

# **CARACTERIZACIÓN ATMOSFÉRICA EN OBRAS SOTERRADAS EN MATANZAS.**

**Ing. Giselsy B. Rufin Fernandez<sup>1</sup>, Dra. Idaelsys Lopez Arias<sup>2</sup>, Dr. C. Carlos  
Echeverria Lage<sup>2</sup>**

*1. Región Militar Matanzas. Calzada General Betancort % Pilar  
y Descanso. Telefono 243186.*

*2. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Km 31/2  
Autopista a varadero. Telefono: 256811.*

## **Resumen.**

Se realiza un estudio de corrosión atmosférica, de forma simultánea en la intemperie y en soterrados de dos estaciones de la provincia de Matanzas con el objetivo de caracterizar estos ambientes y demostrar la influencia de los iones cloruro proveniente de la atmosfera exterior en la interior. Para ello se utilizan datos de velocidad de corrosión del acero de la intemperie y de ambientes, dichas muestras fueron procesadas en el laboratorio por diferentes técnicas de análisis químico. El procesamiento estadístico permitió establecer los niveles de agresividad corrosiva tanto en la intemperie como en ambientes soterrados. La determinación de los dos contaminantes en cada captador, permitió establecer la relación interior/exterior, invierno/verano, cloruro/sulfato y obtener modelos matemáticos. Todos estos indicadores demuestran la presencia del aerosol marino en los ambientes de las obras.

*Palabras claves: Velocidad de Corrosión; Aerosol Marino; Relación Invierno Verano.*

---

La corrosión atmosférica es un proceso de naturaleza electroquímica que ocurre de forma espontánea, causando pérdidas materiales considerables. (Andrade; 2003) En el caso de los países tropicales, como Cuba, la humedad relativa elevada influye de manera decisiva en la formación y permanencia de la capa electrolítica superficial, por lo que en este tipo de clima se obtienen categorías de agresividad corrosiva elevadas. El aerosol marino es transportado desde el océano por los vientos. En Cuba este contaminante afecta 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 cloruros y compuestos de azufre en forma de aerosol, junto a otros contaminantes menores (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 (Corvo et al., 2001, 2002, 2003; Torrens, 1999; Echeverría, 1991; Echeverría et al., 2005). En investigaciones realizadas con anterioridad en obras soterradas en Cuba no se tiene en cuenta que la aceleración de la corrosión dentro de las obras soterradas puede estar relacionada con el aerosol marino, en cuyo caso, los iones cloruro juegan un papel fundamental, con efectos más notables en las zonas costeras y sera demostrado mediante las tecnicas de inferencias estadisticas.

La importancia de la atmósfera como medio corrosivo natural ha sido demostrada en numerosos estudios, en los que se ha comprobado que en esta ocurre la mayor parte del daño por corrosión a equipos y estructuras metálicas. (Corvo, 1980, 2002, 2006; Mertell, 1985; Echeverría, 1991, 1999, 2002; Morales et al. 2005, 2006; Chen, et al. 2006; Fitzgerald et al., 2006; Fuente et al., 2006; Vera et al., 2006;; Veleva, et al., 2007)). Las investigaciones para aclarar cuestiones sobre los mecanismos, las variables y la cinética de la corrosión atmosférica (Veleva et al., 1997, 2007; Gómez, 2000; García et al., 2002; Morales et al., 2005; Cai y Lyon, 2005; Cao et al., 2005; Wall, et al., 2005; Zhan, et al. 2005; Chen, et al. 2006), aún son insuficientes, debido a que el fenómeno no es fácilmente tratable con las técnicas de la ciencia de los materiales y de la electroquímica.

De acuerdo con (Morcillo et al., 1998) uno de los mayores problemas a que se enfrentan los investigadores es la simulación precisa de las condiciones meteorológicas y atmosféricas que se dan en la práctica. Clasificaciones de la atmósfera basadas en el grado de contaminación y la naturaleza de los contaminantes (Tomashov, 1979), en industriales, marinas, urbanas, rurales, urbanas-marinas, industriales-marinas, urbanas industriales, rurales interiores y otras combinaciones de éstas (Feliú, 1971), no necesariamente son una descripción acertada como reflejo de la agresividad de la atmósfera desde el punto de vista de la corrosión, considerando que la agresividad de un lugar determinado está dada en primer lugar por las condiciones netamente climatológicas y en segundo lugar, por determinadas condiciones de contaminación aeroquímica específica.

En la intemperie, estudios han permitido avances en este tema. En la actualidad se aceptan las categorías de agresividad corrosiva de la atmósfera basadas en la pérdida de peso de metales, el tiempo de humectación y los niveles de contaminación ambiental por cloruros y sulfates (Corvo et al., 1992). Sin embargo, por los problemas que causa en materiales y equipos durante el almacenamiento y la transportación, desde hace varios años se realizan estudios simultáneos de corrosión atmosférica en interiores y exteriores (Leygraf, 2002; Valdez et al., 2002; Persson et al., 2002; Veleva et al., 2007; Corvo et al., 2001, 2002, 2006).

(Torrens; 1999) comenta que se han publicado algunos artículos por Vlckova y Knotkova, así como la ISO/TC 156/WH, donde se establece que las categorías de agresividad corrosiva aplicables en interiores según ISO 9223 son C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub> (muy baja y baja), aunque para las condiciones particulares de Cuba la corrosión en interiores puede llegar a C<sub>3</sub> (Rodríguez, 1991). Estudios realizados en el occidente de Cuba, (Corvo, et al., 2001; 2006), se sugiere para la clasificación de los ambientes interiores la propuesta de norma (ISO C/D 11 884, 2000), teniendo en cuenta que en los ambientes interiores las variaciones de parámetros climáticos, la contaminación y velocidad de corrosión se encuentran en niveles mucho más bajos que en la intemperie, pero existen diferencias entre las atmósferas interiores que la ISO 9223 no refleja.

En la corrosión atmosférica influyen varios factores (Corvo y Veleva, 2003; Chen et al. 2005), el grado y forma varía según la región, el tipo de clima, tipo de material, interacciones, entre otros, y no pueden ser reflejados en su totalidad y con exactitud en los modelos de pronóstico. No obstante, se puede analizar la influencia de los factores en la velocidad de corrosión a partir de las correlaciones matemáticas que se obtienen con datos experimentales. Los efectos fundamentales están dados por los factores climáticos y los contaminantes atmosféricos.

Factores externos:

- Meteorológicos y de contaminación del aire.

- Condiciones de exposición que permitan el libre acceso del medio corrosivo a la superficie expuesta a la atmósfera, almacenamiento en caseta o bajo abrigo ventilado, en las cuales el metal sólo se humidifica por el rocío o el contacto accidental con la lluvia.

Factores internos:

- Como naturaleza y propiedades electroquímicas del metal, así como características de los productos de corrosión.

En Cuba los vientos juegan un papel fundamental en el transporte del aerosol marino, contaminante de marcada influencia en la velocidad de corrosión.

El aumento de la temperatura, cuando la humedad es alta, acelera la corrosión de los metales (Fuente y Álvarez, 2003; Cao et al., 2005) pero conduce también a la disminución de la película de electrolito y de la duración de su permanencia en la superficie del metal ocurriendo la disminución de la solubilidad del oxígeno y de los gases activos del agua (Torrens, 1999). En Cuba, la temperatura puede alcanzar niveles (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 y la corrosión atmosférica del acero quedaría restringido prácticamente entre los valores de (10-25)°C (Torrens, 1999; Núñez, 2000).

La *Humedad Relativa* (HR) 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 tiene lugar para humedades relativas inferiores al 100 % y superiores al 50 %, según refieren investigadores del tema (Tomashov, 1979; Feliú, 1984).

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. 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.

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).

### **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 (cientos de kilómetros) y grandes alturas (decenas de kilómetros) (Echeverría, 1991). Para los países costeros y las islas, el aerosol marino constituye uno de los factores que mayores influencias tiene en las elevadas pérdidas por corrosión que se producen. Se ha comprobado su influencia en la velocidad de corrosión, 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, en los estudios de corrosión atmosférica, 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 Vietnam se comprobó en un ambiente costero y uno rural, que la contaminación por cloruro es la que predomina y hay concentración de este contaminante en productos de corrosión. Sin embargo, las pérdidas de masa bajo cubierta son atribuidas al  $\text{SO}_2$  y en la intemperie, no es posible explicarlas por las concentraciones de cloruro ni de  $\text{SO}_2$ . (Lan et al., 2006). No se tuvo en cuenta en el mencionado estudio que en las zonas bajo la influencia del aerosol marino en la

intemperie, la contaminación por compuestos de azufre está determinada por la presencia del sulfato que acompaña al cloruro.

### **Influencia del ión cloruro.**

El principal responsable de la influencia del aerosol marino en la magnitud de la corrosión atmosférica es el ión cloruro (Asdrúbal, 1994; Corvo et al., 1995; Echeverría et al., 2000; Gómez, 2000; Leiva et al. 1996; Marrocos, 1994; Morcillo et al., 1998; Prato y Almeida, 1994; Rincón et al., 1994). Lo que se corrobora por las correlaciones que se obtienen entre la velocidad de deposición de cloruros y la velocidad de corrosión (Mertel, 1985; Echeverría, 1991; Corvo et al., 1995; Gómez, 2000; Morales et al., 2005, 2006). Su deposición tiene un efecto de compactación de la capa de óxidos y eleva la conductividad de la capa del electrolito (Espada, 1989). En Cuba, la influencia de los cloruros, provocados por el aerosol marino, es muy significativa en la elevación de la velocidad de corrosión y una vez que ya está formada la capa, existe un proceso de adsorción competitiva entre los cloruros y los sulfatos (Corvo et al., 2002). A medida que nos alejamos de la costa disminuye su proporción lo que trae aparejado una amortiguación de la corrosión (Leiva et al., 1996). Sin embargo, esto no implica que deje de jugar un papel importante en la corrosión en zonas rurales, alejadas de las costas, donde si no existen otras fuentes de contaminación, viene a ser el principal responsable del deterioro de los materiales.

### **Influencia del ión sulfato.**

Del total de sales que contiene el agua de mar, el 7,68% en peso corresponde al ión sulfato (Tomashov, 1979), ello indica realizando un cálculo aproximado de acuerdo con la emisión de aerosol marino (Butler, 1979) que por esta vía se emiten a la atmósfera 70 millones de toneladas anuales de sulfato, procedentes de esta fuente. La producción de dióxido de azufre, para la época en que fue hecho el planteamiento anterior, se estimaba en 133 millones de toneladas al año, lo que corresponde en emisiones de ión sulfato a 86 millones de toneladas, por lo cual no resulta despreciable el sulfato procedente del aerosol marino, máxime cuando no se reporta en Cuba una contaminación apreciable por dióxido de azufre (Echeverría, 1991; Echeverría et al. 2005).

### **Relación cloruro/ sulfato.**

La presencia de cloruro y sulfato proveniente del aerosol marino en las investigaciones sobre corrosión, resulta de gran interés. El uso de la relación cloruro/sulfato, resultado reportado por primera vez en Cuba por Echeverría (Echeverría, 1991), pudiera ayudar a analizar los resultados de investigaciones en zonas bajo la influencia marina que se reportan en el mundo. La relación cloruro/sulfato entre los niveles de contaminantes determinados en un mismo captador, permite esclarecer la contaminación por compuestos de azufre presente en diferentes ambientes. (López et al. 2001; Alfonso, 2001; López et al., 2005; López y Echeverría, 2005; Echeverría et al.,

2002; Borges, 2005; Suveaut, 2006). En ambientes soterrados no se tiene en cuenta el uso de la relación cloruro/sulfato o de la presencia de aerosol marino en estos ambientes.

### **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). Entre las diferencias fundamentales se encuentran: que no hay contacto directo con precipitaciones y sus constituyentes; la humedad relativa y la temperatura pueden ser controlados lo que determina que la cantidad de agua absorbida sobre la superficie del metal sea menos que la que se forma en superficies metálicas expuestas a la intemperie, sin embargo, la cantidad de agua puede ser constante por un tiempo razonablemente largo. Las mezclas de gases y partículas que actúan sobre la superficie metálica expuesta en condiciones interiores, se diferencian notablemente de aquellas de ambientes exteriores, dependiendo del sistema de filtración de aire que exista, así mismo de partículas, de la presencia de flujos de partículas, gases de fuentes internas, la radiación solar que es muy diferente y generalmente menor, lo que desactiva la mayor parte de los fotoprocesos. (Corvo y Veleza, 2003). 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. Las concentraciones de cloruro y de dióxido de azufre resultan bajas en las condiciones de obras soterradas (Rodríguez 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).

### **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). Existen diferencias obvias entre atmósferas exteriores (outdoor) y ambientes interiores (indoor) y como consecuencia el comportamiento corrosivo de metales es diferente en los dos casos.

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  $\text{SO}_2$ . La relación cloruro/sulfato, puede ser muy útil a la hora de determinar el origen del sulfato y la presencia de aerosol marino, pero hasta el momento, no se hace referencia al uso de esta relación en estudios simultáneos de corrosión atmosférica interior/exterior, excepto en publicaciones relacionadas por (López y Echeverría, 2005; Borges, 2005; Suveaut, 2006).

(Corvo et al., 2001), existe mayor agresividad de la atmósfera debido al contaminante cloruro en las condiciones bajo abrigo ventilado de las regiones costeras con respecto a las mismas condiciones en las zonas rurales que puede ser debido a una mayor influencia del aerosol marino que penetra desde el exterior. Esto puede ser debido a la influencia del aerosol marino, más acentuada en las zonas costeras, pero que igualmente presupone la presencia de aerosol marino en el interior de las obras. En condiciones bajo abrigo ventilado y en espacios cerrados, determinar cloruros y sulfatos podría ayudar a esclarecer la presencia de aerosol marino y determinar su importancia en el comportamiento de la corrosión atmosférica en las obras soterradas.

Se seleccionan dos estaciones que se encuentran en diferentes puntos de la región Matanzas. Se denomina Estación 1 (E1) a aquella que se encuentra más cercana a la costa (8 Km) norte occidental Estación 2 (E2) a la que se encuentra mucho más de (20 Km), donde estudia las condiciones de la intemperie y los ambientes soterrados.

### **Determinación de la velocidad de corrosión.**

El estudio de la velocidad de corrosión atmosférica, tanto en interiores como en exteriores, se realiza mediante la exposición de probetas de acero de bajo contenido de carbono (SAE-AISI 1019), el material más usado para la fabricación de equipos, piezas, accesorios, etc. y el principal constituyente de los fusiles y del componente estructural de la técnica military. Se toman de acuerdo con la norma (ISO 8565:1992). El espesor de la chapa debe garantizar la durabilidad del material bajo las condiciones de exposición, durante todo el período que se evalúa.

- Exteriores (ensayo a la intemperie):
- Interiores (ensayo bajo techo)

Los experimentos de corrosión atmosférica se inician con el cambio de estación, invierno o verano que son las que se definen claramente en nuestro país.

Los resultados promedios obtenidos en la intemperie se muestran en la tabla 1.1 y 1.2 del anexo 1. En soterrados ver Tablas 1.3 y 1.4 del Anexo 1. La determinación de ambos contaminantes se realiza en un mismo captador, para poder hallar la relación entre ellos y determinar la influencia que este proceder puede tener en los modelos matemáticos que se obtengan al describir el efecto de los contaminantes en la velocidad de corrosión. Se utilizaron los captadores, Tela seca, Bujía húmeda y Filtracita como se refleja en las tablas anteriores..



### **Procesamiento estadístico de los resultados y funciones dosis/respuesta.**

Se emplea el programa Statgrafic 5 para la caracterización de los datos y la obtención de modelos matemáticos que describen la influencia de los contaminantes y los parámetros climáticos en la velocidad de corrosión del acero. Los resultados se tomarán como base para proponer en próximos trabajos las necesidades y dificultades en la labor de conservación del armamento y la técnica militar que se conserve en estos locales facilitando proponer soluciones y mejoras en la práctica.

La influencia del aerosol marino en la intemperie y en interiores de obras soterradas en Matanzas, a partir de los datos de velocidad de corrosión, contaminantes, factores climáticos y utilizando Microsoft Excel, se calcula:

- La relación invierno/verano para determinar la influencia del carácter 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 contaminación en estos ambientes.

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 estudiados se determina la relación interior/exterior de velocidad de corrosión y contaminantes.

### **Estudio de la velocidad de corrosión del acero en las obras 1y2 de Matanzas.**

La relación interior/exterior nos permitirá establecer la relación de contaminación y velocidad de corrosión entre los ambientes soterrados y la intemperie. Los resultados de la evaluación de la velocidad de corrosión y el nivel de deposición de los principales contaminantes atmosféricos (cloruros y sulfatos).

### **Caracterización atmosférica de la intemperie en las obras 1 y2 de Matanzas.**

Con los resultados de velocidad de corrosión promedio obtenidos, se establecen las categorías de agresividad corrosiva. Para las condiciones de la intemperie la estación 1 (E-1), presenta una categoría de agresividad corrosiva media (C3) según lo establecido por la norma ISO 9223:1992, ya que su valor promedio anual de velocidad de corrosión  $264,80 \text{ g/m}^2\text{a}$ , se encuentra en el rango de  $200\text{-}400 \text{ g/m}^2\text{a}$ . Este resultado coincide con lo reportado para zonas rurales por (Mertel, 1979; 1985),

Para las mismas condiciones de intemperie, la estación 2 (E-2) presenta una categoría de agresividad corrosiva baja según la norma ISO 9223:1992 ya que su valor promedio de velocidad de corrosión  $173,70 \text{ g/m}^2\text{a}$  se encuentra en el rango de  $10\text{-}200 \text{ g/m}^2\text{a}$ . Este resultado también coincide con lo planteado en el Mapa de Agresividad Corrosiva de la

Atmósfera de Cuba (Corvo et al., 1992) para estaciones ubicadas a más de 20 km de la costa norte, como es el caso de la estación 2. 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 trazadas con 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. En ambas estaciones el comportamiento de la curva es similar en todos los casos, pero la distancia entre ellas aumenta a medida que aumenta el tiempo de exposición. Puede observarse en la figura 1a), que ambas curvas están más cercanas y a partir de la figura 1b) comienzan a separarse. Al llegar a los 6 meses de exposición (fig. 1d), existe una diferencia considerable entre los valores de la estación 1 y los de la estación 2. También se observan diferencias en los valores de los meses de invierno y los meses de verano, aspecto que se atribuye a la influencia del aerosol marino.

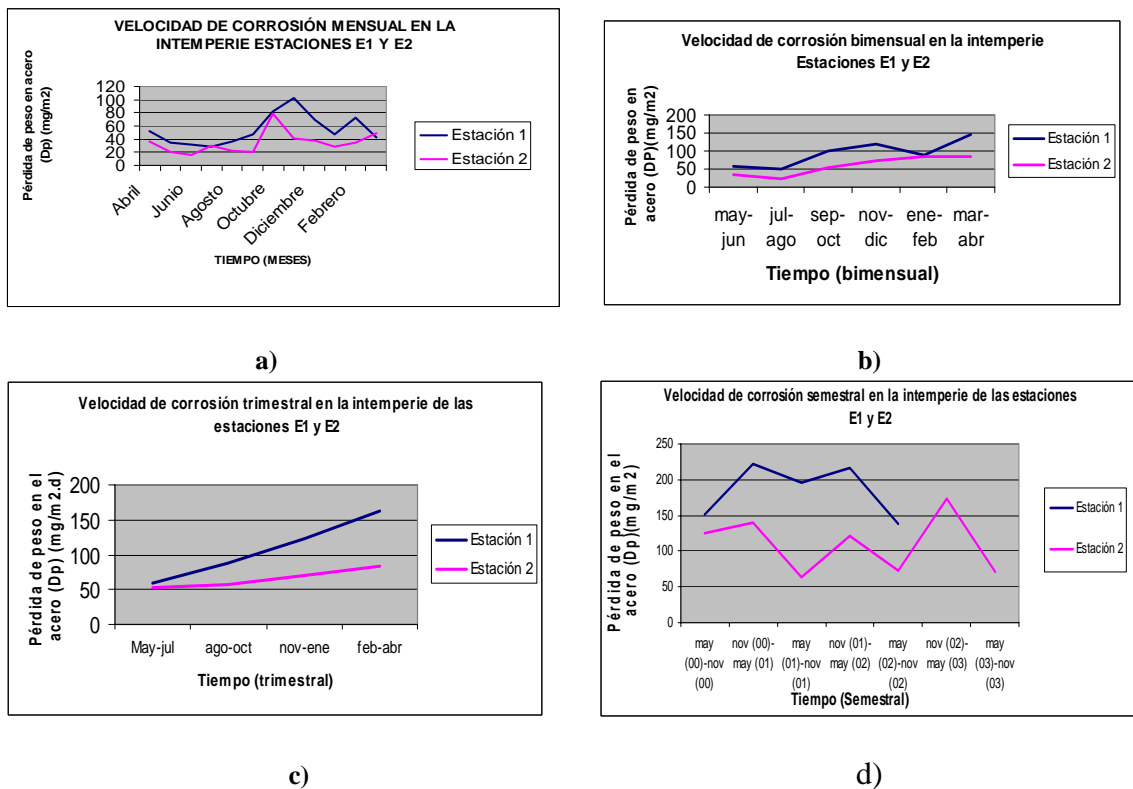


Fig.1 curvas de tendencia de velocidad de corrosión a diferentes tiempos de exposición: a) mensual; b) bimensual; c) trimestral; d) semestral.

A pesar de que ambas obras se encuentran en ambientes rurales, sus atmósferas exteriores presentan diferencias significativas en cuanto a categoría de agresividad corrosiva, según el análisis de varianza de pérdida de peso en las dos estaciones (Fig.2), debido a la distancia en que se encuentran con respecto a la costa norte y el apantallamiento que provocan en la estación 2 las elevaciones, lo que determina la influencia del aerosol marino.

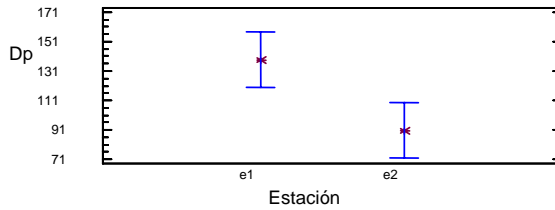


Fig. 2 Gráfico de varianza de Pérdida de peso del acero (Dp) en las estaciones E1 y E2.

En la figura 3, puede observarse como aumenta la velocidad de corrosión con respecto al tiempo de exposición en la intemperie de las estaciones 1 y 2 estudiadas. 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 ubicación de la E1 en una zona más cercana a la costa norte occidental, donde la contaminación por cloruros y compuestos de azufre provenientes del aerosol marino es mayor, determina el deterioro más acelerado del acero.

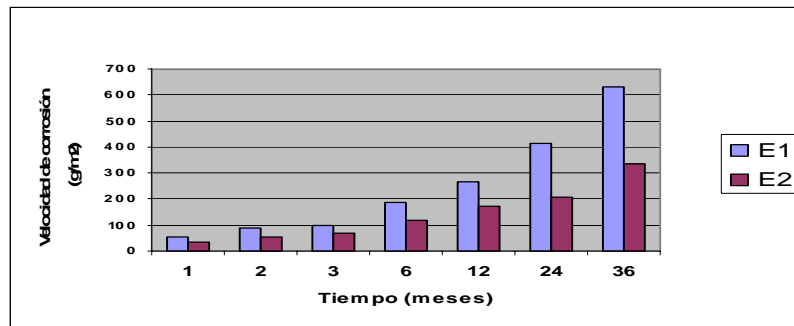


Fig.3 Gráfico comparativo de velocidad de corrosión vs tiempo en la intemperie en E1 y E2

El análisis de varianza de velocidad de corrosión contra tiempo, demuestra que hay diferencias significativas en las pérdidas de peso del acero a diferentes tiempos de exposición (Fig. 4), en la intemperie de estas dos estaciones ubicadas en enclaves rurales, observándose que para períodos de 6 y 12 meses, los valores se encuentran más alejados que en períodos más cortos (1, 2, 3 meses), debido al efecto de los contaminantes y

factores climáticos, que ocasionan mayor deterioro en el acero cuanto mayor es el tiempo de exposición.

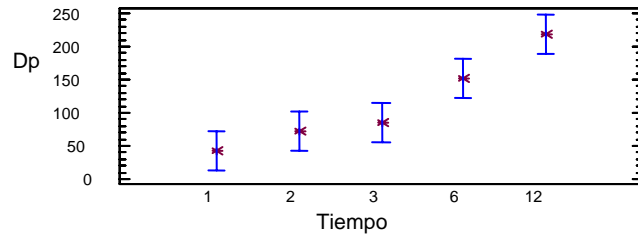


Fig.4 Varianza de velocidad de corrosión vs. Tiempo.

En los ambientes soterrados la velocidad de corrosión es menor que en la intemperie, Ambas estaciones presentan una categoría de agresividad corrosiva alta interior, pues 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 18,69  $g/m^2a$  (18 690  $mg/m^2a$ ) en la E-2.

Durante los primeros seis meses de exposición, son poco visibles las diferencias entre los ambientes interiores de una estación y otra (Fig.5) El rango de variabilidad de la corrosión es pequeño, sin embargo, se observa un ligero aumento en los valores correspondientes a los meses de invierno con respecto a los meses de verano, atribuible a la influencia de aerosol marino, cambios de humedad y otros factores.

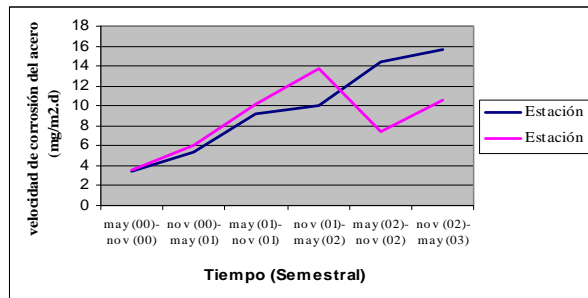


Fig.5 Gráfico de tendencia de velocidad de corrosión en las estaciones soterradas E1 y E2.

En soterrados, los primeros seis meses, el comportamiento de la curva de valores de velocidad de corrosión es similar al comportamiento de la curva de valores mensuales en la intemperie de ambas estaciones, si bien es cierto que en la intemperie la magnitud que alcanzan los mismos está muy por encima que los que se alcanzan en los interiores de las obras soterradas, donde también, la diferencia entre el invierno y el verano es menos visible. No obstante, es evidente que existe determinada influencia de la intemperie en los interiores soterrados de estas obras, dependiendo del tipo de construcción, ubicación de

vías de acceso, tipo de ventilación y otros factores, que influyen en el comportamiento de la velocidad de corrosión del acero expuesto en estos ambientes.

En la figura 6, puede observarse que a medida que aumenta el tiempo de exposición tal influencia se hace más evidente. Para seis meses y un año los valores de velocidad de corrosión son muy cercanos en interiores soterrados, pero la estación 1 siempre reporta mayor magnitud. A partir de los dos años las diferencias son más notables y en la estación 1 comienza un despegue en los valores respecto a la estación dos, comportándose de la misma forma que en la intemperie.

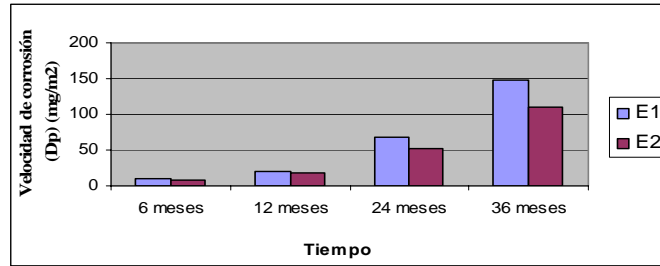


Fig.6 Gráfico comparativo de velocidad de corrosión a diferentes tiempos de exposición en las Obras Soterradas E1 y E2.

En el nivel de agresividad corrosiva en los interiores soterrados de estas obras, no son significativas a los tres años de exposición (Fig.7a). Este resultado es lógico si se tiene en cuenta que ambas se encuentran en enclaves rurales, de acuerdo con la distancia de 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 existe un sistema para la filtración del 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 la influencia de la atmósfera de la intemperie.

Las diferencias entre los niveles de agresividad corrosiva del invierno con respecto al verano en ambas estaciones (Fig.7 b y c), son menos significativas aún, debido a que el apantallamiento y los filtros de aire disminuyen la concentración de contaminantes en estos ambientes eliminando las diferencias entre una temporada y otra. No obstante, en el invierno hay muy ligeros aumentos en la velocidad de corrosión con respecto al verano.

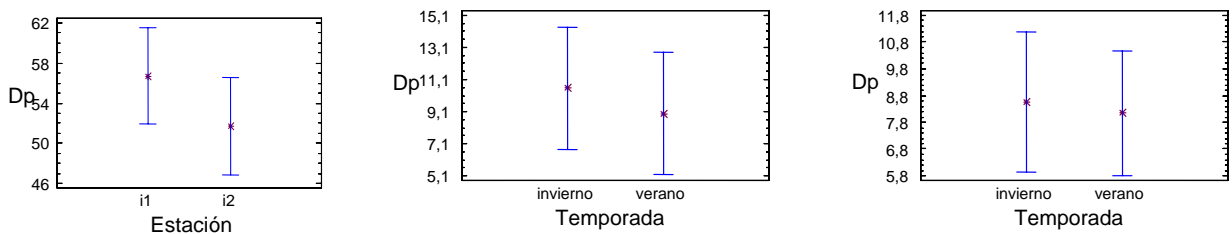


Fig.7 Gráficos de varianza de velocidad de corrosión (Dp): a) Estaciones; b) temporada para E1; c) temporada para E2.

Sin embargo, las diferencias entre la velocidad de corrosión con respecto al tiempo de exposición sí son significativas en ambas estaciones (Fig.8). 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 de forma continua, tal sugiere la bibliografía (Rodríguez, Orestes y col., 2001).

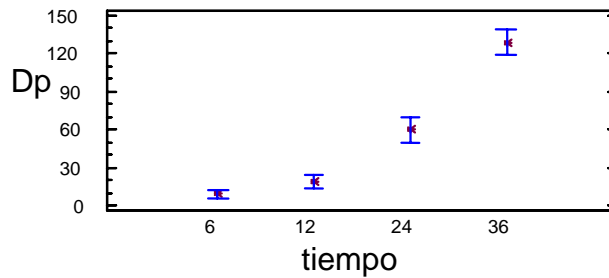


Fig. 8 Gráfico de varianza de velocidad de corrosión contra tiempo.

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

El modelo de la E1 muestra una mayor pendiente de la curva debido a que el aire que penetra en esta obra está más contaminado por aerosol marino que causa mayor deterioro a medida que aumenta el tiempo de exposición. En la E2, hay mayor penetración de aire pero la carga de contaminantes es menor, y por ello es menor la velocidad de corrosión.

Los niveles de deposición de cloruros se alcanzan en la intemperie de la E1, en todos los captadores (Tabla 3.3). Esta es la estación más cercana a la costa, por lo que en ella la concentración de cloruros en la atmósfera de la intemperie es mayor.

Tabla 3.3 Niveles de deposición de cloruro en la intemperie (mg/m <sup>2</sup> d).			
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.9), 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. Esto se debe a que el cloruro proveniente del aerosol marino, es el contaminante principal de estas atmósferas y el principal causante de la corrosión atmosférica del acero expuesto en ellas.

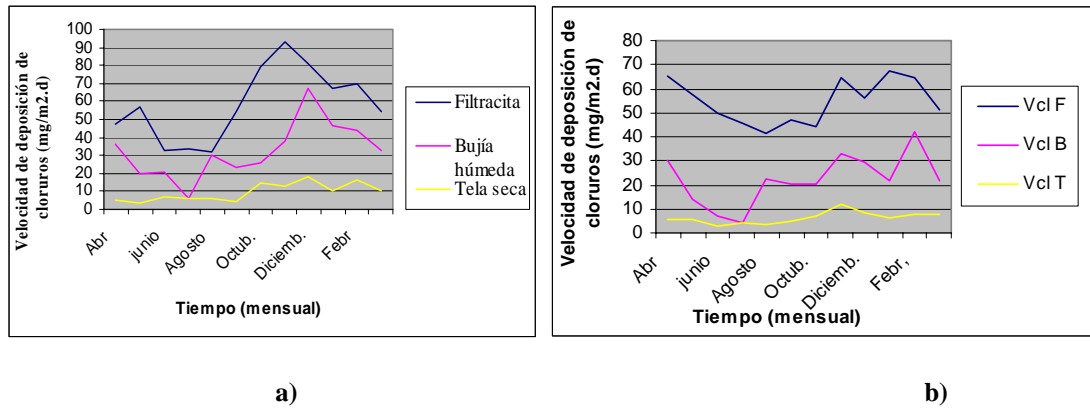


Fig.9 Curvas de tendencia de velocidad de deposición de cloruros en la intemperie: a) E1; b) E2

**Influencia de compuestos de azufre (S) en la velocidad de corrosión en la intemperie de las estaciones 1 y 2.**

Los compuestos de azufre en estas obras provienen de fuentes naturales y antropogénicas. Su concentración es siempre 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 (tabla 3.4) indican que no hay diferencias notables entre los valores de este contaminante en la estación 1 y la estación 2

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

En el comportamiento de las curvas de tendencia de los valores promedio de deposición de (S) en las estaciones 1 y 2 en la intemperie (Fig. 11), no se observa la misma similitud con la trayectoria de las curvas de tendencia de velocidad de corrosión para diferentes tiempos de exposición que en el caso del cloruro. debido a que los niveles de deposición del cloruro en la intemperie, son mucho más elevados que los de compuestos de azufre y

su influencia en la velocidad de corrosión es mucho más notable. No obstante, sí es observable el aumento de S en los meses de invierno, tal como ocurre con el cloruro y la velocidad de corrosión. Por este hecho, se puede deducir que el aerosol marino también influye en el comportamiento de este contaminante.

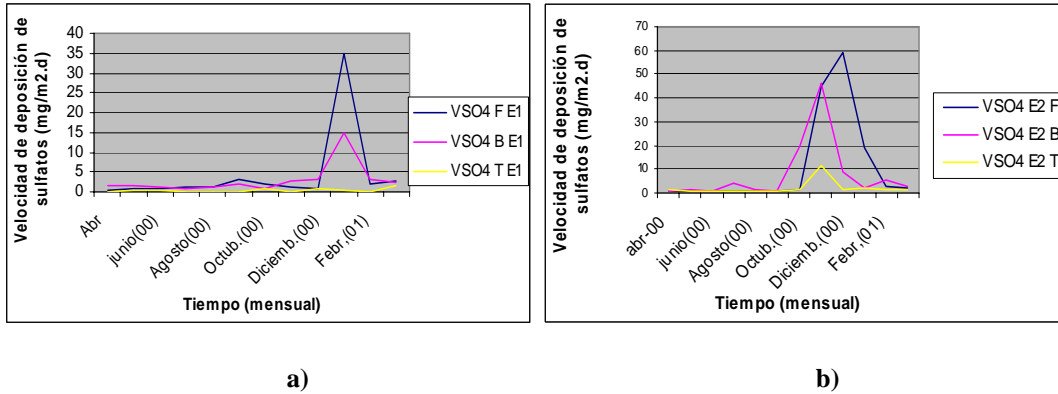


Fig. 11 Curvas de tendencia de velocidad de deposición de compuestos de azufre en la intemperie: a) E1; b) E2.

Los promedios de deposición de cloruros en los interiores soterrados, son mucho menores que los de la intemperie, a pesar que el tiempo de exposición de un captador en la intemperie es de un mes y en soterrados de seis meses (Tabla 3.5). Esta disminución brusca en los valores de deposición de cloruros en los interiores soterrados se debe al efecto de apantallamiento que ocasiona cada obra en sí y a la filtración del aire que penetra en estos locales. Se observa que los valores promedio de interiores soterrados son prácticamente iguales, con un ligero aumento en la E2 respecto a la E1. Es importante tener en cuenta que los filtros de aire eliminan en gran medida las partículas que lo acompañan, sin embargo, la presencia de cloruro en estas instalaciones evidencia la contaminación por aerosol marino en ellas y por ende la influencia de la atmósfera exterior en los ambientes soterrados de estas obras.

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 (fig. 12) 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.



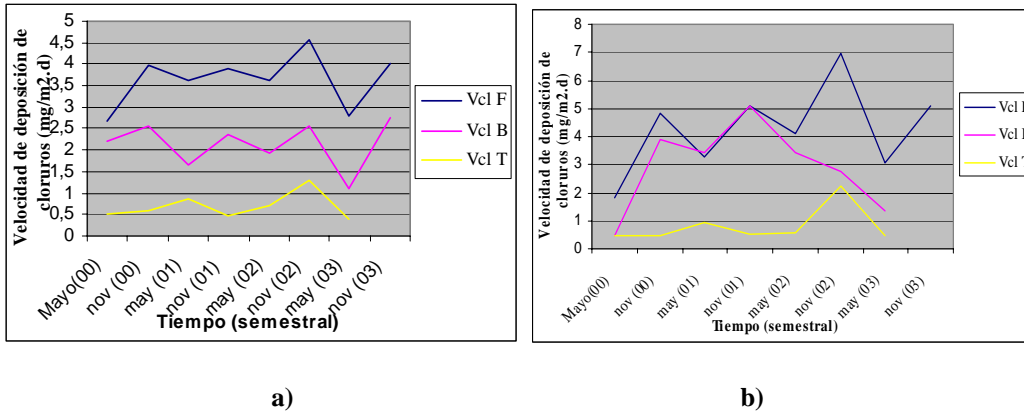


Fig. 12 Curvas de tendencia de velocidad de deposición de cloruros en ambientes soterrados en diferentes captadores: a) E1; b) E2

El análisis de varianza denota que hay diferencias en los niveles de deposición de cloruro en el invierno, comparados con los de verano en estas dos estaciones, pero no son significativas. Aún así, al observar los gráficos (fig.13 a y b), se observa que en los ambientes soterrados de la estación 2 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.

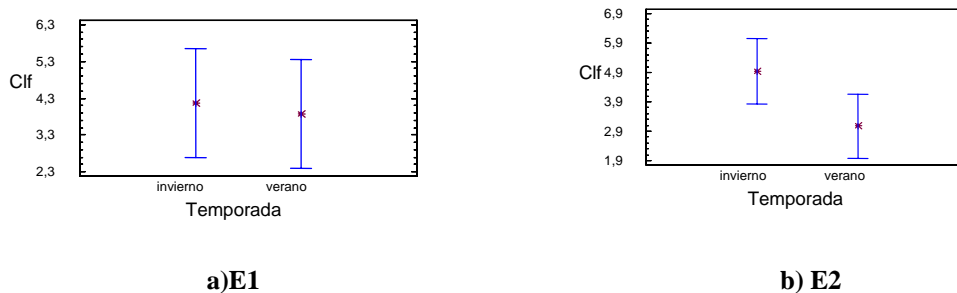


Fig. 13 Gráficos de varianza de velocidad de deposición de cloruros ambientes soterrados para diferentes temporadas: a) E1; b) E2.

En ambientes soterrados el promedio de deposición de compuestos de azufre en la estación 2 es ligeramente mayor, resultado que concuerda con lo planteado acerca de la mayor influencia de la atmósfera exterior en esta obra (tabla 3.6).

3.6 Niveles de deposición de compuestos de azufre en diferentes captadores (soterrados).			
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 las curvas de tendencia (fig.14) sufren ligeras elevaciones en diferentes períodos, algunos de ellos correspondientes a los meses de invierno y otros no. Esto se debe a que, además del aerosol marino, existen otras fuentes que aportan sulfatos a la atmósfera interior de estas obras.

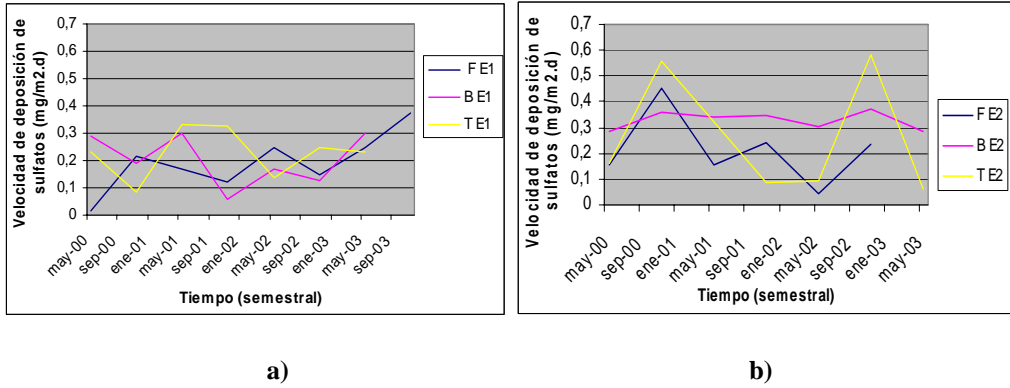


Fig. 14 Gráficos de tendencia de velocidad de deposición de compuestos de azufre en los ambientes soterrados: a) E1; b) E2.

En el análisis de varianza, se observa que no hay diferencias significativas en la deposición de compuestos de azufre en invierno con respecto al mismo parámetro en verano (fig.15 a y b). La escala de valores de este contaminante, en ambas estaciones, refleja que 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 o por las arrancadas por mantenimiento a la técnica aportan compuestos de azufre por la combustión de Diesel.

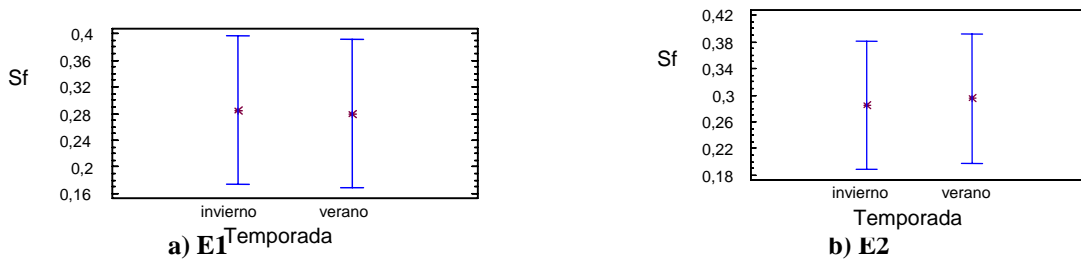


Fig.15 Análisis de varianza de deposición de compuestos de azufre (S) en invierno-verano soterrados.

Modelos Dosis/Respuesta del efecto conjunto del cloruro y el sulfato para la intemperie.

En los ambientes de la intemperie de las estaciones 1 y 2, el cloruro por ser el contaminante de mayor concentración en estas atmósferas, es el principal causante del deterioro del acero. (Tabla 3.7).

Tabla 3.7 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 Estación	Filtracita				Bujía húmeda				Tela seca			
	a	b	c	R <sup>2</sup> (%)	a	b	c	R <sup>2</sup> (%)	a	b	c	R <sup>2</sup> (%)
E1 exterior	34,956	0,26	0,32	90,76	44,06	0,43	-	75,55	56,80	0,99	-	71,27
E2 exterior	22,334	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.

### Modelos dosis/respuesta del 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 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 se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Regresión lineal múltiple entre velocidad de corrosión y niveles de deposición de cloruros (Cl<sup>-</sup>) y compuestos de azufre (S) en diferentes captadores (soterrado).  $Dp = a + b Cl^- + c S$

Captadores Estación	Filtracita				Bujía húmeda				Tela seca			
	a	b	c	R <sup>2</sup> (%)	a	b	c	R <sup>2</sup> (%)	a	b	c	R <sup>2</sup> (%)
E1 interior	-15,642	5,654	4,871	94,4	-18,590	10,680	5,686	87,23	-16,257	23,591	37,634	84,35
E2 interior	-10,291	2,286	31,166	95,28	-7,744	2,395	5,368	86,67	-8,894	17,216	12,141	87,84

En los ambientes soterrados de estas obras, el cloruro se encuentra en mayor concentración que los compuestos de azufre y por ello influye más en la corrosión, resultado que además, demuestra que el aerosol marino tiene una influencia significativa en la corrosión dentro de las obras estudiadas.

En los meses de invierno la velocidad de corrosión aumenta en todos los casos a la intemperie, tanto en la estación 1 como en la estación 2. A pesar de que la mayor humedad y los mayores tiempos de humectación se registran en el verano; pero también ocurre que en el invierno hay mayor penetración de los vientos y estos transportan mayor cantidad de aerosol marino en esta temporada, aumentando el contenido de cloruros y sulfatos en la atmósfera. La relación invierno/verano es siempre mayor que la unidad (Tabla 3.11) 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. Estos resultados demuestran que en la intemperie de las estaciones rurales 1 y 2 de Matanzas hay influencia del aerosol marino y de su carácter estacional y que la estación 1 presenta las mayores afectaciones en el acero

debido a este contaminante por su cercanía a la costa. Ambas estaciones son rurales con influencia marina.

La relación invierno/verano es mayor que la unidad en ambas obras soterradas, tanto en la velocidad de corrosión (Tabla 3.11) como en la deposición de cloruros (Tabla 3.12) y compuestos de azufre (Tabla 3.13), lo que demuestra la influencia carácter estacional del aerosol marino y de la atmósfera de la intemperie en la velocidad de corrosión del acero expuesto en condiciones soterradas en las estaciones 1 y 2.

Tiempo	Promedio 1 mes			Promedio 2 meses			Promedio 3 meses			Promedio 6 meses		
	Ver.	Inv.	Inv/ver	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	62,54	113,40	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

Tiempo	Filtracita			Bujía húmeda			Tela seca		
	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

Tiempo	Filtracita			Bujía húmeda			Tela seca		
	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

En general, los resultados demuestran que tanto en la intemperie como en los ambientes soterrados de estas obras, hay presencia de aerosol marino y su influencia es de importancia en la velocidad de corrosión en estos ambientes.

En la intemperie, tanto en los niveles de corrosión como de deposición de contaminantes, se definen claramente dos etapas, la invernal o de seca, con mayor influencia del aerosol marino, provocando mayor deposición de cloruros y sulfatos; así como, la temporada de verano o de lluvias, con menor penetración del aerosol marino, menores niveles de deposición de contaminantes y menor corrosión, tal como refieren (Corvo y col. 2001) en cuanto a la forma en que influye el aerosol marino en la intemperie. Coincide además,

con lo planteado por otros autores como (Corvo 1982; Echeverría 1990), acerca de que el aerosol marino es el principal causante de la corrosión en islas como Cuba, por encontrarse presente en la casi totalidad del territorio nacional, incluso en zonas muy alejadas de las costas. Por otra parte, el ión cloruro presente en el aerosol marino juega un papel determinante en la velocidad de corrosión. En los ambientes soterrados, las diferencias entre el invierno y el verano en cuanto a velocidad de corrosión y contaminantes no son significativas, debido al uso de filtros de aire que minimizan la contaminación y el apantallamiento que provoca la propia construcción. Sin embargo, hay diferencias y son más notables en la estación 2 donde existe mayor influencia de la intemperie. Por otra parte, el cloruro es el que mayor corrosión causa entre los contaminantes estudiados, lo que demuestra que el aerosol marino es de importancia en la corrosión en estos ambientes. En interiores soterrados donde la contaminación es más baja, la relación cloruro/sulfato (Tabla 3.14) demuestra que de acuerdo con los valores de los dos contaminantes determinados, la fuente principal de donde provienen estos es el aerosol marino.

Tabla 3.14 Relación cloruro/sulfato (Cl/SO<sub>4</sub>) en diferentes captadores.

Captador	Filtracita			Bujía húmeda			Tela seca		
	Cl	SO <sub>4</sub>	Cl/SO <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Cl/SO <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Cl/SO <sub>4</sub>
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

La diferencia de captadores en la determinación de cloruro en bujía húmeda/sulfato en filtracita (Tabla 3.15), así como, cloruro en tela seca/sulfato en filtracita (Tabla 3.16) no ocurre así, la tela seca es menos eficiente en la captación de contaminantes que la filtracita. Por lo que es necesario e importante el uso de un mismo captador para la determinación del origen de la contaminación por compuestos de azufre y la presencia de aerosol marino en la atmósfera.

Tabla 3.15 Relación cloruro en bujía húmeda /sulfato en filtracita.

Estaciones	Cloruro en Bujía Húmeda	Sulfato en Filtracita	Relación (Cl/SO <sub>4</sub> )
E1 interior	2,15	0,28	7,68
E1 exterior	31,11	8,78	3,54
E2 interior	5,00	0,29	17,24
E2 exterior	28,90	5,22	5,54

Tabla 3.16 Relación cloruro en tela seca /sulfato en filtracita.

Estaciones	Cloruro en Tela Seca	Sulfato en Filtracita	Relación (Cl/SO <sub>4</sub> )
E1 interior	0,69	0,28	2,46
E1 exterior	12,60	8,78	1,43
E2 interior	0,75	0,29	2,59
E2 exterior	6,35	5,22	1,22

### Relación interior/externo en las estaciones 1 y 2 de Matanzas.

En la relación interior/externo de la velocidad de corrosión (Tabla 3.17), se observa que en la estación 1 hay mayor diferencia en la proporcionalidad de la corrosión en los interiores 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 y col. (2001) observaron el mismo comportamiento en las obras estudiadas en occidente.

Los resultados de la relación interior/externo en este trabajo (Tabla 3.17), también demuestran que a medida que aumenta el tiempo de exposición, la diferencia entre el interior y el exterior va disminuyendo, debido a que en interiores soterrados la velocidad de corrosión es continua, pues la superficie permanece húmeda la mayor parte del tiempo y no como en exteriores donde ocurren 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. Este es un resultado de importancia, pues indica que cuanto más prolongado sea el almacenamiento de los materiales dentro de estas obras, tanto mayor será su deterioro, si no se les protege adecuadamente. Anteriormente se pudo observar que a los tres años de exposición, el deterioro del acero en los interiores soterrados de estas obras había superado en varias veces su valor anual (más de 7 veces en la E1 y más de 5 veces en la E2).

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

El cloruro en interiores soterrados para períodos de seis meses es mucho menor que la captación mensual en exteriores. No obstante, se observa 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 3.18), tal y como habíamos visto en la velocidad de corrosión.

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

Los compuestos de azufre, entre los que predomina el sulfato proveniente del aerosol marino, también disminuyen ampliamente su concentración en interiores soterrados con respecto a la intemperie. En la E1 existe mayor diferencia entre los valores de los interiores soterrados con respecto a los de la intemperie que en la E2 (Tabla 3.19). 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.

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

En el control dentro de la obra, de los contaminantes cloruro y sulfato provenientes del aerosol marino, la estabilidad en el uso de filtros de aire juega un papel de importancia pues disminuye sus concentraciones y las mantiene en un rango mínimo estable, lo que influye en la velocidad de corrosión, aunque esta medida no es suficiente para garantizar el buen estado y la disposición combativa de la técnica y el armamento durante el almacenamiento prolongado.

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, siendo este la fuente principal de cloruros y compuestos de azufre, constituidos estos últimos por sulfato fundamentalmente, según queda demostrado por el comportamiento en los niveles de deposición de contaminantes y en la velocidad de corrosión. No se descarta la contaminación por dióxido de azufre proveniente de otras fuentes como gases de combustión, que en períodos aleatorios se suma al sulfato del aerosol marino y eleva la concentración de este contaminante. No obstante, en la velocidad de corrosión la influencia más significativa, tanto en la intemperie como en los interiores soterrados, es la del ión cloruro que se encuentra en mayor concentración en estas atmósferas, como consecuencia de la presencia de aerosol marino en ellas.

En las obras soterradas de las estaciones 1 y 2 de Matanzas, el efecto del aerosol marino es minimizado por la misma construcción y por los filtros de aire que se emplean en estas instalaciones. No obstante, a medida que se alarga el tiempo de permanencia del acero dentro de las obras, su velocidad de corrosión aumenta, por lo que es necesario poner en práctica medidas de conservación, para evitar las afectaciones técnicas y económicas que provocaría el deterioro causado por este fenómeno en el armamento y la técnica almacenada.

### **Conclusiones.**

Se demostró que los iones cloruros provenientes de aerosol marino presentes en la intemperie, tienen la mayor influencia en la velocidad de corrosión en obras soterradas en Matanzas.

El estudio simultáneo de corrosión atmosférica en la intemperie y en interiores de obras soterradas en Matanzas, permite determinar que la agresividad corrosiva en la E1 exterior

es de 264,80 g/m<sup>2</sup>a para una categoría C3, media exterior y la E2 con un valor de 173,70 g/m<sup>2</sup>a, se ubica en la categoría C2, baja exterior. En ambientes soterrados tanto la E1 con un valor de 19,89 g/m<sup>2</sup>a y la E2 con 18,69 g/m<sup>2</sup>a presentan una categoría IC4, alta interior.

Los modelos matemáticos obtenidos demuestran la influencia de los iones cloruro y los compuestos de azufre determinados en un mismo captador, en la variación de la velocidad de corrosión en interiores y en la intemperie de las obras soterradas estudiadas.

La velocidad de corrosión en el interior de las obras soterradas aumenta 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.**

- ACOSTA, S. 2005. Contaminantes microbianos en ambientes interiores y materiales conservados en almacenes soterrados. Universidad de La Habana: Facultad de Biología. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Microbiología.
- AFONSO, J. 2001 Estudio de la corrosión atmosférica en dos estaciones de la provincia Matanzas. Matanzas: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma.
- AMBLER, A. A. and BAIN, A.A.J. 1995. Corrosion of metals in tropics. *Journal of Applied Chemistry*, no. 9, p. 437-467.
- ASDRUBAL, G. 1994. La corrosión atmosférica en Colombia. Memorias del congreso Corrosión NACE-Región Latinoamericana. Venezuela: Maracaibo. Noviembre. Tomo I. No 94106.
- 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.
- 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.
- BETANCOURT, N., CORVO F., CUESTA, O. 2002. Influence of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> on atmospheric corrosion of steel. *CNIC. Serie Ciencias Químicas*. Mayo – Agosto, vol. 33, no 2, p. 71-75. ISSN 0254 – 0525.
- BORGES, P. 2005. Estudio de la corrosión atmosférica interior y exterior en dos estaciones de la provincia Matanzas: Universidad de Matanzas. Trabajo de Diploma.
- BUTLER, J. D. 1979. *Pollution Chemistry*. London: Academic Press. 408 p.
- 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](http://www.sciencedirect.com).



- 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.
- 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](http://www.sciencedirect.com) [www.elsevier.com/locate/ijsolstr](http://www.elsevier.com/locate/ijsolstr)
- 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](http://www.sciencedirect.com)
- 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.
- 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.
- 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.
- 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](http://www.sciencedirect.com).
- CORVO, F., MENDOZA, A.R., AUTIE, M., BETANCOURT, N. 1997. Role of water adsorption and salt content in atmospheric corrosion products of steel. *Corrosion Science*, vol. 39, no. 4, p 815-820. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- 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](http://www.sciencedirect.com), [www.corrosionsource.com/discuss2/ubb/Forum40/HTML/000016.html](http://www.corrosionsource.com/discuss2/ubb/Forum40/HTML/000016.html).
- 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](http://www.sciencedirect.com).
- 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
- 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.
- 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.
- 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](http://www.sciencedirect.com).
- DOMINGUEZ, J. 1987. Introducción a la corrosión y protección de metales. La Habana: Editorial EMPES, p. 25-29, p. 426-431, p. 325-368.
- ECHEVERRIA, C. 1985. El aerosol marino y el ion sulfato en las condiciones climáticas de Cuba. Memorias de la II Conferencia Científica del CUM. Matanzas.
- 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.
- ECHEVERRIA, C., CORTIJO, O., SARRAFF, M. 2000. Influencia de la corrosión atmosférica en la industria azucarera cubana. *Revista Centro Azúcar*, no. 3, ISSN-0253 – 5777-p. 83-86.
- 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.
- 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).
- ECHEVERRIA, C.A. 2003. Conferencia de Corrosión Atmosférica.32 h. Material complementario. Ingeniería de los Materiales II. Tema II.
- 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](http://www.sciencedirect.com).
- FELIU, M. S. 1971. Principios de corrosión y protección de metales. *Corrosión y protección*, vol. 2, no. 4, p. 60-64.
- FELIU, M. S. 1984. Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. Madrid: Ed. Geafimol, p. 45 – 48.
- 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](http://www.sciencedirect.com), [www.elsevier.com/locate/corsci](http://www.elsevier.com/locate/corsci).
- 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
- 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](http://www.sciencedirect.com), [www.elsevier.com/locate/corsci](http://www.elsevier.com/locate/corsci)
- 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](http://www.sciencedirect.com), [www.elsevier.com/locate/corsci](http://www.elsevier.com/locate/corsci).

- 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.
- ISO 8565: 1992(E). Metales y aleaciones. Ensayos de corrosión atmosférica. Requisitos generales para los ensayos in situ.
- ISO 9223:1992(F). Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification.
- ISO/TC 156/WH: 1995. Classification of Corrosivity of indoor atmospheres. Second working draft.
- ISO/CD11844:2000(F) Corrosion of metals and alloys – Clasification of corrosivity of indoor atmospheres – Determination and estimation of indoor corrosivity.
- LEYGRAF, K. 2002. Indoor Atmospheric Corrosion. Corrosion Science, vol., no., p. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- LEIVA, P., RONDA, M., GOMEZ, J. 1996a. The influence of atmospheric pollutants on corrosion of steel in north coastal regions in Cuba. Proceedings of 2<sup>nd</sup> Latin American Region Corrosion Congress (NACE 96). Río de Janeiro, Brasil)
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- LOPEZ, I. 2008. Corrosión Atmosférica y Conservación en Obras Soterradas en Matanzas. Tesis presentada para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
- MARROCOS, M. 1994. Participación Brasileña en el Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica. Memorias del congreso Corrosión NACE-Región Latinoamericana. Venezuela: Maracaibo. Noviembre. Tomo I. No 94040.
- 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.

- 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](http://www.sciencedirect.com).
- 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.
- 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](http://www.sciencedirect.com), [www.elsevier.com/locate/corsci](http://www.elsevier.com/locate/corsci).
- 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](http://www.sciencedirect.com), [www.elsevier.com/locate/corsci](http://www.elsevier.com/locate/corsci).
- 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.
- NC 12-01-09: 1982. Determinación del contenido de cloruros en la atmósfera. La Habana.
- NC 93-01-118. 1987. SNPMA (Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente). Determinación de sulfatos.
- 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.
- PRATO, M. R., ALMEIDA, E. 1994. Resultados de estudios de corrosión atmosférica sobre acero expuesto en dos regiones semiáridas de Venezuela. Memorias del congreso Corrosión NACE-Región Latinoamericana. Venezuela: Maracaibo. Noviembre. Tomo I. No 94087.
- PERSSON, D., MIKHAILOV, A. AND THIERRY, D. 2002. Atmospheric corrosion of confined zinc surfaces during exposure to periodic wet-dry conditions.
- RINCON, A. .1994. Cuantificación del contenido de contaminantes agresivos en la atmósfera falconiana. Su influencia en el proceso de corrosión atmosférica. Memorias del congreso Corrosión NACE-Región Latinoamericana. Venezuela: Maracaibo. Noviembre. Tomo I. No 94 002.
- RODRIGUEZ, O. 1991. Análisis sobre el comportamiento de los contaminantes atmosféricos CL, SO<sub>2</sub> 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.
- RODRIGUEZ, O. 2001. Compendio de tecnologías sobre el estudio para el perfeccionamiento de las tecnologías de conservación del material de guerra en obras soterradas. La Habana: Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias. Centro de Investigaciones y Desarrollo de Tanques y Transporte.

- ROJAS, T.I., MARTINEZ, E. 2000. Monitoreo microbiano del aire: criterios metodológicos. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental. 1, 110 – 115. Universidad de la Habana. Trabajo para Tesis de Maestría.
- 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.
- TOMASHOV, N.D. 1979. Theory of corrosion and protection of metals. La Habana. Ed. Revolucionaria. 672 p.
- TORRENS, A. D. 1999. Corrosión Atmosférica en Interiores en el clima tropical. La Habana: Centro Nacional de Investigaciones científicas. CNIC.
- TSURU, T., TAMIYA, K. I., NISHIKATA, A. 2004. Formation and growth of microdroplets during the initial stage of atmospheric corrosion. Electrochimica Acta vol.49, no.4, p. 2709–2715. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- VALDEZ, B., ROSAS, N., BOTELLO, A., CARRILLO, M., VELEVA, L. 2002. Indoor corrosion of silver components used in electronic industry. Corrosion Science, no.7, p.1624- 1628 Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- 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.
- 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.
- 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](http://www.sciencedirect.com).
- 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](http://www.sciencedirect.com).
- ZHANG, J., WANG, J., WANG, Y. 2005. Electrochemical investigations of microdroplets 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](http://www.sciencedirect.com).

## Anexol

<b>Tabla 1.1 Datos de niveles alcanzados en tres años de velocidad de corrosión y deposición de contaminantes en diferentes captadores en la estación 1 (intemperie).</b>							
Fecha	Velocidad de corrosión (g/m <sup>2</sup> )	Cl <sup>-</sup> en Filtracita (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl <sup>-</sup> en Bujía Húmeda (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl <sup>-</sup> en Tela Seca (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Filtracita (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Bujía Húmeda (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Tela Seca (mg/m <sup>2</sup> d)
may(00)							
may(03)	632,68	1908,73	1040,44	452,28	246,14	92,38	7,81

<b>Tabla 1.2 Datos de niveles alcanzados en tres años de velocidad de corrosión y deposición de contaminantes en diferentes captadores en la estación 2 (intemperie).</b>							
Fecha	Velocidad de corrosión (g/m <sup>2</sup> )	Cl <sup>-</sup> en Filtracita (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl <sup>-</sup> en Bujía Húmeda (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl <sup>-</sup> en Tela Seca (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Filtracita (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Bujía Húmeda (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Tela Seca (mg/m <sup>2</sup> d)
may(00) may(03)	334,18	1781,97	833,4	235,39	196,44	71,52	35,69

<b>Tabla 1.3 Datos de niveles de tres años de velocidad de corrosión y deposición de contaminantes en diferentes captadores en la estación 1 (soterrado).</b>							
Fecha	Velocidad de corrosión (g/m <sup>2</sup> )	Cl <sup>-</sup> en Filtracita (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl <sup>-</sup> en Bujía Húmeda (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl <sup>-</sup> en Tela Seca (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Filtracita (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Bujía Húmeda (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Tela Seca (mg/m <sup>2</sup> d)
may(00) may(03)	147,96	25,38	13,29	4,42	1,58	1,36	1,18

<b>Tabla 1.4 Datos de niveles de tres años de velocidad de corrosión y deposición de contaminantes en diferentes captadores en la estación 2 (soterrado).</b>							
Fecha	Velocidad de corrosión (g/m <sup>2</sup> )	Cl <sup>-</sup> en Filtracita (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl <sup>-</sup> en Bujía Húmeda (mg/m <sup>2</sup> d)	Cl <sup>-</sup> en Tela Seca (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Filtracita (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Bujía Húmeda (mg/m <sup>2</sup> d)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en Tela Seca (mg/m <sup>2</sup> d)
may(00) may(03)	109,91	23,14	33,7	4,84	1,67	4,33	1,86