

La corrosión en atmósferas marinas. Efecto de la distancia a la costa

B. Chico^(*), E. Otero^(*), L. Mariaca^(**) y M. Morcillo^(*)

Resumen En las atmósferas marinas, el depósito de partículas salinas sobre la superficie de los metales, acelera el proceso de corrosión metálica. Sin embargo, es muy escasa la información cuantitativa acerca del efecto de la salinidad atmosférica sobre la corrosión metálica. Este trabajo presenta la relación existente entre salinidad y corrosión metálica, encontrándose una clara relación lineal ($r = 0,97$) para un amplio intervalo de salinidades (4-500 mg Cl⁻/m².d), así como la relación existente entre salinidad (o corrosión metálica) y distancia a la costa. Aquí, parece establecerse una función hiperbólica entre ambas variables, existiendo un decrecimiento exponencial de la salinidad (o corrosión) a medida que aumenta la distancia a la costa, tendiendo hacia un valor asintótico. Este estudio analiza la información obtenida en una zona de experimentación ubicada en una atmósfera marina en Tarragona (España) junto con datos recopilados de la literatura.

Palabras clave: **Atmósfera marina. Salinidad. Corrosión metálica. Distancia a la costa.**

Corrosion in marine atmospheres. Effect of distance from the coast

Abstract In marine atmospheres the deposition of saline particles on the surface of metals intensifies the metallic corrosion process. However, quantitative information about the effect of atmospheric salinity on metallic corrosion is very scarce. This paper reports the relationship between salinity and metallic corrosion, where a clear linear relation ($r = 0,97$) has been found for a broad interval of salinities (4-500 mg Cl⁻/m².d), as well as the relationship between salinity (or metallic corrosion) and distance from the coast. A hyperbolic function seems to be established between both variables; there is an exponential drop in salinity (or corrosion) as shoreline distance increases tending towards an asymptotic value. The study has been based on information obtained from field research conducted at a marine atmosphere in Tarragona (Spain) and data compiled from the literature.

Keywords: **Marine atmosphere. Salinity. Metallic corrosion. Shoreline distance.**

1. INTRODUCCIÓN

Es conocido el importante papel de los contaminantes presentes en la atmósfera en la corrosión de los metales expuestos a ella. De particular interés, por su presencia muy común, son el SO₂ y el NaCl.

La acción del SO₂ atmosférico en la corrosión de metales ha sido estudiada por numerosos investigadores desde hace tiempo (1-4). Sin embargo, la información cuantitativa sobre el efecto de la salinidad atmosférica en la corrosión metálica es menos abundante. Trabajos sobre el particular, incluso los

más actuales, hacen referencia a un estudio realizado por Ambler y Bain (5) en Nigeria hace más de cuarenta años.

Los iones cloruro abundan en las atmósferas marinas, en las que la fuente básica de mineralización la constituyen las partículas de agua salada. El depósito de estas partículas sobre la superficie de materiales metálicos intensifica el proceso de corrosión por variados mecanismos: aumento de la conductividad del electrolito, formación de productos de corrosión solubles, rotura de películas pasivantes, etc.

Por otro lado, la cantidad de cloruros en el aire, provenientes del agua del mar y que arrastra el viento, depende de la distancia al mar, decreciendo rápidamente tierra adentro. Más allá de unos pocos cientos de metros del borde del mar, la salinidad y

(*) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM (CSIC), Avda. de Gregorio del Amo, 8. 28040-Madrid (España).

(**) Instituto de Investigaciones Eléctricas. Avda. de la Reforma, 113. Col. Palmira. 62490- Temixco (Morelos, México).

la velocidad de corrosión suelen decaer ostensiblemente.

El objetivo de este trabajo ha sido profundizar en el efecto de la distancia al mar en los valores de salinidad atmosférica y corrosión metálica. Además de la información obtenida en la investigación llevada a cabo, se ha realizado una recopilación de datos aparecidos en la bibliografía de los últimos cuarenta años.

2. TÉCNICA EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo este estudio, se seleccionó una zona de experimentación ubicada en el litoral tarraconense. Dicha selección obedeció a estudios realizados anteriormente, los cuales reflejaban que se trataba de una atmósfera prácticamente marina pura, sin la existencia significativa de otros contaminantes.

Se seleccionaron tres puntos de ensayo, situados a diferentes distancias de la línea de costa (25, 89 y 177 m), en cada uno de los cuales se instaló al aire libre una estación de corrosión atmosférica provista de: probetas planas (100 × 40 × 1,5 mm) de acero al carbono y acero galvanizado (que se expusieron durante 1 año); probetas climat (6) de Al/Fe y Al/Cu (1 mm de diámetro) (que se expusieron en períodos consecutivos de tres meses), captadores de iones cloruro (Norma ISO 9225) y de SO₂ (Norma BS 1747), cuyas medidas se realizaban mensualmente, y de sensores para determinar el tiempo de humectación (TDH). Este se calculó mediante el número de horas en que la humedad relativa > 80 % y la temperatura > 0 °C (Norma ISO 9223).

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

La tabla I muestra los valores medios anuales de la salinidad y SO₂ atmosférico y datos de corrosión anuales de probetas climat y probetas planas.

Tabla I.— Datos de velocidad de depósito de ion cloruro (salinidad) y SO₂, y de corrosión de probetas climat y probetas planas obtenidos en las diferentes estaciones de ensayo

TABLE I.— Data for chloride ion (salinity) and corrosion rates for climate and flat specimens in different corrosion test sites

Nº estación	Valor medio anual					
	Salinidad mgCl ⁻ /m ² .d	SO ₂ , mg/m ² .d	Corrosión de probetas climat %		Corrosión de probetas planas, µm/año	
			Al/Fe	Al/Cu	Acero al carbono	Zinc
1	95,56	7,08	5,94	6,57	29,46	4,72
2	50,07	6,93	2,86	3,46	24,35	2,59
3	26,39	8,22	1,56	1,86	22,64	1,53

Los valores de TDH obtenidos pertenecen a la categoría τ₃ atendiendo a la clasificación ISO 9223.

4. DISCUSIÓN

4.1. La salinidad atmosférica como factor controlante de la corrosión metálica en atmósferas marinas

A partir de los datos de corrosión obtenidos para las probetas climat de Al/Fe y Al/Cu, se procedió a realizar un análisis estadístico mediante un programa específico de computación (BMDP), para determinar la significación de cada una de las variables atmosféricas en el proceso de corrosión metálica en atmósferas marinas. Los datos se ajustaron a la siguiente ecuación de tipo lineal:

$$C = a + b TDH + c SO_2 + d Cl \quad [1]$$

Los resultados obtenidos mostraron que la salinidad atmosférica es el factor controlante de la corrosión metálica en atmósferas marinas. Los altos coeficientes de correlación, *r*, obtenidos (*r* = 0,91 para la probeta Al/Fe y *r* = 0,88 para la probeta Al/Cu), sugieren una relación de tipo lineal entre ambas variables.

4.2. Relación entre corrosión y salinidad

El intervalo de valores de salinidad encontrado en el lugar de experimentación (25-100 mg Cl⁻/m².d) no cubre todos los valores de salinidad posibles en este tipo de atmósferas. La norma ISO 9223 considera salinidades atmosféricas hasta 1.500 mg Cl⁻/m².d. Así pues, para realizar un análisis de la relación existente entre ambas variables para un intervalo de salinidades más amplio, se procedió a realizar una recopilación de parejas de datos de

salinidad atmosférica y corrosión del acero, tomados de la bibliografía y obtenidos en distintas partes del mundo (5 y 7-10). La figura 1 recoge esta información junto a los datos obtenidos en este estudio. Esta figura muestra una clara relación lineal ($r = 0,97$) entre la salinidad atmosférica y la corrosión del acero para un amplio intervalo de salinidades (4-500 mg Cl⁻/m².d).

4.3. Relación entre salinidad/corrosión metálica y distancia a la costa

Con los resultados obtenidos en nuestro estudio y en otros análogos realizados en distintas partes del mundo (5 y 7-10), se ha representado la variación de salinidad con la distancia a la costa. Los resultados se muestran en la figura 2 a, donde se observa un rápido decrecimiento de la salinidad conforme nos adentramos en el terreno unos cientos de metros, para después decrecer, de modo más suave, tendiendo a un valor asintótico correspondiente al valor de la salinidad ambiental de la región, lejos del mar. Este segundo decrecimiento no es observable en algunas de las curvas, por no

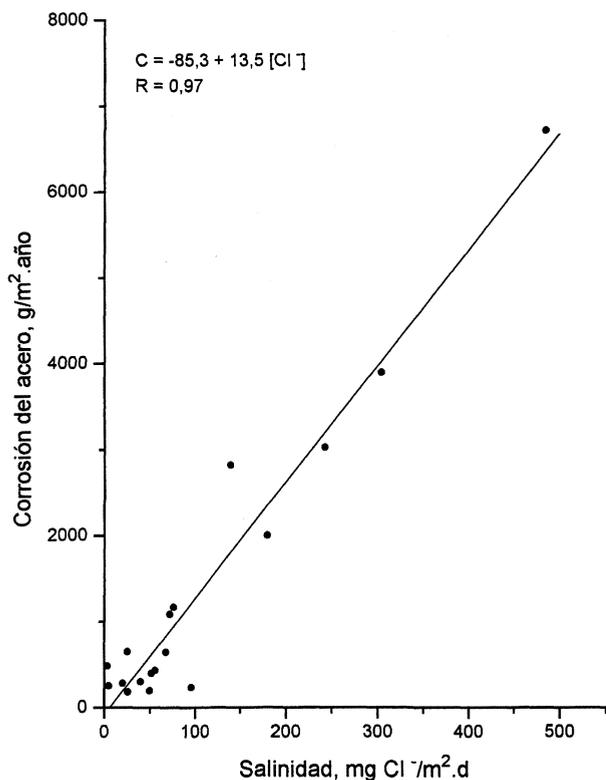


FIG. 1.— Relación entre corrosión del acero y salinidad atmosférica. Datos obtenidos en este estudio y otros recopilados de la bibliografía (5 y 7-10).

FIG. 1.— Relation between steel corrosion and atmospheric salinity. Data obtained in this study and others compiled from the literature (5 and 7-10).

disponer de valores de salinidad a distancias más alejadas de la línea de costa.

En la bibliografía aparecen distintas expresiones para describir este comportamiento. Así, en un proyecto de la Unión Europea (11), se recoge un estudio del decrecimiento de la salinidad con la distancia a la costa en 29 lugares de la costa de Europa. En general, el nivel de cloruros es muy alto en línea de costa, para posteriormente decrecer a valores por debajo de 10 mg/m².d, en la mitad de los lugares, a una distancia de 10 km tierra adentro. Dicho estudio relaciona la salinidad y la distancia a la costa mediante el siguiente modelo de decrecimiento exponencial:

$$Y = C e^{-Ax} + D e^{-Bx} \quad [2]$$

donde Y es la salinidad media (mg Cl⁻/m².d) a una distancia de x metros de la línea de costa, A y B son las constantes de decrecimiento, y C y D los valores de salinidad a distancia cero (línea de costa), con el que dos tipos de partículas existentes en el aerosol marino, partículas sedimentables y en suspensión, contribuyen a la salinidad atmosférica. Las partículas de mayor tamaño (sedimentables) caen rápidamente, mientras que las de menor tamaño (partículas en suspensión) permanecen en el aire largas distancias.

La relación lineal entre salinidad atmosférica y corrosión metálica hace pensar en una relación corrosión metálica/distancia a la costa similar a la obtenida para la salinidad. La figura 2 b muestra esta relación con los datos obtenidos en este estudio y en otros existentes en la bibliografía (5 y 7-10) correspondientes a probetas planas. Se observa un rápido decrecimiento de la corrosión a medida que nos alejamos de la línea de costa, para luego decrecer más lentamente, tendiendo a un valor asintótico que podría corresponder al valor de corrosión de la atmósfera de la región sin influencia del aerosol marino.

Para diferentes puntos de Australia, G. King *et al.* (12), establecen, como mejor modelo de variación de la corrosión con la distancia al mar, la sencilla relación hiperbólica:

$$\log_e \text{corrosion} = A + \frac{B}{1 + C \times \text{distancia al mar}} \quad [3]$$

Este mismo comportamiento también ha sido observado para el caso de probetas climat (13 y 14), donde se ha encontrado que el decrecimiento de la corrosión con la distancia a la costa sigue una curva hiperbólica del tipo (13).

$$X^{1/3} + Y^{1/3} = k \quad [4]$$

donde X es la distancia a la costa e Y , el índice de corrosión marina (I.C.M.). conforme el I.C.M. en línea de costa es mayor, también lo es la extensión de la penetración marina hacia tierra.

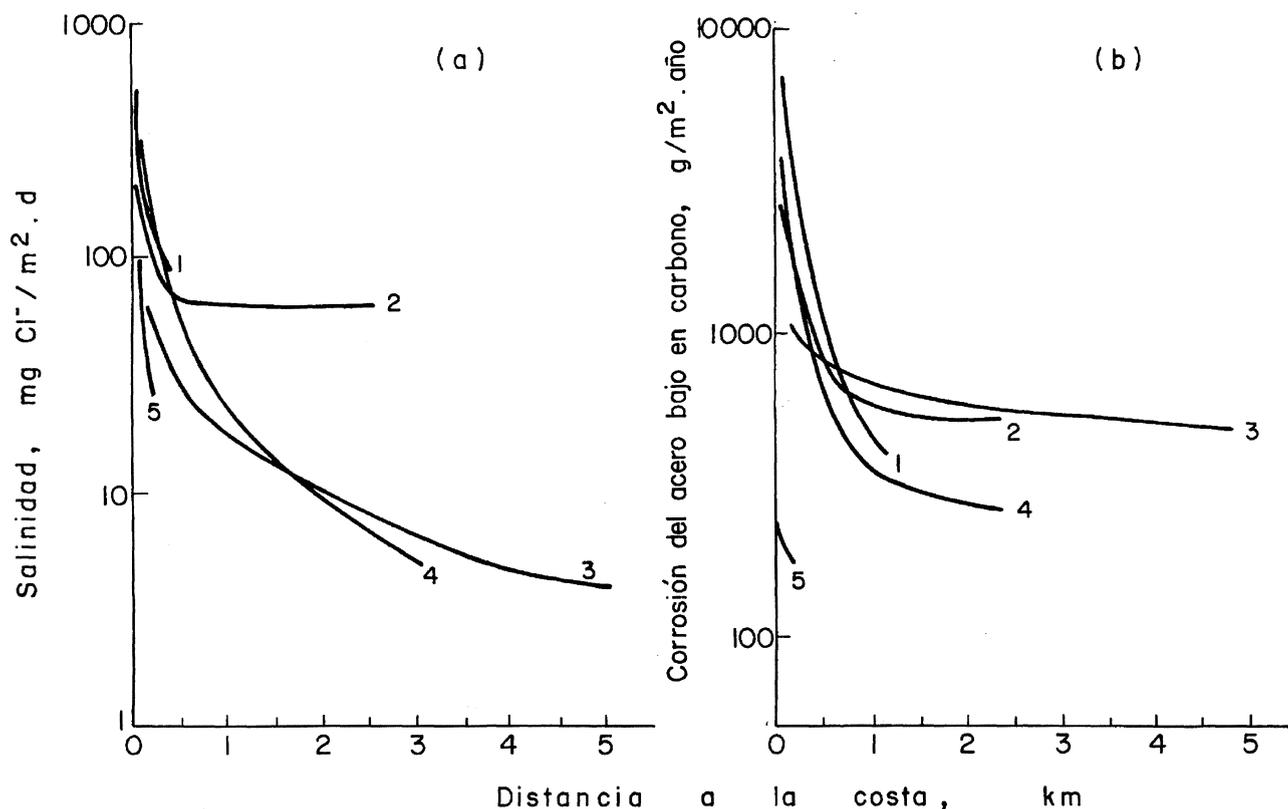


FIG. 2.— Relación entre el logaritmo de la salinidad, *a*, y el logaritmo de la corrosión *b*) con la distancia a la costa, en diferentes partes del mundo: 1) Lagos (Nigeria) (5), 2) Digha (India) (7), 3) Murmansk (Rusia) (9 y 10) 4) Costa Norte (Cuba) (8) y 5) Tarragona (España).

FIG. 2.— Relation between the logarithm of salinity, *a*, and the logarithm of corrosion, *b*, with the distance from the coast in different parts of the world. 1) Lagos (Nigeria) (5), 2) Digha (India) (7), 3) Murmansk (Russia) (9 y 10), 4) Costa Norte (Cuba) (8) and 5) Tarragona (Spain).

5. CONCLUSIONES

- La salinidad atmosférica es el factor controlante de la corrosión atmosférica en atmósferas marinas puras.
- Se establece una relación lineal entre salinidad atmosférica y corrosión metálica para un intervalo de velocidad de depósito de ion cloruro comprendido entre 4-500 mg Cl⁻/m² d.
- La relación entre corrosión-salinidad/distancia a la costa sigue un trazado hiperbólico en el que, después de un decrecimiento exponencial pronunciado, a medida que aumenta la distancia al mar, se alcanza un valor asintótico que podría corresponder al valor de corrosión de la atmósfera de la región, sin influencia del aerosol marino (curvas corrosión/distancia a la costa), o al valor de la salinidad ambiental de la región, lejos del mar (curvas salinidad/distancia a la costa).

REFERENCIAS

- (1) BARTON, K. Protection against Atmospheric Corrosion. Wiley and Sons, Londres, 1976.
- (2) SCHICKORR, G., WERKST, Korros., 14, 1963: 69-80; 15, 1964: 457-463; 18, 1967: 514-521.
- (3) KUCERA, V. y MATTSON, E. Atmospheric Corrosion en: Corrosion Mechanism. F. Mansfeld. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, 1986.
- (4) COSTA, J.M., MORCILLO, M. y FELIU, S. Efecto de los parámetros ambientales en la corrosión, en: Encyclopedia of Environmental Control Technology, vol. 2, P.N. Chermisinoff, Gulf Publishing. Houston, 1989: 197.
- (5) AMBLER, H.R. y BAIN, A.A.J. *J. Appl. Chem.* 5, 1955: 437-467.
- (6) DOYLE, D.P. y GODARD, H.P. *Nature*, 200, 1963: 1.167-1.168.
- (7) BASU, D.K. y KHAN, D.K. *NML Tech. J.* 14, 1972: 34-36.
- (8) CORVO, F. Quimindustria 90, I Simp. Intern. corrosión, protección y tropicalización. La Habana (Cuba), 1990: 167-170.
- (9) STREKALOV, P.V. y PANCHENKO, Yu. M. *Prot. Met.* 30, 1994: 254-263.
- (10) STREKALOV, P.V. *Prot. Met.* 24, 1988: 630-641.
- (11) JOHNSON, K.E. y STANNERS, J.F. The characterisation of corrosion test sites in the community. Rept. Eur 7433, Commission of the European Communities, Luxemburgo.
- (12) KING, G.A. y CARBERRY, B. Atmospheric Corrosivity of the Greater Newcastle Region, CSIRO. Australia, 1992.
- (13) DOYLE, D.P. y WRIGHT, T.E. Atmospheric Corrosion, Ed. W.H. Ailor. Wiley and Sons. Nueva York, 1982: 227-243.
- (14) CHICO, B., MARIACA, L., OTERO, E. y MORCILLO, M. *Afinidad*, LIV, 469, 1997: 241-245.