

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones obtenidas en este estudio.

La caracterización de los datos ambientales como lo son el tiempo de humectación, la temperatura, contaminantes como los sulfatos y cloruros permitieron clasificar a Villahermosa como una categoría de corrosividad de C3 según las normas ISO 9223-9225.

La caracterización según la velocidad de corrosión por pérdida de masa nos permite clasificar a Villahermosa con una categoría C4, señalando que se encuentra según dichos valores entre C3 y C4, esto puede haber pasado debido al tiempo de inicio del estudio. Con lo anterior notamos una buena correlación con la propuesta por ISO 9223.

En las estaciones de Nuevo Leon se observo que, a pesar de tener tiempos de humectación parecidos, es más importante los contaminantes de SO₂ y CO₂ que los demás registrados, ya que estos provocaron mayores velocidades de corrosión en San Nicolás de los Garza, Nuevo León, por lo que este municipio está más contaminado que el de Monterrey

Se identificaron los productos de corrosión Goetita y Lepidocrocita como productos de corrosión a través de la técnica de DRX.

Se propuso una clasificación de las estaciones de Nuevo Leon de los aceros expuestos durante los seis meses la cual le corresponde C5 de muy alta corrosividad, este es explicable por los altas concentraciones de contaminación

Se confrontó la propuesta según el índice de deterioro de Brooks y del clima según Koppen, aunque éstas no consideran los niveles de contaminación, por lo cual se debe multiplicar por un coeficiente de ajuste para predecir la categoría de corrosividad en lugares que presenten contaminación.

Se encontró una ecuación matemática para la estación de Huapinol, Parrilla, Tabasco, según la propuesta de ecuación de Bohnempak y colaboradores y se encontró una excelente correlación, dicha ecuación propone que los productos de corrosión en Villahermosa deben ser adheribles como sucedió en la realidad.

Se confirmó la propuesta de Sanyal y colaboradores que la velocidad del acero en lugares semi-industriales después del sexto mes de exposición disminuye, esto se pudo notar en la estación de Huapinol, Parrilla, Tabasco.

RECOMENDACIONES

A fin de dar seguimiento al estudio presentado, se sugiere seguir las siguientes recomendaciones:

1. Llevar a cabo el estudio durante tres años para lograr una mejor clasificación de las atmosferas y poder encontrar una ecuación matemática que nos permita modelar y simular diversas condiciones que llegar a presentar el lugar.
2. Verificar en más lugares las ecuaciones empíricas de obtención de las horas de humectación conociendo sólo algunos parametros ambientales, así como encontrar una relación entre los sulfatos depositados y los que se encuentran en el ambiente que son reportados por la estaciones de monitoreo ambiental para los lugares de estudio
3. Probar las velocidades de corrosión con diferentes recubrimientos para poder proponer una solución a las altas agresividades que presentan los lugares de estudio.
4. Comparar con diferentes tipos de aceros no aleados las velocidades de corrosión para conocer sus posibles mecanismos.
5. Realizar estudios electroquímicos para la medición de la corrosion atmosferica así como la caracterización de los productos de corrosion.
6. Utilizar la microscopía de fuerza atómica en estudios de corrosion atmosférica para la caracterización de los productos de corrosion.

7. Utilizar técnicas de identificación modernas para llegar a conocer o proponer un mecanismo de corrosión atmosférica del acero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mars G. Fontana. "Corrosion Engineering". Mc Graw-Hill. Third Edition, New York, 1988.
2. R. T. López; "Corrosión". México, D.F., 1996.
3. J. Genescá. Mas allá de la Herrumbre. La ciencia para todos. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 1997.
4. Herbert H. Uhlig. Corrosión y control de corrosión. Urmo, S.A. de Ediciones. España, 1982.
5. J. M. West, "Basic Corrosion and Oxidation", Ellis Horwood Publishers, 1980.
6. M. Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Houston, Cebelcor, Brussel, NACE, 1974.
7. ASM. Corrosion. "Atmospheric Corrosion".1997.
8. S. Feliú, Coste Social de la Corrosión, Seminarios sobre Corrosión y Tratamiento de Agua, Madrid, Eduardo Torroja, Noviembre, 1978.
9. N. D. Tomashov, "Theory of Corrosion and Protection of Metals", MacMillan Co., Nueva York (1966) 367.
10. T. P. Hoar, Report of the Committee on Corrosion and Protection, Londres. HMSO, 1971.
11. Department of Trade and Industry, 1971: <<Report of the committee of corrosion and protection>>, Londres.
12. S. Feliu, M. Morcillo, Corrosion y Protección de los Metales en la Atmósfera, Barcelona, Bellaterra, 1982.
13. A. I. Golubev, M. Kh. Kadyrov, Proceedings III International Congress on Metallic Corrosion, Moscú, Vol. 4, pag. 522, 1969.

14. I. L. Rozenfeld, 1972: <<Atmospheric corrosion of metals>>, NACE.
15. S. Feliu, 1971: Corrosión y protección, 2, no. 4, 1.
16. N. D. Tomashov, "Theory of Corrosion and Protection of Metals", MacMillan Co., Nueva York (1966) página 391.
17. J. Dearden, 1948: J. Iron and Steel Inst., 159, 241.
18. G. Schikorr, 1963: Werkstoffe und korrosion, 14, no. 2, 63.
19. K. Barton, S. Bartonova y E. Beranek, 1974: Werkstoffe und korrosion, 25, no. 9, 659.
20. K. Barton y Z. Bartonova, 1969: Werkstoffe und korrosion, 20, 216.
21. K. Barton y Z. Bartonova, 1970: werkstoffe und korrosion, 21, 25 y 85; K. Barton y otros, 1972, Strojirenstvi, 22, 179.
22. S. Glasstone, 1960: <<An introduction to electrochemistry>> Ed. D. Van Nostrand, Princeton, p. 451.
23. S. Feliu, M. Morcillo, "Estudio de la corrosión del acero dulce, cinc, aluminio y cobre en la atmósfera de Madrid", Rev. Metal, Madrid (CENIM), 159-170.
24. D.P. Doyle, H. P. Godard. Third International Congress on Metallic Corrosion, Moscú, MIR, Vol.4, pag. 429-437, 1969.
25. W. H. Vernon, 1927, 1931, 1933, 1935: Trans. Faraday Soc., 23, 162; 27, 265; 29, 325; y 31, 1668.
26. R. St. J. Preston y B. Sanyal, 1956: J. Appl. Chem., 6, 26.
27. B. Sanyal y D. Bhadwar, 1962: J. Sci. Ind. Res., 21D, 243.
28. B. Sanyal, G. K. Singhania y D. W. Bhadwar, 1969: <<Proceeding Third International Congress on Metallic Corrosion>> Moscú, Vol. 4, p. 454.
29. W. S. Patterson y J. H. Wilkinson, 1938: J. Soc. Chem>> Ind., 57, 445, T.
30. P. J. Sereda, 1960: Indus. And Engineering Chem>> 52, no. 2, 157.
31. H. Guttman y P. J. Sereda, 1968: ASTM, STP 435, p. 326.
32. G. Schikorr y I. Schikorr, 1943: Zeitschrift fur Metallkunde, 35, no. 9, 175.

33. J. C. Hudson y J. F. Stanners, 1953: *J. Appl. Chem.*, 3, 186.
34. K. Barton, E. Beranek y G. V. Akimov, 1959: *Werskstoffe uns korrosion*, 10, no. 6, 337.
35. S. Feliu, M. A. Guillén y P. Fernández Manzano, 1973 y 1972: *Rev. Corrosión y protección*, no. Extr., 225: *Corrosion, trait., prot., finition*, 20, 474.
36. S. Rao Addanki y otros, 1969: <<Proceeding Tirad International Congress on Metallic Corrosion>>, Moscú, Vol. 4, p. 554.
37. H. R. Ambler y A. A. Blain, 1955: *J. Appli. Chem.*, 5, 437.
38. A. Hache, 1963: <<Estimation of the Aggressiveness Marine Atmospheres by Analysis of Chlorides>>, Segundo Congreso Internacional de Corrosion, Nueva York.
39. E. García, *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, México, UNAM, 1973.
40. Sedue, *Estado Actual de la Contaminación en México*, México, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1985.
41. M. Morcillo y S. Feliú, *Mapas de Corrosividad Atmosféricas*, capítulo 19. *Mapas de España Corrosividad Atmosférica*, Ed. M. Morcillo y S. Feliú. CYTED. 1993.
42. G. A. King, K.G. Martin y J.F. Moresby, "A Detailed Corrosivity Survey of Melbourne", CSIRO Australia, Division of Building Research, Melbourne, 1982; G.A. King, I. Sasnaitis y S. Terrill, "Environmental Factors Influencing the Corrosivity of Melbourne's Atmosphere", CSIRO Australia, Division of Building Research, Melbourne, 1985.
43. S. Feliú y M. Morcillo, *Rev. Metal. (CENIM)*, 11, (4), 159, 1975.
44. D. Knotkova y I. Jansenova, "Corrosion Mapping for the Prague City", Research Report of SVUOM. 110/89, Praga, 1989.
45. S.E. Haagerund, J.F. Henriksen y F. Gram, "Corrosion map for Saepsborg and Frederikstad", *Corrosión Effects of Acid Deposition and Corrosion of Electronic Materials*, Pennington, Edit. F. Mansfeld, V. Kuceera, S. Haagerud y F. H. Haynie, ECS, 1988.
46. P. Norberg, C. Sjöström, V. Kucera y B. Rendahl, 6Th Intern. Conf. On Durability of Building Materials and Components, Omiya, 1993.
47. S. Feliú et al., *Mapa de corrosividad atmosferica de Cataluña-Baleares*, Barcelona, ANQUE, 1981.

48. J. M. Costa y M. Vilarrasa, Proc., 10 th Intern. Congress Metallic Corrosion, Nueva Delhi, Oxford e IBH Publishing Co., Vol. 1, 35-44, 1987.
49. T. R. Shaw, "Corrosion Map of the British Isles", Atmospheric Factors Effecting the Corrosion of Engineering metal, Filadelfia, S.K. Coburn, ASTM STP 649, 204-215, 1987.
50. S. Feliu et. al, Mapas de Corrosión atmosférica. Rust-Oleum Corporation. Bellatera. 1999.
51. A. I. Golubev y M. Kh. Kadyrov, Proc. 3rd Intern. Congress metallic Corrosion, Moscú, Vol., IV, 522, 1969.
52. K. N. Rao y A. K. Lahiri, "Corrosion map of India", Corrosion Advisory Bureau, Council of Scientific and Industrial Research, Jamshedpur.
53. R. Tekkotsu, "Corrosion Map of Japan" Boshoku Kenkyu Kai, Memorial Lecture. Award for Corrosion Protection, Japan Society for the Promotion of Science. 1967.
54. State Research Institute for Material Protection (SVUOM), "Atmospheric Corrosivity of the Czechoslovak territory", Prague Instruction, p. 092-81, Praga, 1981.
55. F. Corvo y otros, "Primera variante de mapa de agresividad corrosiva de la atmósfera de Cuba", Proc. 3er. Congreso Iberoamericano de Corrosión y Protección. ABRACO, Rio de Janeiro, Vol. I, 405, 1989.
56. M. R. Prato, "Mapa de corrosión atmosférica de Venezuela", 3er. Congreso Iberoamericano de Corrosión y Protección, ABRACO, Rio de Janeiro, Vol. III, 1658, 1989.
57. M. Rychtera, "Atmospheric Deterioration of Technological Materials. A Technoclimatic Atlas. Part. A: Africa" Academia, Praga, 1985.
58. H.D. Gregor y K R. Bull, "Mapping", Draft Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels and Loads in Geographical Areas Where They Are Exceeded, UN/ECE, Bad Harzburg, 1990.
59. ISO 9223: "Corrosión of Metals and Alloys. Classification of Corrosivity of Atmospheres", Internatinal Standards Organization, 1992.
60. J. Shang. "EMEP-European Monotorig and Evaluation Programme, and Some Related Activities", Norwegian Institutte for Air Research, Report 21/90. Lillestrom, 1990.

61. C.E.P. Brooks, *Climate in Everyday Life*, Londres, Dent, 1950.
62. BS4672:Part 1:1971: *Guide to Hazards in the Transport and Storage of Packages*, British Standards Institution, 1950.
63. GOST 25870-83: "Macroclimatic Regions of the World With Cold and Temperate Climate. Regionalizing and Statistical Parameters of Climatic Factors for Technical Purposes".
64. T. Tomita, "Solar UV, Wetness and Thermal Degradation Maps in Japan", *Durability of Building Materials and Components*, Ed. J. M. Baker, P.J. Nixon, A. J. Majumdar y H. Davies, y F.N. Spon, 1991.
65. ISO 9224: *Corrosion of Metals and Alloys. Guiding Values for the Corrosivity Categories of Atmospheres*, International Standards Organization, 1992.
66. ISO 9225: *Corrosion of Metals and Alloys. Corrosivity of Atmospheres Methods of Measurement of Pollution*, International Standards Organization, 1992.
67. ISO 9226: *Corrosion of Metals and Alloys. Corrosivity of atmospheres-Methods of Determination of Corrosion Rate of Standard Specimens for the Evaluation of Corrosivity*, International Standards Organization, 1992.
68. M. Morcillo et al., pendiente de publicación. Comunicación vía Internet.
69. M. Benarie y F. L. Lipfert, *Atmos. Environ.*, 20, 1947. 1986.
70. M. Pourbaix, en "Atmospheric Corrosion", Nueva York, Ed. W.H. Ailor, John Wiley and Sons, 107, 1982.
71. H. Leidheiser, Jr., and I. Czako-Nagy, *corros. Sci.*, 24, 569 (1984).
72. R. P. Frankenthal, P. C. Milner, and D. J. Siconoifi, *This Journal*, 132. 1019 (1985).
73. L. Maijs, *Latv. PSR Zinat. Akad. Vestis, Kim Ser.*, 5, 550 (1986) (CA 106: 2493In).
74. J. Kruger and H. T. Yolken, *corrosion*. 20, 29t (1964).
75. J. M. R. Genin, D. Rezel, Ph. Bauer, A. Olowe, and A. Beral. In "Electrochemical Methods in Corrosion research". *Materials science Forum Vol. 8 M. Duprat, Editor. Pp. 447-490. Trans. Tech. Pub. Ltd., Switzerland (1986).*
76. H. Leidheiser. Jr. and S. Music, *Corros. Sci.* 22, 1089 (1982).

77. L. Maijs. Latv. PSR Zinat. Akad. Vestis. Kim. Ser., 6, 708 (1986)(CA 106:73662j).
78. E. N. Korzh. A. M. Sukhotin, and A. M. Borshchevskii, Prot. Met., 18, 75 (1982).
79. L. Liepina, A. Lokenbaha, Z. Osis, and Vitola, Latv. PSR Zinat. Akad. Vestis. Kim. Ser., 4, 422 (1969)(CA 72:5519x).
80. P. F. Weiser, in "Atmospheric Corrosion", W. H. Ailor, Editor, pp. 453-460, Jhon Wiley and Sons, Inc., New York (1962).
81. E. Mattsson, Chemtech., 15, 234 (1985).
82. M. Bernarie and F. L. Lipfert, atmos. Environ., 20, 1947 (1986).
83. F. H. Haynie and J. B. Upham, Mater. Perf., 10, 18 (1971).
84. R. Walker, J. Chem. Ed., 59, 943 (1982).
85. W. D. Wo, Prot. Metals, 20, 62 (1984).
86. T. K. Ross and B. G. Callaghan, Corros. Sci., 6, 337 (1966).
87. I. Suzuki, Y. Hisamatsu, and N. Masuko, Journal of the Electrochemical Society, 127, 2210 (1980).
88. H. H. Uhlig and R. Revie, "Corrosion and corrosion control", Third edition, Cahp. 8, Jhon Wiley and sons, Inc., New York (1985).
89. H. E. Townsend and J. C. Zoccola, in "Atmospheric Corrosion of Metals", S. W. Dean and E. C. Rhea, Editors, pp. 45-59, ASTM Spec. Tech. Publ. 767, ASTM, Philadelphia (1982).
90. D. Knotkova-Cermakova, J. Vlckova, and J. Honzak. In " Atmospheric Corrosion of metals", S. W. Dean and E. C. Rhea, Editors, pp. 7-44, ASTM Spec. Tech. Pub. 767, ASTM, Philadelphia (1982).
91. H. Schwartz, Werk. Korros., 16, 93 (1965).
92. T. Sydberger and R. Ericsson, ibid. 28, 154 (1977).
93. M. Stratmann, K. Bohnenkamp, and H. J. Engell, ibid., 34, 604 (1983).
94. F. Mansfeld, in "Developmnets in corrosion Science", R. N. Parkins, Editor, p. 1. Applied Science Pubs. London (1983).

95. E. McCafferty and A. C. Zettlemyer, *Discuss. Faraday Society*, 52, 239 (1971).
96. B. S. Skerry, J. B. Johnson, and G. C. Wood, *Corros. Sci.*, 28, 657 (1988).
97. K. J. Eichhorn and W. Forker, *ibid*, 28, 745 (1988).
98. T. E. Graedel, *This journal*, 133, 2476 (1986).
99. V. Yu Ovsyannikov and B. B. Chernov, *Prot.Met.*, 23, 307 (1987).
100. K. Nassau, A. E. Miller, and T. E. Graedel, *corros. Sci.*, 27, 703 (1987).
101. H. Worch, W. Forker, and D. Ranher, *Werk. Korros.*, 34, 402 (1983).
102. J. O'M. Bockris, D. Drazic, and A. R. Despic, *Electrochim. Acta*, 4, 325 (1961).
103. E. Matijevic, in "Atmospheric Corrosion", W. H. Ailor, Editor, p. 123, John Wiley and Sons, Inc., New York (1982).
104. M. Stratmann, K. Bohnenkamp, and T. Ramchandran. *Corros. Sci.*, 27, 905 (1987).
105. J. Kassim. T. Baird, and J. R. Fryer, *Corros. Sci.*, 22, 147 (1982).
106. T. Misawa, K. Hashimoto, and S. Shimodaira, *ibid.*, 14, 131 (1974).
107. K. E. Heusler, *Z. Electrochem.*, 62, 582 (1958).
108. M. Kiyama, T. Akita, S. Shimizu, Y. Okuda, and T. Takaa; *Bull, Chem, Soc, Jpn*, 45, 3422 (1972)
109. D. C. Smith and B. McEnaney, *Corros. Sci.*, 19, 379 (1979).
110. I. Suzuki, Y. Hisamatsu, and N. Masuko, *This Journal*, 127, 2210 (1980).
111. P. Warneck, in "chemistry of Multiphase Atmospheric Systems", NATO ASI Series G., Vol. 6, W. Jaeschke, Editor, pp. 473-499, Springer-Verlag, Berlin (1986).
112. T. E. Graedel, *Corros. Sci.*, 27, 721 (1987).
113. W. G. Barb. J. H. Baxendale, P. George, and K. R. Hargrave, *Trans. Faraday Soc.*, 47, 462 (1951).
114. R. Broszkiewicz, in "Proceedings of 1962 Tihany Symposium", J. Dobo, Akademiai Kiado, Budapest (1964).

115. C. Walling, *Acc. Chem. Res.*, **8**, 125 (1975).
116. L. E. Eary, *Metall. Trans.*, **16B**, 181 (1985).
117. J. J. Lingane, "Electroanalytical Chemistry", second edition., Interscience Pubs., New York (1958).
118. T. E. Graedel, M. L. Mandich, and C. J. Weschler, *J. Geophys. Res.*, **91**, 5205 (1986).
119. P. S. Braterman, A. G. Cairns-Smith, R. W. Sloper, T. G. Truscott, and M. Craw, *J. Chem. Soc. Dalton Trans.*, 1441 (1984).
120. T. D. Waite and F. M. M. Morel, *Environ. Sci. Technol.*, **18**, 860 (1984).
121. T. I. Petrova, N. L. Kharitonova, and A. I. Popova, *tr. Mosk. Energ. Inst.* **575**, 86 (1982) (CA 99:144018d).
122. L. N. Moskvina, A. A. Efremov, V. F. Teterin, and S. B. Tomilov, *Teploenergetika (Moscow)*, **9**, 12 (1981) (CA 98:76317c).
123. J. E. O. Mayne and J. A. Burkill, *Br. Corros. J.*, **21**, 221 (1986).
124. E. J. Calvo and D. J. Schiffrin, *J. Electroanal. Chem.*, **163**, 257 (1984).
125. R. Zika, E. Saltzman, W. L. Chameides, and D. D. Davis, *J. Geophys. Res.*, **87**, 5015 (1982).
126. T. E. Graedel, D. T. Hawkins, and L. D. Claxton, "Atmospheric Chemical Compounds: Sources, Occurrence, and Bioassay", Academic Press, Inc., Orlando, FL (1986).
127. J. E. O. Mayne, *J. Appl. Chem.*, **9**, 673 (1959).
128. R. Ericsson and T. Sydberger, *Werk. Korros.*, **31**, 455 (1980).
129. U. R. Evans and C. A. J. Taylor, *Corros. Sci.*, **12**, 227 (1972).
130. G. Schikorr, *Werk. Korros.*, **14**, 69 (1963); **15**, 457 (1964).
131. L. R. Martin, in "SO₂, NO, and NO₂ Oxidation Mechanisms: Atmospheric Considerations", J. G. Calvert, editor, pp. 63-100, Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI (1983).
132. J. Weschler, M. L. Mandich, and T. E. Graedel, *J. Geophys. Res.*, **91**, 5189 (1986).

133. F. P. Cavasino. *J. Phys. Chem.*, 72, 1378 (1968).
134. F. L. Baker and W. MacF. Smith, *Can. J. Chem.*, 48, 3100 (1970).
135. M. Ohyabu and Y. Ujihira, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 43, 1948 (1981).
136. R. T. Lowson, *Chem. Rev.*, 82, 461 (1982).
137. A. K. Singh, T. Ericsson, L. Haggstrom, and J. Gullman, *Corros. Sci.*, 25, 931 (1985).
138. J. B. Jhonson, P. Elliot, M. A. Winterbottom, and G. C. Wood, *ibid.* 17, 691 (1977).
139. U. R. Evans, "The corrosion and oxidation of metals second supplementary volume", p.246ff, Edward Arnold Pubs., London (1976).
140. K. Barton, D. Kuchynka, Z. Bartonova, and E. Beranek, *corros. Sci.*, 11, 937 (1937).
141. G. K. Singhanian and B. Sanyal, *Br. Corros. J.*, 8, 224 (1973)
142. G.S. Raynor, M. E. smith, and I. A. Singer, *J. Air pollut. Contr. Assoc.*, 24, 586 (1974).
143. S. M. Kunen, A. L. Lazrus, G. L. Kok, and B. G. Heikes, *J. geophys. Res.*, 88, 3671 (1983).
144. T. E. Graedel, *Journal of the Electrochemical Society*, 135, 1035 (1988).
145. T. E. Graedel and K. I. Goldberg, *J. Geophys. Res.*, 88, 10865 (1983).
146. P. Brimblecombe, *Atmos. Environ.*, 11, 1157 (1977).
147. R. Sladkovic, R. reiter, and K. Potzl, *J. Aerosol Sci.*, 17, 231 (1986).
148. R. Husar and D. Patterson, Final Contact Report 68-02-3746, Center for Air Pollution Impact and Trend Analysis, Washington University, St. Louis, MO (1985).
149. G. Gschwandtner, K. Gschwandtner, K. Eldridge, C. Mann, and D. Mobley, *J. Air Pollut. Contr. Assoc.*, 36, 139 (1986).
150. J. A. Logan, M. J. Prather, S. C. Wofsy, and M. B. Mc Elroy, *J. geophys. Res.*, 86, 7210 (1981).

151. J. R. Walton, J. B. Johnson, and G. C. Wood, *Br. Corros. J.*, 17, 65 (1982).
152. U. R. Evans, "The corrosion and oxidation of metals second supplementary volume", pp. 197-198, St. Martin's Press, New York (1968).
153. C. McCaul and S. Goldspiel, in "Atmospheric Corrosion", W. H. Ailor, Editor, pp. 431-452, John Wiley and sons, Inc., New York (1982).
154. ASTM G1: Preparing, Cleaning and Evaluation Corrosion Test Specimens, ASTM, 1991.
155. ASTM G50: Conducting Atmospheric Corrosion Test on Metals, ASTM, 1991.
156. ASTM 92: "Characterization of atmospheres test sites". ASTM, 1991.
157. ISO/DIS 8565: Metals and Alloys Atmospheric Corrosion testing. General Requeriments for Field Tests, International Satandards Organization.
158. S. Feliu Jr., y J. Simancas, La estación de ensayos de corrosividad atmosférica, cap. 14, pp. 297-313. Mapas de España de Corrosividad Atmosférica. Ed. M. Morcillo y S. Feliu, CYTED, 1993.
159. D. R. Lide, "CRC Handbook of Chemistry and Physics", CRC Press, Boston(1991).
160. W. F. Linke, "Solubilities of inorganic and metal-organic compounds", vol. 1, D. Van Nostrand Company, Pricenton (1958).
161. M. Morcillo et. al, "Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica", CyTED, España, 2000.
162. J. M. A. Villa Lobos, *corrosión y protección*, 12 (1989).
163. W. Meisel y P. Gutlich, *Werks. Korros.*, 32 (7) (1981) 296.
164. B. Sanyal y G. K. Singhania, 1956: *J. Sci. Industr. Res.*, 15B, 448.
165. K. S. Rajagolapan y otros, 1971: *Br. Corros. J.*, 6, Julio, 175.
166. K. Bohnenkamp, G. Burgmann y W. Schwenk, 1974: *Galvano-Organo*, Junio.
167. B. Sanyal y G. K. Singhania y J. N. Nanda, 1969: "Tirad International Congress on Metallic Corrosion", Moscú, Vol. 4, P. 406.

168. V. Kucera y E. Mattsson, 1974: "Corrosion in Natural Enviroments", ASTM STP 558, p.239.
169. E. Beranek y K. Barton, 1973 Werkstoffe und Korrosion, 24, nº 5, 372.
170. Commission of the European Communities. The Characterization of Corrosion Test Sites in the Community, Luxemburgo, EUR 7433 (EN), 1998.
171. Gilbert, Ayres, "Análisis químico Cuantitativo", 1970, Segunda edición, Harla, México.
172. L. Mariaca R., J. Genescá Ll., J. Uruchurtu Ch., L.S. Hernández., L. Veleva., L. Maldonado. "Corrosividad Atmosférica". (MICAT-MEXICO). Primera Edición, México, D.F., 1999.

ANEXO A

PREPARACIÓN DE LOS PLATOS DE SULFATACION PARA LA EXPOSICIÓN (ISO 9225:1992)

Equipo, material y reactivos utilizados El equipo que se ocupo es una estufa a una temperatura de 40 a 60 °C y un termo-agitador magnético.

El material utilizado fue vasos de precipitados vidrio de reloj, papel filtro y cajas de petri de poliestireno con un diámetro de 8.5 cm

Los reactivos son. dióxido de plomo, goma de tragacanto, acetona y agua destilada.

PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE LOS PLATOS DE SULFATACION.

Se colocó un círculo de papel filtro en la base de la caja de petri de modo que ésta quedo cubierta por completo. Se vertió acetona en cantidad que mojó totalmente el papel filtro de la caja Petri. Presione firmemente el papel con el vidrio de reloj, cuidando que todas las partes del papel sean presionadas sobre la base de la caja, se hizo esto hasta que la acetona se evaporo.

Lave y llene los platos con agua destilada y los deje en reposo durante una hora. En la preparación de las pasta de dióxido de plomo se mantuvo la relación de agua con la goma de tragacanto, que es de 900 ml de agua a 3.5 g de goma. Estas cantidades se mezclaron en un vaso de precipitado en el termo-agitador a una velocidad alta hasta lograr la homogeneización de la mezcla. Disminuí la

velocidad de agitación después de la homogeneización y lo deje que continuará hasta completar dos horas de agitación.

Convertí 3.5 g de papel filtro a pulpa de papel a través del siguiente procedimiento, recorte al papel en trozos chicos y los vertí en una licuadora que contenía agua caliente y los mezcle a una velocidad alta, después lo vacié en un recipiente y evapore el agua hasta que el papel quedará casi seco. A la pulpa obtenida se agrego a 350 ml de la mezcla anterior (la mezcla restante se almacenó). Agité hasta lograr una mezcla suave y uniforme. Agregué 112 g de dióxido de plomo, aumentando la velocidad de agitación.

En los platos que se prepararon inicialmente, se vaciaron 16 ml de la mezcla anterior, extendiéndola hasta la orilla de cada plato. Después de esta operación, coloqué los platos (destapados) en una mufla a una temperatura de 40-50 °C por un tiempo de 20 horas. Los platos que no se utilizaron en ese momento se taparon perfectamente bien.

EXPOSICIÓN A LA ATMÓSFERA DE LOS PLATOS DE SULFATACIÓN

Se utilizó un soporte para exponer los platos, los cuales están en una posición tal que la pasta de dióxido de plomo queda hacia abajo. Están en forma horizontal y no son obstruidos por el viento normal ni por la circulación de corrientes de aire. El soporte es de aluminio como se ve en la figura .

El periodo de exposición seguimos la recomendación de la norma ISO 9225() es de 30 ± 2 días. Los platos pueden ser expuestos durante los 120 días posteriores a su preparación. Cuando concluía su período de exposición (30 días), los cubría perfectamente y su análisis se llevaba a cabo por el grupo de investigación de contaminantes atmosféricos dentro de los 15 días siguientes.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS PLATOS DE SULFATACIÓN.

El contenido de sulfato del plato es removido y precipitado usando una solución de carbonato de sodio. Después el sulfato es precipitado con cloruro de bario, y su concentración se determina por medio de turbidimetría.

Reactivos utilizados: Solución de carbonato de sodio 5%: se disolvió 50 g de Na_2CO_3 anhidro en un litro de agua.

Solución de ácido clorhídrico 0.7 M: se diluyeron 60 ml de ácido clorhídrico concentrado en un litro de agua.

Solución de sulfato de sodio: se disolvió 0.740 g de Na_2SO_4 anhidro y se aforo a un volumen de un litro.

Cloruro de bario grado reactivo ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Agua destilada.

Análisis. Se desprendió con una espátula el dióxido de plomo del plato y se vació a un vaso de precipitados. Se adicionó 20 ml de solución de carbonato de sodio y se agitó. Se dejó reposar (reaccionar) durante aproximadamente tres horas, agitándolo ocasionalmente.

Ya que pasaron las tres horas se sometió a un baño maría durante 30 minutos. Se enfrió y ajustó a un volumen de 50 ml con agua destilada.

Se filtro la solución en un papel filtro Whatman número 42. A 10 ml de esta solución se adicionó 5 ml de ácido clorhídrico hasta que se obtuvo un pH de 3.5.

Se vació una alícuota de 5 ml de la solución de pH 3.5 a un tubo de ensayo y se adicionó agua hasta completar un volumen de 20 ml. Agregue aproximadamente 0.3 g de cloruro de bario, agite vigorosamente y deje reposar durante 3 minutos y medio. Se efectuó la medida turbidimétrica en un espectrofotómetro marca Perkin Elmer con una longitud de onda de 500 nm. Con la medida de la turbidez obtenemos los gramos de sulfato a partir de nuestra curva de calibración.

Se realizó el análisis de un plato no expuesto de la misma manera que el de los platos expuestos.

Curva de Calibración. En una matraz volumétrico de 100 ml se diluye 10 ml de solución estándar de sulfato. Se pipetea los siguientes volúmenes de la solución anterior a tubos de ensayo: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 ml. Se diluye con agua cada tubo hasta un volumen de 20 ml. Se agrega a cada tubo 0.3 g de cloruro de bario, se mezcla vigorosamente y se deja reposar antes de hacer la medida turbidimétrica a cada tubo.

Se hace una gráfica de la densidad óptica contra el contenido de sulfato correspondiente a: 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 μg .

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS

La velocidad de depósito de dióxido de plomo se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$R = \frac{(S - S_B) * 16.67}{1000at}$$

donde:

S = Contenido de sulfato en un plato expuesto (μg). Dato correcto de la curva de calibración.

S_B = Contenido de sulfato en un plato no expuesto (μg). Dato directo de la curva de calibración.

a = Área del plato expuesto (m^2). En este caso es de $a = \frac{3.1416(8.5 \times 10^{-2})^2}{4}$

$a = 5.67 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

t = Tiempo de exposición (días). En este caso es de 30 días o 31 días dependiendo el mes de exposición.

R= Velocidad de deposición de SO₂ (mg/m²día).

CURVA DE CALIBRACIÓN

La curva de calibración que se presenta en la figura se construyó a partir de los siguientes valores(tabla):

Tabla . Valores de absorbancia para diferentes concentraciones.

C (µg SO ₄)	A
50	0.035
100	0.055
150	0.065
200	0.07
250	0.075
300	0.078
350	0.08

DATOS OBTENIDOS DEL ANALISIS QUIMICO DE LOS PLATOS DE SULFATACION

Los datos obtenidos en los platos de sulfatación en los diferentes meses se presenta en la tabla :

Mes	Días	R($\mu\text{gSO}_2/\text{m}^2\text{día}$)
Noviembre 2000	30	20
Diciembre 2000	31	22
Enero 2001	31	18
Febrero 2001	28	16
Marzo 2001	31	15
Abril 2001	30	16
Mayo 2001	31	12
Junio 2001	30	13
Julio 2001	31	11
Agosto 2001	31	14
Septiembre 2001	30	16
Octubre 2001	31	18

DETERMINACION DE CLORUROS (ISO 9225:1992)

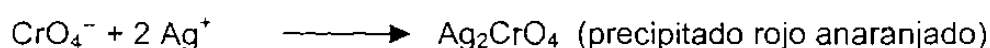
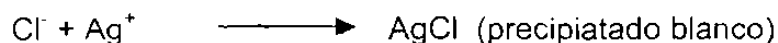
Dispositivo en la probeta en ángulo de acero inoxidable o "teja".
Consistió en una probeta en ángulo de acero inoxidable, una chapa de medidas 20 * 30 cm, se fijo en el pupitre en el cual se encontraron las probetas metálicas,

que recoge el agua de lluvia y mediante un tubo de goma apropiado la transporta al interior de una botella de plástico.

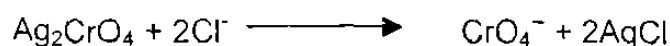
Mensualmente se valoro químicamente los cloruros presentes en la muestra recogida de agua. El método utilizado fue la norma DIN 50907-1952, para la determinación de cloruros en una atmósfera marina, según esta norma la teja debe estar orientada al sur, con una inclinación de 45 grados y situada a unos 50 centímetros del suelo. Diariamente se realizó la inspección visual el lavado de la "teja" con agua destilada (libre de cloruros), y cada mes se recogió el contenido de los depósitos.

Para el análisis de cloruros se utilizó el método de Mohr⁽¹⁷¹⁾.

Método de Mohr: Indicador cromato. El punto final en este método está determinado por la primera formación de un precipitado rojo anaranjado de cromato de plata que aparece cuando la precipitación de cloruro de plata es completa; el indicador es una disolución de cromato potásico.



El cloruro de plata es menos soluble que el cromato de plata: este último no puede formarse de forma permanente en la mezcla hasta que la precipitación del ion cloruro con forma de cloruro de plata haya reducido la concentración de ion cloruro a un valor muy pequeño. Cualquier proporción de cromato de plata que se forme temporalmente, debido a un exceso local de ion de plata al ir añadiendo el reactivo valorante a la mezcla, se transforma por reacción con el cloruro de la disolución en cloruro de plata:



A partir de los productos de solubilidad del AgCl y del Ag₂CrO₄ es posible calcular la concentración de ion cromato que hará aparecer el punto final en el punto estequiométrico de la reacción de valoración. Ya se ha dicho que en el punto estequiométrico la concentración de iones de plata es igual al de iones cloruro y esto es igual a 1.34 X 10⁻⁵. Para el cromato de plata,

$$K_{ps} = [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}] = 1.3 \times 10^{-12}$$

La [CrO₄²⁻] en equilibrio con Ag⁺ 1.34 X 10⁻⁵ M viene dada por

$$[CrO_4^{2-}] = K_{ps}/[Ag^+]^2 = 1.3 \times 10^{-12}/(1.34 \times 10^{-5})^2 = 7.2 \times 10^{-3}$$

Según estos cálculos, la concentración de ion cromato debe ser ligeramente superior a 0.007 M para que se forme Ag₂CrO₄ en el punto estequiométrico de la valoración de cloruro con ion plata. En la práctica, se toma una concentración de cromato 0.005 M. La [Ag⁺] en equilibrio con esta concentración de cromato es 1.6 X 10⁻⁵, cantidad que satura exactamente la disolución de cromato de plata y se necesita una débil concentración adicional de ion plata para dar lugar a la precipitación de una cantidad visible de cromato de plata rojo anaranjado. El punto final se presenta, pues, inmediatamente después del punto estequiométrico de la precipitación del cloruro. Un ensayo en blanco con el indicador, en ausencia de cloruro, indica la corrección que debe aplicarse a los resultados de la valoración. La corrección es insignificante si se utiliza en la valoración disolución 0.1 N, pero es importante si la concentración es 0.01 N o inferior.

Si se utiliza el método de Mohr no sólo para la determinación de cantidades relativamente grandes de cloruro en disolución, sino para cantidades pequeñas, como las obtenidas en el agua, en cuyo análisis se utiliza profusamente. El punto final de la determinación es mucho más pronunciado si se opera bajo luz amarilla; la disolución d cromato aparece entonces prácticamente incolora y se observa perfectamente la primera aparición de precipitado rojo anaranjado.

El método de Mohr es aplicable solo a disoluciones con pH comprendido entre 7 y 10. La primera ionización del ácido crómico, H_2CrO_4 , es fuerte, pero la segunda es débil, $K_2 = 3.2 \times 10^{-7}$. En disolución ácida, la concentración del ion cromato disminuye por reaccionar con los iones hidrógenos:



Y el cromato de plata no precipita hasta que se haya añadido ion plata en gran exceso respecto a la cantidad estequiométrica para la precipitación del cloruro. La precipitación de cromato de plata se puede impedir por completo con suficiente ácido. Si la disolución a valorar estuviese alcalina, podría precipitar hidróxido de plata ($K_{ps} = 2.6 \times 10^{-8}$) antes que el cromato de plata.

ANEXO B

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES CLIMÁTICOS

LA HUMEDAD RELATIVA EN %
TEMPERATURA EN GRADOS CENTÍGRADOS
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS EN KM/HR

NOVIEMBRE

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	80.46	5.38	72	91	19
TEMPERATURA	26.29	1.88	21.5	29.6	8.1
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	1.43	0.62	0.6	3.6	3.0

DICIEMBRE

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	81.58	5.54	74	93	19
TEMPERATURA	23.09	2.18	19	27	8
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	1.55	0.69	0.5	3.3	2.8

ENERO

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	81.06	5.3	70	91	21
TEMPERATURA	22.57	2.03	18	26.4	8.4
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	1.45	0.55	2.8	0.7	2.1

FEBRERO

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	88.16	5.4	80	96	16
TEMPERATURA	25.1	2.78	22	31	9
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	1.9	0.78	0.5	2.75	2.25

MARZO

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	69	5.8	63	83	20
TEMPERATURA	27.4	2.62	25	37	12
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	2.0	0.5	1.2	2.4	1.2

ABRIL

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	68	5.6	62	82	20
TEMPERATURA	28.4	2.75	26	37	11
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	1.9	0.6	1.1	2.4	1.3

MAYO

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	76	5.4	70	88	18
TEMPERATURA	28.0	2.85	25	35	10
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	1.1	0.6	0.7	1.9	1.2

JUNIO

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	72	5.6	68	86	18
TEMPERATURA	29.1	2.75	25	37	12
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	1.8	0.5	1.1	2.1	1.0

JULIO

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	74	5.6	69	87	18
TEMPERATURA	28.5	2.8	24	32	8
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	1.5	0.7	0.8	2.1	1.3

AGOSTO

	PROMEDIO	DESV ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	77	5.2	71	91	20
TEMPERATURA	28.3	2.9	25	35	10
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	1.5	0.6	0.9	2.1	1.2

SEPTIEMBRE

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	82	5.2	74	94	20
TEMPERATURA	27.3	2.6	24	32	8
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	0.8	0.5	0.5	1.4	0.9

OCTUBRE

	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MINIMO	MAXIMO	RANGO
HUMEDAD RELATIVA	81	5.9	73	92	19
TEMPERATURA	26.3	2.5	22	29	7
VELOCIDAD DE LOS VIENTOS	0.7	0.4	0.3	1.5	1.2

ANEXO C

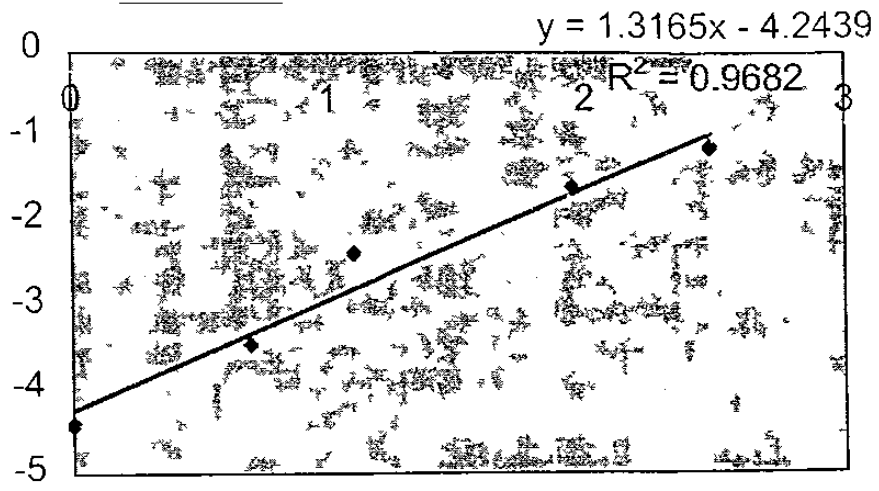
ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN

$$C = At^n$$

$$\ln C = \ln A + n \ln t$$

Se utilizo el paquete comercial Excel para obtener la recta de regresión.

mes	Velocidad de corrosion	Int	C pérdida de masa	LnC
1	22.86	0	0.0118	-4.43965575
1	24.12	0	0.0124	-4.39005881
2	30.51	0.69314718	0.0315	-3.45776773
2	31.19	0.69314718	0.0322	-3.43578883
3	61.02	1.09861229	0.0945	-2.35915544
3	59.08	1.09861229	0.0915	-2.39141631
7	56.4	1.94591015	0.2038	-1.59061616
7	55.76	1.94591015	0.2015	-1.6019659
12	52.78	2.48490665	0.3315	-1.10412747
12	52.29	2.48490665	0.3284	-1.1135229
12	50.78	2.48490665	0.3189	-1.1428777



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Elementos de una pila galvánica	7
Figura 1.2 Diagrama de Pourbaix del Hierro	12
Figura 2.1 Representaciones típicas de la variación de la corriente de corrosión (pila bimetálica) durante el ciclo de secado posterior a una precipitación de lluvia	18
Figura 2.2 Variación de la salinidad con la distancia a la costa. Datos medios de 29 lugares	25
Figura 5.1 Isotermas de adsorción de H ₂ O en α -Fe ₂ O ₃ a 5°C, 15°C y 25°C.	57
Figura 5.2 Diagrama de potencial-pH para el sistema Fe-H ₂ O a 25°C, para una concentración de iones de hierro de 0.1 M.	59
Figura 5.3 Un diagrama esquemático para los "nidos de sulfatos y las celdas de corrosión" a través del proceso de corrosión del hierro y acero	65
Figura 6.1 Probetas de los materiales utilizados en el estudio (acero 1006 sin alear, zinc, cobre, aluminio 7075, latón) antes de iniciar su exposición a la atmósfera junto con el plato de sulfato utilizado para la medición de SO ₂	72
Figura 6.2. Pupitre de aluminio antes de ser llevado al lugar de estudio, en el se muestran ya las probetas de los metales de estudio	74
Figura 6.3. El pupitre está orientado hacia el sur debido a que estamos en el hemisferio norte y se obtiene la máxima exposición al sol	75
Figura 6.4 Estación meteorológica (Comisión Nacional del Agua)	77
	151

localizada en San Nicolás de los Garza Nuevo León.

Figura 6 5. Estación meteorológica (Comisión Nacional del Agua)
localizada en Villahermosa, Tabasco. 77

Figura 7 1. Metalografía del acero 1006 atacada con nital donde nos
muestra las fases de ferrita con cementita dispersa, aumento 400 X. 86

Figura 7 2. Imagen de las inclusiones no metálicas de la probeta
utilizada en el estudio a 1000 aumentos tomada a través
del Microscopio electrónico de barrido. 87

Figura 7.3. Análisis químico cualitativo de las inclusiones no metálicas
de la probeta de acero 1006, donde se aprecia elementos que la
constituyen como el Aluminio, Calcio y Magnesio. 87

Figura 7 4 Probeta después de seis meses de exposición utilizada
en la estación de Huapinol, Parrilla, Tabasco 99

Figura 7.5. Probetas corroídas después de seis meses de
exposición de la estación de San Nicolás de los Garza, Nuevo León 100

Figura 7.6 Identificación de los productos de corrosión de las
probetas de acero expuestas seis meses en las estaciones de
Nuevo León, por medio de la técnica de DRX 105

Figura 7 7 Formaciones típicas de Goetita entre los productos
de corrosión del acero¹⁶¹(4000 aumentos) 106

Figura 7 8. Formaciones típicas de Lepidocrocita entre los productos
de corrosión atmosférica del acero¹⁶¹ Imagen a 2500 aumentos 107

Figura 7.9. Inicio de la corrosión en una inclusión en una de las probetas de acero expuesta en San Nicolás de los Garza, Nuevo León a 1500 aumentos.	108
Figura 7.10. Análisis químico cualitativo de la figura 10, donde se observa la presencia de S, O, Ca, Fe.	109
Figura 7.11. Nido de sulfatación en probetas expuestas en San Nicolás de los Garza Nuevo León, a 2000 aumentos, después de seis meses de exposición al ambiente.	110
Figura 7.12. Análisis químico del nido de sulfatación (figura 7.11), donde se observa los elementos Fe, S, O, Ca	111
Figura 7.13. Nido de sulfatación en probetas expuestas en San Nicolás de los Garza, Nuevo León, a 2000 aumentos, después de un mes de exposición al ambiente	111
Figura 7.14. Análisis químico del nido de sulfatación de la figura 7.13, donde se observa los elementos Fe, S, O.	112
Figura 7.15. Nido de sulfatación reventado, de la probeta de acero expuesta seis meses al medio ambiente de San Nicolás de los Garza, Nuevo León.	112
Figura 7.16. Análisis químico del nido de sulfatación de la figura 7.15, donde se observa los elementos Fe, S, O, Ca.	113
Figura 7.17. Superficie de acero recubierta de pequeñas esferitas. Tomada con el microscopio electrónico de barrido a 500 aumentos.	114

Figura 7 18. Superficie de acero recubierta de pequeñas y se observa a su alrededor ampollas nuevas que van creciendo. Tomada con el Microscopio Electrónico de Barrido a 500 aumentos. 114

Figura 7.19. Presencia del producto de corrosión magnetita la cual presenta una estructura de espinel defectuoso, en las probetas de acero después de seis meses de exposición en la estación de San Nicolás de los Garza, Nuevo León Tomada con el Microscopio Electrónico de Barrido a 2500 aumentos. 115

Figura 7 20 Producto de corrosión del acero fracturado y apunto de exfoliarse, después de seis meses de exposición en la estación de San Nicolás de los Garza, Nuevo León. Tomada con el Microscopio Electrónico de Barrido a 2500 aumentos. 116

Figura 7.21. Goetita y Lepidocrocita fracturada y apunto de exfoliarse de la probeta de acero localizada en la estación de San Nicolás de los Garza, Nuevo León después de seis meses de exposición. Tomada con el Microscopio Electrónico de Barrido a 3000 aumentos 116

Figura 7.22. Se muestra en este producto de corrosión del acero de la probeta después de seis meses de exposición en San Nicoiás de los Garza, Nuevo León la existencia de Lepidocrocita, Goetita y Akaganetita. Tomada con el microscopio Electrónico de Barrido a 3000 aumentos. 117

Figura 7 23. Se muestra las dos capas de corrosión del acero, la interior más compacta y adherida y la externa frágil y poco adherida. Tomada con el Microscopio Electrónico de Barrido a

1000 aumentos. 118

Figura 7.24 En esta metalografía a 200 aumentos tratada con nital al 5%, nos muestra como se comunican las picaduras formadas después de seis meses de exposición a través de las fronteras de grano, dando con esto un ataque intergranular, seguido de un ataque a la fase ferrita provocando picaduras profundas y de gran tamaño. 119

Figura 7.25 Picaduras formadas en el acero 1006 después de seis meses de exposición, se pulió hasta acabado espejo. Las cuales nos muestran un ataque preferencial. 119

Figura 7.26 Muestra de la profundidad y tamaño de una de las picaduras formadas en el acero después de seis meses de exposición. Tamaño a 400 aumentos. 120

Figura 7.27 Corte transversal del acero después de seis meses de exposición, en la cual nos muestra que a largos periodos de tiempo se nota un ataque generalizado. Tomada a 100 aumentos 120

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 1 Serie galvánica para agua de mar	10
Tabla 2 1 Relación entre el espesor de la capa de humedad y la velocidad de corrosión	20
Tabla 3 1 Efecto del clima en la corrosión atmosférica.	30
Tabla 3 2. Clasificación climática de México según Koppen	31
Tabla 4.1 Clasificación del tiempo de humectación de superficies Metálicas	40
Tabla 4 2 Clasificación de la contaminación por el nivel de SO ₂	40
Tabla 4 3 Clasificación de la contaminación por el nivel de Cl	40
Tabla 4.4 Acero al carbono	41
Tabla 4 5 Cinc y Cobre	41
Tabla 4 6 Aluminio	41
Tabla 4 7 Categorías de la agresividad de la atmósfera en los diferentes metales	42
Tabla 4 8 Clasificación del nivel de corrosividad según el índice de Brooks	43
Tabla 4 9 Valores guía para la estimación de la corrosión	

Atmosférica a lo largo plazo ⁴¹⁾ según ISO 9224	48
Tabla 4 10 Posibles valores del exponente n para diferentes materiales y tipos de atmósferas	49
Tabla 5.1. Minerales que contienen hierro y algunas sustancias cristalinas con posible relevancia en la corrosión del hierro.	55
Tabla 5.2 Solubilidades en agua fría de distintos compuestos de hierro que suelen estar presentes entre los productos de corrosión atmosférica del acero al carbono.	62
Tabla 6.1 Medidas de las probetas expuestas en la estación de San Nicolás de las Garza, N. L. en Ciudad Universitaria, al norte de la Ciudad.	70
Tabla 6 2 Medidas de las probetas expuestas en la estación de Monterrey. Nuevo León, al poniente de la Ciudad.	71
Tabla 6.3. Medidas de las probetas expuestas en la estación de Huapinol, Parrilla en Villahermosa, Tabasco, norte de la Ciudad	72
Tabla 6 4 Componentes básicos de las estaciones de ensayo	76
Tabla 6 5. Factores de conversión para el cálculo de velocidades de corrosión de acuerdo a la ecuación(6 2).	80
Tabla 7 1. Muestra la composición química del acero utilizado en el estudio	85
Tabla 7 2 Tiempos de humectación en la estación ubicada en	

Huapinol. Parrilla, Tabasco.	88
Tabla 7 3. Tiempos de humectación de las estaciones ubicada en Nuevo León.	89
Tabla 7 4. Datos climáticos de la estación de Huapinol, Parrilla, Tabasco.	90
Tabla 7 5. Datos climáticos de la estación de San Nicolás de los Garza Nuevo León.	91
Tabla 7.6. Número de días que llovió en Huapinol, Parrilla, Tabasco, se considera como día lluvioso mas de 1 mm de agua en el día.	92
Tabla 7 7. Medidas de los contaminantes en la estación de Huapinol, Parrilla, Tabasco	95
Tabla 7 8 Medida de los contaminantes en la estación de San Nicolas de los Garza Nuevo León	96
Tabla 7 9 Medida de los contaminantes en la estación de Monterrey, Nuevo León	96
Tabla 7 10. Clasificación de las atmósferas según el tiempo de humectación.	97
Tabla 7 11 Clasificación de las atmosferas según el contaminante CF	97
Tabla 7 12 Clasificación de las atmósferas según el	

contaminante SO ₂	97
Tabla 7.13. Clasificación de la atmosfera de Huapinol Parrilla. Tabasco según los factores climáticos	98
Tabla 7.14 Resultados de la probetas de acero durante el proceso de limpieza para conocer la pérdida de masa en la estación de Huapinol, parrilla, Tabasco.	101
Tabla 7.15 Resultados de la probetas de acero durante el proceso de limpieza para conocer la pérdida de masa en la estación de San Nicolás de los Garza, Nuevo León	102
Tabla 7.16 Resultados de la probetas de acero durante el proceso de limpieza para conocer la pérdida de masa en la estación de Monterrey Nuevo León.	102
Tabla 7.17 Clasificación de las atmósferas según la velocidad de corrosión.	103

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Roberto Carlos Garcés Rodríguez

Candidato para el Grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales

Tesis. "Evaluación de la corrosión atmosférica del acero expuesto en diversas atmósferas"

Roberto Carlos Garcés Rodríguez nació en Iguala, Guerrero el 12 de Abril de 1974. Hijo del Sr. Francisco Garcés Ortega y de la Sra. María de los Angeles Rodríguez Pedrero. radica en Villahermosa Tabasco

Curso sus estudios profesionales en la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, obteniendo el título de Licenciado en Química durante el año 1997

En Febrero de 1998 inicia sus estudios de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales becado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) dentro del Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales (DIMAT) de esta misma facultad

Ha participado en las Olimpiadas de la Ciencia obteniendo el Tercer lugar Nacional de Matemáticas. y mención honorífica nacional de Física recibiendo una invitación para participar en la Olimpiada Internacional de Física Primer lugar Nacional de Ciencia y Tecnología en el año 1991. Mención honorífica del premio estatal a la Juventud del Estado de Tabasco en los años 1998 y 1999. Categratco de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica en el año 1999

