

Determinación de iones cloruro y sulfato en un mismo captador en investigaciones de corrosión atmosférica

Mayrén Echeverría Boán, Carlos A. Echeverría Lage, Marta Boán Cepero,* Carlos A. Echeverría Boán, Sonia Benavides García, Maritza Petersson Roldán** y Silvia Mariela Betancourt Miguel.*****

Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", kilómetro 3.5, Autopista a Varadero, Código Postal 40449. *Facultad de Ciencias Médicas de Matanzas, Laboratorio de Investigaciones, Carretera Central kilómetro 101, Callejón de Quintanales, Matanzas, Código Postal 40449. **Departamento de Matemática, Facultad de Informática, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", kilómetro 3.5 Autopista a Varadero, Código Postal 40449, Cuba. ***Laboratorios de Química, Facultad de Ingenierías Química y Mecánica, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", kilómetro 3.5 Autopista a Varadero, Código Postal 40449, Cuba. Correo electrónico: mayren.echeverria@umcc.cu, mayren1980@gmail.com.

Recibido: 27 de noviembre de 2008. Aceptado: 27 de enero de 2009.

Palabras clave: corrosión atmosférica, iones cloruro, iones sulfato, métodos de captación.
Key words: atmospheric corrosion, chloride ions, sulfate ions, measurement method.

RESUMEN. Diferentes investigadores han reconocido la necesidad de continuar estudios sobre la influencia de los contaminantes atmosféricos, iones cloruro y sulfato, en la velocidad de corrosión. Ello puede estar asociado con la utilización de diferentes métodos de captación, específicos para uno u otro contaminante, cuando en la realidad ambos provienen principalmente de una fuente común, el aerosol marino, en atmósferas bajo su influencia. Fue objetivo de la presente investigación, demostrar la influencia que tiene la determinación de iones cloruro y sulfato en captadores diferentes o en un mismo captador en los resultados que se obtengan en las correlaciones de las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato y de estos con la velocidad de corrosión. En el estudio se emplea el método de la filtración, de la vela seca y de la vela húmeda para la captación de iones cloruro y sulfato de forma conjunta, no así en las normas internacionales. La velocidad de deposición de iones cloruro y compuestos de azufre se determinó por un método volumétrico en presencia de un indicador mixto y por un método turbidimétrico, respectivamente. Para el procesamiento de los datos experimentales se utilizaron los paquetes de programas Microsoft Excel y STATGRAPHICS 6.1 para Windows. Como resultado del trabajo se demostró que existen diferencias significativas entre las velocidades de deposición, tanto para iones cloruro como sulfato entre captadores y se obtienen correlaciones cuando ambos contaminantes se determinan de manera conjunta en un mismo captador. Como principales conclusiones se tiene que las pruebas estadísticas demuestran que hay diferencias significativas entre las velocidades medias de deposición de iones cloruro y sulfato, medidas por los diferentes captadores, para un nivel de confianza del 95 %. Los mejores resultados en las correlaciones de las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato y de estos con la velocidad de corrosión se obtienen cuando ambos contaminantes se determinan en un mismo captador.

ABSTRACT. Different researchers have recognized the necessity to continue studying the influence of the atmospheric pollutants, chloride and sulphate ions, in the speed of corrosion. This can be associated with the use of different methods of measurement, specific for one or another pollutant, when in fact they both come from a common source, the salt spray, in atmospheres under its influence. It was the objective of the present research, to demonstrate the influence of the determination of chloride and sulphate ions in different methods of measurement or a unique one, in the results that are obtained in the correlations of the deposition speeds of chloride and sulphate ions and among these and the corrosion speed. In this study the alkaline surface plate method, the dry candle method and the wet candle method are used, for the retention of chlorides and sulphates together, not like this in the international standard. The deposition speed of chloride ions and sulphur compounds is determined by a volumetric method in presence of a mixed index and by a turbidimetric method, respectively. The software Microsoft Excel and STATGRAPHICS 6.1 for Windows were used for the processing of the experimental data. As a result of the work it was demonstrated that significant differences exist in the deposition speeds of chloride, as well as of sulphate among measurement method and correlations are obtained when both pollutants are determined together in the same measurement method. As main conclusions it has that the statistics tests demonstrate that there are significant differences between the average of deposition speeds of chloride and sulphate ions, measured by different retention methods, for a 95 % confidence level. The best results in the correlations of chloride and sulphate ions deposition speeds and of these with the corrosion speed are obtained when both pollutants are determined in the same retention method.

INTRODUCCIÓN

La corrosión atmosférica bajo la influencia determinante del aerosol marino ha sido estudiada por diversos investigadores.^{1,12} En las condiciones climáticas de Cuba, el aerosol marino constituye el principal contaminante,^{1,5-7,13,14} motivado porque el archipiélago cubano tiene más de 6 000 km de costas para un territorio de solo 110 922 km² (1 km de costa por 18,5 km² de superficie).¹⁵ Los iones cloruro presentes en el aerosol marino son los principales responsables de la magnitud de la corrosión atmosférica.^{5,6,8,13,14,16-19} Lo anterior lo corroboran las correlaciones que se obtienen entre la velocidad de deposición de iones cloruro y la velocidad de corrosión.^{1,2,8,20} La corrosión atmosférica es mayor cuando la concentración de dióxido de azufre en la atmósfera es más elevada⁸ y la mayor deposición de compuestos de azufre corresponde a estaciones costeras e industriales.³ Al respecto, reportó Echeverría *et al.*,^{1,7} que hay compuestos de azufre presentes, diferentes del dióxido de azufre, específicamente, iones sulfato provenientes del aerosol marino. Refiere además, que el método de medición de contaminantes es sensible a todos los compuestos de azufre y que la determinación analítica es específica para iones sulfato.²¹

La relación Cl/SO₄²⁻ del agua de mar en por ciento en peso (m/m) con relación al total de sales presentes es próxima a 7.¹ Esta relación permite estimar la velocidad de deposición de iones sulfato proveniente del aerosol marino, si se conoce la velocidad de deposición de iones cloruro de esta misma fuente, así como los iones sulfato que se originan por otras fuentes contaminantes.¹ Al respecto, Morcillo ha reconocido la importancia de utilizar esta relación en las investigaciones de corrosión atmosférica para esclarecer el origen de los compuestos de azufre en áreas marinas.²² Hay que destacar, que si no se cuestiona que esta relación en el agua de mar y en el aerosol marino es estable y próxima a siete, hay que reconocer que los métodos de medición de contaminantes deben ser objeto de análisis.

Existen varios métodos para medir la velocidad de deposición de iones cloruro y compuestos de azufre. La norma ISO 9225,²³ hace referencia al método de la filtracita (medición de compuestos de azufre) y al método de la vela húmeda (medición de iones cloruro) y la norma NC 12-01-09,²⁴ al método de la vela seca (medición de iones cloruro). En varias investigaciones de corrosión en atmósferas marinas han sido empleados estos métodos.^{3,12,18,25-27} El método de la vela húmeda ha sido el más usado, probablemente por su fácil operación para medir la salinidad.¹² Sin embargo, no se puede asociar la salinidad solamente con la presencia de iones cloruro, sin tener en cuenta los iones sulfato que provienen de manera conjunta con iones cloruro en la sal de mar.^{1,3,5,7,22}

En investigaciones precedentes se han observado diferencias en las velocidades de deposición de estos contaminantes determinados por los métodos recomendados por las normas internacionales.^{5,7} Esto motiva además, la no obtención de buenas correlaciones matemáticas entre la velocidad de corrosión y los iones cloruro y compuestos de azufre y entre estos contaminantes para ambientes marinos. Por tanto, fue objetivo de la presente investigación, demostrar la influencia que tiene la determinación de iones cloruro y sulfato en captadores diferentes o en un mismo captador, en los resultados que se obtengan en las correlaciones de las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato y de estos con la velocidad de corrosión.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación de campo se realizó en la estación de ensayos ambientales de la Universidad de Matanzas (EEAUM), ubicada a 1 250 m de la costa norte, al sur de la carretera Vía Blanca kilómetro 3½. Esta área cumple con lo establecido en la norma ISO 8565, siendo una zona con influencia marina y representativa de las condiciones climáticas existentes.²⁸ El periodo de exposición fue de 3 años (noviembre de 2003 a octubre de 2006). Se evaluó la velocidad de corrosión en probetas de acero de bajo contenido de carbono (SAE-AISI 1019) (150 mm X 100 mm X 0,8-1 mm). Antes de ser expuestas, se prepararon mecánicamente, se identificaron de manera legible y duradera durante todo el periodo de exposición. Se desengrasaron con nafta de calidad comercial, detergente, agua común y agua destilada. Después del enjuague, se secaron inmediatamente al aire, se empaquetaron, se identificaron y se guardaron en desecadora al menos por 24 h, empleando como agente deshidratante gel de sílice y se pesaron. Las muestras se expusieron en un soporte de pruebas, a 45° de la horizontal, de cara al sur. La velocidad de corrosión se calculó por el método gravimétrico, para periodos de 1, 2, 3, 6, 12, 24 y 36 meses de exposición, de acuerdo con la norma ISO 9226.²⁹

La filtracita (F), captador específico para determinar óxidos (SO_x) y compuestos de azufre, posee una superficie de filtros porosos con un área expuesta de 0,024 m². La preparación previa se realizó según la norma ISO 9225.²³ La vela húmeda (VH), específica para captar iones cloruro, está formada por un frasco en el interior del cual se inserta un tubo de material inerte, cubierto con una gasa quirúrgica doble. El área superficial expuesta a la atmósfera es de aproximadamente 100 cm², con preparación previa según la norma ISO 9225.²³ La vela seca (VS), específica para determinar iones cloruro,²⁴ consiste en un lienzo rectangular de 22 cm de ancho por 32 cm de largo. Se prepara según la norma cubana NC 12-01-09:1982.²⁴ Se expusieron mensualmente, durante 36 meses, en una caseta con techo de dos aguas, con piso intermedio a la altura de 1 m. El techo previene el lavado de las superficies de los captadores y posibilita el libre acceso del aire a ellas.

Existen varios métodos para determinar los contaminantes atmosféricos, iones cloruro y compuestos de azufre (sulfato).

La velocidad de deposición de los compuestos de azufre se determinó por un método turbidimétrico,²¹ que se basa en la precipitación de los iones sulfato con cloruro de bario (0,38 g NaCl anhidro o 0,45 g NaCl dihidratado) en un medio ácido (ácido clorhídrico) (1,25 mL de disolución acondicionadora de pH entre 1 y 2) y la medición espectrofotométrica de la turbidez producida. Las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro (Zuzi UV-4200, España) a 420 nm utilizando celdas de 1 cm o más de paso de luz. La turbidez máxima se alcanza generalmente a los 2 min y es la que se consideró para la determinación.

La velocidad de deposición de iones cloruro se determina por titración mercurimétrica, método volumétrico, en presencia de un indicador mixto.²³ El punto final está indicado por la formación de un complejo azul violeta de difenilcarbazona de mercurio en medio ácido pH 2,3 a 2,8. Las valoraciones se realizaron con una bureta digital III (Brand, Alemania). En el procesamiento de los datos experimentales se utilizaron los paquetes de programas Microsoft Excel y STATGRAPHICS 6.1 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La velocidad de corrosión (DP) media anual del acero de bajo contenido de carbono, fue de 415,173 4 g/m² (Tabla 1), que se correspondió con una agresividad corrosiva de la atmósfera de alta, categoría C4, según la norma ISO 9223.³⁰ Los valores mayores que la unidad, de las relaciones invierno/ verano, corroboraron el carácter estacional del aerosol marino que influye en la magnitud de la velocidad de corrosión (Tabla 1). Similar comportamiento se observó para estas mismas relaciones determinadas para las velocidades de deposición (V) de iones cloruro y sulfato en cada captador (Tabla 2).

En las condiciones ambientales de Cuba se distinguen dos periodos en el año: la temporada invernal o de seca (octubre a marzo) en la que aumenta la influencia de los vientos del norte-nordeste, que forman cabrillas en el océano y rompientes en la costa.⁹ Como resultado, aumenta la concentración del aerosol marino en el aire y la velocidad de corrosión. En cambio, en la temporada de verano o lluvia (abril a septiembre), los vientos predominantes de componente norte disminuyen y, en consecuencia, la velocidad de corrosión.^{1,20} Lo antes tratado demuestra la influencia del carácter estacional del aerosol marino en la velocidad de corrosión y en las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato (Tablas 1 y 2).

Los mayores valores de velocidades de deposición, tanto para los iones cloruro como para los iones sulfato, se obtuvieron para la filtracita, seguido de la vela húmeda y por último, la vela seca (Tabla 1). Se observó que existe un comportamiento similar en el efecto estacional, que determina la variabilidad de las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato por los tres métodos (Figuras 1 y 2).

De todos los captadores, las mayores magnitudes de velocidades de deposición se obtuvieron para la filtracita, dada las mayores posibilidades de captación que tiene su superficie alcalina, húmeda y rugosa. Además de las reacciones que tienen lugar entre los óxidos de azufre y

los compuestos alcalinos de su superficie. Le siguió en captación la vela húmeda, también con una superficie rugosa y húmeda, que por la evaporación excesiva y secado en ocasiones de la gasa, disminuye la captación. Y último lugar, la vela seca por poseer una superficie seca y menos rugosa que los captadores anteriores, que no favorece la retención de los contaminantes. El comportamiento observado en las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato entre los diferentes métodos de captación, está en concordancia con lo reportado en un estudio previo.⁷

Es importante tener en cuenta que al emplearse para la captación de iones sulfato el método de la filtracita y para los iones cloruro el método de la vela seca y la vela húmeda, según las normas ISO 9225 y NC 12-01-09,^{23,24} se obtendrá un mayor nivel de deposición de iones sulfato con respecto a los iones cloruro. Por tanto, las características del captador tienen incidencia en los resultados que se obtienen y en su análisis. Lo anterior está en concordancia con lo reportado por Cole y cols. y Ferm y cols.,^{11,31} acerca de que en la deposición de los contaminantes influye la naturaleza, forma y orientación de la superficie y en particular, las de naturaleza porosa y húmeda favorecen más la retención de contaminantes que la lisa y seca de la vela seca.^{11,31} Esto determinó el mayor coeficiente de variación de la vela seca, seguido de la vela húmeda y por último, de la filtracita (Tabla 3). Es necesario aclarar que los elevados coeficientes de variación encontrados (Tabla 3) se debieron a que el medio de transporte del aerosol marino es el viento, que es una variable meteorológica no controlada, que presenta gran variabilidad, con coeficientes de variación promedio mensuales por año que oscilan entre 15 y 125 %.³²

Las diferencias observadas en las velocidades de deposición de cada contaminante en dependencia del tipo de captador (Figuras 1 y 2), sugieren la necesidad de realizar pruebas que demuestren lo observado y que con-

Tabla 1. Valores medio, máximo, mínimo y la relación Invierno/Verano de la velocidad de corrosión del acero de bajo contenido de carbono.

Valor	(Meses)					
	1	2	3	6	12	24
	DP [g/(m ² · t)]					
Medio	47,979 1	78,935 0	117,283 0	217,622 2	415,173 4	820,182 6
Máximo	122,679 0	116,521 6	184,439 5	276,504 9	440,142 0	820,182 6
Mínimo	20,935 9	37,147 8	85,000 0	189,895 5	395,253 0	820,182 6
Relación Invierno/Verano	1,64	1,62	1,45	1,18	—	—

DP Velocidad de corrosión.

Tabla 2. Valores máximo, mínimo, medio y la relación Invierno/Verano de la velocidad de deposición de iones cloruro y sulfato en diferentes captadores.

Valor	Captador					
	Filtracita		Vela húmeda		Vela seca	
	V(Cl ⁻)	V(SO ₄ ²⁻)	V(Cl ⁻)	V(SO ₄ ²⁻)	V(Cl ⁻)	V(SO ₄ ²⁻)
	[mg/(m ² · d)]					
Máximo	161,87	46,49	149,60	36,44	112,84	23,97
Mínimo	40,85	5,40	36,45	3,69	6,40	2,25
Medio	110,94	25,99	76,87	18,26	38,54	8,50
Relación Invierno/Verano	1,51	1,96	1,70	1,80	3,47	2,19

V Velocidad de deposición.

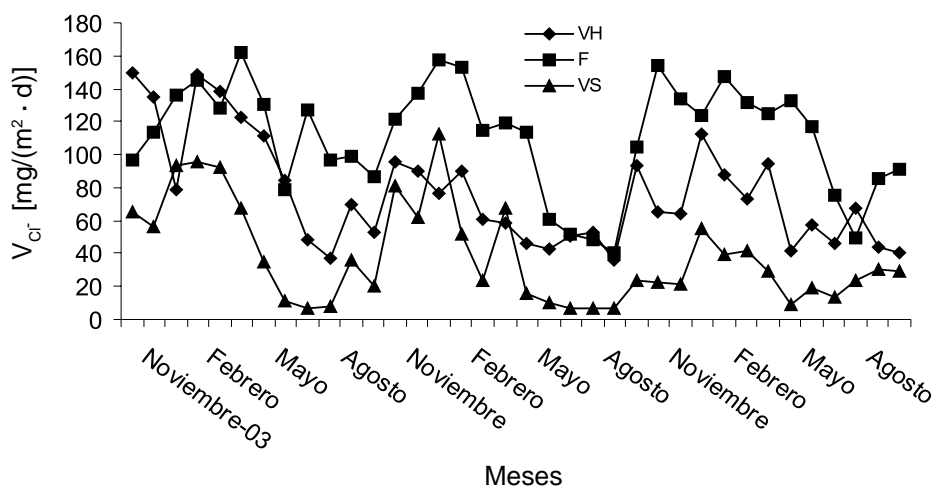


Fig. 1. Velocidad de deposición de iones cloruro en filtracita (F), vela húmeda (VH) y vela seca (VS) en el tiempo.

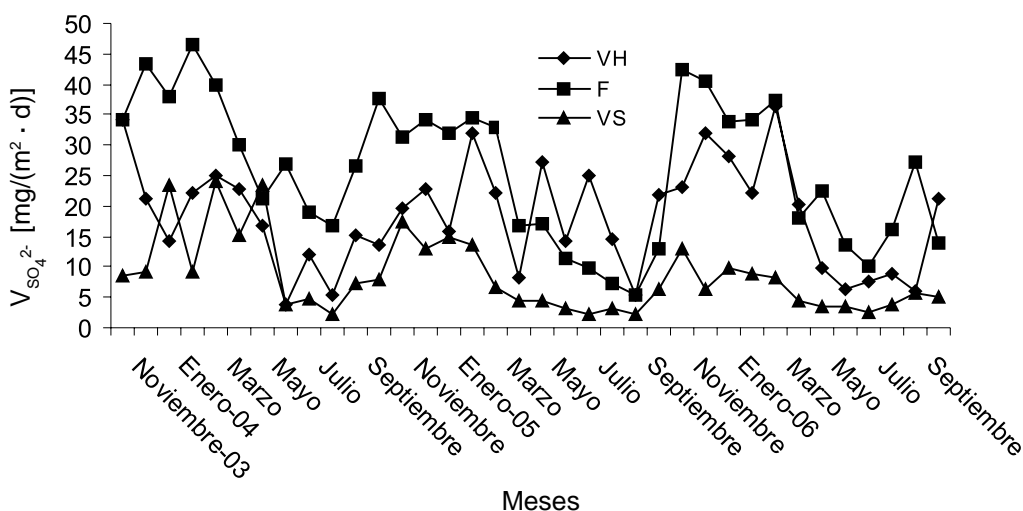


Fig. 2. Velocidad de deposición de iones sulfato en filtracita (F), vela húmeda (VH) y vela seca (VS) en el tiempo.

Tabla 3. Parámetros estadísticos de las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato en diferentes captadores.

Parámetro	Filtracita		Captador Vela húmeda		Vela seca	
	V(Cl ⁻)	V(SO ₄ ²⁻)	V(Cl ⁻)	V(SO ₄ ²⁻)	V(Cl ⁻)	V(SO ₄ ²⁻)
S	1 108,66	135,06	1 074,41	77,57	884,63	37,93
DE	33,30	11,62	32,78	8,81	29,74	6,16
CV (%)	29,82	45,30	42,64	48,24	77,17	72,45

V Velocidad de deposición. S Varianza. DE Desviación estándar. CV Coeficiente de variación.

firmer la necesidad de determinar los contaminantes en un mismo captador:

Prueba de hipótesis para demostrar si existen o no diferencias entre las velocidades medias de deposición de iones cloruro y sulfato en los diferentes captadores

La prueba de hipótesis incluyó las variables: velocidades medias de deposición de iones cloruro y sulfato determinadas por diferentes métodos. La prueba utilizada fue el Análisis de Varianza para un tamaño de muestra de 36 y las hipótesis planteadas fueron:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$$

$$H_1: A \lg \text{ún } \mu_j \neq \mu \text{ donde } j = 1,2,3$$

H_0 : hipótesis nula,

H_1 : hipótesis alternativa,

μ : velocidad de deposición media,

1-3: método de medición empleado,

μ_j : velocidad de deposición media diferente a μ_{1-3}

Se observó, según el análisis de varianza (Tabla 4), que la probabilidad (p) para cada variable resultó menor que 0,05. Esto demostró la existencia de diferencias significativas entre las velocidades medias de deposición tanto para los iones cloruro como para los sulfato, entre los captadores, para un nivel de confianza del 95 % y por tanto, ratificó que el tipo de captador usado para las de-

terminaciones de contaminantes evidentemente influirá en los resultados que se obtengan y en los posteriores análisis que se realicen. El resultado está en concordancia con trabajos previos en los que se determinaron de manera simultánea las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato en diferentes captadores.^{5,7}

Para determinar cuál de los captadores era significativamente diferente de los otros, se utilizó la Prueba de Múltiple Rango, para ambas variables. Se confirmó que la filtracita es el captador de mayor velocidad de deposición para ambos contaminantes, seguido por la vela húmeda y por último, la vela seca (Figuras 3 y 4). Se observó un comportamiento similar en los gráficos de tendencia (Figuras 1 y 2).

Este resultado demostró que hay diferencias significativas entre los captadores y por tanto, no es posible obtener buenas correlaciones entre las velocidades de deposición de los iones cloruro y sulfato determinadas por los métodos establecidos que presentan diferencias significativas. De ahí, la causa de error al intentar correlacionar las de los iones cloruro determinadas por el método de la vela seca o la vela húmeda, con las de los compuestos de azufre determinadas por el método de la

filtracita, tal y como establecen las normas internacionales.^{23,24}

Modelos de regresión entre las velocidades de deposición de los iones cloruro y sulfato para un mismo captador y de ellas con la velocidad de corrosión para los diferentes métodos

Se demostró previamente a través del Análisis de Varianza, que utilizar diferentes captadores para la determinación de estos contaminantes, proporciona resultados diferentes. A ello se suma, que en las zonas con presencia de otras fuentes de contaminación sulfurosa, diferentes del aerosol marino, esta contaminación se suma al sulfato del aerosol marino y por tanto la relación Cl^-/SO_4^{2-} es menor que 7. Teniendo en cuenta los resultados de la prueba de hipótesis anterior, se obtuvieron modelos entre ambos contaminantes y de estos con la velocidad de corrosión, en cada captador.

Se obtuvieron correlaciones lineales y múltiples entre las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato y de ellas con la velocidad de corrosión, para cada uno de los captadores, para un nivel de confianza del 99 y 95 % para el modelo 6 (Tabla 5). Este resultado se logró

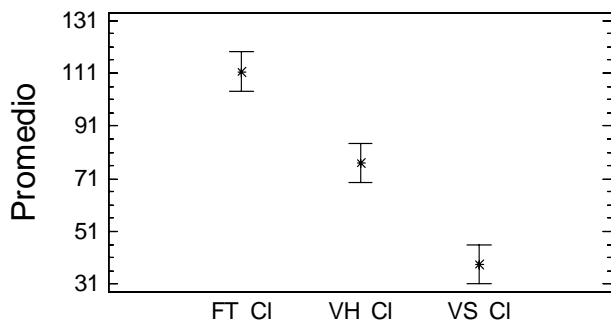


Fig. 3. Valores medios de la velocidad de deposición de iones cloruro en diferentes captadores. Filtracita (FT), vela húmeda (VH) y vela seca (VS).

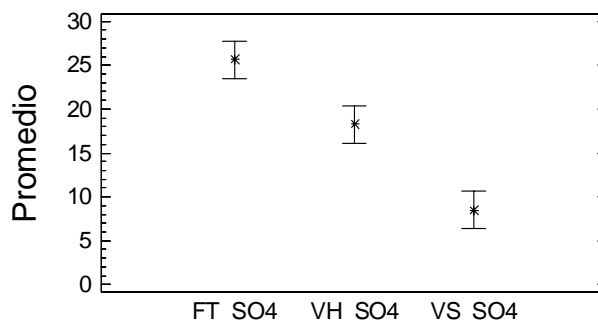


Fig. 4. Valores medios de la velocidad de deposición de iones sulfato en diferentes captadores. Filtracita (FT), vela húmeda (VH) y vela seca (VS).

Tabla 4. Resultados del análisis de varianza para las variables velocidad media de deposición de iones cloruro y sulfato.

Parámetros	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Fuentes de variación	Suma de cuadrados		Df		Cuadrado medio		F-Razón		p	
Entre grupos	94 454,3	5 530,25	2	47 227,2	2 765,12	46,39	33,08	0,000 0		
Dentro de grupos	106 887,0	8 775,63	105	1 017,97	83,577 4					
Residual	201 342,0	14 305,9	107							

Velocidad media de deposición de iones cloruro (1) y de iones sulfato (2).

Tabla 5. Correlaciones entre las velocidades de deposición de los iones cloruro y sulfato y de ellas con la velocidad de corrosión del acero de bajo contenido de carbono, para los diferentes captadores.

No.	Modelo	r	R ²	p (%)	Nivel de confianza (%)
1	FT_Cl = 59,718 4 + 2,024 0 FT_SO ₄ ²⁻	0,706 4	49,905 8	0,000 0	99
2	VH_Cl = 43,237 5 + 1,842 4 VH_SO ₄ ²⁻	0,495 0	24,504 4	0,002 1	99
3	VS_Cl = 8,825 7 + 3,495 7 VS_SO ₄ ²⁻	0,723 8	52,393 9	0,000 0	99
4	DP = 10,158 5 + 0,167 5 FT_Cl + 0,831 7 FT_SO ₄ ²⁻		47,389 4	0,000 0	99
5	DP = 22,706 4 + 0,144 0 VH_Cl + 0,908 2 VH_SO ₄ ²⁻		29,910 8	0,002 8	99
6	DP = 37,006 2 + 0,184 5 VS_Cl + 0,734 3 VS_SO ₄ ²⁻		20,922 7	0,020 8	95

DP Velocidad de corrosión. Filtracita FT. Vela húmeda VH. Vela seca VS.

por primera vez a partir de la determinación de ambos contaminantes, iones cloruro y sulfato, en un mismo captador. Resultado no reportado por la mayoría de los investigadores en zonas bajo la influencia marina.^{8,12,14,17,18,25,26,33-36}

CONCLUSIONES

Las pruebas estadísticas demuestran que hay diferencias significativas entre las velocidades medias de deposición de los iones cloruro y sulfato atmosféricos, medidas por los diferentes captadores, para un nivel de confianza del 95 %. Por tanto, utilizar diferentes captadores, para determinar uno u otro contaminante atmosférico, influirá en el valor que se obtenga.

Los mejores resultados en las correlaciones de las velocidades de deposición de iones cloruro y sulfato y de estas con la velocidad de corrosión se obtienen cuando ambos contaminantes se determinan en un mismo captador. La filtracita es el captador que mayores velocidades de deposición de ambos contaminantes muestra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Echeverría C.A. La corrosión atmosférica del acero y la protección temporal de los centrales azucareros en la provincia de Matanzas. Tesis en opción del título de doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central de Las Villas, enero, 1991.
- Corvo F, Betancourt N., Mendoza A. Influencia de la salinidad de la atmósfera sobre la corrosión del acero. **Corros. Sci.**, **37**, 1889-1901, 1995.
- Corvo F, Pérez T., Dzib L.R. Outdoor-indoor corrosion of metals in tropical coastal atmospheres. **Corros. Sci.**, **50**, 220-230, 2008.
- Corvo F, Betancourt N., Torrens A.D. Atmospheric corrosion in the tropics. Experiences obtained after more than 20 years of research in Cuba. **Corros. Sci.**, **32**, 2002.
- Echeverría C.A., Rodríguez J., Echeverría M. y González A. Corrosión atmosférica del acero en la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". CD Monografías. Universidad de Matanzas. 2004.
- Echeverría C.A., Echeverría M., Echeverría Boán C.A., Boán M., González A. y Valladares J.M. El deterioro por corrosión de instalaciones turísticas. *Retos Turísticos.*, 3, 21-30, 2005.
- Echeverría C.A., Echeverría M., Boán M., Betancourt S.M. Esclarecimiento de los niveles de deposición de cloruros y sulfatos por diferentes métodos de captación establecidos internacionalmente en la Universidad de Matanzas. CD Monografías. Universidad de Matanzas. 2006.
- Gómez J. Estudio corrosivo sobre cuatro metales en estaciones cubanas del proyecto MICAT. Tesis en opción del título de doctor en Ciencias Químicas, Universidad de la Habana, julio, 2000.
- Cole I.S., Paterson D.A., Ganther W.D. Holistic model for atmospheric corrosion Part 1 - Theoretical framework for production, transportation and deposition of marine salts. **Corros. Eng. Sci. Technol.**, **38**, 129-134, 2003.
- Andrade J.R., Corrosión atmosférica en Productos Electro - Electrónicos en Ambientes Tropicales, 1ra Edición, Editora Ltda., Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil, 138-169, 2003.
- Cole I.S., Lau D., Chan F. and Paterson D.A. Experimental studies of salts removal from metal surfaces by wind and rain. **Corros. Eng., Sci. Technol.**, **39**, 333-338, 2004.
- Meira G.R., Andrade M.C., Padaratz I.J. and Alonso M.C. Measurements and modelling of marine salt transportation and deposition in a tropical region in Brazil. **Atmos. Environ.**, **40**, 5596-5607, 2006.
- Echeverría C.A., Cortijo O., Sarraff M. Influencia de la corrosión atmosférica en la industria azucarera cubana. **Revista Centro Azúcar**, **3**, 83-86, 2000.
- Echeverría C.A., González A., López I. Corrosión atmosférica del acero en condiciones climáticas de Cuba. Influencia del aerosol marino. CD Monografías. Universidad de Matanzas. 2002
- Núñez L., Reguera E., Corvo F. Corrosion of copper in seawater and its aerosols in a tropical island. **Corros. Sci.**, **47**, 461-484, 2005.
- Echeverría C.A., Echeverría Boán C.A., Rodríguez J. Procedimiento de conservación anticorrosiva de carrocerías de automóviles. Oficina Cubana de la Propiedad Industrial. Registro de Autor de Invención 4/2003.
- Uller L., Morcillo M., Almeida E., Rosales B., Uruchurtu J., Marrocos M. *et. al.* Corrosión y protección de metales en las atmósferas de Iberoamérica: Parte I-Mapas de Iberoamérica de corrosividad atmosférica. (Proyecto MICAT), 1ra ed., Madrid, España, 1998.
- Corvo F, Minotas J., Delgado J. Changes in atmospheric corrosion rate caused by chloride ions depending on rain regime. **Corros. Sci.**, **47**, 883-892, 2005.
- Corvo F, T. Perez, and L.R. Dzib, Outdoor-indoor corrosion of metals in tropical coastal atmospheres. *Corros. Sci.*, **50**, 220-230, 2008.
- Mertell J. 1985. Peculiaridades de la corrosión atmosférica del acero de bajo contenido de carbono en Ciudad de La Habana y sus implicaciones técnico-económicas. Tesis en opción del título de doctor en Ciencias Técnicas, Centro Universitario "José Antonio Echeverría", julio, 1985.
- NC 93-01-118: 1987. Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente. Determinación de iones sulfato.
- Morcillo M., González J.A., Feliú M.S. Effect of marine aerosol on atmospheric corrosion. **Mat. Perform.**, **30**, 72-77, 1999.
- ISO 9225: 1992. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.
- NC 12-01-09:1988. Sistema de Normas de Protección contra la corrosión. Determinación del contenido de cloruros en la atmósfera. Método de análisis químico.
- Santana J.J., Santana F.J., González J.E. The effect of environmental and meteorological variables on atmospheric corrosion of carbon steel, copper, zinc and aluminium in a limited geographic zone with different types of environment. **Corros. Sci.**, **45**, 799-815, 2003.
- Morcillo M., Chico B., Mariaca L. and Otero E. Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site. **Corros. Sci.**, **42**, 91-104, 2000.
- Mendoza A.R., Corvo F. Outdoor and indoor atmospheric corrosion of non-ferrous metals. **Corros. Sci.**, **42**, 1123-1147, 2000.
- ISO 8565:1992. Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests.
- ISO 9226: 1992. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for evaluation of corrosivity.
- ISO 9223: 1992. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
- Ferm M., Watt J., O'Hanlon S. Deposition measurement of particulate matter in connection with corrosion studies. **Anal. Bioanal. Chem.**, **384**, 1320-1330, 2006.
- Reyes J.C. La Sal en México II. 1ra ed, Universidad de La Colina, México, 1995.
- Feliú S. Principios de corrosión y protección de metales. **Rev. Corr. y Prot.**, **2**, 13-23, 1971.
- Corvo F. 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. **Rev. Iber. Corr. y Prot.**, **9**, 291-292, 1988.
- Betancourt N., Corvo F, Cuesta R. Influence of SO₂ and NO_x on atmospheric corrosion of steel. **Revista CENIC Ciencias Químicas**, **33**, 71-75, 2002.
- Cole I.S., Ganther W.D., Paterson D.A. Holistic model for atmospheric corrosion Part 2 - Experimental measurement of deposition of marine salts in a number of long range studies. **Corros. Eng. Sci. Technol.**, **38**, 259-266, 2003.