Corvo, et al., 1995; Lan et al., 2006) En el caso de Cuba la temporada de seca (octubre a marzo), se caracteriza por la gran influencia de los vientos del norte-nordeste que producen rompientes en la costa y grandes concentraciones de aerosol marino en el aire, suficientes para incrementar drásticamente la corrosión, mientras que en la temporada de lluvias (abril a septiembre), los vientos provenientes del sur originan rompientes y cabrillas de poca envergadura. (Corvo et al. 1995).

Por lo general, cuando se analiza la influencia del aerosol marino se hace referencia a la acción de los iones cloruros en la corrosión y al analizar las determinaciones de compuestos de azufre que se expresan como sulfato, se asocia su origen al azufre antropogénico, causas frecuentes de error en los análisis que se realizan. (Echeverría et al., 2002). En las zonas bajo la influencia del aerosol marino, la contaminación por compuestos de azufre puede estar determinada por la presencia del sulfato que acompaña al cloruro. Si se

determinan ambos contaminantes en un mismo captador, es posible obtener una relación estable (Cl^- /SO_4^{2-}) próxima a 7, que permite esclarecer el origen de la contaminación por compuestos de azufre y la importancia del aerosol marino en la velocidad de corrosión.

1.2.1 Relación cloruro/ sulfato.

El uso de la relación cloruro/sulfato, fue reportado por primera vez en Cuba por Echeverría (1991). Determinando los niveles de contaminantes en un mismo captador, esta relación permite esclarecer la contaminación por compuestos de azufre presente en diferentes ambientes. (López et al.2001; Afonso, 2001; López et al., 2005; López y Echeverría, 2005; Echeverría et al., 2002; Borges, 2005; Suveaut, 2006). En la bibliografía este resultado no había sido objeto de análisis. Solo Betancourt comparó el nivel de captación de cloruros por diferentes métodos. (Betancourt, 1988 I y II).

En ambientes soterrados, no se tiene referencia de determinaciones de cloruro y compuestos de azufre en un mismo captador ni del uso de la relación cloruro/sulfato o de la presencia de aerosol marino en estos ambientes. Solo en documentos y publicaciones relacionadas con las investigaciones que en este trabajo se desarrollan se hace uso de estos resultados. (López et al. 2005; Borges, 2005; Suveaut, 2006).

1.3 Corrosión atmosférica en ambientes interiores.

La corrosión en ambientes interiores está gobernada por los mismos fenómenos físicos, químicos y electroquímicos que en la intemperie. Las condiciones ambientales, sin embargo difieren grandemente y la corrosión es mucho menor. (Leygraf, 2002). Las manipulaciones del ambiente por distintas vías, pueden directamente afectar la corrosión del metal expuesto en condiciones interiores y este proceso puede ser mucho más complejo que en condiciones exteriores. (Corvo et al., 2002; Corvo et al., 2001). Aunque la corrosión en interiores pueda tener poca influencia en la integridad estructural, sí afecta la funcionalidad, la estética superficial, entre otras propiedades de los materiales y equipos. (Leygraf, 2002).

La flora microbiana presente en las obras, puede influir en la agresividad corrosiva interior, ya que el proceso de corrosión atmosférica puede ser más complicado donde la corrosión microbiana (biocorrosión) se desarrolla (Asdrúbal, 1994). Estudios microbiológicos realizados en varias obras soterradas han dado como resultado que la microbiota ambiental está integrada principalmente por los géneros Aspergillus spp, Penicillium spp, y Cladosporium spp (spp significa que la especie no está identificada) (Rodríguez et al., 2001; Acosta, 2005).

1.3.1 Relación atmósfera interior/atmósfera exterior.

El estudio simultáneo de las condiciones atmosféricas interiores y exteriores raramente se realizaba, hasta hace algunos años, en que los fracasos obtenidos sobre todo en equipos electrónicos guardados o en uso, propiciaron que se tomara más en serio el problema de la corrosión en interiores. Los resultados que se han alcanzado demuestran la influencia que ejercen las condiciones de la atmósfera exterior sobre las condiciones del interior (Corvo et al., 2002; Leygraf, 2002).

En estudios recientes realizados en Cuba, se corrobora que la influencia de la corrosión atmosférica en interiores es menor que a la intemperie y los niveles más bajos se alcanzan en condiciones soterradas; pero aún en estas condiciones, no se puede negar la penetración de agentes corrosivos desde el exterior, transportados por corrientes de aire y su influencia en la agresividad del medio interior, incluso en obras soterradas muy alejadas de las costas (Corvo et al., 2001; Corvo et al., 2002, Torrens, 1999; Torrens et al.2004). No obstante, en zonas bajo la influencia del aerosol marino, no se hace mención a la influencia de este contaminante dentro de las obras soterradas y se le da mayor importancia al SO_2. El empleo de captadores diferentes para la determinación de compuestos de azufre y cloruros, es la causa de las mayores concentraciones de SO_2 que se reportan para las obras soterradas que se atribuye a otras fuentes y en ningún caso al aerosol marino.

En condiciones bajo abrigo ventilado y en espacios cerrados, determinar cloruros y sulfatos en un mismo captador, podría ayudar a esclarecer la presencia de aerosol marino y determinar su importancia en el comportamiento de la corrosión atmosférica en las obras soterradas.

2. Materiales y Métodos.

A partir de lo referido en la bibliografía (Domínguez et al., 1987; González, 1984; Echeverría, 2003) para el análisis y solución de problemas de corrosión, el conjunto de pasos que se desarrolla en este trabajo se resumen a continuación:

1. Selección e identificación de los ambientes de estudio.

2. Caracterización Atmosférica de los ambientes de estudio.

   - Estudio de la velocidad de corrosión del acero y la influencia de los principales factores climáticos y contaminantes (incluido el aerosol marino) en la intemperie de obras soterradas en Matanzas.

   - Estudio de la velocidad de corrosión del acero y la influencia de los principales factores climáticos y contaminantes (incluido el aerosol marino) en el interior de obras soterradas en Matanzas.

3. Análisis de la influencia de la atmósfera de la intemperie en la atmósfera de ambientes soterrados en Matanzas.

   - Análisis de la influencia el aerosol marino en la intemperie y en interiores de obras soterradas en Matanzas.

   - Análisis de la relación interior/exterior

Se seleccionan dos estaciones en diferentes puntos de la región Matanzas. La Estación 1 (E1) más cercana a la costa norte occidental (8 km) y la Estación 2 (E2) mucho más distante de la misma referencia (más de 20 km). Se estudian las condiciones de la intemperie y los ambientes soterrados de las dos estaciones.

Para el estudio de la velocidad de corrosión atmosférica, tanto en interiores como en exteriores, se exponen probetas de acero de bajo contenido de carbono (SAE-AISI 1019), principal constituyente de los fusiles y del componente estructural de la técnica militar para los cuales se proponen medidas de

conservación en este trabajo. Las dimensiones de las probetas de acuerdo con la norma (ISO 8565:1992) son (150x100x0.8-1mm).Se identifica cada probeta, se eliminan los rebordes e irregularidades, se desengrasan con solvente orgánico. Se mide el área, se realiza la limpieza superficial según el procedimiento propuesto en la norma (ISO 8407:1991), se colocan en una desecadora por espacio de 24 horas para eliminar la humedad y luego se pesan las probetas con una precisión de 1mg. El experimento se inicia en el mes Mayo del año 2000. Una vez cumplido el plazo de exposición, se retiran las probetas y se llevan al laboratorio para su análisis. Las pérdidas por corrosión fueron determinadas, por el método gravimétrico, en correspondencia con la norma (ISO 9226:1992).La clasificación de la corrosión se realiza en base a la norma (ISO 9223:1992) para exteriores y la (ISO/CD 11844:2000) para interiores.

Los datos de parámetros climáticos, para exteriores fueron aportados por el Instituto de Meteorología Provincial de Matanzas. Para interiores fueron tomados con un Termo-higrógrafo marca TESTO 235.

Se determinan cloruros y compuestos de azufre en un mismo captador (las normas establecen captadores diferentes para cada contaminante), para poder hallar la relación entre ellos y determinar su influencia en la velocidad de corrosión. Por tanto, se determinan cloruros y compuestos de azufre en: Tela seca (NC 12-01-09:1982), Bujía húmeda (ISO 9225:1992) y Filtracita (ISO 9225:1992). Los captadores se colocan en exteriores en una caseta con techo de dos aguas y en interiores en anaqueles a la altura de 1m aproximadamente. El intercambio de muestras se realiza mensualmente en exteriores y semestralmente en interiores. Los compuestos de azufre se determinan por análisis turbidimétrico (NC 93-01-118:1987) y los cloruros por titración (valoración) mercurimétrica (ISO 9225:1992).

El procesamiento estadístico se realiza utilizando la hoja de cálculo de Microsoft Excel y el programa Statgrafic 5. Se calcula la relación invierno/verano para determinar la influencia del caráter estacional del aerosol marino en los ambientes estudiados, la relación cloruro/sulfato con los datos de estos contaminantes determinados en un mismo captador para determinar la importancia del aerosol marino como fuente de contamianación en estos ambientes y la relación interior/exterior de velocidad de corrosión y contaminantes para analizar la influencia que puede tener la atmósfera de la intemperie en el comportamiento del deterioro del acero y de la contaminación en los ambientes soterrados.

3. Análisis y discusión de resultados.

3.1 Caracterización atmosférica de los ambientes de estudio.

3.1.1 Estudio de la velocidad de corrosión del acero en la intemperie.

En las obras soterradas 1 y 2 de la provincia Matanzas el estudio simultáneo de corrosión atmosférica para diferentes tiempos de exposición, a la intemperie (1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 meses) y en soterrados (6, 12, 24, 36 meses), dio como resultado que la estación 1 (E-1) en la intemperie, presenta una categoría de agresividad corrosiva media (C3) según ISO 9223:1992, ya que su valor promedio anual de velocidad de corrosión 264,80 g/m^2a, se encuentra en el rango de 200-400 g/m^2a. Este resultado coincide con lo reportado para zonas rurales por (Mertel, 1985), los resultados obtenidos en una estación rural en Bauta (Gómez, 2000), ubicada a igual distancia respecto a la costa norte occidental y con lo establecido en el Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba (Corvo et al., 1992) para la zona en que se encuentra ubicada la estación (8 km de la costa norte occidental). Según esta última referencia, en esta zona influye ligeramente el aerosol marino, aunque en este trabajo se demuestra que la principal fuente de contaminación que determina la agresividad corrosiva en la intemperie de esta obra es el aerosol marino.

La estación 2 (E-2) presenta una categoría de agresividad corrosiva baja según ISO 9223:1992. Su valor promedio de velocidad de corrosión 173,70 g/m^{2}a se encuentra en el rango de 10-200 g/m^{2}a. Este resultado también coincide con lo planteado en el Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba (Corvo y otros, 1992) para estaciones ubicadas a más de 20 km de la costa norte, como es el caso de la estación 2. No obstante, estudios realizados en la llanura de La Habana y Matanzas, demuestran la existencia de niveles de agresividad corrosiva del acero con categoría media en estaciones de ensayo a distancias de 15Km (Mertel, 1985; Corvo, 1977) y mayores de 20Km (Echeverría 1991), respectivamente. El resultado en la E-2 se debe al apantallamiento por elevaciones que disminuyen el efecto del aerosol marino y la agresividad corrosiva en la intemperie de esta obra.

Las curvas de tendencia de los valores promedio de velocidad de corrosión con respecto al tiempo de exposición en las diferentes estaciones muestran que en la intemperie, a medida que aumenta el tiempo de exposición, crece la diferencia entre la velocidad de corrosión de las estaciones 1 y 2 (Fig.1). También se observan diferencias en los valores del invierno y del verano, por la influencia del carácter estacional del aerosol marino que será tratado más adelante.

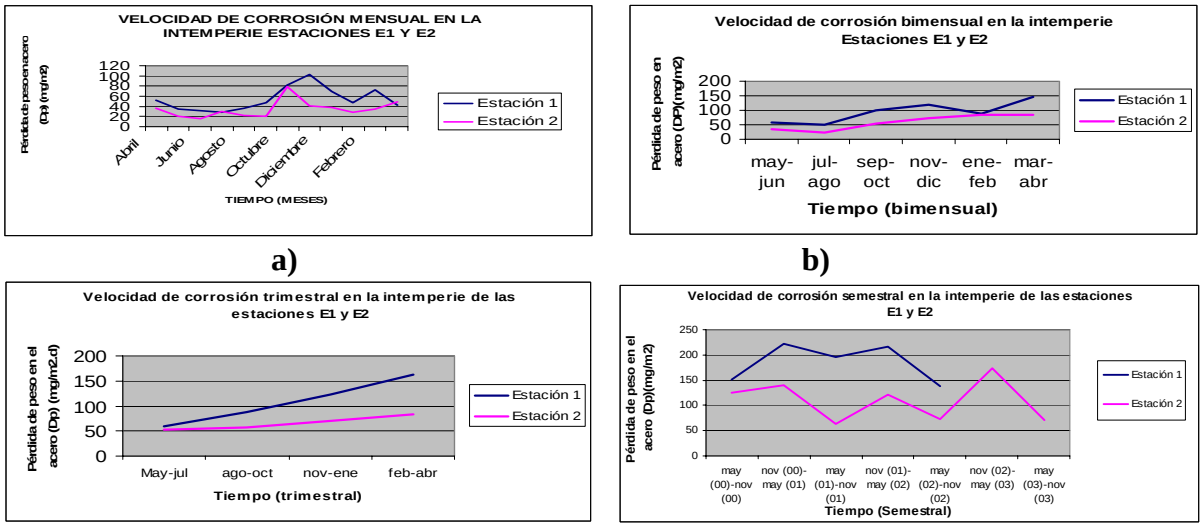


Fig.1 curvas de tendencia de velocidad de corrosión a diferentes tiempos de exposición: a) mensual; b) bimensual; c) trimestral; d) semestral.

En la figura 2, puede observarse como aumenta la velocidad de corrosión con respecto al tiempo de exposición en la intemperie de las estaciones 1 y 2. El aumento promedio en la magnitud de la velocidad de corrosión que se obtiene entre un tiempo y otro es de 1,53 veces para la E1 y 1,48 veces para la E2. Al cabo de 36 meses se alcanza 2,39 veces el valor de velocidad de corrosión anual en la E1 y 1,92 veces en la E2. Aunque este resultado se debe a la influencia de varios factores, la cercanía de la E1 a la costa norte occidental, determina el deterioro más acelerado del acero.

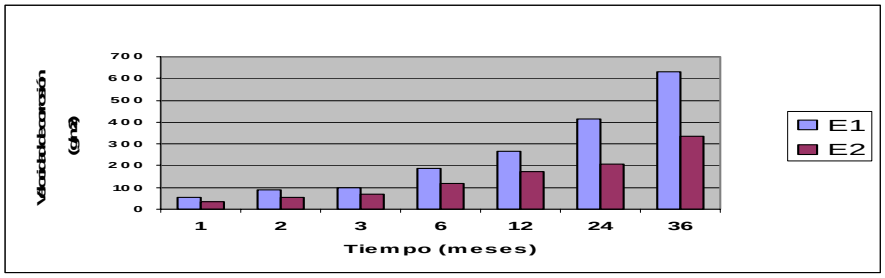


Fig.2 Gráfico comparativo de velocidad de corrosión vs tiempo en la intemperie en E1 y E2

La relación entre la velocidad de corrosión y el tiempo de exposición en la intemperie de estas dos estaciones se explica mediante los modelos lineales de la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Modelos dosis/respuesta de velocidad de corrosión vs tiempo para la intemperie de estaciones 1 y 2 de Matanzas.	
Para E1: Dp = 45,84 + 0,56*t (ec. 3.1) R = 0,88 R^2= 77,88 % P= 0,00	Para E2: Dp = 32,92 + 0,30*t (ec. 3.2) R = 0,81 R^2= 65,46 % P= 0,00

Se obtiene buena correlación entre la velocidad de corrosión y el tiempo de exposición en las dos estaciones. En ambos modelos la curva que se obtiene es de pendiente positiva, indicando que a medida que aumenta el tiempo de exposición, aumenta la velocidad de corrosión. En la E1 la pendiente es mayor porque en la intemperie su atmósfera es más agresiva y los materiales sufren mayor deterioro.

3.1.2 Influencia de los factores climáticos en la intemperie.

3.1.2.1 Influencia de la temperatura.

En la E2 hay mayor diferencia entre la temperatura mínima y la máxima que en el caso de la E1, lo que está dado por el efecto de continentalidad que se manifiesta en zonas alejadas de la costa. También existen diferencias significativas entre los valores medios de temperatura máxima y mínima del invierno con respecto al verano cuando se registran las más altas temperaturas, los mayores valores de humedad relativa y la mayor cantidad de horas de humectación. Sin embargo, se obtienen los menores valores de velocidad de corrosión, porque entre otros factores, hay menor penetración del aerosol marino.

3.1.2.2 Horas de humectación en la intemperie.

En las horas de humectación calculadas para humedades relativas a partir del 80%, se observan diferencias significativas entre estas dos estaciones. En la E2 el valor medio de horas de humectación está alrededor de las 450 horas, mientras que en la E1 está por debajo de las 260 horas. Sin embargo, en la E1 se manifiesta un mayor deterioro del acero en la intemperie, porque la concentración de aerosol marino es mayor en ella por su mayor cercanía a la costa norte occidental. Así mismo, en el invierno las horas de

humectación son significativamente menores que en el verano. No obstante, en invierno hay mayor deposición de contaminantes por la mayor penetración del aerosol marino y mayores niveles de corrosión.

3.1.2.3 Influencia de las precipitaciones.

En la E2 el valor medio de precipitaciones es significativamente mayor que en la E1, de forma que influye en las horas de humectación y el tiempo estimado de corrosión en cada región estudiada. A la zona de mayor cantidad de precipitaciones corresponde el mayor número de horas de humectación. No obstante, los mayores niveles de corrosión se registran en la E1, donde hay menos lluvias y el lavado de la superficie metálica, que podría disminuir la concentración de los contaminantes y la velocidad de corrosión, ocurre con menos frecuencia; pero también hay mayor concentración de contaminantes provenientes del aerosol marino, cuya acción es fundamental en el desarrollo de la corrosión en estas regiones. De igual forma, 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.

3.1.2.4 Influencia del viento

En la estación 1 hay mayor influencia de los vientos que en la estación 2, pero las diferencias no son significativas. No obstante, sí se observan penetraciones significativamente mayores de los vientos en el invierno, cuando se registran los mayores niveles de corrosión y de deposición de contaminantes. Ya se mencionó anteriormente, que el viento es el principal encargado de transportar el aerosol marino desde el océano hacia el interior de nuestro territorio, favoreciendo el deterioro de los materiales, aunque puede contribuir al secado de la superficie metálica y disminuir la velocidad de corrosión.

3.1.3 Influencia de los contaminantes en la intemperie de las estaciones 1 y 2.

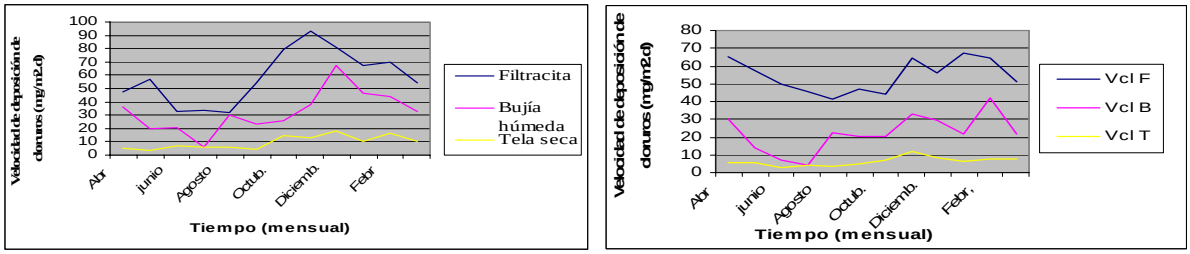
3.1.3.1 Influencia del ión cloruro en la velocidad de corrosión en la intemperie.

Los promedios mensuales más altos en los niveles de deposición de cloruros se alcanzan en la intemperie de la E1, en todos los captadores (Tabla 3.3), por ser la más cercana a la costa.

Tabla 3.3 Niveles de deposición de cloruro en diferentes captadores en la intemperie (mg/m^2d).

Captadores	Filtracita	Bujía húmeda	Tela seca
E1 exterior	55,12	31,11	12,60
E2 exterior	50,70	28,96	6,35

En las curvas de tendencia de deposición de cloruros contra tiempo (Fig.3), el captador filtracita aporta los niveles más elevados en la generalidad de los casos. Se observa un aumento en los niveles de deposición de cloruro en los meses de invierno con respecto a los de verano, tal como ocurre con los niveles de velocidad de corrosión, debido a que el cloruro proveniente del aerosol marino, es el principal causante de la corrosión atmosférica del acero en la intemperie de estas estaciones.



a) **b)**

Fig. 3 Curvas de tendencia de velocidad de deposición de cloruros en la intemperie: a) E1; b) E2

3.1.3.2 Influencia de compuestos de azufre (S) en la velocidad de corrosión en la intemperie.

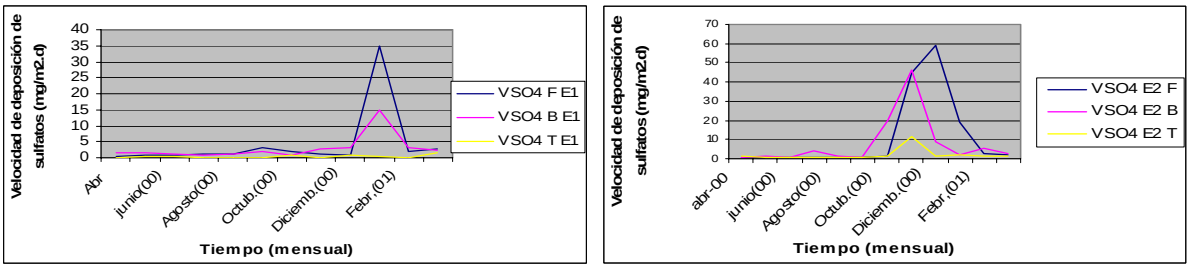
Los compuestos de azufre en estas obras provienen de fuentes naturales y antropogénicas. Su concentración siempre es menor que la del cloruro, diferencia que se hace más notable en la intemperie, donde los valores de deposición de cloruro son más altos. Los valores promedio de deposición de compuestos de azufre en diferentes captadores (tabla 3.4), indican que no hay diferencias notables entre los valores de este contaminante en la estación 1 y la estación 2. El análisis de varianza, corrobora que no hay diferencias significativas entre estos valores.

Tabla 3.4 Promedios de niveles de deposición de compuestos de azufre (S) en diferentes captadores.

Captadores	Filtracita	Bujía húmeda	Tela seca
E1 exterior	7,15	3,70	0,32
E2 exterior	5,22	3,18	1,32

En las curvas de tendencia de deposición de (S) en las estaciones 1 y 2 en la intemperie (Fig. 4), no se observa la misma similitud con la trayectoria de las curvas de tendencia de velocidad de corrosión para diferentes tiempos de exposición como en el caso del cloruro. Sí es observable el aumento de (S) en el invierno, tal como ocurre con el cloruro y la velocidad de corrosión por el efecto del aerosol marino.

No son grandes las diferencias en los valores de este contaminante de un captador a otro, aunque la filtracita reporta valores notablemente más elevados en los meses de invierno, por la influencia del carácter estacional del aerosol marino, aspecto que será tratado más adelante.



a) **b)**

Fig. 4 Curvas de tendencia de velocidad de deposición de compuestos de azufre en la intemperie: a) E1; b) E2.

3.1.4 Modelos Dosis/Respuesta para la intemperie.

3.1.4.1 Efecto conjunto del cloruro y el sulfato en la intemperie.

En la intemperie de las estaciones 1 y 2, el cloruro por ser el contaminante de mayor concentración, es el principal causante del deterioro del acero, según los resultados de los modelos obtenidos al relacionar la velocidad de corrosión con los niveles de contaminantes determinados en un mismo captador (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Resumen de modelos lineales de regresión múltiple que relacionan a la velocidad de corrosión con los niveles de deposición de cloruros y compuestos de azufre en diferentes captadores (intemperie). $Dp = a + b\ Cl^- + c\ S$

Captadores	Filtracita				Bujía húmeda				Tela seca			
Estación	a	b	c	R^2 (%)	a	b	c	R^2 (%)	a	b	c	R^2 (%)
E1 exterior	34,96	0,26	0,32	90,76	44,06	0,43	-	75,55	56,80	0,99	-	71,27
E2 exterior	22,33	0,14	0,35	85,23	26,78	0,26	1,135	79,79	37,56	1,20	-	70,42

En todos los casos se obtienen buenos ajustes de modelos y el cloruro provocado por el aerosol marino siempre está presente como variable significativa, coincidiendo con lo referido por (Mertel, J., 1985; Echeverría, C., 1991; Corvo, F. y col., 1995; Gómez, J., 1999; Corvo F.y col., 2002) acerca de la influencia de este contaminante en la elevación de la velocidad de corrosión en Cuba. En varios casos la variable compuestos de azufre se considera no significativa, sobre todo en la E1, donde las concentraciones de cloruro son mayores. No obstante, los compuestos de azufre participan en el proceso corrosivo en estas dos estaciones, aunque su concentración sea mucho menor.

Las variantes de cloruro en tela seca y bujía húmeda, contra compuestos de azufre en filtracita, no superan los resultados obtenidos con los datos de ambos contaminantes determinados en un mismo captador.

Aunque las variaciones fundamentales están dadas por los contaminantes, la temperatura, humedad y el viento, las precipitaciones y otros factores también influyen en la velocidad de corrosión.

3.1.4.2 Efecto conjunto de los contaminantes y los factores climáticos en la intemperie.

Se obtienen modelos que describen la influencia conjunta de varios factores climáticos y los contaminantes cloruro y sulfato en la velocidad de corrosión (tabla 3.7). Se observa que los niveles de cloruro guardan una marcada relación lineal con los niveles de corrosión en estas estaciones y que frente a los factores climáticos, su influencia en la velocidad de corrosión es fundamental. En la deposición de cloruros influyen varios factores climáticos y la deposición de compuestos de azufre (ec. 3.13 para E1 y ec. 3.15 para E2). Dentro de los factores climáticos las horas viento (V), tienen una marcada influencia en la deposición de cloruros y de compuestos de azufre. La influencia conjunta de los compuestos de azufre y los factores climáticos es menos observable en los modelos lineales.

Tabla 3.7 Modelos dosis/respuesta de influencia de contaminantes y factores climáticos para la intemperie de las estaciones 1 y 2 de Matanzas.	
Para la E1	**Para la E2**
hH= 27,14 + 0,64*Pr + 0,67*hTmin (ec. 3.5) R^2 = 95,82% R^2 ajustado = 95,65 % P = 0,00	hH= 922,53 + 1,85*Pr + 2,62*V - 46,81*Tmin (ec. 3.6) R^2 = 98,65% R^2 ajustado = 98,60 % P = 0,00 hH = 1792,51 + 1,80*Pr + 2,71*V - 57,87*Tmax (ec. 3.7) R^2 = 98,62% R^2 ajustado = 98,57% P = 0,00
Dp = 412,27 + 0,04*hH + 0,08*Pr - 13,60*Tmed (ec. 3.8) R^2 = 80,84 % R^2 ajustado = 79,99 % P = 0,00 Dp = 258,14 + 0,20*Cl^- + 0,06*Pr - 7,72*Tmed (ec. 3.9) R^2 = 82, 47 % R^2 ajustado = 81,78% P = 0,00	Dp = 128,77 + 0,040*Pr + 0,05*V - 4,89*Tmin (ec. 3.10) R^2 = 70,36% R^2 ajustado = 69,18% P = 0,00
Dp= 351,54 + 0,14*Cl^- + 0,05*hTmin - 11,47*Tmed (ec. 3.11) R^2 = 83,92% R^2 ajustado = 82,82% P = 0,00 Dp = 300,91 + 0,15*Cl^- + 0,10*V - 9,27*Tmed (ec. 3.12) R^2 = 83,51% R^2 ajustado = 82,86% P = 0,00 Clf = 340,21 + 0,73*S + 0,15*hH + 0,25*V - 12,69*Tmed (ec. 3.13) R^2 = 96,17% R^2 ajustado = 95,91% P = 0,00	Dp = 76,18 + 0,14*Cl^- - 0,0006*(Cl^- * S)+ 0,02*hH - 2,12*Tmed (ec. 3.14) R^2 = 70,32 % R^2 ajustado = 68,76% P = 0,00 Clf = 101,84 - 0,51*S + 0,06*hH + 0,32*V - 3,85*Tmed (ec. 3.15) R^2 = 97,96 % R^2 ajustado = 97,85% P = 0,00
Dp = 412,08 + 0,56*Sf + 0,07*hTmin - 13,66*Tmed (ec. 3.16) R^2 = 84,48% R^2 ajustado = 83,40% P = 0,00	

3. 2 Corrosión atmosférica del acero en ambientes soterrados.

En los ambientes soterrados la velocidad de corrosión es mucho menor que en la intemperie, coincidiendo con lo planteado por (Corvo et al., 2001, 2002), en los estudios realizados en la región occidental de Cuba. Ambas estaciones presentan una categoría de agresividad corrosiva alta interior. Sus valores se encuentran en el rango de 10-70 g/m^2a (10 000-70 000 mg/m^2a) según la propuesta de norma ISO C/D 11 884:2000, para ambientes interiores, con valores de 19,89 g/m^2a (19 890 mg/m^2a) en la E-1 y 18,69g/m^2a (18 690 mg/m^2a) en la E-2.

Los primeros seis meses de exposición, son poco visibles las diferencias entre los ambientes interiores de una estación y otra (Fig.5). Sin embargo, se observa un ligero aumento en los meses de invierno con respecto a los meses de verano, por la influencia de aerosol marino, cambios de humedad y otros factores.

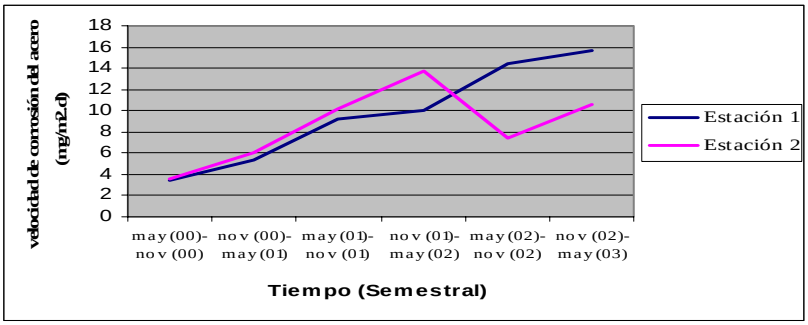


Fig. 5 Gráfico de tendencia de velocidad de corrosión en las estaciones soterradas E1 y E2.

En la figura 6, puede observarse que en la medida que aumenta el tiempo de exposición la agresividad corrosiva ambiental de la obra soterrada de la estación 1 es mayor, debido a la influencia de una atmósfera exterior más contaminada por aerosol marino que en el caso de la estación 2.

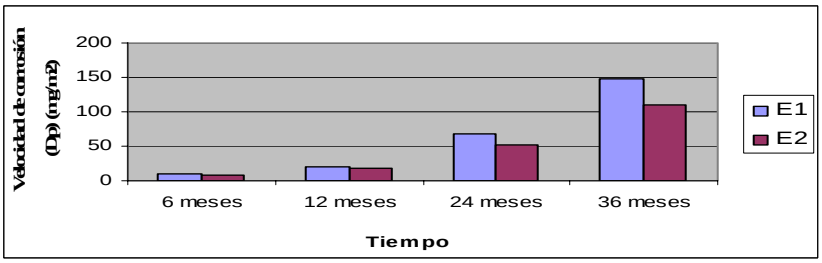


Fig. 6 Gráfico comparativo de velocidad de corrosión a diferentes tiempos de exposición en las Obras Soterradas E1 y E2.

No obstante, las diferencias aunque observables, en el nivel de agresividad corrosiva en los interiores soterrados de estas obras, no son significativas a los tres años de exposición. Este resultado es lógico si se tiene en cuenta que ambas se encuentran en enclaves rurales, de acuerdo con la distancia a la costa y que en condiciones soterradas el efecto de la atmósfera es minimizado por el apantallamiento que origina este tipo de construcción, además de que existen filtros para el aire que penetra a estos locales. Por otra parte, la estación soterrada E-1, presenta características constructivas, como son la profundidad y la ubicación de la entrada principal, que la hacen menos propensa a la penetración de rachas de vientos desde el exterior y disminuyen el intercambio con la atmósfera de la intemperie.

Las diferencias entre los niveles de agresividad corrosiva del invierno con respecto al verano en ambas estaciones, son menos significativas aún, por el apantallamiento y los filtros de aire que disminuyen la concentración de contaminantes. No obstante, en el invierno hay ligeros aumentos en la velocidad de corrosión con respecto al verano.

Las diferencias entre la velocidad de corrosión con respecto al tiempo de exposición sí son significativas. El nivel de corrosión alcanzado a los 6 meses se duplicó a los 12 meses y a los 24 meses se alcanzó

aproximadamente tres veces el valor anual en ambas estaciones. A los 36 meses, en la E1 interior, la velocidad de corrosión alcanzó más de 7 veces su valor anual y en la E2 interior más de 5 veces. Esto demuestra que en los ambientes interiores de estas dos obras el deterioro del acero ocurre no solo de forma continua, tal como se sugirió en la bibliografía que debía tenerse en cuenta para un almacenamiento prolongado de la técnica (Rodríguez, Orestes y col., 2001), sino que además es exponencial y a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, los niveles de velocidad de corrosión en interiores soterrados se acercan a los alcanzados en la intemperie, por lo se necesita proteger adecuadamente los materiales.

La relación entre la velocidad de corrosión y el tiempo de exposición en los ambientes interiores de estas dos obras se expresa en los modelos lineales siguientes:

Tabla 3.8 Modelos dosis/respuesta de velocidad de corrosión vs tiempo para interiores soterrados 1 y 2 de Matanzas.	
Para E1 interior: Dp = -18,65+ 0,14*t (ec. 3.17) R = 0,96 R^2= 92,23 % P= 0,0000	**Para E2 interior:** Dp = -11,47 + 0,10*t (ec. 3.18) R= 0,99 R^2= 97,24 % P= 0,0000

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

3.2.1.1 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 22^0C y por debajo de 25^0C en ambos casos. En los meses de verano la temperatura alcanza valores superiores a los de invierno y existe mayor variabilidad en la estación soterrada 2, tal como ocurre en la intemperie, lo que nos da una medida del mayor intercambio con la atmósfera exterior en esta obra.

El análisis de varianza demuestra que el valor medio de temperatura alcanzado en la estación 1 soterrada, es significativamente menor que en la estación dos. Las diferencias entre los niveles de temperatura en el invierno y en el verano no son significativas en la estación soterrada 1, en cambio en la estación soterrada 2 sí lo son. 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.

3.2.1.1 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 análisis de varianza 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 la mayor profundidad y aislamiento de la estación 1. 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. En los meses de invierno el tiempo de humectación es menor que en los meses de verano, pero las diferencias no son significativas en ninguno de los casos.

3.2.2 Influencia de los contaminantes en las obras soterradas.

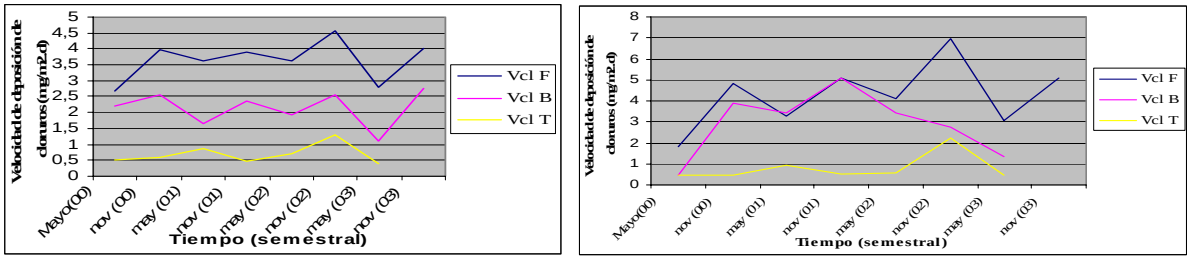
3.2.2.1 Influencia del ión cloruro en las obras soterradas 1 y 2 de Matanzas.

Los promedios de deposición de cloruros en soterrados, son mucho menores que los de la intemperie (Tabla 3.9), por el efecto de apantallamiento que ocasiona cada obra en sí y la filtración del aire que penetra en estos locales. Los valores obtenidos son prácticamente iguales, con un ligero aumento en la E2 respecto a la E1, ya que a pesar de que el cloruro en la intemperie de la estación 1 se encuentra en mayores concentraciones, el intercambio entre la atmósfera exterior y los ambientes soterrados de la estación 2 es mayor, debido a sus características constructivas. La presencia de cloruro evidencia la contaminación por aerosol marino y la influencia de la atmósfera exterior en los ambientes soterrados de estas obras.

Tabla 3.9. Niveles de deposición de cloruro en diferentes captadores (mg/m^{2}d).

Captadores	Filtracita	Bujía húmeda	Tela seca
E1 interior	4,02	2,15	0,69
E2 interior	4,42	5,00	0,75

En las curvas de tendencia de deposición de cloruros contra tiempo, el captador filtracita reporta los mayores niveles en la generalidad de los casos (fig. 7). Se observa un aumento en los niveles de deposición de cloruro en los meses de invierno, tal como ocurre con los niveles de velocidad de corrosión.



a) **b)**

Fig. 7 Curvas de tendencia de velocidad de deposición de cloruros en ambientes soterrados en diferentes captadores: a) E1; b) E2

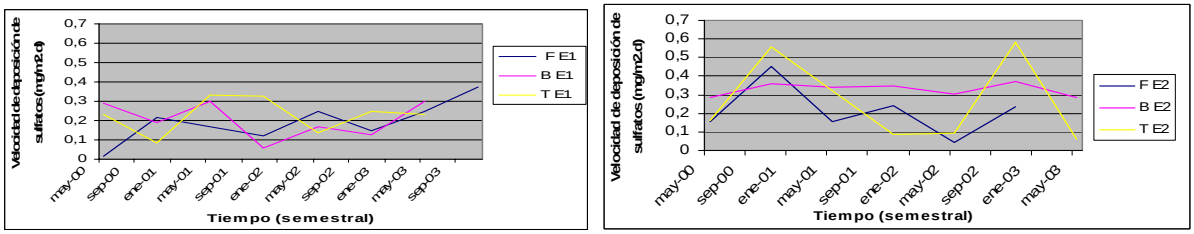
El análisis de varianza demuestra que no hay diferencias significativas en los niveles de deposición de cloruro en el invierno, comparados con los niveles de deposición en el verano en estas dos estaciones. Aún así, en la E2 las diferencias entre el invierno y el verano son más notables, por haber una mayor influencia del carácter estacional del aerosol marino proveniente de la atmósfera exterior.

3.2.2.2 Influencia del ión sulfato en las obras soterradas 1 y 2 de Matanzas.

Los valores promedio de deposición de sulfatos (Tabla 3.10) en diferentes captadores indican que no hay diferencias notables entre los valores de este contaminante en ambientes soterrados en la E1 y la E2., de la misma forma que en la intemperie, pero al igual que ocurre con el cloruro, en la E2 es ligeramente mayor, por la mayor influencia de la atmósfera exterior en esta obra.

3.10 Promedios de niveles de deposición de sulfato en diferentes captadores.			
Captadores	Filtracita	Bujía húmeda	Tela seca
E1 interior	0,28	0,22	0,22
E2 interior	0,29	0,64	0,28

En los interiores soterrados los valores son muy similares de un captador a otro, manifestándose en las curvas de tendencia (fig.8), ligeras elevaciones en diferentes períodos, algunos de ellos correspondientes a los meses de invierno y otros no, debido a que existen otras fuentes que aportan sulfatos en estas obras.



a) **b)**

Fig. 8 Gráficos de tendencia de velocidad de deposición de compuestos de azufren diferentes captadores en los ambientes soterrados: a) E1; b) E2.

En el análisis de varianza, se observa que no hay diferencias significativas en la deposición de sulfatos en invierno con respecto al mismo parámetro en verano. El contenido de compuestos de azufre en los ambientes soterrados de estas obras es mucho menor que el contenido de cloruros proveniente del aerosol marino. Si se considera que en el aerosol marino el cloruro siempre va acompañado de sulfato en menores proporciones, tal como refiere la bibliografía (Tomashov,1979; Echeverría, 1990), se le puede señalar como la fuente suministradora principal de sulfato, aunque no se descartan otras, pero con menores aportes de forma esporádica. Por ejemplo, las arrancadas por mantenimiento de la técnica aportan compuestos de azufre por la combustión de Diesel.

3.2.3 Modelos dosis/respuesta para interiores soterrados en Matanzas.

3.2.3.1 Efecto conjunto del cloruro y el sulfato en interiores soterrados.

En los ambientes soterrados de las estaciones 1 y 2, tanto el cloruro como los compuestos de azufre (S) son causantes de la corrosión del acero. No obstante, el cloruro del aerosol marino se encuentra en mayor concentración, y causa mayor corrosión, sin dejar de reconocer la influencia de (S) en la velocidad de corrosión. Los modelos obtenidos al relacionar la velocidad de corrosión con los niveles de contaminantes determinados en un mismo captador se muestran en la tabla 3.11. En condiciones soterradas, también se obtienen mejores ajustes lineales usando los datos de contaminantes determinados en la filtracita.

Tabla 3.11 Modelos de regresión lineal múltiple que relacionan a la velocidad de corrosión con los niveles de deposición de cloruros (Cl^-) y compuestos de azufre (S) en diferentes captadores (soterrado). Dp = a + b Cl^- + c S												
Captadores	Filtracita				Bujía húmeda				Tela seca			
Estación	a	b	c	R^2 (%)	a	b	c	R^2 (%)	a	b	c	R^2 (%)
E1 interior	-15,64	5,65	4,87	94,4	-18,59	10,68	5,686	87,23	-16,26	23,59	37,63	84,35
E2 interior	-10,29	2,29	31,2	95,3	-7,744	2,395	5,37	86,67	-8,894	17,216	12,141	87,84

Fueron analizadas también las variantes de cloruro en tela seca y bujía húmeda contra compuestos de azufre (S) en filtracita y en estos casos por la diferencia entre los captadores no se refleja la importancia del cloruro en la velocidad de corrosión en interiores. Es importante que los contaminantes sean determinados en un mismo captador, como se usa por primera vez en este trabajo.

3.2.3.2 Efecto conjunto de los contaminantes y los factores climáticos en obras soterradas.

El efecto de los contaminantes y los factores climáticos en la velocidad de corrosión en ambientes soterrados, guarda una estrecha relación con el tiempo de exposición como vimos reflejado en modelos anteriores (ec. 3.17 para E1 y ec. 3.18 para E2), pero es el tiempo en que las superficies metálicas se mantienen húmedas, lo que en realidad cuenta y es significativo (ec. 3.22 para E1 y ec. 3.24 para E2, tabla 3.13). Tanto en la E1 como en la E2, el tiempo de exposición y el tiempo de humectación, reflejan el tiempo de corrosión en estas obras. No se obtuvieron modelos que reflejen la influencia conjunta de los compuestos de azufre con los parámetros meteorológicos. No obstante, ya vimos que también participan en el proceso, al igual que la temperatura y otros contaminantes que no han sido evaluados en este trabajo.

Tabla 3.13 Modelos lineales de regresión múltiple de velocidad de corrosión vs factores climáticos y contaminantes en obras soterradas 1 y 2 de Matanzas.	
Para E1 Dp = -18,65 + 0,006*hH (ec. 3.22) R = 0,96 R^2= 92,22 % P= 0,0000 Dp = -16,97 + 4,14*Cl + 0,002*hH (ec. 3.23) R^2= 94,95% P= 0,00	**Para E2** Dp = -11,57 + 0,005*hH (ec. 3.24) R = 0,98 R^2= 96,64 % P= 0,00 Dp = -11,30 + 0,79*Cl + 0,004*hH (ec. 3.25) R^2= 96,79 % P= 0,0000

3.3 Análisis de la influencia de la atmósfera de la intemperie en ambientes soterrados.

3.3.1 Influencia del aerosol marino en las estaciones 1 y 2 de Matanzas.

Las estaciones 1 y 2 de Matanzas por su ubicación geográfica a más de 250m de la costa norte occidental, se clasifican como rurales. No obstante, los valores denotan diferencias notables en los niveles de agresividad corrosiva entre una estación y otra, siendo mucho mayores en la intemperie de la estación 1, más cercana a la costa norte, con mayor influencia de los vientos y mayor penetración del aerosol marino.

En los meses de invierno la velocidad de corrosión aumenta en la intemperie, tanto en la estación 1 como en la estación 2 porque en esta temporada hay mayor penetración de los vientos y estos transportan mayor cantidad de aerosol marino, aumentando el contenido de cloruros y sulfatos en la atmósfera. La relación invierno/verano es siempre mayor que la unidad (Tabla 3.21) y el promedio de esta es 1,8525 en la estación 1 mayor que en la estación 2 donde alcanza un promedio de 1,545. Lo mismo ocurre en todos los captadores con la deposición de cloruros (Tabla 3.22) y con la deposición de compuestos de azufre (Tabla 3.23), en la que debe predominar el sulfato que acompaña al cloruro en el aerosol marino, aunque no se descarta la presencia de productos de la combustión. Ambas estaciones son rurales con influencia marina.

En interiores soterrados, la presencia del ión cloruro y su influencia en la velocidad de corrosión, es prueba de la presencia del aerosol marino y su papel fundamental en el desarrollo de la corrosión en estas atmósferas soterradas. El hecho de que las diferencias en los interiores soterrados de una estación y otra no sean significativas, a pesar de que en la E1 la atmósfera exterior es más agresiva, se debe al apantallamiento y al uso de los filtros que eliminan gran parte de las partículas presentes en el aire, lo que a la vez, minimiza las diferencias entre el invierno y el verano. No obstante, la relación invierno/verano es mayor que la unidad en ambas obras soterradas, tanto en la velocidad de corrosión (Tabla 3.14) como en la deposición de cloruros (Tabla 3.15) y compuestos de azufre (Tabla 3.16), lo que demuestra la influencia del aerosol marino presente en la intemperie y de su carácter estacional en la velocidad de corrosión del acero en las obras soterradas 1 y 2.

Tabla 3.7Relación invierno/verano en la velocidad de corrosión.

Tiempo	Promedio 1 mes			Promedio 2 meses			Promedio 3 meses			Promedio 6 meses		
Estación	Ver.	Inv.	Inv/ve	Ver.	Inv.	Inv/ver	Ver.	Inv.	Inv/ver	Ver.	Inv.	Inv/ver
E1interior	-----	-----	-----	-----	------	-------	-----	------	-------	8,97	10,38	1,16
E1exterior	34,76	73,43	2,11	62,5	113,4	1,81	68,38	143,45	2,10	161,57	224,10	1,39
E2interior	-----	-----	-----	-----	------	-------	-----	-----	-------	7,03	9,04	1,29
E2exterior	26,81	34,70	1,29	37,58	84,26	2,24	65,99	76,18	1,15	97,50	146,23	1,50

Tabla 3.8Relación invierno/verano de cloruros en diferentes captadores.

Tiempo	Filtracita			Bujía húmeda			Tela seca		
Estación	Ver.	Inv.	Inv/ver	Ver.	Inv.	Inv/ver	Ver.	Inv.	Inv/ver
E1interior	3,86	4,18	1,08	1,73	2,56	1,48	0,65	0,78	1,2
E1exterior	41,82	71,47	1,71	21,00	41,84	1,99	5,22	21,36	4,09
E2interior	2,73	6,12	2,24	4,29	5,13	1,38	0,58	0,98	1,69
E2exterior	45,14	60,12	1,33	28,43	30,50	1,07	4,40	7,68	1,74

Tabla 3.16 Relación invierno/verano de los niveles de deposición de sulfato en diferentes captadores.

Tiempo	Filtracita			Bujía húmeda			Tela seca		
Estación	Ver.	Inv.	Inv/ver	Ver.	Inv.	Inv/ver	Ver.	Inv.	Inv/ver
E1interior	0,28	0,29	1,04	0,21	0,23	1,1	0,25	0,26	1,04
E1exterior	8,50	8,87	1,04	1,50	5,12	3,41	0,16	0,45	2,81
E2interior	0,28	0,29	1,04	0,34	0,98	2,88	0,17	0,43	2,53
E2exterior	3,90	6,94	1,78	0.91	3,07	3,37	1,15	1,53	1,33

3.3.1.1 Relación cloruro/sulfato en las estaciones 1 y 2 de Matanzas.

De acuerdo con los valores de la relación cloruro/sulfato en la intemperie y en los interiores soterrados de las estaciones 1 y 2 (Tabla 3.17), predomina la contaminación por aerosol marino, aunque no se puede negar que existe una pequeña parte de los compuestos de azufre depositados, atribuible a otras fuentes.

Tabla 3.17 Relación cloruro/sulfato (Cl/SO_4) en diferentes captadores.

Captador	Filtracita			Bujía húmeda			Tela seca		
Estación	Cl	SO_4	Cl/SO_4	Cl	SO_4	Cl/SO_4	Cl	SO_4	Cl/SO_4
E1 interior	4,02	0,28	14,35	2,15	0,22	9,77	0,69	0,22	3,14
E1 exterior	55,12	8,78	6,28	31,11	3,70	8,41	12,60	0,32	39,38
E2 interior	4,42	0,29	15,24	5,00	0,64	7,81	0,75	0,28	2,68
E2 exterior	50,70	5,22	9,71	28,90	3,18	9,09	6,35	1,32	4,81

3.3.2 Relación interior/exterior en las estaciones 1 y 2 de Matanzas.

En la relación interior/exterior de la velocidad de corrosión (Tabla 3.20), se observa en la estación 1 mayor diferencia en la proporcionalidad de la corrosión en soterrados con respecto a la intemperie que en la estación 2, debido a que en el primer caso la agresividad corrosiva es mucho mayor en la intemperie. Corvo et al. (2001) observaron el mismo comportamiento en obras estudiadas en occidente.

A medida que aumenta el tiempo de exposición, la diferencia entre el interior y el exterior va disminuyendo, ya que en soterrados la velocidad de corrosión es continua, pues la superficie permanece húmeda la mayor parte del tiempo (Corvo y col, 2001; Rodríguez y col, 2001; Torrens, 2005) y en exteriores los ciclos de humedecimiento y secado debido a la radiación solar, las altas temperaturas e incluso los productos de corrosión, pueden actuar como barrera y disminuir la acción de los agentes corrosivos, como plantean Domínguez (1987), Corvo et al., (2001). Por tanto, cuanto más prolongado sea el almacenamiento, tanto mayor será el deterioro de los materiales, si no se les protege adecuadamente.

Tabla 3.20 Relación interior/exterior de velocidad de corrosión.

Tiempo	Estación 1			Estación 2		
	Interior	Exterior	Int/Ext	Interior	Exterior	Int/Ext
6 meses	9,68	186,58	0,052	8,44	118,38	0,071
12 meses	19,89	264,80	0,075	18,69	173,70	0,11
24 meses	67,33	413,46	0,16	52,28	205,56	0,25
36 meses	147,96	632,68	0,23	109,91	334,18	0,33

Se observa en todos los captadores que en la estación 1 hay mayor diferencia en la proporcionalidad de la deposición de cloruros en interiores soterrados con respecto a la intemperie que en el caso de la estación 2 (Tabla 3.21), tal y como habíamos visto en la velocidad de corrosión.

Tabla 3.21 Relación interior/exterior de nivel de deposición de cloruros.

Tiempo	Estación 1			Estación 2		
	Interior	Exterior	Int/Ext	Interior	Exterior	Int/Ext
Filtracita	4,02	55,12	0,073	4,00	50,70	0,079
Bujía húmeda	2,15	31,11	0,069	5,00	28,90	0,17
Tela seca	0,69	12,60	0,055	0,75	6,35	0,12

En la estación 1 existe mayor diferencia entre los valores de compuestos de azufre en soterrados con respecto a la intemperie que en la estación 2 (Tabla 3.22). En el caso de este contaminante, la diferencia entre el exterior y el interior es mayor que en el caso del cloruro y la velocidad de corrosión.

Tabla 3.22 Relación interior/exterior de nivel de deposición de sulfatos.

Tiempo	Estación 1			Estación 2		
	Interior	Exterior	Int/Ext	Interior	Exterior	Int/Ext
Filtracita	0,28	8,78	0,032	0,29	5,22	0,56
Bujía húmeda	0,22	3,70	0,059	0,64	3,18	0,20
Tela seca	0,22	0,32	0,69	0,28	1,32	0,21

Resumiendo, las estaciones 1 y 2 de Matanzas, ubicadas en zonas rurales distantes de la costa norte, presentan influencia del aerosol marino, tanto en la intemperie como en los interiores de las obras soterradas. Para llegar a este resultado fue necesario determinar cloruros y sulfatos en un mismo captador, resultado nunca antes reportado en estudios de ambientes soterrados.

Conclusiones.

El estudio simultáneo de corrosión atmosférica en la intemperie y en interiores de obras soterradas en Matanzas, permite determinar los niveles de agresividad corrosiva en estos ambientes y establecer los niveles de agresividad corrosiva: para la E1 exterior (C3 agresividad media); para la E2 exterior (C2 agresividad baja); para la E1 interior y la E2 interior (IC4, alta interior).

Se establece la relación interior/exterior de velocidad de corrosión, así como, de los contaminantes cloruros y compuestos de azufre. Se observa, que a medida que aumenta el tiempo de exposición disminuye la diferencia en el deterioro y la contaminación entre la intemperie y los ambientes soterrados.

Se emplea de forma novedosa en ambientes soterrados, la técnica de determinar cloruros y compuestos de azufre en un mismo captador, lo que permite el uso de la relación cloruro/sulfato para esclarecer la importancia del aerosol marino como fuente contaminante en estos ambientes, aunque se reconoce que también otras fuentes aportan compuestos de azufre. De acuerdo con este resultado deben introducirse cambios en las normas internacionales para la determinación de contaminantes dentro de las obras soterradas.

Se obtienen modelos matemáticos a partir de los datos de cloruro y compuestos de azufre determinados en un mismo captador, que describen la influencia de los mismos y de los factores climáticos en la variación de la velocidad de corrosión en interiores y en la intemperie de las obras soterradas estudiadas.

Se demuestra que la influencia de la atmósfera de la intemperie en la atmósfera de las obras soterradas 1 y 2, está dada por la penetración de aerosol marino, que juega un importante rol en el desarrollo de la corrosión atmosférica por encontrarse ambas en ambientes rurales con influencia marina.

La velocidad de corrosión aumenta de forma exponencial en el interior de las obras soterradas, por el efecto del aerosol marino a medida que aumenta el tiempo de exposición, multiplicándose las pérdidas cuanto más prolongado es el almacenamiento, lo que requiere poner en práctica medidas de protección anticorrosiva.

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- AMBLER, A. A. and BAIN, A.A.J**.** 1995. Corrosion of metals in tropics. *Journal of Applied Chemistry*, no. 9, p. 437-467.

3- ANDRADE da SILVA, J.R. 2003. Confiabilidad de los electro-electrónicos y medio ambiente. En: ANDRADE, J.R. (Ed.) *Productos Electro - Electrónicos en Ambientes Tropicales*. Sao Paulo: Campinas, p. 29-58.

4- BETANCOURT, N. 1988. Comparación de métodos de análisis para la determinación de la velocidad de depósitos de cloruros en una zona marina. Parte I. *Corrosión y Protección*. Marzo – Abril, vol. 19, no. 2, p. 88.

5- BETANCOURT, N. 1988. Comparación de métodos de análisis para la determinación de la velocidad de depósitos de cloruros en una zona marina. Parte II. *Corrosión y Protección*. Mayo – Junio, vol. 19, no. 3, p. 147.

6- BETANCOURT, N., CORVO F., CUESTA, O. 2002. Influence of SO_2 and NO_x on atmospheric corrosion of steel. *CNIC. Serie Ciencias Químicas*. Mayo – Agosto, vol. 33, no 2, p. 71-75. ISSN 0254 – 0525.

7- BORGES, P. 2005. Estudio de la corrosión atmosférica interior y exterior en dos estaciones de la provincia Matanzas: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma. .

8- CAI, J.P., LYON, S.B. 2005. A mechanistic study of initial atmospheric corrosion kinetics using electrical resistance sensors. *Corrosion Science*, vol.47, no.8, p. 2956–2973. Available online at www.sciencedirect.com, www.elsevier.com/locate/corsci

9- 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.

10- CHEN, B., XU, Y.L., QU, W.L. 2005. Evaluation of atmospheric corrosion damage to steel space structures in coastal areas. International Journal of Solids and Structures 42, p. 4673–4694. Available online at www.sciencedirect.com www.elsevier.com/locate/ijsolstr

11- CHEN, Y.Y., CHUNG, S.C., SHIH, H.C. 2006. Studies on the initial stages of zinc atmospheric corrosion in the presence of chloride. Corrosion Science, Available online at www.sciencedirect.com

12- 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.

13- CORVO, F. 1988. Sobre el papel de los iones sulfato en la corrosión atmosférica del acero en la atmósfera salina húmeda. Pronóstico de la corrosión para zonas industriales y urbanas en la cercanía de la costa. *Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección*. vol. XIX, no. 5, p. 291-292.

14- CORVO, F. 1992. Segunda variante del Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba. En: MALDONADO, L., CASTRO, P., DIAZ, L. *Corrosión Metálica*. México: Mérida. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

15- CORVO, F., BETANCORT, N., MENDOZA, A. 1997. Influencia de la salinidad de la atmósfera sobre la corrosión del acero. Corrosion Science, vol.37, no.12, p.1889-1901. Available online at www.sciencedirect.com.

16- CORVO, F., MENDOZA, A.R., AUTIE, M., BETANCOURT, N. 1997. Role of water adsorption and salt content in atmospheric corrosion products of stell. *Corrosion Science*, vol. 39, no. 4, p 815-820. Available online at www.sciencedirect.com.

17- 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.

18- CORVO, F., BETANCOURT, N., MENDOZA, A. 2002. Atmospheric corrosion in the tropics. Experiencies obtained after more than 20 years of research in Cuba. Corrosion Science, vol., no., p. Available online at: www.sciencedirect.com.

19- 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

20- 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.

21- CORVO, F, MINOTAS, J, DELGADO, J, ARROYAVE, C. 2005. Changes in atmospheric corrosion rate caused by chloride ions depending on rain regime. *Corrosion Science*, vol. 47, no. 6, p. 883-892.

22- 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.

23- DOMINGUEZ, J. 1987. Introducción a la corrosión y protección de metales. La Habana: Editorial EMPES, p. 25-29, p. 426-431, p. 325-368.

24- 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.

25- ECHEVERRIA, C., CORTIJO, O., SARRAFF, M. 2000. Influencia de la corrosión atmosférica en la industria azucarera cubana. *Revista Centro Azúcar*, vol. 3, ISSN- 0253 – 5777-p. 83-86.

26- 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.

27- ECHEVERRIA, C. A., ECHEVERRIA, M., BOÁN, M., BETANCOURT, S. 2005. Esclarecimiento de los niveles de cloruro y sulfato por diferentes métodos de captación establecidos internacionalmente. Matanzas: Universidad de Matanzas. 32 p. Disponible en: http://monografias.umcc.cu. (ISBN: 959 - 16 - 0388 - 6).

28- ECHEVERRIA, C.A. 2003. Conferencia de Corrosión Atmosférica.32 h. Material complementario. Ingeniería de los Mateiales II. Tema II.

29- EL-MAHDY, G. A. (2005). Atmospheric corrosion of copper under wet/dry cyclic conditions. Corrosion Science, vol. 47, no. 7, p. 1370–1383. Available online at www.sciencedirect.com.

30- FITZGERALD, K.P., NAIRN, J., SKENNERTON, G., ATRENS, A. (2006).Atmospheric corrosion of copper and the colour, structure and composition of natural patinas on copper. *Corrosion Science, vol.48, p. 2480–2509*. Available online at www.sciencedirect.com.

31- 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

32- FUENTE, D. de la, CASTAÑO, J.G., MORCILLO, M. 2006. Long-term atmospheric corrosion of zinc. Corrosion Science: doi:10.1016/j.corsci.2006.08.003 Available online at www.sciencedirect.com.

33- GARCÍA-OCHOA, E., RAMÍREZ, R., TORRES, V., RODRÍGUEZ, F. J., GENESCA, J. 2002. Comparison of Electrochemical Noise and Wire-on-Screw Technique in Simulated Marine Atmospheres. *Corrosion Science, vol.58, no.9, p. 756-760.* Available online at www.sciencedirect.com.

34- GOMEZ, J. 2000. 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.

35- ISO 8407: 1991(E). Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens.

36- ISO 8503 – 3: 1998(E). Preparation of steel substrate before application of paints and related products – surface roughness characteristic of blast – cleaned steel substrate- part 3: Method for calibration of ISO surface profile comparators and for the determination of surface profile comparators and for the determination of surface profile – Focusing microscope procedure.

37- ISO 8565: 1992(E). Metales y aleaciones. Ensayos de corrosión atmosférica. Requisitos generales para los ensayos in situ.

38- ISO 9223:1992(F). Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification.

39- ISO 9225:1992(E). Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.

40- ISO 9226:1992(E). Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for evaluation of corrosivity.

41- ISO/TC 156/WH: 1995. Classification of Corrosivity of indoor atmospheres. Second working draft.

42- ISO/CD11844:2000(F) Corrosion of metals and alloys – Clasification of corrosivity of indoor atmospheres – Determination and estimation of indoor corrosivity.

43- KOCH, G, H. 2001. Corrosion cost and preventive strategies in the United States. Report No. FHWA-RD-01-XXX.

44- LEYGRAF, K. 2002. Indoor Atmospheric Corrosion. Corrosion Science no.7, p.678-682 Available online at www.sciencedirect.com.

45- LEIVA, P., RONDA, M., GOMEZ, J. 1996a. The influence of atmospheric pollutans on corrosion of steel in north coastal regions in Cuba. Proceedings of 2nd Latin American Region Corrosion Congress (NACE 96). Río de Janeiro, Brasil)

46- LOPEZ, I., ECHEVERRIA, C., AFONSO, J. 2001a. Influencia del aerosol marino en dos estaciones de ensayo en la provincia de Matanzas. Memorias del Evento Internacional ANTICORROSION'2001. ISBN 959–16–0190–5, T 28.

47- LOPEZ, I., ECHEVERRIA, C., AFONSO, J. 2001b. Comparación entre los métodos de captación de cloruro para estudios de la corrosión atmosférica. Fundamentación del empleo del método de la filtracita. Memorias del Evento Internacional ANTICORROSION'2001 ISBN 959–16–0190–5, T 27.

48- LOPEZ, I. 2004. Evaluación de grasas anticorrosivas para la conservación de materiales en zonas protegidas de la intemperie. XI Exposición "Forjadores del Futuro". Matanzas.

49- 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.

50- LOPEZ, I., ECHEVERRIA, C., AFONSO, J. 2005b. La captación de cloruros en estudios de corrosión atmosférica. Fundamento del uso del método de la filtracita. *Ingeniería Química*, vol. 37, no 429, p. 133.

51- LOPEZ, I., ECHEVERRIA, C., AFONSO, J. 2006. Influencia del aerosol marino en la corrosión atmosférica. Estudio de la velocidad de corrosión en zonas alejadas de la costa. *Ingeniería Química*, vol. 38, no. 435, p. 171.

52- MARTÍN, Y., CORVO, F., REGUERA, E., CASTAÑEDA, A., VALDÉS, C., GONZÁLEZ, E.,PÉREZ, J., PORTILLA, C. 2006. Resultados relacionados con el efecto del clima tropical cubano en la corrosión de equipos electro-electrónicos. IX Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales IBEROMET IX.

53- 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.

54- MENDOZA, A. R., CORVO, F. 2000. Outdoor and indoor atmospheric corrosion of non-ferrous metals. *Corrosion Science*, vol. 42, no., p. 1123 - 1147. Available online at www.sciencedirect.com.

55- MENDOZA, A. R., CORVO, F., GÓMEZ, A., GÓMEZ, J. 2004. Influence of the corrosion products of copper on its atmospheric corrosion kinetics in tropical climate. *Corrosion Science*, vol. 46, no., p. 1189 - 1200. Available online at www.sciencedirect.com.

56- 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.

57- 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.

58- MORALES, J., DÍAZ, F., HERNÁNDEZ-BORGES, J., GONZÁLEZ, S., CANO, V. (2006). Atmospheric corrosion in subtropical areas: Statistic study of the corrosion of zinc plates exposed to several atmospheres in the province of Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands, Spain). Corrosion Science, doi:10.1016/j.corsci.2006.04.023. Available online at www.sciencedirect.com, www.elsevier.com/locate/corsci.

59- 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.

60- NC 12-01-09: 1982. Determinación del contenido de cloruros en la atmósfera. La Habana.

61- NC 93-01-118. 1987. SNPMA (Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente). Determinación de sulfatos.

62- NGOC LAN, T. T., PHUONG THOA, N. T., NISHIMURA, R., TSUJINO, Y., YOKOI, M., MAEDA, Y. 2006. Atmospheric corrosion of carbon steel underfield exposure in the southern part

of Vietnam. *Corrosion Science no.48, p.179–192.* Available online at www.sciencedirect.com, www.elsevier.com/locate/corsci.

63- 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.

64- NÚÑEZ, L., REGUERA, E., CORVO, F., GONZÁLEZ, E., VAZQUEZ, C. 2005. Corrosion of copper in seawater and its aerosols in a tropical island. Corrosion Science, vol.47, no.7, p.461–484. Available online at www.sciencedirect.com, www.elsevier.com/locate/corsci.

65- PERSSON, D., MIKHAILOV, A. AND THIERRY, D. 2002. Atmospheric corrosion of confined zinc surfaces during exposure to periodic wet-dry conditions.

66- RODRIGUEZ, O. 1991. Análisis sobre el comportamiento de los contaminantes atmosféricos CL, SO_2 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.

67- SALEM, M. 2000. Estudio para la conservación contra el deterioro de la técnica militar en las condiciones climáticas de Cuba. Matanzas: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma.

68- 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.

69- SYRETT, B.C., GORMAN, J. A. 2003. Corrosion Cost**.** *Mater. Perform*. vol. 42, no. 2, p. 32.

70- TACHIBANA, K., MORINAGA, Y., MAYUZUMI, M. 2006. Hot dip Wne Zn and Zn–Al alloy double coating for corrosion resistance at coastal area. Corrosion Science, doi:10.1016/j.corsci.2006.05.015. Available online at www.sciencedirect.com.

71- TIDBLAD, J., MIKHAILOV, A.A., KUCERA, V. 2000. Application of a Model for prediction of atmospheric corrosion in tropical environments. Marine Corrosion in Tropical Environments, ASTM STP 1399, Dean, S.W., Hernández Duque-Delgadillo, G., Bushman, J. B. Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

72- TOMASHOV, N.D. 1979. Theory of corrosion and protection of metals. La Habana. Ed. Revolucionaria. 672 p.

73- TORRENS, A. D. 1999. Corrosión Atmosférica en Interiores en el clima tropical. La Habana: Centro Nacional de Investigaciones científicas. CNIC.

74- TSURU, T., TAMIYA, K. I., NISHIKATA, A. 2004. Formation and growth of micro-droplets during the initial stage of atmospheric corrosion. Electrochimica Acta vol.49, no.4, p. 2709–2715. Available online at www.sciencedirect.com.

75- VALDEZ, B., ARROYAVE, E., ECHEVERRIA, F., ANDRADE, J.R., CUNHA, T. 2003. Importancia de la corrosión. En: ROCHA, J.A. *Productos Electro - Electrónicos en Ambientes Tropicales*. Sao Paulo: Campinas, p. 95-134.

76- VELEVA, L., DZIB, L., GONZÁLEZ, J., PÉREZ, T. 2007. Initial stages of indoor atmospheric corrosion of electronics contact metals in humid tropical climate: tin and níkel. Revista de Metalurgia, vol. 43, no.2, p.101-110.

77- VERA, R., DELGADO, D., ROSALES, B. M. 2006. Effect of atmospheric pollutants on the corrosion of high power electrical conductors: Part 1. Aluminium and AA6201 alloy. Corrosion Science, vol.48, no.2, p.2882–2900. Available online at www.sciencedirect.com.

78- WALL, F.D., MARTINEZ, M.A., MISSERT, N.A., COPELAND, R.G., KILGO, A.C. 2005. Characterizing corrosion behaviour under atmospheric conditions using electrochemical techniques. Corrosion Science, vol. 47, no.3, p. 17–32. Available online at www.sciencedirect.com.

79- ZHANG, J., WANG, J., WANG, Y. 2005. Electrochemical investigations of micro-droplets formed on metals during the deliquescence of salt particles in atmosphere. Electrochemistry Communications, vol. 7, no., p.443–448. Available online at www.sciencedirect.com.