

UNIVERSIDAD DE MATANZAS “CAMILO CIENFUEGOS”

MONOGRAFIA

Corrosión atmosférica del acero en condiciones climáticas de Cuba. Influencia del aerosol marino.

Autores:

Dr. Carlos A. Echeverría Lage.

Ing. Asael González Betancourt.

Ing. Idaelsys López Arias.

Mayren Echeverría Boán.

2002

RESUMEN

De investigaciones realizadas en Cuba, se ha demostrado la presencia del aerosol marino, en zonas próximas a la costa norte, pero aún resulta de interés conocer su influencia de norte a sur, su comportamiento en costa sur y el papel de los vientos en esta acción.

La existencia de sulfato en el aerosol marino, introduce errores en la determinación de los compuestos de azufre, por lo que se asocia en las investigaciones actuales su presencia a la contaminación antropogénica.

A partir de los métodos establecidos para estos estudios, basados en Normas Cubanas y Normas ISO, se ha demostrado la influencia de los vientos como transportadores del aerosol marino, que abarca en la provincia de Matanzas de norte a sur, alcanzándose los más bajos niveles de agresividad en zonas próximas a la costa sur, quedando además demostrado por la determinación de los contaminantes cloruros y sulfatos y la obtención de correlaciones.

Al respecto del ión sulfato y se ha establecido una relación que permite esclarecer el origen de esta contaminación. Se demuestra la validez de la relación propuesta para estimar el origen de la contaminación por compuestos de azufre y se aplica la misma a resultados publicados en eventos internacionales recientes.

No	INDICE	Pág.
	INTRODUCCION	1
	DESARROLLO	2
1	Análisis Bibliográfico.	2
1.1	Aspectos económicos.	2
1.2	Agresividad corrosiva de la atmósfera.	2
1.3	Influencia de los vientos en la corrosión atmosférica.	3
1.4	El aerosol marino y el ión sulfato en condiciones climáticas de Cuba.	4
1.5	Determinación cloruro, dióxido de azufre, sulfato y su relación.	6
2.	Corrosión y vientos.	6
2.1	Ensayos de corrosión.	6
2.2	Ubicación de las Estaciones de Ensayo.	7
2.3	Determinación de contaminantes en productos de corrosión.	8
2.4	Determinación de parámetros meteorológicos.	8
2.5	Pérdidas por corrosión niveles de agresividad y clasificación.	8
2.5.1	Niveles de agresividad y clasificación de la atmósfera.	10
2.6	Influencia de los vientos en la corrosión.	10
3	El aerosol marino y el ión sulfato.	12
3.1	Determinación de contaminantes.	12
3.1.1	Método de la tela seca.	13
3.1.2	Métodos de la filtradita.	13
3.1.3	Método de aspiración para la determinación del dióxido de azufre.	13
3.2	Determinación de cloruros y sulfatos en productos de corrosión. Influencia del aerosol marino.	13
3.3	Determinación de cloruros y sulfatos por el métodos de la tela seca.	14
3.4	Determinación de cloruros y sulfatos por el métodos de la filtradita.	15
3.5	Determinación del dióxido de azufre por el método de aspiración.	15
3.6	Relación Cloruro/Sulfato. Influencia del aerosol marino.	15
3.7	Relación Cloruro/Sulfato y errores observados en investigaciones sobre corrosión atmosférica.	17
	CONCLUSIONES	19
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
	ANEXOS	22

INTRODUCCION

En investigaciones de la corrosión atmosférica recientemente concluidas en Ibero América, donde se aborda la determinación de los niveles de agresividad para el acero y otros metales, así como la influencia de factores meteorológicos y de contaminación, no se trata el papel de los vientos en el transporte y acción del aerosol marino, así como la influencia del sulfato presente en la determinación de los compuestos de azufre, entre otros aspectos que por su extensión no pueden ser tratados en la presente monografía.

Resulta por tanto un problema objeto de estudio la determinación de los niveles de corrosividad del acero en Cuba, en zonas donde la contaminación sulfurosa no resulta de consideración, obtener la posible influencia determinante del aerosol marino y establecer la misma a partir de diferentes relaciones matemáticas entre los contaminantes cloruro y sulfato, los vientos no locales procedentes de las direcciones predominantes y las pérdidas por corrosión. Con todo ello determinar niveles de corrosividad libres de la acción de factores locales y además, características generales con posible extrapolación a otras zonas del país y otros países, donde el efecto del aerosol marino en la corrosión debe ser considerado.

Constituye otro problema de mucha actualidad, el esclarecimiento del origen de la contaminación por compuestos de azufre, causa de error en aquellas zonas donde la influencia del aerosol marino resulta predominante.

Si se logra establecer la influencia del aerosol marino de norte a sur en la provincia de Matanzas a partir del análisis de la influencia de los vientos transportadores de este contaminante y determinaciones de cloruros y sulfatos en productos de corrosión, por métodos de captación establecidos, determinar la contaminación por sulfato proveniente del aerosol marino y proponer un método para diferenciar su efecto del resto de la contaminación por compuestos de azufre, en correspondencia con los métodos establecidos, se estaría contribuyendo con nuevos aportes a las investigaciones en este campo.

DESARROLLO

1. Análisis Bibliográfico.

1.1. Aspectos Económicos.

Cuando se analiza el fenómeno de la corrosión, necesariamente hay que tomar en consideración en primer término las consecuencias económicas que provoca, sin embargo en la práctica, las pérdidas producidas por la corrosión rebasan el marco económico y abarcan cuestiones relativas a la salud, la vida y el futuro de la humanidad. Al clasificar las pérdidas por corrosión, se señalan en primer término las económicas e incluye además las humanas y ecológicas (1).

Un reporte del Buró Nacional de Normas de los Estados Unidos (2), estima para 1975 que el total de costos anuales por corrosión en los Estados Unidos es de alrededor de 70 billones de dólares, lo que corresponde al 4% del Producto Nacional Bruto para ese año.

En este último artículo se argumenta que los costos por corrosión se encuentran en el orden del 3 al 4% del Producto Nacional Bruto y que en ello influyen las medidas anticorrosivas que se toman.

Tomashov (3) señala que cálculos aproximados demuestran que el 80% de las estructuras metálicas se encuentran expuestas a las condiciones atmosféricas y estima que el 50% de los costos por corrosión, corresponden a la corrosión atmosférica.

Pérez y Echeverría, estiman para Cuba los costos por corrosión, tomando el Producto Social Global de 1980 y el 3,5% de éste referido anteriormente, en 55 114 000 pesos anuales. De ésta cifra el 50% corresponde a la acción de la corrosión atmosférica referida por Tomashov (3), lo que implica un costo para Cuba de 27 557 000 pesos anuales (4).

Lo anterior es sólo una aproximación por defecto, si se toma en consideración los elevados niveles de corrosividad existentes en Cuba en comparación con otros países, tal y como observa en los Mapas de Ibero América (5), además de la insuficiente aplicación de medios de protección anticorrosiva dado entre otras causas por el bloqueo y las limitaciones que se presentan en la adquisición de materias primas para la producción de pinturas, la no aplicación de otras técnicas, el insuficiente desarrollo de productos nacionales, además de la falta de conocimiento e inconsciencia, que motiva que se sometan directamente a los efectos de la corrosión los productos metálicos. Por ello el autor utiliza el 4% de pérdidas por corrosión, tal y como se demuestra en (6).

1.2. Agresividad corrosiva de la atmósfera.

La agresividad corrosiva de la atmósfera es un factor de gran importancia cuando se proyectan y construyen nuevas inversiones, mucho más cuando se requiere de instalaciones metálicas expuestas a ella.

Tomashov (3) clasifica las atmósferas de acuerdo con el grado de contaminación y la naturaleza de los contaminantes, planteando que la atmósfera más corrosiva es la industrial altamente contaminada, y la menos corrosiva la atmósfera rural pura.

Feliú (7) coincide con Tomashov en la forma de clasificar las atmósferas tomando en consideración el grado de contaminación y la naturaleza de los contaminantes en: industrial, marina, urbana, rurales, urbanas-marinas, industriales-marinas, urbanas industriales, rurales interiores y otras combinaciones de éstas.

Mertel (8) señala que estas clasificaciones no necesariamente son una descripción acertada como reflejo de la agresividad de la atmósfera desde el punto de vista de la corrosión y expone 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, lo que hace que los datos de corrosión varían dentro de un determinado rango, denominando a esto agresividad básica, a la que pueden adicionarse de modo esporádico o periódico, acciones suplementarias, por lo general de tipo aeroquímico.

En investigaciones meteorológicas realizadas en Cuba, se reconoce la influencia de la masa de aire oceánico, en la contaminación regional del aire en Cuba (9) y se han determinado núcleos gigantes de sal de mar en zonas alejadas de las costas y a elevadas alturas (10).

En diferentes trabajos publicados por Mertel a partir de 1977 y que se resumen en su Tesis (8), se demuestra la influencia marina de la atmósfera a 15 Km de la costa norte y otros trabajos realizados por Corvo en ese período (11,12), con similares resultados, pronostica a partir de la distribución de los vientos en Cuba, que debe esperarse una mayor influencia en la costa norte que en la sur y con ello una mayor penetración desde la costa norte.

A partir de trabajos realizados en Matanzas, se obtienen resultados sobre la influencia marina en zonas más alejadas de la costa norte no reportados con anterioridad en Cuba (13, 14, 15), considerándose además la influencia marina en la Provincia de Matanzas, lo que supone en general la no existencia de atmósfera rural pura.

Al respecto de las pérdidas por corrosión para el acero, reportadas en los trabajos (13, 14 y 15), se destacó que en la Estación de Ensayo de Playa Girón, ubicada a 500 metros de la costa sur, éstas resultaban inferiores a las obtenidas en otras estaciones de ensayo ubicadas al centro y norte de Matanzas, lo que resultaba de interés, teniendo en cuenta que no existían resultados reportados con anterioridad para la costa sur de Cuba por otros autores.

Los resultados reportados en (16) y con posterioridad en otros trabajos en Cuba, han demostrado esta observación no confirmada en su totalidad para la costa Sur, pero aceptada en el Mapa de Agresividad Corrosiva de la República de Cuba (5).

1.3. Influencia de los vientos en la corrosión atmosférica.

La primera referencia consultada sobre la influencia de los vientos en la corrosión atmosférica del acero corresponde a Ambler (17) en su trabajo publicado en 1955, donde observa el paralelismo existente entre la salinidad atmosférica y la velocidad de corrosión.

Feliú (18) refiere que la velocidad de corrosión depende de la velocidad y dirección del viento, principalmente en atmósferas marinas.

Mertel (8), que demostró la influencia del aerosol marino a 15 Km de la costa, a partir de un análisis de vientos, señaló que no se había encontrado referencia alguna, hasta el año 1977, acerca de la existencia de un nexo más preciso entre los vientos provenientes de una determinada dirección o sector, y la velocidad de corrosión del acero y plantea una futura determinación del alcance de la influencia salina desde el punto de vista de la corrosión a lugares más alejados de la costa que Santiago de las Vegas.

En investigaciones realizadas en Cuba (19, 20), la obtención de bajos coeficientes de correlación entre la velocidad o los rumbos de vientos y la salinidad (concentración de cloruros), se atribuye a los métodos de captación empleados y las determinaciones

analíticas, problema aún no resuelto en las investigaciones sobre corrosión atmosférica, de ahí la imposibilidad de establecer correlaciones matemáticas entre diferentes parámetros de contaminación y vientos en las más recientes investigaciones (5 y 21).

De acuerdo con lo tratado, quedaba por determinar el alcance de la influencia salina (aerosol marino) a lugares más alejados de la costa norte que Santiago de las Vegas (15 Km) y en la costa sur, constituyendo ello un objetivo del presente trabajo, por la no realización hasta el presente de otros análisis similares, no obstante a investigaciones recientes en esta temática (21). El esclarecimiento de esta influencia resulta determinante en los niveles de corrosividad que se reportan en Cuba para zonas consideradas libres de contaminación.

1.4. El aerosol marino y el ión sulfato en condiciones climáticas de Cuba.

De todos los componentes particulares que penetran en la atmósfera, los aerosoles marinos constituyen los más abundantes. Mientras mayor es la velocidad del viento, mayor es la abundancia de cabrillas generadores de salpicaduras en la superficie del mar y otros autores refieren que el período de oleaje es el mejor indicador de la cobertura por cabrillas que la velocidad del viento y citando a Blanshard refiere que como promedio, cerca del 3,5% de la superficie total del océano mundial se halla cubierta por cabrillas (22).

Butler (23) destaca, que la mayor emisión de fuentes naturales corresponde al aerosol marino con 908 millones de toneladas por año, la que era siete veces superior a las emisiones de dióxido de azufre para esa época.

En la literatura consultada (5, 21, 24, 25, 26, 27, 28), se hace énfasis en la influencia del aerosol marino en la magnitud de la corrosión atmosférica, coincidiendo la casi totalidad de los autores, en las publicaciones más recientes, que el principal responsable de esta acción es el ión cloruro, sin hacer referencia al ión sulfato.

Tomashov (3) refiere, que del total de sales que contiene el agua de mar, el 7,68% en peso corresponde al ión sulfato, ello indica realizando un cálculo aproximado de acuerdo con la emisión de aerosol marino, realizado por Butler (23), que por esta vía se emiten a la atmósfera 70 millones de toneladas anuales de sulfato, procedentes del aerosol marino.

Este mismo autor (23), refiere que la producción de ión sulfato en la atmósfera producto de la emisión de dióxido de azufre provocado por la contaminación ambiental se estima en 133 millones de toneladas al año, por lo cual no resulta despreciable, máxime cuando no se reportan en Cuba una contaminación apreciable por dióxido de azufre.

Una confirmación de lo anterior se obtiene de un estudio de corrosión atmosférica realizado en estaciones de ensayo del CENIC y que refiere Muleshkova (29). En el mismo se determina la concentración de compuestos de azufre, que identifica como sulfatos, proveniente del aerosol marino y su influencia en la corrosión del acero. Los resultados que muestra, constituyen una confirmación práctica de lo reportados (15), dada la tendencia hasta esa fecha y con posterioridad, de reportar la contaminación de compuestos de azufre que se obtiene con la aplicación del método de captación de la filtrasita (30), como dióxido de azufre, sobre todo en zonas bajo la influencia del aerosol marino, ello resulta de importancia para el presente trabajo, dado que la presencia de dióxido de azufre presupone la influencia de emisiones locales.

Corvo (31) a partir de resultados de ensayos a nivel de laboratorio, pronostica la influencia de los sulfatos solamente para zonas próximas a las costas, y refiere que los iones sulfato en las condiciones de salinidad estudiadas presentan una acción que disminuye la corrosión del acero, en presencia de iones cloruro. Obtiene a partir de estos y otros

trabajos (32), una correlación matemática que relaciona los contaminantes (SO_2 e iones Cl^-) con factores meteorológicos, sin embargo como se reconoce por Morcillo (5), esto constituye aún un problema complejo.

En investigaciones más recientes Gómez (21) destaca que si bien es cierto que el efecto de los contaminantes (SO_2 e iones Cl^-), de forma individual se ha estudiado su extensión, está aún en discusión, la acción simultánea de los mismos, en cuanto a su aditividad o sinergismo. Observe que no hace referencia a los iones sulfato que se han estudiado menos aún.

El cloruro y el sulfato actúan de acuerdo con el mecanismo cíclico de formación de herrumbre, destacado por Morcillo (33), en un interesante artículo sobre el efecto de los contaminantes en la interfase acero – pintura, causantes de la corrosión interfacial y donde explica que una sola molécula de sulfato de hierro (II) es capaz de mantener el proceso sin necesidad de la acción del dióxido de azufre y demuestra que la presencia de sulfato de hierro sobre la superficie metálica recubierta con pintura, ejerce una mayor acción corrosiva que el cloruro de sodio.

Al respecto del mecanismo cíclico de formación de herrumbre por dióxido de azufre Gómez (21), haciendo referencia a Evans y Taylor (34) explica que están presentes dos mecanismos.

El Ciclo de Regeneración Ácida, según el cual:

- La humedad y el dióxido de azufre son adsorbidos en la superficie metálica y con ello tiene lugar el proceso de oxidación electroquímica del dióxido de azufre en presencia del oxígeno disuelto.



- El sulfato ferroso formado, reacciona con más oxígeno, que oxida el Hierro (II) a Hierro (III), formando óxido de Hierro (III) y ácido sulfúrico.



- El ácido sulfúrico ataca al hierro y forma más sulfato ferroso, el cual es oxidado de acuerdo con el paso anterior y se repite el ciclo.

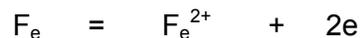


- Observe que la presencia de sulfato sobre la superficie metálica, tiende a la formación de Sulfato de Hierro (II) hidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), tal y como se demuestra en el mecanismo que tiene lugar en zonas con influencia marina.

Cuando se acumula sobre la superficie suficiente producto de corrosión, principalmente sulfato ferroso y óxido, se crean las condiciones para que tenga lugar el Ciclo Electroquímico.

El Ciclo electroquímico que progresa a mayor velocidad comprende:

- Oxidación anódica del metal con liberación de dos electrones.



- Reducción catódica de la herrumbre a magnetita, utilizando los dos electrones liberados en la primera semireacción. Esto ocurre cuando la velocidad de difusión del oxígeno hasta la superficie del metal es muy lenta, sobre todo cuando existe una capa gruesa de electrolito sobre la superficie. Tener presente que el electrolito comprende al agua y los productos de la corrosión presentes.



- En una etapa posterior la magnetita (Fe_3O_4) será rápidamente convertida en herrumbre.



Con este mecanismo se incrementa la cantidad de óxido y la velocidad de corrosión y corresponde con los estudios de la estructura de la capa de producto de corrosión sobre el acero, donde se observa en las capas más internas sobre la superficie metálica la magnetita (Fe_3O_4) de color negro.

1.5. Determinación de cloruro, dióxido de azufre, sulfato y su relación.

Para la determinación de la concentración de cloruro y sulfato en la atmósfera, se emplean los métodos de captación establecidos de la tela seca y bujía húmeda para cloruros y el método de la filtrasita respectivamente para sulfatos (35, 30).

Al respecto del método para la determinación de la concentración de cloruro en la atmósfera (35), refiere Betancourt (19, 20), que no se han obtenido buenos coeficientes de correlación al relacionar la salinidad determinada por el método y la velocidad o los rumbos de vientos, concluyendo que el estudio de la influencia de la salinidad sobre la corrosión del acero a la intemperie se logra más adecuadamente cuando se evalúa ésta mediante la combinación de los métodos de Hache y de la bujía seca, reflejando éste último el comportamiento de la cara inferior de la probeta protegida.

Betancourt (19, 20) refiere, que los contaminantes desempeñan un papel fundamental en la aceleración de la corrosión y que aquellos que realmente influyen son los depositados sobre la superficie metálica.

En estudios de la corrosión atmosférica en Cuba realizados en la década de 1980 (8, 36), no se reportan resultados sobre la determinación de cloruros y sulfatos en productos de corrosión y su influencia en la corrosión del acero.

En un trabajo del autor (15), se determinó la relación Cloruro / Sulfato en el agua de mar del océano a partir de datos que refiere Tomashov (3) sobre el por ciento de cloruros y de sulfatos con relación al total de sales presentes en el agua de mar, obteniéndose una relación próxima a 7.

2. Corrosión y viento.

La determinación de los niveles de corrosividad del acero de bajo contenido de carbono, en zonas libres de la influencia de factores locales, conlleva la realización de ensayos anuales y la comprobación de la influencia de factores meteorológicos y aeroquímicos, para lo cual se requiere además, de la realización de ensayos de menor duración, conjuntamente con la determinación de los parámetros de interés.

Dados los resultados de trabajos anteriores y que se reportan en la búsqueda bibliográfica, uno de los factores que mayor influencia tiene en la magnitud de la corrosión en las condiciones climáticas de Cuba, es el aerosol marino, transportado por los vientos.

2.1. Ensayos de corrosión.

Los ensayos de corrosión atmosférica se realizaron en su inicio en correspondencia con la Norma Cubana (37), que está en correspondencia con la Norma ISO (38), posteriormente empleada. El material de ensayo utilizado fueron probetas de acero de bajo contenido de carbono 08KP con dimensiones (150 X 100 X 1) mm. Se realizó una preparación mecánica

para eliminar irregularidades de los bordes y mediante perforaciones se realiza el marcado de las mismas que incluye ubicación, mes y número de la probeta.

La preparación química se realizó mediante la utilización de detergente y solvente orgánico adecuado para la eliminación de grasas con posterior secado y ubicación en desecadora como mínimo 24 horas para su posterior pesada inicial, con precisión de 0.1 mg en balanza verificada.

Se sometieron a períodos de exposición mensual, trimestral, semestral, anual y bianual.

Con posterioridad se separaron los productos de corrosión al culminar cada experimento, por medio del raspado, poniendo cuidado en no hacer contacto con la superficie de las probetas, de esta forma se identificaron los productos del anverso y reverso de las mismas. En los ensayos mensuales se unieron ambos productos para poder contar con el peso mínimo de producto de corrosión (0,2 g). Lo anterior se corresponde con la Norma ISO (39)

Se procedió entonces al proceso de desoxidación mediante ácido clorhídrico 1:1 y urotropina como inhibidor, controlando su efectividad mediante la determinación de la pérdida en baño de la misma probeta (37, 38).

Se realizó la pesada final y se procedió a la evaluación de las pérdidas por corrosión mediante un programa de computación elaborado al respecto, el cual tiene en cuenta que la diferencia de cada uno de los valores individuales con respecto a la media, no exceda del 10% de la misma, además de cumplir con lo establecido con respecto al número mínimo de réplicas.

La exposición de las probetas se realizó en paneles de madera o metal sujetas con aisladores, con un ángulo de inclinación de 45° con la horizontal, a un metro del terreno y orientadas de norte a sur con la inclinación.

2.2. Ubicación de las estaciones de ensayo.

Estación de ensayo ubicada en la Universidad de Matanzas UMCC), en el Km 3.5 de la carretera a Varadero ubicado a 1,25 Km al sur de la bahía de Matanzas y frente al mar abierto.

Estación de ensayo de Jovellanos, ubicada en la Estación Experimental de la Caña de Azúcar, carretera central Km 162. A una distancia de la costa norte de 25,0 Km.

Estación de ensayo Colón, ubicada en el entronque Gisper, carretera Colón- areiras, Km 4,0. Situada a 40.0 Km de la costa norte de la provincia, aproximadamente.

Estación de ensayo de Playa Girón, ubicada en Ciénaga de Zapata a 500 metros de la costa sur.

Excepto la estación de ensayo de la UMCC, el resto coinciden con estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia. En la actualidad se cuenta con una estación meteorológica automatizada de tecnología alemana, formando parte de un laboratorio.

Las estaciones de ensayo señaladas se encuentran en zonas donde la contaminación sulfurosa no resulta de consideración, dada su ubicación y la dirección predominante de los vientos.

En la UMCC se realizaron determinaciones puntuales de la contaminación con dióxido de azufre por métodos específicos, como parte del presente trabajo y se concluye que la misma no resulta significativa en comparación con la influencia del aerosol marino.

2.3. Determinación de contaminantes en productos de corrosión.

Los productos de corrosión previamente triturados, se someten a un proceso de lavado en agua destilada en ebullición, evitando salpicaduras y posteriormente se

procede a la determinación del contenido de cloruros y sulfatos en la muestra preparada, por las técnicas analíticas descritas en las Normas Cubanas (30, 35).

Una vez determinado el contenido de cloruro y sulfato se obtuvo el % cloruro y % sulfato en peso con respecto a la muestra. Para los ensayos trimestrales, semestrales y anuales la determinación se realiza por el anverso y reverso de la probeta, en los ensayos mensuales fue necesario unir los productos para garantizar el peso mínimo de productos (0,2 g).

2.4. Determinación de parámetros meteorológicos.

Los datos meteorológicos utilizados en el trabajo se obtuvieron en la Filial del Instituto Meteorológico de Matanzas; para la determinación de las horas de duración de los vientos provenientes de los diferentes sectores, se utilizaron los registros continuos, excluyendo aquellos vientos con velocidades inferiores a 15 Km/h, de carácter netamente local (8).

El tratamiento estadístico de los resultados se realiza con los programas correspondientes.

2.5. Pérdidas por corrosión niveles de agresividad y clasificación.

En la Tabla No 1 siguiente, aparecen para diferentes Estaciones de Ensayo ubicadas en la Provincia de Matanzas, los valores de pérdidas por corrosión promedio para períodos mensuales, así como su tratamiento estadístico. En la misma se observa como las pérdidas por corrosión promedio en el período (K_{prom}) disminuyen de norte a sur, lo que se puede apreciar claramente por la ubicación de las estaciones de ensayo.

Las pérdidas por corrosión máximas ($K_{máx}$) en el período analizado coinciden para las tres estaciones ubicadas más próximas a la costa norte con el mes de octubre, período de entrada de los frentes fríos. Contrastando con estos resultados, en la Estación de Ensayo de Playa Girón el valor de $K_{máx}$ se obtiene en el mes de mayo, coincidiendo con el período en que influyen los vientos de cuaresma que son vientos de sur.

En la tabla se observa también la determinación de las pérdidas por corrosión para el período de frentes fríos, que coincide con los meses de octubre a marzo, determinándose el valor promedio de las pérdidas por corrosión $K_{prom}(O-M)$ y el correspondiente al período de abril a septiembre que corresponde con las lluvias $K_{prom}(A-S)$ y además por lo peculiar del comportamiento en Playa Girón para ese año, se determinan las pérdidas por corrosión promedio de los meses de mayo-julio, donde se presentó influencia de vientos de sur $K_{prom}(M-J)$.

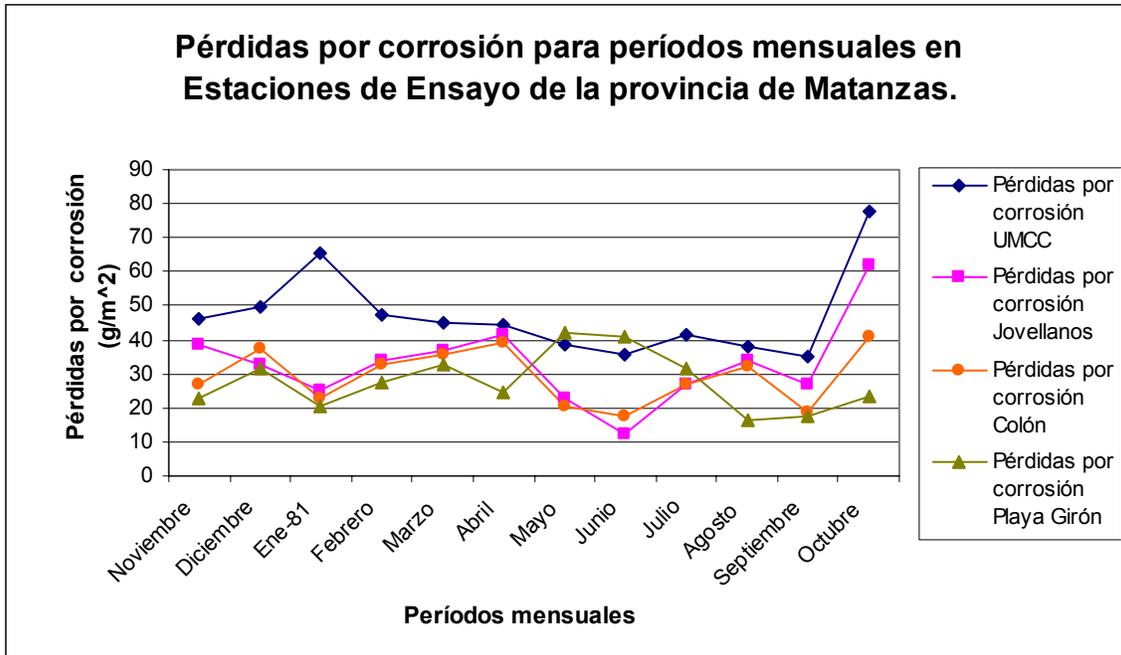
Llama la atención el ensayo de Playa Girón, ubicado a 500 metros de la costa sur, en el cual durante el período más prolongado del año, se obtienen pérdidas por corrosión mensual menores al resto de las estaciones ubicadas al centro y norte de la provincia, lo que origina que no obstante a presentarse en determinado período pérdidas por corrosión mensuales superiores, el promedio general de pérdidas por corrosión y la pérdida por corrosión anual es inferior al resto de las Estaciones de Ensayo.

Este resultado no se ha reportado hasta la actualidad en Cuba como consecuencia de estudios de la corrosión atmosférica en la costa sur del país.

Tabla No 1. Pérdidas por corrosión promedio Kprom en (g/m²) para períodos mensuales y anuales en diferentes Estaciones de Ensayo de la Provincia de Matanzas.				
Meses	UMCC	Jovellanos	Colón	Playa Girón
Noviembre	45.98	38.36	26.72	22.77
Diciembre	49.88	32.58	37.68	31.80
Enero/81	65.26	25.36	22.85	20.30
Febrero	47.32	34.05	32.76	27.57
Marzo	45.10	36.84	35.85	32.72
Abril	44.13	41.40	38.97	24.72
Mayo	38.28	22.86	20.36	42.16
Junio	35.48	12.41	17.71	40.98
Julio	41.54	26.66	26.81	31.65
Agosto	38.27	34.01	32.02	16.52
Septiembre	35.18	26.95	18.98	17.45
Octubre	77.73	62.20	40.85	23.18
Kprom.	47.99	32.30	29.53	28.10
Kmáx.	77.73	62.20	40.85	42.16
Kmín.	35.18	12.41	17.71	16.52
D.S	13.61	12.64	8.53	8.69
Kprom (O– M)	45.35	32.92	28.94	28.67
Kprom (A– S)	38.92	27.38	25.80	28.91
Kprom (M–J)	38.54	20.64	21.63	38.26
Kprom. Anual	464.05	285.44	-	272.20

Este resultado sugiere que las pérdidas por corrosión en la costa Sur son menores que en la costa Norte, pero además confirma, la obtención de valores menores en la costa sur con respecto a zonas del interior de la provincia, lo que puede justificar, la variabilidad de la influencia del aerosol marino desde la costa norte, hasta zonas próximas a la costa sur como Playa Girón.

En la Fig. No 1 siguiente, se observa para estas cuatro estaciones de ensayo la variabilidad de las pérdidas por corrosión. Se destacan los mayores valores para la Universidad de Matanzas en todos los períodos, el comportamiento similar entre las Estaciones Ensayo de Colón y Jovellanos y el incremento de las pérdidas por corrosión en la Estación de Ensayo de Playa Girón en el período de cuaresma (vientos de sur), que transportan el aerosol marino desde la costa sur hasta el ensayo.

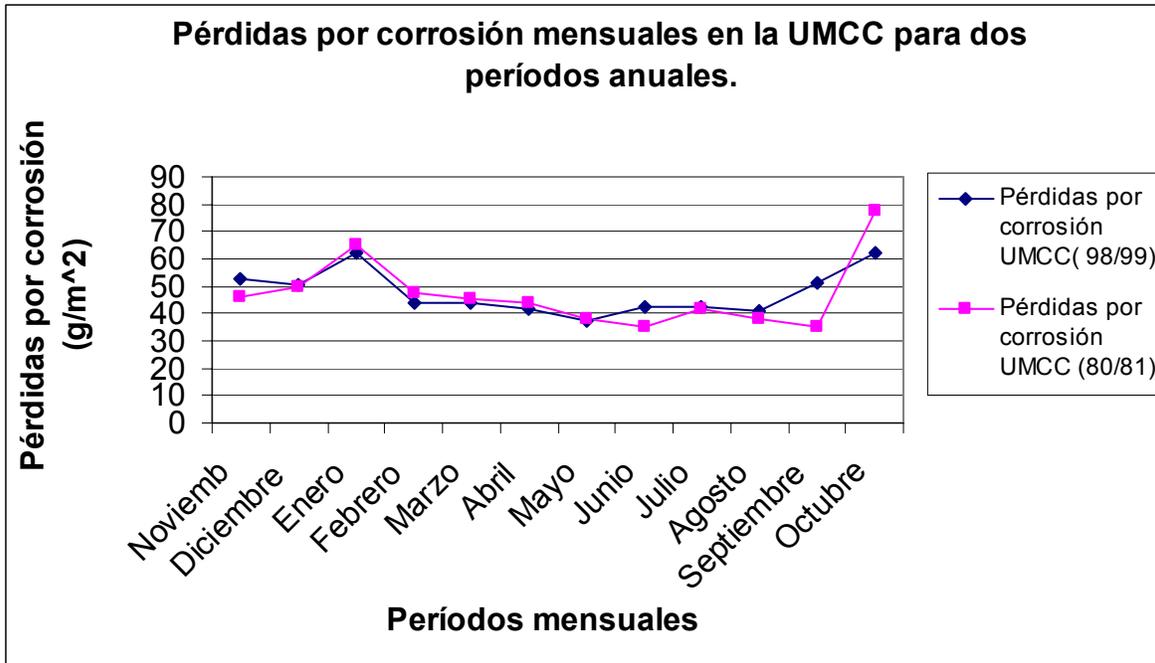


Otros estudios como los realizados en la Universidad de Matanzas y que aún continúan se observan en la tabla siguiente.

Observe que la magnitud de las pérdidas para períodos mensuales y anuales se mantienen para la Universidad de Matanzas, dentro de determinado rango.

Meses/Año	Período de los Ensayos				
	Mensual	2 Meses	3 Meses	6 Meses	12 Meses
Noviemb./98	53.0106				
Diciembre	50.5626	102.5525			
Enero/99	62.057		180.8992		
Febrero	43.9821	106.4384			
Marzo	43.8169				
Abril	42.0199	106.4861	133.4124	239.6147	
Mayo	37.5528				
Junio	42.2273	101.092			
Julio	42.3029		131.4400		
Agosto	41.1554	101.9817			
Septiembre	50.891				
Octubre	61.9975	105.0733	148.5202	242.3023	417.3241

Una comprobación de que las pérdidas por corrosión del acero para la Universidad de Matanzas se mantienen dentro de determinados rangos, se observa en la Fig. No 2 siguiente, donde aparece las pérdidas para períodos mensuales en dos etapas y las variaciones en general coinciden.



2.5.1. Niveles de agresividad y clasificación de la atmósfera.

En correspondencia con la clasificación de la agresividad que se establece en la Norma ISO (41), se reproduce la tabla siguiente.

Si observamos la misma podemos plantear que en las condiciones de agresividad corrosiva de la provincia de Matanzas, para zonas sin contaminación antropogénica, no existen categoría de agresividad Muy Baja (C1) ni Baja (C2).

Los niveles de corrosividad que se reportan para Playa Girón y Jovellanos, se corresponden con la Agresividad Media (C3) y en la Universidad de Matanzas, se reporta una Agresividad Corrosiva de Alta con Categoría C4.

Tabla No 3. Agresividad Corrosiva Categorías y Niveles Anuales para el Acero			
Agresividad	Categoría	Unidades	Niveles
MUY BAJA	C1	g/ (m ² . a)	rcor=10
		µm . a	rcor=1,3
BAJA	C2	g/ (m ² . a)	10<rcor=200
		µm . a	1,3<rcor=25
MEDIA	C3	g/ (m ² . a)	200<rcor=400
		µm . a	25<rcor=50
ALTA	C4	g/ (m ² . a)	400<rcor=650
		µm . a	50<rcor=80
MUY ALTA	C5	g/ (m ² . a)	650<rcor=1500
		µm . a	200<rcor=200

2.6. Influencia de los vientos en la corrosión.

En las tablas 4, 5 y 6 se ofrecen los resultados de las pérdidas por corrosión para periodos mensuales, los contenidos de cloruro y sulfato en producto de corrosión y

las horas viento de las direcciones especificadas, con el tratamiento estadístico correspondiente.

En la tabla siguiente se muestran los resultados de las correlaciones obtenidas para la Estación de Ensayo de Jovellanos, donde se obtienen modelos aceptables para las correlaciones entre las pérdidas por corrosión y los cloruros, los sulfatos y los cloruros, sulfatos y horas viento, resultado no reportado con anterioridad en Cuba, por las dificultades apuntadas en los métodos de captación de los contaminantes.

Tabla No 7.- Ecuación de mejor ajuste y coeficientes obtenidos (R), para diferentes correlaciones entre las pérdidas por corrosión (K), horas viento (V), % cloruro (Cl) y % sulfato (S).

Estación de Ensayo	Ecuación de mejor ajuste	Coeficiente correlación (R)
Jovellanos	$K = 6.43 Cl + 8.33$	0.79
	$K = 30.83 S + 20.08$	0.63
	$K=0.29V + 4.44Cl + 9.6S + 0.91$	0.94

Los resultados de las correlaciones obtenidas entre las horas viento y la velocidad de corrosión son significativas al 0.01%, con variación explicada del 63,5%, 61,8% y 59,7% respectivamente.

Lo anterior confirma lo demostrado por Mertel (8), referente a la influencia del viento como transporte de aerosol marino, pero además, ello permite afirmar que esta influencia se manifiesta en zonas más alejadas de la costa norte que lo reportado con anterioridad en Cuba, tal y como se observa en las Estación de Ensayo de Colón de Jovellanos y Colón.

Merece atención el análisis de la influencia del aerosol marino en Playa Girón, partiendo del análisis de los vientos.

El autor desea observar, que excepto cuando exista apantallamiento, la dirección predominante de los vientos de norte a sur, gira en términos generales al Este, dado al carácter vectorial de este factor, la conjugación de los alizos del Nordeste, las brisas de Norte de mayor fuerza y el flujo de viento a gran escala del Este.

Ello presupone que los vientos que penetran por el Norte van cambiando de dirección al Este, lo cual es importante si se quiere conocer el posible recorrido, hasta llegar al ensayo.

La dirección predominante de los vientos en la generalidad de la costa sur de Cuba varía del NE al ENE (42), resultado que se resume en la tabla siguiente.

Tabla No 8. Estaciones Meteorológicas de la Costa Sur de Cuba y dirección predominante de los vientos (promedio anual en el período 1966 a 1972).	
Estaciones Meteorológicas	Dirección Predominantes de los Vientos
Batabanó.	ENE
Playa Girón.	NE
Trinidad.	ENE
Júcaro	NE

Santa Cruz del Sur..	ENE - E
Santiago de Cuba	NE

El resultado obtenido en la Estación de Playa Girón se explica teniendo en cuenta la ubicación geográfica de la Estación, la que se encuentra a 500 metros de la costa sur, por ello los vientos que pueden transportar con mayor concentración el aerosol marino provienen de la dirección OSO a ESE, pero en el período más prolongado del año, el aerosol marino que hasta esta estación llega proviene de la dirección NE.

De acuerdo con los resultados de las investigaciones realizadas en la Provincia de Matanzas, se puede plantear que el aerosol marino penetra por la costa norte, no siempre en la Provincia de Matanzas, pues actúa la componente Este (vientos a gran escala) y es transportado a grandes distancias al interior de la misma.

Coincidiendo con lo analizado, los diferentes investigadores de esta temática en Cuba, han pronosticado la mayor influencia del aerosol marino en la costa norte que en la sur, argumentando su análisis en base a la influencia de los vientos.

De acuerdo con estos resultados y teniendo en cuenta que los menores valores de pérdidas por corrosión se obtienen en Playa Girón para la Provincia de Matanzas, se pudiera pronosticar similar comportamiento para toda la costa Sur de Cuba.

3. El aerosol marino y el ión sulfato.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los niveles de corrosividad del acero en zonas donde la contaminación sulfurosa no resulta de consideración, se obtiene la posible influencia determinante del aerosol marino. Se precisa por tanto establecer la misma a partir de diferentes relaciones de los parámetros involucrados y de las correlaciones matemáticas entre los contaminantes y las pérdidas por corrosión.

Lo anterior resulta de importancia para establecer niveles de corrosividad libres de la acción de factores locales y además, características generales con posible extrapolación a otras zonas del país.

Lo antes expuesto no sería válido si se incluyen factores locales como resulta de la contaminación sulfurosa, por ello se requiere determinar la contribución del sulfato proveniente del aerosol marino en la determinación de dióxido de azufre o compuestos de azufre que se reporta por el método de la filtrasita.

3.1. Determinación de contaminantes.

No obstante a las limitaciones de los métodos de determinación de contaminantes (35, 37) señaladas en el análisis bibliográfico, se hizo necesario realizar un experimento en la Universidad de Matanzas, para conjuntamente con la determinación de contaminantes en productos de corrosión y otros análisis, establecer la influencia del aerosol marino y con ello la del ión sulfato en zonas de la provincia de Matanzas, no solamente tomando en consideración el análisis de los vientos.

El experimento de la Universidad de Matanzas se desarrolló en el mes de marzo de 1985, en el área techada del Centro de Información, a unos 200 metros de la carretera Matanzas-Varadero y a unos 1500 metros de la costa, al norte de la instalación.

Dadas las características del área del experimento, se producen corrientes de aire debido a la edificación, lo que no limitó teniendo en cuenta que el objetivo era determinar si existía presencia o no de dióxido de azufre, determinado por el método de la Filtrasita y

por un método específico de aspiración, para el cual existían las condiciones en esta instalación.

En el período señalado y de acuerdo con datos históricos, los vientos en esta zona provienen fundamentalmente del N, NNE, ENE, E y el menor número de casos corresponde a las direcciones capaces de transportar contaminación sulfurosa de consideración. Es decir, la mayor influencia corresponde al aerosol marino, por ello se determinó también el contenido de cloruro y sulfato por un método no específico; los métodos utilizados en el experimento se describen seguidamente.

3.1.1. Método de la Tela Seca.

El método de la tela seca o bujía seca se establece (37), para la determinación de la concentración de cloruro, obtenido por captación en la tela, del aerosol marino.

Para establecer la presencia de cloruro y sulfato, se utilizó este método en la determinación de la concentración de sulfato conjuntamente con el cloruro.

Para el experimento se emplearon 25 probetas, exponiéndose las mismas en un área techada a dos metros del piso y en posición vertical, durante 16 días, período comprendido en lo establecido para la aplicación del método.

Se garantizó con la ubicación la no existencia de apantallamiento y que sobre las mismas incidiera directamente el aerosol marino transportado desde el mar.

La concentración de cloruro y sulfato se determinó por los métodos de análisis químicos descritos.

3.1.2. Método de la Filtrasita.

Este método se corresponde con la Norma Cubana (35). Se procedió en la misma área del experimento descrito a la colocación de 25 probetas de filtrasita, con el objetivo de determinar la concentración de sulfato y/o dióxido de azufre, en el mismo período del experimento. Se empleó como método de análisis químico el gravimétrico.

3.1.3. Método de aspiración para la determinación del dióxido de azufre.

Este método descrito en la Norma Cubana (43), resulta específico para determinaciones del contenido de dióxido de azufre en la atmósfera.

Se procedió en el mismo período y condiciones del experimento descrito, a la determinación de la concentración de dióxido de azufre por el método de aspiración, realizándose un total de 10 determinación en un período de 16 días.

3.2. Determinación de cloruros y sulfatos en productos de corrosión.

Se toman para el presente trabajo los resultados de los análisis en las estaciones de ensayo de la Universidad de Matanzas, Jovellanos y Playa Girón, que no reciben influencia predominante de la contaminación sulfurosa.

Con los resultados de los % de cloruro y % de sulfato en productos de corrosión para períodos trimestrales, se elaboró la tabla siguiente, que muestra la relación invierno / verano.

Esta relación permite establecer cuanto mayor son los contenidos de cloruros y sulfatos en el período de invierno con relación al verano, ya que en el primero se producen las entradas de los frentes fríos y con ello del aerosol marino.

Como se observa, la relación invierno/verano en todos los casos es mayor que la unidad, lo que indica la influencia estacional del aerosol marino, que penetra desde la costa norte

y que va disminuyendo su acción a medida que nos aproximamos a la Costa Sur, atendiendo a que la dirección predominante de los vientos en los períodos más prolongados del año son de componente Norte, tal y como se demuestra en el trabajo.

Los cocientes mayores en el interior de la provincia Jovellanos y Playa Girón, avalan bien la influencia del aerosol marino proveniente de la costa norte.

Tabla 9.- Cloruro (%) y sulfato (%) en productos de corrosión para ensayos trimestrales, promedio período invierno (octubre-marzo) y verano (abril-septiembre) y relación invierno/verano.

E S T A C I O N	Período	% Cloruro	% Sulfato	Relación inv./ver.
UNIVERSIDAD	Ene.-Mar.	9.25	1.40	Cloruro
	Oct.-Dic.	9.00	0.90	1.07
	Invierno	9.13	1.15	
	Abr.-Jun.	8.88	1.20	Sulfato
	Jul.-Sep.	8.25	0.80	1.15
	Verano	8.55	1.00	
JOVELLANOS	Ene.-Mar.	7.10	1.03	Cloruro
	Oct.-Dic.	7.56	1.23	1.37
	Invierno	7.33	1.13	
	Abr.-Jun.	5.12	0.80	Sulfato
	Jul.-Sep.	5.56	1.30	1.08
	Verano	5.34	1.05	
PLAYA GIRON	Ene.-Mar.	6.50	0.61	Cloruro
	Oct.- Dic.	5.55	0.53	1.32
	Invierno	6.02	0.58	
	Abr.-Jun.	3.75	0.50	Sulfato
	Jul.-Sep.	5.37	0.64	1.02
	Verano	4.56	0.57	

3.3. Determinación de cloruros y sulfatos por el métodos de la tela seca.

Los resultados aparecen en la tabla 10 del Anexo, donde se puede apreciar que en todos los casos hay presencia de cloruro y sulfato, confirmando lo planteado anteriormente sobre la presencia del sulfato conjuntamente con el cloruro en el aerosol marino, además, se obtuvo una correlación mediante el análisis de regresión de 0.63, lo que indica una fuente común de existencia de ambas especies.

En la tabla aparece la media y la desviación estandar para el cloruro y el sulfato.

Del análisis de los residuos se obtiene que los casos 2, 3, 9 y 25 presentan desviaciones. Ver tabla.

Como se observó, este método es específico para la determinación de cloruro, pero se determina el sulfato para establecer su existencia conjuntamente con el primero, sobre lo cual no existen referencias de toda la literatura consultada.

Debe señalarse que este método (tela seca), presenta limitaciones en la captación de los iones cloruros de la atmósfera (19, 20), lo que afecta igualmente en la captación de sulfato. No obstante es el método establecido para la determinación de cloruro de acuerdo con la Norma Cubana (37).

3.4. Determinación de cloruros y sulfatos por el métodos de la filtrasita.

En la Tabla No 11 aparecen estos resultados, que demuestran de igual forma la presencia de los cloruros y sulfatos en la filtrasita, provenientes del aerosol marino.

Si se comparan estos resultados con los correspondientes a la tela seca, se observa que en todos los casos los resultados en magnitud son superiores, lo que es resultado de que la filtrasita es un mejor captador que la tela seca.

3.5. Determinación del dióxido de azufre por el método de aspiración.

En la Tabla No 12 se muestran los resultados, donde se puede apreciar que en la zona de ensayo no se encuentra prácticamente dióxido de azufre y por ello el nivel de sulfatos que se determina es producto de la acción del aerosol marino.

3.6. Relación Cloruro/Sulfato. Influencia del aerosol marino.

Con las determinaciones de cloruro y sulfato en productos de corrosión y en tela seca, se pueden obtener diferentes relaciones cloruro/sulfato, pero las mismas no representan la relación real en la atmósfera al estar afectadas en el primer caso por el tipo de material, el lavado por lluvia y/o la protección al tomar el producto del reverso de las probetas, y en el segundo caso por dificultades del método. La relación real se obtiene a partir de la composición del agua de mar, fuente de origen del aerosol marino.

Por lo antes expuesto se procedió a obtener información sobre la composición del agua de mar de la costa norte de Cuba, específicamente de Salinas Bidos ubicada al este de la costa norte de la Provincia de Matanzas, lo cual se reporta en (16), donde por cada metro cúbico de agua de mar hay 19,3584 Kg de iones cloruros y 2,6943 Kg de sulfatos. De donde resulta la relación:

Peso de Cloruro / Peso de Sulfato. Resultando ser 7,1849.

La relación anterior tomando datos de Tomashov (3), es de 7,16, cifras que prácticamente coinciden.

Tomar en consideración la presencia de cloruro y sulfato proveniente del aerosol marino en las investigaciones sobre corrosión, no tiene antecedentes en Cuba, además resulta de gran interés establecer la relación cloruro/sulfato, teniendo en cuenta que la composición de cloruro en la atmósfera es mucho mas estable que la del sulfato, pues éste último tiene mas de una fuente de origen. Este resultado reportado por primera vez por Echeverría en (16), aún no se emplea y causa frecuente confusión al analizar los resultados de investigaciones en zonas bajo la influencia marina que se reportan en el mundo.

Por ello sin considerar la fracción se puede establecer que en el aerosol marino existe una relación: Cloruro / Sulfato = 7

La relación anterior permite, conociendo el contenido de cloruro en la atmósfera proveniente del aerosol marino, estimar el contenido de sulfato y con ello conocer el sulfato que se origina por otras fuentes contaminantes.

Mediante comunicación personal, se obtuvo de Corvo, los datos correspondientes a la determinación de cloruros (por el método de la tela seca) y de compuestos de azufre (por el método de la filtranita), expresados como dióxido de azufre, determinados en la estación marina de Playa Viriato, perteneciente al CENIC. Los resultados se muestran en la Tabla 13. Se incluye además, los datos de la concentración de compuestos de azufre expresado como sulfato.

De cumplirse la relación cloruro/sulfato, ello debe obtenerse del coeficiente de regresión del sulfato, como resultado de un análisis de regresión donde la concentración de cloruro se defina como la variable dependiente y la concentración de sulfato como variable independiente.

Del análisis de regresión indicado para los datos de cloruro y sulfato de la tabla 13, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Cl = 7.02S + 137.46$$

El coeficiente de correlación es de 0.73 con un nivel de confianza del 99% (16).

Lo anterior constituye una comprobación práctica de la relación cloruro/sulfato propuesta, a partir de la determinación de la salinidad atmosférica provocada por el aerosol marino.

Un análisis similar para los datos proporcionados por la Tabla No 11, no ofrece los mismos resultados, lo que es consecuencia de una menor contaminación de cloruros y sulfatos y las diferentes que se establecen entre las determinaciones analíticas, además de errores.

Hay que tomar en consideración que el ensayo anterior se realiza en un área con influencia del aerosol marino, pero no precisamente a la orilla de la costa, donde se favorece la captación por una mayor sensibilidad de los captadores.

Si se considera la amplia aplicación que tiene actualmente en Cuba el método de la Filtranita, se impone la necesidad de la determinación precisa del contenido de sulfato en la atmósfera provocado por el aerosol marino, lo que puede obtenerse si se tiene en cuenta que el sulfato en el aerosol marino guarda una relación con el ión cloruro, ya que ambos tienen la misma fuente de origen.

Esta relación, como se explicó anteriormente es próxima a 7, por ello, conociendo el contenido de cloruro, puede ser determinado el de sulfato, que expresado como dióxido de azufre, su diferencia con la determinación por el método de la filtranita, será el contenido de dióxido de azufre en la atmósfera, de no existir otro contaminante que provoque la formación de iones sulfato. De la forma descrita se obtiene un resultado más exacto que el actual.

Debe agregarse que tomando en consideración el tiempo de vida química del dióxido de azufre, la relación anterior puede aportar información sobre el dióxido de azufre que se transforma en sulfato y no se detecta por el método de aspiración.

Además, insistiendo en la sensibilidad de los métodos de captación, hay que agregar, que si no se cuestiona que la relación cloruro/sulfato en el agua de mar y en el aerosol marino es estable y próxima a siete, hay que necesariamente reconocer que los métodos de captación con sus determinaciones analíticas, deben continuar siendo objeto de análisis.

3.7. Relación Cloruro/Sulfato y errores observados en investigaciones sobre corrosión atmosférica.

En estudios de corrosión presentados en el marco del Primer Congreso de Corrosión NACE-Región Latinoamericana, se pueden citar varios trabajos donde el empleo de la relación antes expuesta hubiera permitido esclarecer en mayor medida la fuente de la contaminación por compuestos de azufre.

En el interesante trabajo de Prato (25), se reportan los resultados de los productos cloruro y sulfato solubles en agua a partir de probetas de acero corroídas y la contaminación con cloruros y compuestos de azufre (dióxido de azufre) según la ISO/DIS 9225 para Barcelona y Pto. Cabello y se señala al respecto: "Estos resultados son un indicativo de que estamos en presencia de atmósfera marinas ligeramente contaminadas por compuestos de azufre y muy similares desde este punto de vista." (25). Si se observan los resultados, añadiendo la relación cloruro/sulfato se obtiene:

Ensayos Venezuela	en Contaminantes de probetas			Contaminación por Norma ISO/DIS 9225		
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻
Estación						
Barcelona	150	17.3	8.70	23.12	2.38	9.67
Pto. Cabello	242	33.0	7.30	21.30	2.17	9.80

Es decir en Barcelona y Pto. Cabello la contaminación reportada por compuestos de azufre tiene su principal fuente de origen en el aerosol marino, existiendo similar resultado por la ISO/DIS 9225.

Los resultados anteriores de sulfatos y cloruros de muestras de aceros corroídas, no se encuentran muy afectados por el efecto de lavado precisamente por tratarse de una región semiárida de Venezuela con pocas precipitaciones. La mayor relación que se obtiene a partir de datos de contaminación por la ISO/DIS 9225, puede ser explicada por la mayor captación de iones cloruros que se logra con la bujía húmeda, con respecto al sulfato en la bujía de peróxido de plomo.

El análisis anterior, introduce interrogantes que motivan una mayor profundización sobre los resultados expuestos, las que pueden ser precisadas con la participación del autor de los resultados que se analizan.

En otros trabajos presentados en el Primer Congreso de Corrosión NACE- Región Latinoamericana se pueden realizar análisis similares, como por ejemplo en el trabajo de Asdrúbal (26), que reporta resultados de importancia en estas investigaciones.

El autor destaca en sus conclusiones: "... que la Estación 1 es, obviamente, marina pero que hay alguna deposición de azufre, lo cual podría coadyuvar en la corrosividad. Sin embargo, esto no fue lo que se observó y, al contrario, la corrosión de los diversos metales fue ligeramente inferior a la predicha para una atmósfera tipo C5, lo que podría hacer pensar en el efecto de la acción conjunta de los iones cloruro y sulfato, un tema en el que se continúa trabajando."

Para la estación 1 se reportan los siguientes resultados:

Estación de Ensayo	mg Cl ⁻ /m ² ,día	mg SO ₄ ²⁻ /m ² día	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻
Isla Naval Colombia	64	15.45	4.78

Como se observa, se coincide con el análisis del autor en que existe contaminación por compuestos de azufre, pero predominando los sulfatos procedentes del aerosol marino, que alcanzan una concentración de $9.1 \text{ mg/m}^2.\text{día}$ a partir de la relación y la diferencia $6.35 \text{ mg/m}^2.\text{día}$ corresponde a otras fuentes de contaminación que originan sulfatos. Ello provoca de acuerdo con resultados reportados en otros trabajos.

Considerando solamente los trabajos del Primer Congreso de Corrosión NACE- Región Latinoamericana, es posible realizar análisis similares en otros trabajos, entre los cuales se destacan el de Marrocos (27), Ricón y colaboradores (28).

Como se demuestra en otros trabajos del autor, estos resultados son de gran importancia, ya que permiten esclarecer la participación del aerosol marino en la corrosión en zonas alejadas de las costas, tal y como se reportan en otros trabajos (44).

CONCLUSIONES

Se estableció a partir de diferentes relaciones invierno/verano, para datos de pérdidas por corrosión y contaminantes cloruro y sulfato, la influencia estacional del aerosol marino en las diferentes estaciones de ensayo, explicándose la menor variación de los datos en Playa Girón a 500 metros de la costa sur, por una influencia salina más atenuada por efecto de la distancia de la costa norte y la influencia de los sures.

Se determinó la existencia de correlaciones matemáticas entre las pérdidas por corrosión y el por ciento de cloruros y sulfatos en productos de corrosión, que dan una medida de la influencia de la salinidad, resultado no reportado con anterioridad en Cuba.

Se demostró la influencia del ión sulfato proveniente del aerosol marino en el método de captación empleado para la determinación de dióxido de azufre, lo que resulta determinante en zonas donde la contaminación marina predomina.

Se estableció una relación simple y estable que permite a partir de la concentración de cloruro en la atmósfera, proveniente del aerosol marino, determinar la concentración de sulfato y con ello la concentración de compuestos de azufre provenientes de otras fuentes contaminatorias determinadas por el método de la filtrasita. El resultado anterior es aplicable a otros métodos similares no siendo reportado con anterioridad en Cuba en los estudios sobre corrosión.

Se demostró a partir de un análisis de regresión entre cloruro y sulfato, determinados en zona con alta concentración de aerosol marino, que el coeficiente de regresión para el sulfato es próximo o incluye el valor de la relación cloruro/sulfato de siete.

Se logra establecer la influencia del aerosol marino de norte a sur en la provincia de Matanzas a partir del análisis de la influencia de los vientos transportadores de este contaminante y determinaciones de cloruros y sulfatos en productos de corrosión, por métodos de captación establecidos.

Se esclarece la determinación de la contaminación por sulfato proveniente del aerosol marino y se propone un método para diferenciar su efecto del resto de la contaminación por compuestos de azufre, en correspondencia con los métodos establecidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Domínguez, J. y otros. Introducción a la corrosión y protección de metales. La Habana, Editorial EMPES, 1987.
2. Passaglia, E. The Economic effects of corrosion research. Corrosion. Vol 35, No 3 March 1979.
3. Tomashov, N.D. Theory of corrosion and protection of metals. La Habana. Ed. Revolucionaria, 1979.
4. Pérez, S, M. Echeverría, C. La corrosión atmosférica en la Provincia de Matanzas. III Seminario del Centro de Investigaciones Química. Trabajo No 79. 1981.
5. Morcillo M. y otros: Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica. Parte I. Mapas de Iberoamérica de corrosividad atmosférica. (Proyecto MICAT). Editor Programa CYTED 1998. Págs. 787.
6. Echeverría C.A. y col. Caracterización de la corrosión y el Experimento Nacional de Productos Anticorrosivos en la Provincia de Matanzas. QUIMINDUSTRIA' 90. Memorias. La Habana. Mayo 1990. --p. 216.
7. Feliú, M.S y. otros. Principios de corrosión y protección de metales. Corrosión y protección. Vol. 2, No 4 . Julio-Agosto, 1971.
8. Mertell, J. Tesis para optar por el grado de Dr .En Ciencias Técnicas, 1985.
9. López C, M. Factores meteorológicos de la contaminación regional del aire en Cuba. Resumen de Tesis para la obtención del Grado Científico de Candidato a Doctor. Ciudad de La Habana. 1984.
10. Valdéz, M.; Levkov, L. Distribución espacial de los núcleos gigantes de cloruro en la región oriental de Cuba. Academia de Ciencias. Instituto de Meteorología. La Habana. 1980. 22 págs.
11. Corvo F. La corrosión atmosférica del acero CT-3 en Cuba. Revista CNIC. Parte I. 1977 pág. 17
12. Corvo F. La corrosión atmosférica del acero CT – 3 en Cuba. Revista CNIC. Parte II. 1977, Pág. 15.
13. Echeverría C, A.; Solano O. Estudio de la corrosión atmosférica en la provincia de Matanzas. I Conferencia de Ciencias Técnicas U.C:L.V. 1981.
14. Echeverría C. Influencia de los vientos en la corrosión atmosférica. I Conferencia Científica CUM. Julio 1983.
15. Echeverría C. A; Socorro A.; Curiel L. El aerosol marino y el ión sulfato en condiciones climáticas de Cuba. II Conferencia Científica del CUM. Julio 1985.
16. Echeverría C. La corrosión atmosférica del acero y la protección temporal de los centrales azucareros en la provincia de Matanzas. Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. 1991.
17. Ambler and Bain. Corrosion of Metals in the tropics. Journal of Appl. Chemistry. 5 sept. 1955, pág. 437.
18. Feliú S. Principios de corrosión y protección de metales. Corrosión y Protección. Vol. 2 No 4 Jul – Ag. 1971. Pág. 13.

19. Betancourt N. Comparación de métodos de análisis para la determinación de la velocidad de depósitos de cloruros en una zona marina. Parte I. Corrosión y Protección. Vol. 19, No 2, marzo – abril, 1988. Pág. 88.
20. Betancourt N. Comparación de métodos de análisis para la determinación de la velocidad de depósitos de cloruros en una zona marina. Parte II. Corrosión y Protección. Vol. 19, No 3, mayo – junio, 1988. Pág. 147.
21. Gomez, J. Lorenzo. Estudio corrosivo sobre cuatro metales en estaciones cubanas del proyecto MICAT, 1999.
22. Tápanes, J. J. Generación de aerosoles marinos a partir del campo de vientos sobre la plataforma de Cuba y su influencia corrosiva sobre estructuras metálicas. VII Evento Científico Instituto Oceanología. Academia de Ciencias de Cuba. Mayo 1985.
23. Butler J. D. Pollution Chemistry. London: Academic Press 1979. 408 págs.
24. Corvo, F. Y otros. Influencia de la salinidad de la atmósfera sobre la corrosión del acero. Presentado en el XII Seminario Científico CNIC. Corrosión'95. Encuentro Nacional del Area de Investigación, Desarrollo y Lucha contra la Corrosión. C. Habana, 1995.
25. Prato M del R. y Almeida E. Resultados de estudios de corrosión atmosférica sobre acero expuesto en dos regiones semiáridas de Venezuela. Primer Congreso de Corrosión NACE - Región Latinoamericana. Maracaibo Venezuela, Noviembre 1994. Memorias Tomo I No 94087.
26. Asdrúbal G. La corrosión atmosférica en Colombia. Primer Congreso de Corrosión NACE - Región Latinoamericana. Maracaibo Venezuela, Noviembre 1994. Memorias Tomo I No 94106.
27. Marrocos M. Participación Brasileña en el Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica. Primer Congreso de Corrosión NACE - Región Latinoamericana. Maracaibo Venezuela, Noviembre 1994. Memorias Tomo I No 94040.
28. Ricón A. y col. Cuantificación del contenido de contaminantes agresivos en la atmósfera falconiana. Su influencia en el proceso de corrosión atmosférica. Primer Congreso de Corrosión NACE - Región Latinoamericana. Maracaibo Venezuela, Noviembre 1994. Memorias Tomo I No 94 002.
29. Muleshkova, I. Sobre el mecanismo de la corrosión atmosférica del acero en el clima tropical húmedo. III Congreso Iberoamericano de Corrosión y Protección. Rio de Janeiro, Brasil, Junio 1989, Tomo I, pág. 420.
30. NC 12-01-08: 1982. SNPCC. Determinación del contenido del dióxido de azufre en la atmósfera. Método de análisis químico.
31. Corvo, F. Sobre el papel de los iones sulfato en la corrosión atmosférica del acero en atmósfera salina húmeda. Pronóstico de la corrosión para zonas industriales y urbanas en las cercanías de la costa. Corrosión y Protección. Vol 19, No 5, 1988. pág. 291.
32. Corvo F, Betancourt N., Mendoza A.; The influence of airborne salinity on the atmospheric corrosion of steel. Corrosion Science. Vol 37 No. 12. Pág. 1889 – 1901. 1995.

33. Morcillo, M. Efecto de la contaminación atmosférica en la durabilidad del sistema acero – pintura. III Congreso Iberoamericano de Corrosión y Protección, Río de Janeiro, Brasil, Junio 1989, Tomo I Pág. 330.
34. Evans U. R., Taylor A. J. Corrosion Science, Vol 12. Pág 227. 1972.
35. NC 12-01-09: 1982. SNPCC. Determinación del contenido de cloruros en la atmósfera. Método de análisis químico.
36. Corvo, F. Estudio de la corrosión atmosférica en el clima tropical húmedo de Cuba. Tesis para optar por el grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias. 1980.
37. NC 12 – 04 – 01: 1981. SNPCC. Método de ensayo de la corrosión atmosférica en estaciones ambientales.
38. ISO 8565. Metals and alloys – Atmospheric corrosion testing – General requirements for field tests, 1992.
39. ISO 8407. Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens, 1991.
40. ISO 9226. Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for evaluation of corrosivity, 1992.
41. ISO 9223. Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification, 1992.
42. Resumen climático por Estaciones. A.C.C. Instituto de Meteorología. Departamento de Climatología. La Habana 1976.
43. NC 19-01-34: 1982. PHT. Aire en la zona de trabajo. Determinación del dióxido de azufre.
44. Echeverría, C. Cortijo, O. Y col. Influencia de la corrosión atmosférica en la industria azucarera y derivados, 1999.

ANEXOS

Tabla No 4.- Pérdidas por corrosión K en (g/m²) para períodos mensuales en la Estación de Ensayo de Jovellanos, horas viento del N-NE para velocidades superiores a 15 Km/h, % cloruro y % sulfato en producto de corrosión para un período anual. Media, desviación estandar (D. St), mínimo (Min.) y máximo (Máx).

Mes	K (g/m²)	V (h)	% Cloruro	% Sulfato
11	38.36	35.46	5.87	0.25
12	32.58	31.57	3.62	0.13
1	25.36	34.20	2.43	0.60
2	34.05	58.40	3.83	0.61
3	36.84	47.18	4.28	0.63
4	41.40	53.20	5.20	0.61
5	22.86	33.91	3.12	0.13
6	12.41	21.30	1.50	0.00
7	26.66	29.80	1.50	0.60
8	34.01	16.20	5.20	0.41
9	26.95	22.16	3.62	0.25
10	62.20	80.10	5.51	0.73
Media	32.30	38.62	3.80	0.41
D. St.	12.17	18.21	1.48	0.24
Mín.	12.41	16.20	1.50	0.00
Máx.	12.41	16.20	1.50	0.00

Tabla No 5.- Pérdidas por corrosión K en (g/m²) para períodos mensuales en la Estación de Ensayo de Colon, horas viento del NNE-ENE para velocidades superiores a 15 Km/h, % cloruro y % sulfato en producto de corrosión para un período anual. Media, desviación estandar (D. St), mínimo (Min.) y máximo (Máx).

Mes	K	V	%Cloruro	%Sulfato
11	26.72	43.36	3.25	0.60
12	37.68	45.15	3.86	0.45
1	22.85	36.15	2.26	0.50
2	32.76	60.32	4.82	0.60
3	35.85	76.40	5.00	0.70
4	38.97	71.25	5.31	0.75
5	20.36	17.15	3.17	0.42
6	17.71	36.00	2.01	0.36
7	26.81	37.00	3.00	0.75
8	32.02	46.10	4.25	0.55
9	18.98	35.50	2.21	0.41
10	40.85	121.27	3.5	1.25
Media	29.53	52.13	3.55	0.61
D. St	8.17	27.31	1.11	0.24
Mín	17.71	17.15	2.01	0.36
Máx	40.85	121.27	5.31	1.25

Tabla No 6.- Pérdidas por corrosión K en (g/m²) para períodos mensuales en la Estación de Ensayo de Playa Giron, horas viento del OSO-ESE para velocidades superiores a 15 Km/h, % cloruro y % sulfato en producto de corrosión para un período anual. Media, desviación estandar (D. St), mínimo (Min.) y máximo (Máx).

Mes	K (g/m²)	V (h)	% Cloruro	% Sulfato
11	22.77	85.16	1.66	0.60
12	31.80	16.40	2.12	0.43
1	20.30	45.64	2.16	0.30
2	27.57	75.58	3.62	0.67
3	32.72	170.00	3.12	0.55
4	24.72	112.05	3.25	0.60
5	42.16	180.20	5.10	0.70
6	40.98	170.14	2.12	0.43
7	31.65	123.88	3.12	0.55
8	16.52	46.34	0.62	0.00
9	17.45	29.83	0.62	0.00
10	23.18	63.80	3.75	0.40
Media	28.10	93.25	2.60	0.44
D. St.	8.42	57.44	1.31	0.24
Mín.	16.52	16.40	0.62	0.00
Máx.	42.16	180.20	5.10	0.70

Tabla No 10. Determinación de cloruro (mg/m²día) y sulfato (mg/m²día) por el método de la Tela Seca.

Muestra	Cloruro	Sulfato	Muestra	Cloruro	Sulfato
1	69.91	12.43	14	81.01	12.60
2	54,37	12.42	15	86.55	13.66
3	62.14	13.43	16	81.01	12.60
4	69.91	13.40	17	81.01	13.87
5	71.02	12.90	18	86.55	14.43
6	71.02	12.01	19	88.77	17.10
7	68.80	12.90	20	86.55	14.26
8	65.47	12.01	21	87.66	14.43
9	52.15	12.55	22	86.55	14.46
10	66.58	12.20	23	83.22	14.26
11	81.01	13.10	24	88.77	14.89
12	78.79	12.42	25	87.66	12.77
13	83.22				
Determinación					
--Media				76.78	13.39
--Desv. St.				10.88	1.16

Tabla No 11 Concentración de sulfato (mg/m²día) determinado por el método de la filtrasita en experimentos desarrollados en la Universidad de Matanzas.

Muestra	Concentración	Muestra	Concentración
1	16.17	12	18.84
2	19.00	13	16.17
3	18.07	14	19.02
4	15.21	15	15.22
5	20.93	16	16.17
6	19.15	17	18.07
7	15.22	18	19.97
8	18.07	19	17.12
9	19.02	20	19.03
10	18.07	21	18.07
11	16.17	22	19.97
Media			17.85
Desv. St.			1.68

Tabla No 12 Determinación específica de la concentración de dióxido de azufre en el aire en (mg/m³), de en la Universidad de Matanzas. Media y desviación estandar.

Muestra	Concentración (mg/m³)
1	0.0004
2	0.0012
3	0.0004
4	0.0008
5	0.0004
6	0.0012
7	0.0010
8	0.0004
9	0.0008
10	0.0008
--Media	0.0007
--Desv. St.	3.2727 E-4

Tabla No 13.- Concentración de cloruro (mg/m²d) y concentración de compuestos de azufre expresado como dióxido de azufre y como sulfato (mg/m²d) en la Estación Marina de Playa Viriato (CNIC).

Período de ensayo	Cloruro	Sulfato	Dióxido de Azufre
Ene.-Feb. 89	645.0	56.96	37.97
Mar.-Abr. 89	486.0	37.50	12.96
May.-Jun. 89	108.7	15.30	10.20
Jul.-Ago. 89	137.8	9.95	6.63
Sep.-Oct. 89	563.9	114.48	76.32
Nov.-Dic. 89	408.3	52.30	34.87
Ene.-Feb. 90	388.5	61.60	41.10
Mar.-Abr. 90	484.7	67.10	44.73
May.-Jun.90	104.1	22.00	14.67
Jul.-Ago. 90	101.0	19.60	13.10
Determinación			
--Media	342.8	45.68	29.25
--Desv. St.	210.7		