

Corrosión atmosférica en ambientes abrigados en Limón, Costa Rica, en el marco del proyecto TROPICORR

Fecha de recepción: 05/02/2008

Fecha de aceptación: 05/02/2008

Juan Fernando Alvarez¹

Galina Pridybailo²

Se estudia la corrosión atmosférica en ambientes abrigados (INDOOR) en Limón, Puerto en el Atlántico de Costa Rica, de diferentes materiales utilizados en la industria electro-electrónica (acero, cobre, estaño y zinc) y se compara con valores de corrosión en las mismas condiciones en otras zonas.

Palabras clave

Corrosión atmosférica, corrosión materiales electro-electrónicos, proyecto Tropicorr.

Key words

Atmospheric corrosion, corrosion material electro-electronics, Tropicorr project.

Resumen

Se estudia la corrosión atmosférica en ambientes abrigados (INDOOR) en Limón, Puerto en el Atlántico de Costa Rica, de diferentes materiales utilizados en la industria electro-electrónica (acero, cobre, estaño y zinc) y se compara con valores de corrosión en las mismas condiciones en otras zonas. El estudio está en el marco del proyecto internacional denominado TROPICORR del CYTED, en el cual se participa, y que tiene como interés estudiar la corrosión de materiales metálicos utilizados en la industria electro-electrónica

en ambientes tropicales. Las condiciones que afectan a la corrosión atmosférica son: la temperatura, la humedad, el tiempo de humectación (donde la temperatura es mayor a 0 °C y 80% HR) y contaminantes, especialmente cloruros y SO₂. En el caso del presente estudio estos efectos son evidentes en Costa Rica, ubicada en la latitud 10° Norte, y por su ubicación geográfica, entre dos océanos y con una formación montañosa en el centro del país, en donde se encuentran varios volcanes. En Limón, se tienen temperaturas mayores a 0 °C todo el año y humedades elevadas, así como contaminantes de cloruros por estar situado en la costa y además, en la estación del estudio SO₂ por efectos particulares. La metodología de estudio corresponde al tipo 3-4 de la norma ETS y a la norma ISO 85653, y se presentan los resultados obtenidos en tres años de estudio. También se compara tanto para el acero como para el cobre el efecto de ser expuesta las muestras tanto a la intemperie como en condiciones abrigadas.

1. Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Apdo 159-7050. Costa Rica. Correo electrónico: jalvarez@itcr.ac.cr
2. Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Apdo 159-7050. Costa Rica. Correo electrónico: galia@itcr.ac.cr

Abstract

It study the atmospheric corrosion in wrapped environments (INDOOR) in Limón, Port in the Costa Rican Atlantic, of different materials used by electro-electronic industry (steel, copper, tin and zinc), and it compares with corrosion values in the same conditions in other zones. The study is in the framework of an international project named TROPICORR from CYTED, in which participate it, which have like interest to study corrosion of metallic materials used by electro-electronic industry in tropical environments. The conditions that affect atmospheric corrosion are, temperature, humidity, humidity time (where temperature is more than 0°C y 80 %HR) and contaminants, especially chlorides and SO₂. In the case of the present study those effects are obvious in Costa Rica, located in the latitude 10° North, and for its geographic location, between two oceans and a mountain in the country centre, where are various volcanoes. In Limón, it has temperatures more than 0 °C all the year, high humidity, and chloride contaminants because is located in the coast, furthermore in the SO₂ study station by particular effects. The study methodology corresponds to 3-4 type from ETS norm and ISO 85653 norm, and it presented the results obtained in three years of study. Also there is a comparison between copper and steel in outdoor and indoor exposition.

Introducción

La reducción de costos y el aumento de la fiabilidad de los dispositivos electro-electrónicos ha sido una realidad en los últimos años. Para ello se han utilizado nuevos materiales y nuevos procesos de fabricación; sin embargo, los dispositivos electro-electrónicos deben mantener sus características para ser utilizados, no solo en su vida útil para la cual han sido diseñados, sino también deben resistir

la acción del ambiente, tanto al ser almacenados, como al ser transportados¹. El ambiente Iberoamericano presenta características que pueden generar efectos sobre los materiales de estos dispositivos que aun no se han determinado, pero que pueden implicar pérdidas considerables, como ocurre por los efectos de los procesos de corrosión. En este sentido se busca una “tropicalización” para este tipo de materiales y, a la vez, la puesta en marcha de una metodología de estudio ya que, por lo general, este tipo de dispositivos se diseñan para atmósferas típicas del hemisferio norte y por tanto se utilizan normas que satisfacen condiciones muy diferentes a las del trópico, como las dadas por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) o la de Estándares Europeos en Telecomunicaciones (ETS por sus siglas en inglés).

En la literatura se encuentran pocos estudios en donde se analicen materiales tanto en condiciones a la intemperie como en ambientes protegidos y muchos menos en lugares de climas tropicales. Para tener referencia es importante considerar el estudio en cinco estaciones en Cuba, en donde solo se analiza el efecto sobre el cobre. En el cuadro 1 se muestran los resultados para esas cinco estaciones².

Estudios previos de los autores, en el marco de un proyecto internacional denominado MICAT, el cual contemplaba países con climas tropicales, se determinó para Limón la corrosividad atmosférica en condiciones de exposición a la intemperie o no abrigadas (outdoor) para el acero y el cobre, entre otros metales. En el cuadro 2 se muestran estos resultados, los cuales fueron realizados precisamente en la misma zona donde es ubicada la estación para el estudio de corrosión atmosférica en condiciones indoor³.

En el presente estudio se analiza, la corrosividad atmosférica, pero en condiciones abrigadas (indoor), para materiales utilizados en la industria

En la literatura se encuentran pocos estudios en donde se analicen materiales tanto en condiciones a la intemperie como en ambientes protegidos y muchos menos en lugares de climas tropicales.

Cuadro 1. Velocidades de corrosión para el cobre y categoría de corrosividad después de un año de exposición en diferentes estaciones de Cuba (g/m²-año).

Cojimar costera		Casa blanca urbana industrial		Vía Blanca urbana industrial		Santiago V. rural		Guira de M. rural	
Vcorr outdoor (g/m ² -año)	Vcorr indoor (g/m ² -año)	Vcorr outdoor (g/m ² -año)	Vcorr indoor (g/m ² -año)	Vcorr outdoor (g/m ² -año)	Vcorr indoor (g/m ² -año)	Vcorr outdoor (g/m ² -año)	Vcorr indoor (g/m ² -año)	Vcorr outdoor (g/m ² -año)	Vcorr indoor (g/m ² -año)
43.1	27.3	37.7	28.1	32.0	10.8	20.4	8.7	21.2	9.6
C5	C5	C5	C5	C5	C3	C4	C3	C4	C3

Cuadro 2. Velocidades de corrosión (µm/año o g/m²-año) para el acero, cobre, aluminio y zinc y categoría de corrosividad en la estación de Limón.

Acero (µm/año)	Cobre (µm/año)	Aluminio (g/m ² -año)	Ac. Galv. (Zinc) (µm/año)
371.5	3.7	0.86	2.66
>C5	C5	C3	C4

electro-electrónica los cuales son, además, del acero y el cobre, el estaño y el zinc. Lo anterior permite, además, comparar resultados para dos materiales en diferentes formas de exposición.

Con la finalidad de conocer los efectos que influyen en la corrosividad atmosférica y caracterizar perfectamente la estación de Limón, en el presente estudio se presentan datos de temperatura, humedad relativa, tiempo de humectación y contaminantes, tanto cloruros, como sulfatos y pH. Los datos meteorológicos permiten caracterizar el clima de Limón a través de un climatograma que se presenta.

Metodología

En el marco del Proyecto Tropicorr, como parte de un Proyecto CYTED en el subprograma XV corrosión e impacto ambiental en los materiales, es que se estudia el efecto del ambiente de diferentes zonas de Latinoamérica, sobre

los materiales utilizados en la industria electro-electrónica. Esto por cuanto, se utilizan normas como las dadas por la Comisión Electro Técnica Internacional (IEC) o la de Standares Europeos en Telecomunicaciones (ETS) las cuales no consideran ambientes específicos de nuestras regiones, en donde cada vez se utilizan más este tipo de dispositivos en energía, telecomunicaciones, transporte, etc. En el proyecto participan 8 países, entre ellos, Costa Rica, con dos estaciones: Limón y Volcán Poás.

La estación de corrosión donde se colocan las probetas de estudio, presentado en este trabajo, se encuentra ubicada a 150 m de la costa en el Puerto de Limón. Esta se encuentra en la ciudad del mismo nombre, ubicada en la zona atlántica del país. Es la región más húmeda de Costa Rica, debido a la constante entrada de humedad, transportada por el viento alisio desde el Caribe. Las lluvias son abundantes durante todo el año, no existe una estación

La caracterización de la corrosividad atmosférica en condiciones no protegidas, de Limón de cuatro materiales a la intemperie, a saber, acero, cobre, acero galvanizado y aluminio, fue realizada previamente en el estudio denominado MICAT.

seca bien definida. La precipitación se mantiene entre los 100 y 200 mm en los meses menos lluviosos. La temperatura promedio anual oscila entre los 20 y 30 °C y la humedad promedio entre 82 y 90 %³.

Según la clasificación de Köppen, Limón corresponde a un clima Af, selva tropical, y un ambiente marino. En la Figura 1 se muestra el climatograma de Limón, el cual permite caracterizar el grado de severidad del clima. Para esto fueron determinados los valores extremos de temperatura, humedad relativa y absoluta, y las probabilidades de ocurrencia, tanto del 1% como del 10% correspondiente a severidad característica y especial respectivamente, obtenidos con datos de temperatura y humedad relativa promedios tomados durante 5 años con una frecuencia de 4 horas. Del climatograma se desprende la elevada humedad para la región de Limón y la poca variación de la temperatura⁴.

La caracterización de la corrosividad atmosférica en condiciones no protegidas, de Limón de cuatro materiales a la intemperie, a saber, acero, cobre, acero galvanizado y aluminio, fue realizada previamente en el estudio denominado MICAT. El presente estudio permitirá,

comparar tanto para el acero como para el cobre la corrosividad respecto a ambientes protegidos. También, se realizará comparaciones con ambientes marinos, con climas parecidos, para el cobre, en los cuales se tienen elevadas velocidades de corrosión, y que han sido parte de proyectos que han utilizado metodologías similares. En este sentido, se compara con estaciones de Cuba, tanto en ambientes protegidos y no protegidos. Según Corvo y Rocha⁵ las mayores velocidades de corrosión se obtienen en Cojimar, y la relación de las velocidades de corrosión para el cobre entre ambientes indoor y outdoor, oscila entre 0.63 y 0.83, con un valor promedio de 0.71.

Para el estudio de la corrosión en condiciones “indoor”, o en ambientes protegidos con efecto estufa, se aplican las normas ETS, estas clasifican las condiciones ambientales en clases, las cuales representan en forma sistemática los ambientes para un grupo de localidades con propiedades ambientales similares. Para el presente estudio, se considera la norma ETS 300-019-1-0, y la Clase 3-4, que es característica en el interior de armarios metálicos, instalados a la

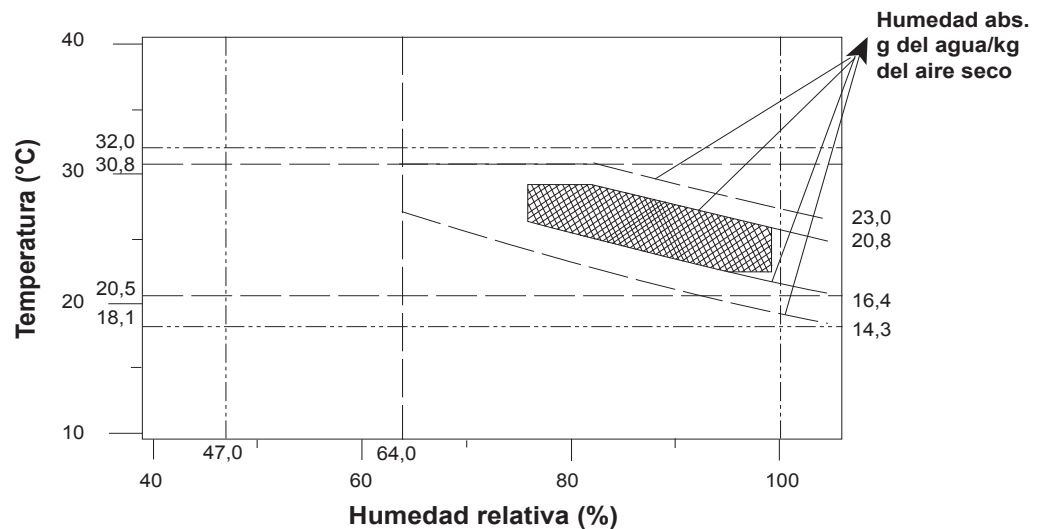


Figura 1. Climatograma de Limón, Costa Rica.

intemperie⁶. De esta manera, se colocan las probetas en una caseta o armario metálico ventilado (Figura 2), para ser recogidas en 1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 meses, según el procedimiento aplicado en el

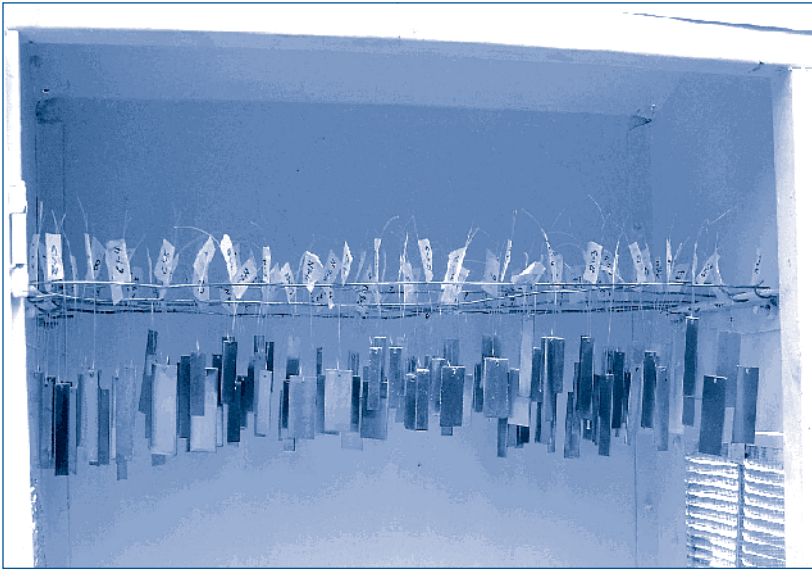


Figura 2. Exposición de probetas en condiciones indoor.

Proyecto Tropicorr^{7,8}.

La velocidad de corrosión se determinó por pérdida de peso y se analizaron las condiciones de temperatura y humedad relativa, así como de contaminantes de cloruros, NO_x , SO_2 , y pH, según las normas ISO, dadas en las referencias. Se estudió el parámetro del tiempo de humectación (TDH) que corresponde al número de horas, en donde la temperatura es mayor a 0°C y la humedad relativa es mayor a 80%.

El estudio se lleva a cabo para un período de ensayo de tres años, en cuatro materiales utilizados en la industria electro-electrónica: cobre, acero de bajo carbono, zinc y estaño. Además, se presentan las cinéticas de corrosión para los tres años del estudio.

Para todos los períodos de exposición, se colocan 3 probetas de cada uno de los materiales. Asimismo, se repiten exposiciones de 6 meses y de 12 meses, con el fin de determinar el efecto que puede existir cuando los materiales se exponen en tiempos diferentes⁹.

Resultados

En el cuadro 3, se muestra resultados de contaminantes, pH y tiempo de humectación para Limón.

En el cuadro 4, se muestra la velocidad de corrosión de las probetas estudiadas en condiciones abrigadas (indoor) en

Cuadro 3. Contaminantes, pH y TDH en la estación de Limón.

Nox (mg/m ² -d)		SO ₂ (mg/m ² -d)		Cl ⁻ (mg/m ² -d)		pH Outdoor	TDH Outdoor
Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor		
78,5	93,9	66,4	103,1	51,4	284,2	4,35	0,763

Cuadro 4. Velocidades de corrosión en estación de Limón, con probetas expuestas en condiciones abrigadas (mg/m²-día).

Meses	Acero	Cobre	Níquel	Estaño
1	856,79	0,00	15,68	78,93
2	437,65	208,55	8,56	46,67
3	342,98	189,61	4,40	46,98
6	726,49	91,51	4,99	48,79
12	712,15	55,67	4,59	56,00
24	821,23	74,01	2,22	60,50
36	773,48	42,92	2,33	61,82

la estación de Limón. Los resultados corresponden a valores promedios, por cuanto el estudio se hace por triplicado y corresponde a los 3 años del estudio. Los valores para seis meses y un año, corresponde a valores promedios; para esto se hicieron series en diferentes tiempos, durante el estudio.

De los valores mostrados en el Cuadro 4 correspondientes a condiciones “indoor”, solo el acero y el cobre se pueden comparar con los valores a la intemperie (“outdoor”) mostrados previamente en la tabla 2, haciendo las respectivas conversiones de unidades. Para el acero, en condiciones “outdoor”, corresponde 371.5 μ/año, que implica 2893 g/m²-año u 8010 mg/m²-día, lo cual excede a la categoría 5. En condiciones “indoor”, el valor para un año es 712.15 mg/m²-día (259.88 g/m²-año), lo cual corresponde a una corrosividad C3, similar a lo que ocurre a dos y tres años. Esto demuestra que, dentro de la caseta, la corrosividad para el acero, es mucho menor que fuera de ella. En Limón, dentro de la caseta, la cantidad de cloruros es mucho menor, como se puede observar en la tabla 3, lo cual hace que el efecto de contaminación sea mucho menor. Además, debido a las temperaturas de Limón, se tiene que el efecto de tiempo de humectación dentro de la caseta debe ser menor pues dentro de esta la temperatura

es mayor con respecto al exterior y, por lo tanto, esta hace que se seque la superficie de los materiales expuestos, con la lógica disminución de los períodos de humectación. Esto, sumado al efecto de menor cantidad de contaminación, sobre todo de cloruros, genera las menores velocidades de corrosión.

Para el caso del cobre, en condiciones a la intemperie según tabla 2, se tiene una velocidad de corrosión de 3.7 μ/año, que implica 33.15 g/m²-año u 90.83 mg/m²-día, mientras que para un año de exposición en condiciones “indoor”, según la tabla 4, la velocidad de corrosión corresponde a 20.31 g/m²-año, que implica una categoría de corrosividad C4. La relación entre velocidades de corrosión para el cobre en condiciones “outdoor” respecto a “indoor” para un año de exposición en Limón sería 1.6, valor congruente con lo descrito en la tabla 1, para la estación costera de Cojimar, en Cuba. Las consideraciones indicadas para la corrosión del acero, se aplican para el cobre dentro de la caseta, por lo tanto, el efecto de contaminantes es menor, al igual que el tiempo de humectación.

En las Figura 3 se muestran las cinéticas de corrosión del acero, cobre, níquel y estaño en las condiciones indoor. En todas ellas se puede apreciar un aumento elevado de la corrosión en los primeros meses de estudio (1 o 2 meses) que decaen, posteriormente.

La corrosividad para el acero es C3 (547 mg/m²-día - 1095 mg/m²-día), posterior a los primeros 6 meses de exposición, y se mantiene prácticamente constante. Los productos de corrosión son porosos y no son adherentes a la superficie del material base.

Para el cobre, en los tres primeros meses, las velocidades de corrosión son muy elevadas. Posteriormente existe una pasivación y se mantiene relativamente constante. Al observar en Limón la coloración de los productos de corrosión de cobre, se supone, que es la típica del óxido cuproso (Cu₂O).

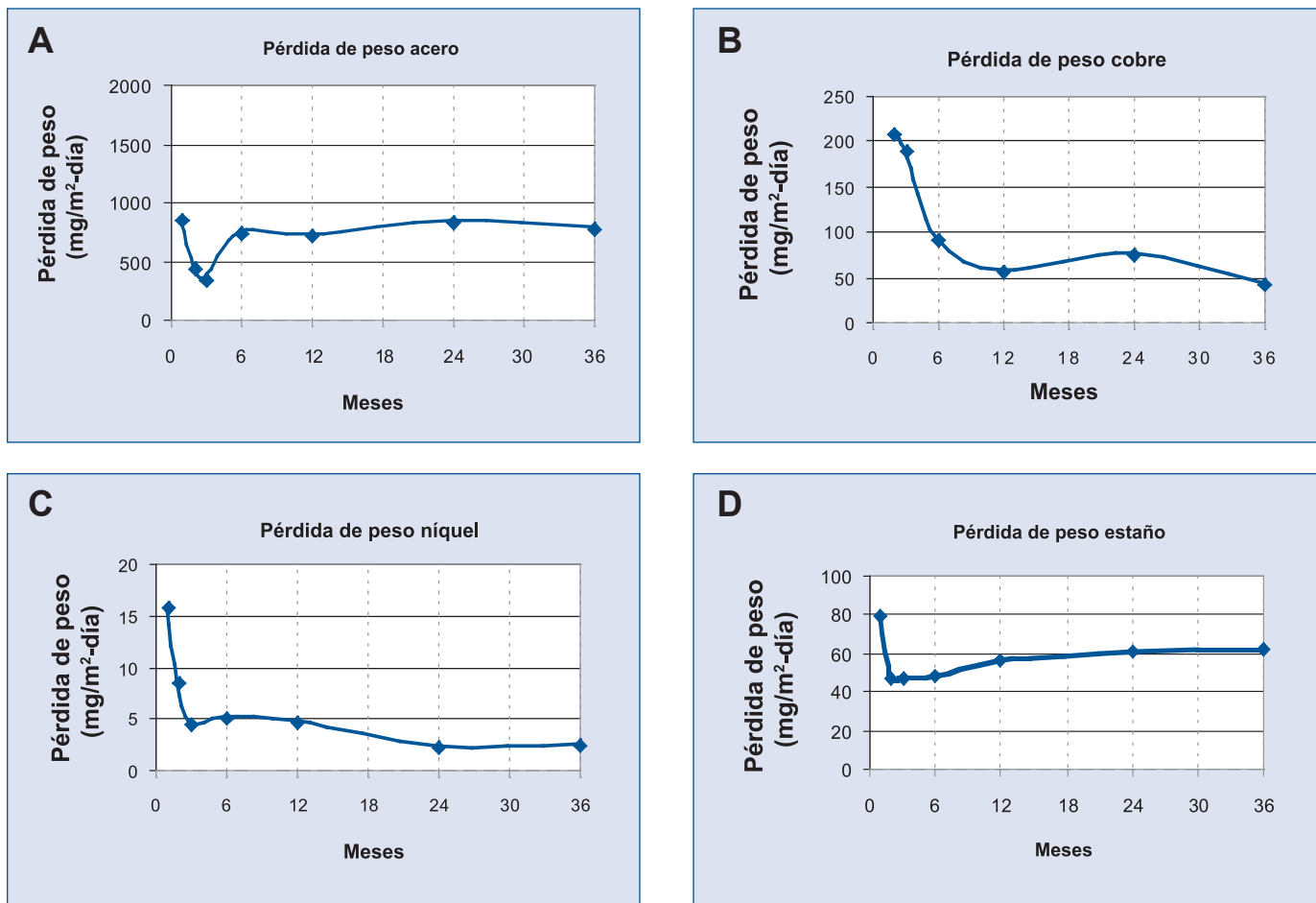


Figura 3. Cinéticas de corrosión para a) acero, b) cobre, c) níquel y d) estaño; en condiciones indoor en Limón.

La cinética de la corrosividad del níquel en Limón muestra, en los primeros dos meses, una corrosión muy elevada, luego disminuye debido a que los productos de corrosión generan una capa densa, que pasiva el fenómeno, y luego de los doce meses, la cinética muestra una disminución en la velocidad de corrosión, llegando a valores del orden de 2.38 mg/m²-día. Los productos de corrosión del níquel en Limón son de color café negruzco, y pueden relacionarse con Ni(OH)₃ o una combinación con NiO, el cual también es de color oscuro.

El estaño tiene un comportamiento similar, el primer mes una elevada corrosividad, que disminuye, posteriormente, debido

a una pasivación, la cual se mantiene los primeros 6 meses y, posteriormente, aumenta la velocidad, hasta llegar a un valor relativamente constante, alrededor de los 60 mg/m²-día. Al observar los productos de corrosión del estaño sobre la superficie del metal, se aprecia que estos cubren parcialmente dicha superficie.

Conclusiones

La cinética de corrosión de los cuatro materiales estudiados inicia con valores elevados, disminuyendo posteriormente debido a un proceso de pasivación.

Tanto para el acero como para el cobre, la velocidad de corrosión es menor en

condiciones indoor, respecto a condiciones outdoor.

El efecto de encontrarse en condiciones outdoor, para el acero, es muy significativo; su corrosión es muy elevada, respecto a permanecer en condiciones indoor; mientras que para el cobre, esta diferencia no es tan significativa y concuerda con resultados obtenidos en otras zonas de ambientes parecidos, como es en Cojimar, Cuba.

El efecto de la presencia de menor cantidad de los contaminantes (Cl^- , SO_2 y NO_x) junto a un menor tiempo de humectación en ambiente indoor respecto a un ambiente outdoor, contribuye fuertemente en la menor velocidad de corrosión en dichos ambientes.

Agradecimientos

Al ITCR, tanto a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y a la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, por el apoyo financiero en esta investigación y en especial a la técnica Floribeth Madrigal por su colaboración y apoyo.

Al Lic. Jorge Herrera de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional.

Al CYTED en su subprograma XV, y a todos los colaboradores del proyecto TROPICORR en especial al MSc. José Rocha, coordinador, por facilitar las probetas del estudio y a la Dra. Idalina Aoki por contribuir en el estudio del climatograma para Limón.

Notas

1. Rocha Andrade da Silva, José; et al; Tropicorr project - effects of tropical environments on electro-electronic products. Workshop atmospheric corrosion. 27/09-01/10. Cartagena de Indias, Colombia. 2004.
2. Corvo, F; Rocha, J; Characterization of environments and their influences on copper corrosion at different atmospheres and exposure conditions in tropical climates. 15th International Corrosion Congress. ICC; 09/2002. Spain.
3. Morcillo, M; et al; Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Ibero América; CYTED; Madrid, España; 1998.
4. Aoki, I. V.; et al; Climatograma de la región tropical de Limón, Costa Rica, según la Norma ETS; Latincorr 2003. Santiago, Chile.