

Influencia de diferentes factores ambientales en la corrosión de metales que se emplean en la construcción de equipos electro electrónicos en Cuba

Yarelys Martín, Francisco Corvo,* Abel Castañeda, Cecilia Valdés, Eva González, Julia Pérez y Carmen Portilla.

Grupo de Protección de Materiales y Corrosión, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y Calle 158, Apartado Postal 6414, Playa, Ciudad de La Habana. Correo electrónico: yarelys.martin@cnic.edu.cu. *Instituto de Materiales y Reactivos, Universidad de la Habana, Cuba.

Recibido: 23 de junio de 2006. Aceptado: 5 de enero de 2007.

Palabras clave: clima tropical, corrosión, tiempo de humectación, agresividad corrosiva.
Key words: tropical climate, corrosion, time of wetness, corrosive aggressiveness.

RESUMEN. El buen desempeño de los equipos electro electrónicos depende de su capacidad de soportar la agresividad ambiental en cada una de las etapas de su vida útil. La tecnología actual está adaptada para soportar mejor las condiciones del clima templado, pero en la región latinoamericana existen condiciones climáticas típicas, más bien de carácter tropical, como es el caso de Cuba, que afectan considerablemente su buen funcionamiento e inducen el fenómeno de la corrosión en ella. Este trabajo se enmarca dentro del proyecto *Efectos de los Ambientes Tropicales sobre Productos Electro electrónicos* (TROPICORR) apoyado por el programa internacional Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Para esto, se escogieron en Cuba tres sitios de exposición de diferentes ambientes corrosivos, dos en Ciudad de La Habana, y uno en la provincia de La Habana, en los cuales se ha determinado entre otros factores, la humedad, temperatura y contaminantes del aire y calculado el tiempo de humectación y la velocidad de corrosión. Además, este trabajo se llevó a cabo con el objetivo de estudiar la influencia de esos factores en la aceleración del proceso corrosivo en diferentes materiales metálicos (acero, cobre, níquel y estaño) utilizados en la fabricación de esos equipos. Los resultados permitieron concluir que los factores que más influyen en el deterioro de esos metales durante un año de exposición, bajo las condiciones en que se realizaron los ensayos de corrosión atmosférica, son los tiempos físico y de humectación, así como el material particulado y además permiten predecir que son a su vez, los que más deben influir en el decrecimiento de la vida útil de los equipos electro electrónicos constituidos con ellos. También se comprobó que el acero y el cobre resultan los metales más activos bajo tales condiciones y comparativamente entre sí, el acero mucho más que el cobre.

ABSTRACT. The good performance of electro electronic products depends on their capacity to support the environmental aggressiveness of each of the stages of its useful life. Most of the current technology is adapted to bear the conditions of the temperature climate, but in the Latin American region there are typical conditions, mainly of tropical nature, as in the case of Cuba, that considerably affects the good operation of the electro electronic equipment. This work is framed within the project "Effects of Tropical Atmospheres on Electro electronic Products" (TROPICORR) and supported by the Program International Science and Technology for the Development. For this, three places of exhibition of different corrosive atmospheres where chosen in Cuba, two in Havana City, and one in Havana Province, in which determined among other factors, the humidity, temperature and pollutants of the air has been determined and the time of wetness and the corrosion rate have been calculated. This work was carried out with the objective of studying the influence of those factors in the acceleration of the cor-

rosive process in different metallic materials (I steel, copper, nickel and tin) used in the production of those equipments. The results allowed to conclude the factors that influence the most in the deterioration of those metals during a year of exposition, under the conditions that atmospheric corrosion research was carried out are physical time and time of wetness as well as the setting dust and therefore to allow to predict more influences on decrease of useful life of electro electronic equipment constituted with them. The steel and the copper are the most active metals under such conditions and comparatively among themselves, the steel much more than the copper.

INTRODUCCIÓN

Los productos electro electrónicos deben ser diseñados con un elevado nivel de confiabilidad, que implica a su vez, su buen desempeño, una buena calidad del producto, así como un tiempo de vida útil relativamente prolongado, sin dejar a un lado la utilización de nuevos materiales y componentes electrónicos capaces de contribuir a su conservación.¹

Con la incorporación de estos productos electro electrónicos en casi todos los sectores de la vida, ellos se pueden encontrar expuestos a las más variables condiciones ambientales para las cuales no fueron diseñados, pues en la mayoría de los

casos, su diseño tiene como patrón el clima templado. Sin embargo, el archipiélago cubano se caracteriza por un clima tropical que presenta durante casi todo el año temperaturas medias cercanas y superiores a 25 °C y una humedad relativa media de alrededor del 80 %.

Diversos factores ambientales influyen de manera directa en la pérdida de confiabilidad de los equipos y componentes electro electrónicos tales como: la temperatura y la humedad y por consiguiente, el tiempo de humectación, así como los contaminantes atmosféricos. Entre estos se destacan los iones cloruro, sulfato, nitrato y material particulado (polvo sedimentable). Debido a la configuración y ubicación geográfica de Cuba, la influencia de estos factores, sobre todo la de los iones cloruro, puede provocar la degradación de esos equipos mediante los procesos de corrosión de los principales materiales y componentes metálicos que lo constituyen. Esto trae como consecuencia la ocurrencia de diferentes alteraciones de las propiedades físicas y eléctricas respectivas y a su vez, un determinado nivel de falla en ellos.

Debido a la creciente demanda de equipos electro electrónicos en los países latinoamericanos y otros localizados en regiones tropicales, se dedican numerosos esfuerzos para intentar adaptar los materiales que los constituyen a las condiciones ambientales de esas regiones, lo que constituye una tendencia tecnológica mundial.

Se han reportado estudios en ambientes tropicales, tanto en general² como específicos de los países iberoamericanos³ o asiáticos.⁴ Normalmente estos estudios han sido realizados sobre materiales de referencia, pero casi nunca sobre materiales o componentes específicos que se emplean en la fabricación de los equipos electro electrónicos.

El presente trabajo, enmarcado en el proyecto TROPICORR y apoyado por el Programa Internacional Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, tiene como objetivo fundamental contribuir de manera significativa con la referida tendencia, y para esto pretende analizar la influencia de algunos factores ambientales en la aceleración del proceso corrosivo en diferentes materiales metálicos (acero, cobre, níquel y estaño) utilizados en la fabricación de productos electro electrónicos en Cuba, basado en datos ambientales y meteorológicos convenientemente recolectados

de diversas atmósferas de la respectiva región, y la correspondiente caracterización de los diferentes procesos de degradación que puedan manifestarse.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos durante un año de exposición, relacionados con el tiempo de humectación, la determinación de iones sulfato y cloruro y material particulado, así como la pérdida de peso correspondiente al acero, cobre, estaño y níquel en tres estaciones de ensayo, este último factor se analizó solo a un año debido a la metodología del proyecto. Además, se realizó un análisis estadístico de regresión múltiple de los resultados en los tres primeros metales anteriormente mencionados, para determinar los factores climáticos que más influyen en el proceso de corrosión de esos materiales metálicos en esas condiciones y por consiguiente, en los equipos electro electrónicos que se construyen con ellos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo los ensayos correspondientes, se realizó la instalación de armarios metálicos con ventanillas laterales para garantizar cierta ventilación en su interior, teniendo en consideración que el tipo de exposición concordara con lo establecido para representar el efecto estufa (Fig. 1). Las diferentes atmósferas fueron seleccionadas según la norma ISO 9223⁵ y se describen a continuación:

■ **Estación Cojímar.** Estación costera de ensayos ubicada aproximadamente a 150 m de la costa norte, cerca de la Bahía de La Habana. Fecha de inicio: 26 de noviembre de 2003.



Fig. 1. Armario en exposición en la estación Cojímar.

■ **Estación CNIC.** Estación urbana de ensayos ubicada en el oeste de la Ciudad de La Habana aproximadamente a 2 km de la costa norte. Fecha de inicio: 7 de octubre de 2003.

■ **Estación Quivicán.** Estación rural de ensayos ubicada aproximadamente a 30 km de la costa norte y 18 de la sur. Fecha de inicio: 10 de diciembre de 2003.

El diseño de los armarios fue realizado en Portugal, para que todos los países participantes en el proyecto los construyeran con las mismas características. En su interior se colocaron sistemas de captación de contaminantes. Estos captadores consistieron en filtrinas para la determinación de la velocidad de deposición de iones sulfato [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], papeles de filtro en embudos sostenidos por erlenmeyers para la determinación de la velocidad de deposición de iones cloruro [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], y dos placas Petri para determinar el material particulado por un período de seis meses, respectivamente, para todos los casos, con el fin de evaluar la agresividad del ambiente en el interior del armario, según los procedimientos recomendados por la propuesta de norma ISO TC 156/WG4- N382 y la ISO-9225^{6,7} (Fig. 2). Además, se colocaron sensores para la determinación de la temperatura y la humedad relativa, con el objetivo de determinar posteriormente el tiempo de humectación mediante un programa de computación diseñado convenientemente con ese fin.⁸

Las probetas metálicas fueron placas rectangulares con áreas de 0,001 12; 0,008 2; 0,001 24 y 0,000 79 m^2 para el cobre, estaño, acero al carbono y níquel respectivamente, organizadas en series para diferentes tiempos de retiro. Una vez cumplido el período de exposición estipulado, se evaluó la velocidad de corrosión de los metales, midiendo la pérdida de masa según los procedimientos recomendados por la propuesta de norma ISO/TC 156/WG 4-N 358-378 y a partir de esos resultados, se clasificó la agresividad corrosiva en el interior de los armarios según la norma ISO 9223 (Tabla 1)^{9,10} De esta manera, fueron controladas todas las variables durante todo el período de exposición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del complejo humedad relativa-temperatura y tiempo de humectación

Se pudo observar que para las tres estaciones de ensayo, existe un

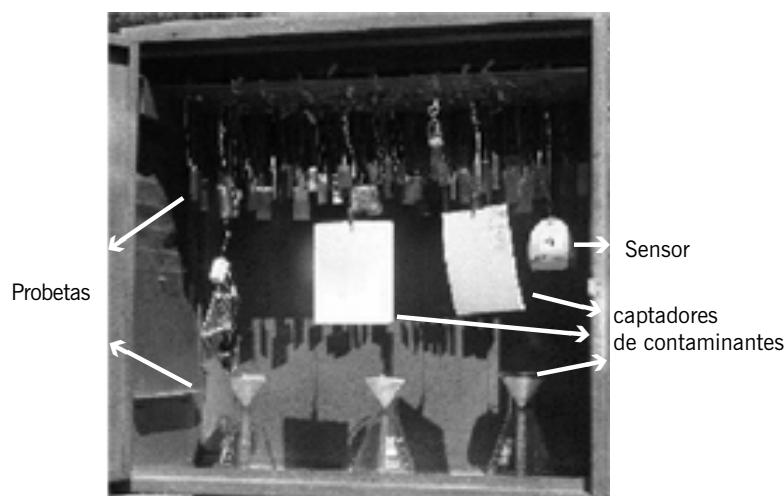


Fig. 2. Aspecto interior de los armarios. Pueden observarse las probetas de los metales bajo ensayo, así como los captadores de contaminantes y los sensores de temperatura y humedad.

comportamiento semejante en cuanto al régimen de temperatura-humedad relativa (Figuras 3a y 3b). Esto indica que la corrosión en el interior de los armarios pudiera ocurrir fundamentalmente a temperaturas menores de 30 °C, o sea entre 20 y 25 °C.¹¹ Además, que a medida que au-

mente la humedad relativa (Fig. 3 b), también aumenta el tiempo de humectación, lo que resulta sumamente lógico. Es de observar que la estación Quivicán (rural), presenta un mayor grado de continentalidad debido a que se encuentra más alejada de la costa norte, por lo que presentó el mayor tiempo de humectación, y a su vez, una elevada humedad relativa (se alcanzó el 100 % y se detectaron valores superiores, índice de saturación de la atmósfera).

A partir del cálculo del tiempo de humectación (h/año), fue posible clasificar la atmósfera característica de cada uno de los sitios de exposición en el interior de los armarios, según la norma ISO 9223. Como resultado de este análisis, se puede señalar que las tres estaciones de ensayo se encuentran en la categoría τ_4 ($2\ 500 < \tau < 5\ 500$) que corresponde a abrigo ventilado en condiciones húmedas,

lo que quiere decir que cumplen con las condiciones de ensayo previamente referidas, ya que los armarios metálicos instalados tienen pequeñas ventanillas laterales que garantizan cierta ventilación en su interior y además, una elevada humedad relativa.

Se comprobó que no existían diferencias significativas entre las tres condiciones ambientales estudiadas (Tabla 2) (rural, marina y urbana); no obstante, se alcanzaron valores no reportados en condiciones de intemperie (32 °C) como la temperatura máxima media para el verano en el interior de los armarios, superior a 38 °C en las tres estaciones bajo estudio, con el mayor valor en la estación CNIC de 42 °C. La humedad relativa media resultó algo inferior a la reportada para condiciones de intemperie, por tanto, el tiempo de humectación a temperaturas superiores a 30 °C es bastante bajo, lo que indica una menor posibilidad de corrosión en estas condiciones protegidas. Como los metales ensayados se emplean en la fabricación de los equipos electroelectrónicos, es de suponer además, que las temperaturas elevadas pudieran influir en su durabilidad y contribuyan al envejecimiento de los materiales poliméricos.

Análisis de la velocidad de corrosión

Se pudo observar (Figuras 4, 5 y 6) que el acero y el cobre son los metales que más daño por corrosión experimentan. Estos resultados permiten afirmar que existe una agresividad corrosiva muy alta (IC5) en interiores en las tres estaciones de ensayo estudiadas, exceptuando la estación CNIC de acuerdo con los resultados obtenidos para el cobre,

Tabla 1. Clasificación de la agresividad corrosiva en ambientes interiores según la norma ISO 9223.

Categoría de la agresividad corrosiva	
Notación	Descripción
IC 1	Muy baja
IC 2	Baja
IC 3	Media
IC 4	Alta
IC 5	Muy alta

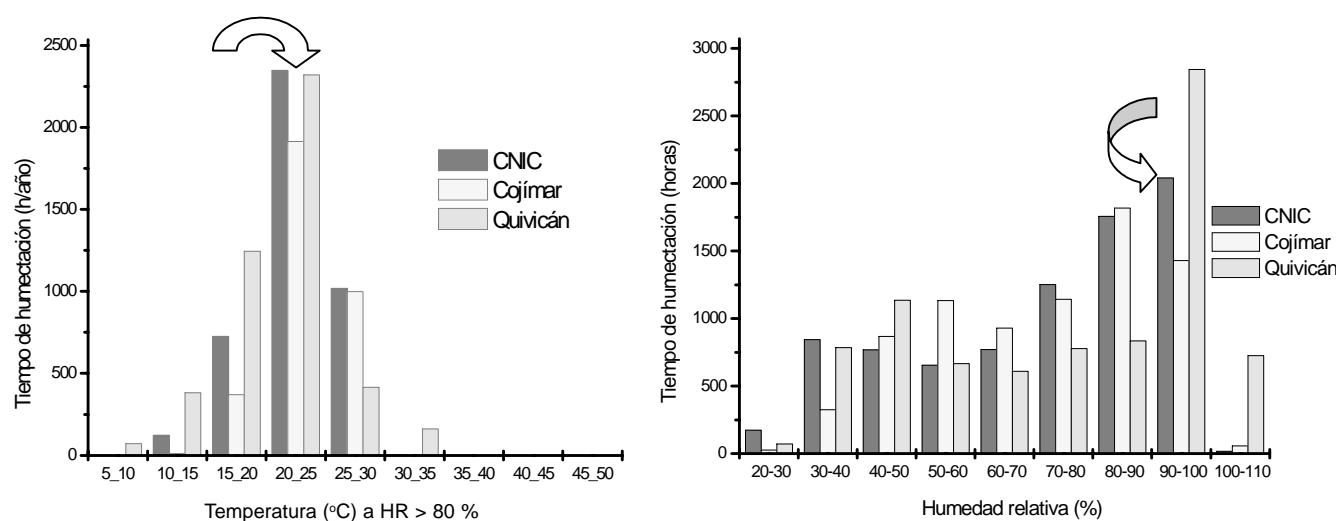
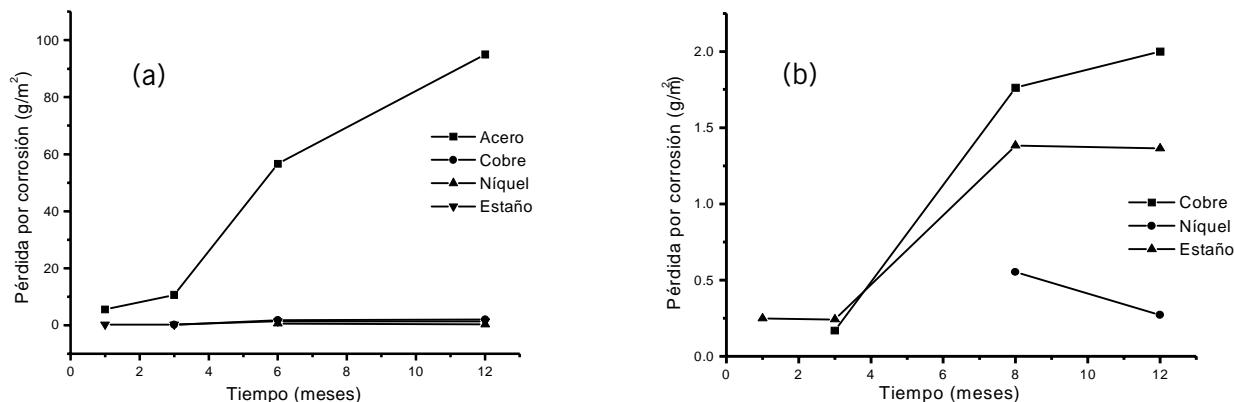
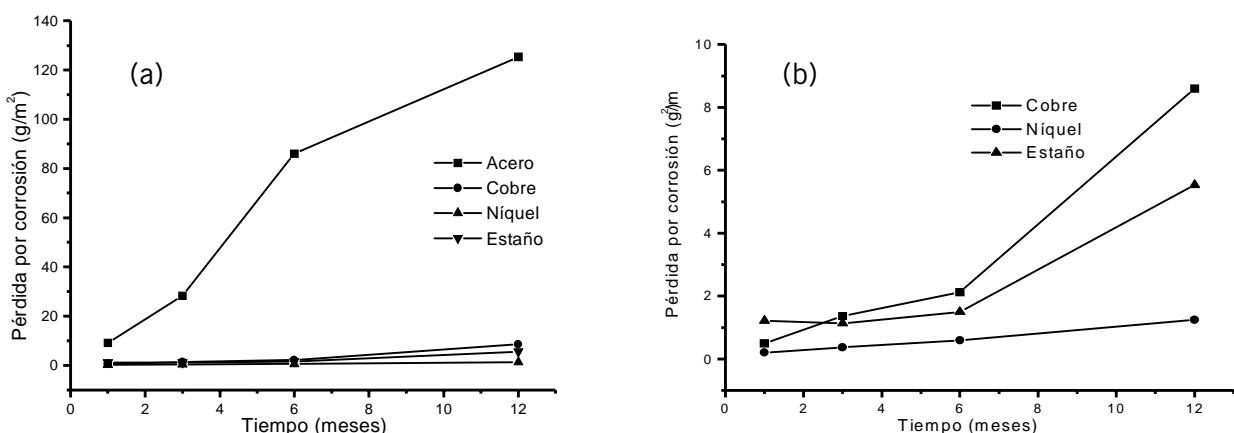


Fig. 3. Comportamiento de la temperatura y la humedad relativa con respecto al tiempo de humectación en las tres estaciones de ensayo.

Tabla 2. Variables meteorológicas correspondientes a cada una de las estaciones de ensayo consideradas en el estudio.

Estaciones	Variables					
	Temperatura			Humedad		
	Media	Máxima media	Mínima media	Relativa media	Relativa máxima media	Relativa mínima media
CNIC						
Inviero	24,48	37,04	18,20	72,42	93,68	37,39
Verano	29,74	42,05	23,08	70,01	93,32	37,71
Quivicán						
Inviero	25,15	35,11	19,47	70,57	91,00	40,64
Verano	29,88	39,59	23,54	73,35	95,09	45,09
Cojímar						
Inviero	24,22	36,74	15,80	73,41	99,27	35,99
Verano	28,47	39,78	21,48	76,22	98,56	41,69

**Fig. 4.** Comportamiento de la corrosión de los cuatro metales estudiados en función del tiempo (a), así como en tres de estos metales a otra escala (b), en la estación CNIC, durante un período de exposición de un año.**Fig. 5.** Comportamiento de la corrosión de los cuatro metales estudiados en función del tiempo (a), así como en tres de estos metales a otra escala (b) en la estación Cojímar; durante un período de exposición de un año.

los cuales indican que la agresividad corrosiva en esta zona se encuentra entre media y alta (IC3-IC4). Esto pudiera deberse a que esta estación presenta la menor humedad relativa reportada. Como en los sitios de ensayo existe una elevada agresividad corrosiva, por consiguiente esto pudiera acelerar el fenómeno de la

corrosión en los equipos electroelectrónicos mayoritariamente al nivel de las resistencias de contacto de juntas y aumentar las perturbaciones electromagnéticas, las corrientes de fuga entre conductores, así como la degradación de los materiales, todo lo cual conduce a la ocurrencia de fallas operacionales.

También se puede destacar que la estación Cojímar es la que mayores pérdidas por corrosión manifiesta en los cuatro metales estudiados, lo que se corresponde con la mayor deposición de contaminantes en el interior de los armarios que tiene lugar en ella (Tabla 3). Se debe señalar que también la deposición de ma-

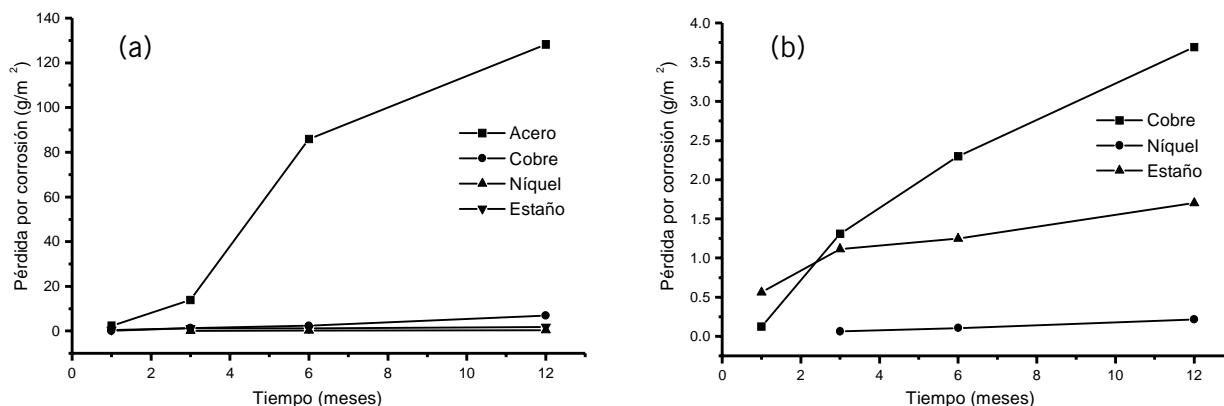


Fig. 6. Comportamiento de la corrosión de los cuatro metales analizados en función del tiempo (a), así como en tres de estos metales a otra escala (b) en la estación Quivicán, durante un período de exposición de un año.

material particulado resulta muy elevada en ella, lo que no ocurre así en las otras estaciones estudiadas. Aunque comparativamente vale apuntar que en las tres estaciones de ensayos, el material particulado muestra los resultados más elevados y significativos, comportamiento que puede deberse a la gran cantidad de componentes atmosféricos que es capaz de arrastrar el viento que en ella es considerable, además de los iones cloruro y sulfato que también provienen de otras fuentes.

Influencia de los factores ambientales en el fenómeno de la corrosión

Es conocida la relación que existe entre la velocidad de corrosión y el tiempo físico que se expresa como:¹²

$$K = a t^b$$

sin embargo, es importante señalar que no solo el tiempo es considerado un factor importante en la aceleración de la velocidad de corrosión en interiores. La influencia del material particulado y otros contaminantes pueden contribuir también considerablemente en la magnitud de la corrosión. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se proponen modelos a continuación, los cuales pudieran ser válidos tanto para estas u otras condiciones en las cuau-

les se demuestre la influencia de factores ambientales similares en la aceleración del proceso corrosivo.

$$K = a t^b MP^c [SO_4]^d [Cl]^e \quad (1)$$

$$K = a \tau^b MP^c [SO_4]^d [Cl]^e \quad (2)$$

donde:

K pérdida por corrosión (g/m²).

t tiempo físico (meses).

τ tiempo de humectación (h).

MP deposición del material particulado [mg/(m² · d)].

Cl deposición de iones cloruro.

SO₄ deposición de iones sulfato.

a, b, c, d y e constantes estadísticas.

Existen también otros contaminantes que pueden influir, pero no fueron considerados en este trabajo. Los resultados analizados corresponden a los datos colectados en las tres estaciones estudiadas para el acero, cobre y estaño, a partir de los cuales fue posible hacer un análisis de regresión múltiple (Tablas 4, 5 y 6). Los términos $MP^c [SO_4]^d [Cl]^e$ han sido considerados como X en las tablas. Se presentan los casos en los que $X = 1$, $X = MP^c [SO_4]^d [Cl]^e$, $X = MP^c$, $X = MP^c [SO_4]^d$, $X = MP^c [Cl]^e$.

De acuerdo con los resultados experimentales, se puede observar cómo para los tres metales estudiados existe un incremento de la significación de los modelos, debido a

la gran influencia del material particulado. Sin embargo, la influencia de esta variable con la deposición de iones sulfato y por otra parte, la deposición de iones cloruro no provoca un incremento significativo en el proceso corrosivo, por el contrario, la significación de ambos modelos disminuye. Al unir las tres variables como se muestra en las ecuaciones 1 y 2, se pudo observar que en todos los casos tampoco existe una significación apreciable del proceso corrosivo en comparación con los análisis anteriores.

La comparación de medias entre los resultados correspondientes a los tiempos físico y de humectación, mediante el criterio de Ficher arrojó un valor de $P = 0,07$ siendo $\alpha = 0,05$, por lo que partiendo del criterio de la hipótesis nula que no es más que la igualdad entre las medias y la alternativa, la diferencia entre ellas, teniendo en cuenta que $P > \alpha$ se pudo asumir que no existían diferencias significativas entre las dos variables comparadas para los casos del cobre y el estaño, sin embargo para el acero ocurre de manera contraria.

Es decir que según el comportamiento analizado hasta el momento, las variables que influyen de manera significativa en el proceso de corrosión atmosférica de los metales estudiados son los tiempos físico y de humectación, así como el material particulado depositado.

Además, es preciso señalar que para los casos del acero y el cobre, en los modelos obtenidos el coeficiente b es ≈ 1 , lo que quiere decir que se manifiesta de manera significativa el fenómeno de la corrosión sin retardo por los productos de corrosión formados, hecho que se corresponde con lo analizado en el

Tabla 3. Resultados medios de la deposición de contaminantes en el interior de los armarios.

Estaciones	Deposición de contaminantes		
	Iones cloruro	Iones sulfato	Material particulado
[mg/(m² · d)]			
CNIC	0,984 6	3,65	9,05
Quivicán	0,921 95	4,4	9
Cojímar	1,572 5	4,96	104,05

Tabla 4. Resultados de la regresión múltiple de datos correspondientes a la corrosión en las tres estaciones para el acero acuerdo con el modelo propuesto.

Tiempo	a	b	X	r ²	P	P modelo
t	4,53	1,28	= 1	85,14	0,000	0,000
τ	0,010	1,09	= 1	67,91	0,000	0,000
t	1,62	1,33	= MP ^c c = 0,333 47	92,82	0,000	0,000
τ	0,001	1,22	= MP ^c c = 0,446 956	81,09	0,000	0,000
t	1,4	1,33	MP ^c [SO ₂] ^d c = 0,325 0; d = 0,108 9	92,92	0,401	0,000
τ	0,001	1,22	MP ^c [SO ₂] ^d c = 0,444 4; d = 0,030 55	81,10	0,885	0,000
t	1,9	1,285	MP ^c [Cl] ^e c = 0,317 5; e = 0,021	92,97	0,308	0,000
τ	0,852	1,05	MP ^c [Cl] ^e c = 0,374 5; e = 0,076	82,22	0,015	0,000
t	1,645	1,281	MP ^c [SO ₂] ^d [Cl] ^e c = 0,308; d = 0,113; e = 0,022	93,08	0,383 0,297	0,000
τ	0,005	1,051	MP ^c [SO ₂] ^d [Cl] ^e c = 0,369 4; d = 0,056; e = 0,076	83,24	0,781 0,015	0,000

Tabla 5. Resultados de la regresión múltiple de datos correspondientes a la corrosión en las tres estaciones para el cobre de acuerdo con el modelo propuesto.

Tiempo	a	b	X	r ²	P	P modelo
t	0,29	1,053	= 1	43,6	0,000	0,000
τ	0,001	0,99	= 1	45,35	0,000	0,000
t	0,093	1,166	= MP ^c c = 0,330 3	50,31	0,015	0,000
τ	5,1 · 10 ⁻⁵	1,185	= MP ^c c = 0,451 3	57,06	0,000	0,000
t	0,09	1,166	MP ^c [SO ₂] ^d c = 0,329; d = 0,025 4	50,31	0,017 0,945	0,000
τ	7,9 · 10 ⁻⁵	1,185	MP ^c [SO ₂] ^d c = 0,4569; d = 0,099	57,14	0,000 0,774	0,000
t	0,148	1,019	MP ^c [Cl] ^e c = 0,283 7; e = 0,056 4	51,29	0,048 0,339	0,000
τ	2,3 · 10 ⁻⁴	1,053	MP ^c [Cl] ^e c = 0,394 3; e = 0,058	58,24	0,005 0,260 0,054	0,000
t	0,142	1,020	MP ^c [SO ₂] ^d [Cl] ^e c = 0,282; d = 0,028; e = 0,056	51,30	0,939 0,344 0,006	0,000
τ	2,6 · 10 ⁻⁴	1,055 0	MP ^c [SO ₂] ^d [Cl] ^e c = 0,399; d = -0,08; e = 0,057	58,29	0,81 0,270	0,000

apartado anterior. Por otra parte, con el estaño sucede que $0,4 < b < 0,65$, comportamiento que pudiera estar dado porque los productos de corrosión formados en su caso, estén actuando como capas protectoras en la superficie del metal.

CONCLUSIONES

Se demostró que en el interior de los armarios los variables meteorológicos se mantienen en intervalos favorables para que se produzca en todo el año el fenómeno de la corrosión, ya que el tiempo de humecta-

ción es elevado, la humedad relativa media de manera general es $> 70\%$ y la temperatura media $< 30^{\circ}\text{C}$. A partir de estos resultados se infiere la factibilidad de la ocurrencia de un aumento en el deterioro por corrosión de los equipos electroelectrónicos.

Tabla 6. Resultados de la regresión múltiple de datos correspondientes a la corrosión en las tres estaciones para el estaño de acuerdo con el modelo propuesto.

Tiempo	a	b	X	r ²	P	P modelo
t	0,47	0,553	= 1	38,86	0,000	0,000
τ	0,02	0,533	= 1	39,43	0,000	0,000
t	0,21	0,597	= MP ^c c = 0,266 9	50,9	0,000	0,000
τ	0,004	0,627	= MP ^c c = 0,336	57,67	0,000	0,000
t	0,15	0,589	MP ^c [SO ₂] ^d c = 0,247 5; d = 0,0,250 6	52,22	0,002 0,246	0,000
τ	0,003 6	0,618	MP ^c [SO ₂] ^d c = 0,319 7; d = 0,194 8	58,46	0,000 0,334	0,000
t	0,359	0,426	MP ^c [Cl] ^e c = 0,213 4; e = 0,071 5	55,02	0,000 0,000 0,037	0,000
τ	0,016	0,488	MP ^c [Cl] ^e c = 0,275 3; e = 0,063 9	61,33	0,000 0,034	0,000
t	0,256	0,415	MP ^c [SO ₂] ^d [Cl] ^e c = 0,308 3; d = 0,113 1; e = 0,021	56,48	0,297 0,383	0,000
τ	0,013	0,476	MP ^c [SO ₂] ^d [Cl] ^e c = 0,255 6; d = 0,216 6; e = 0,065 6	62,30	0,001 0,266 0,030	0,000

nicos en condiciones como las evaluadas.

En el interior de los armarios existe un tiempo de humectación elevado, lo que permite clasificar la atmósfera respectiva como abrigo ventilado en condiciones húmedas.

La agresividad corrosiva para el acero y el cobre en las estaciones Cojímar, Quivicán y CNIC puede ser clasificada como muy alta (IC5), excepto para el último en la estación CNIC, que puede ser catalogada como media y alta (IC3-IC4).

Los metales más afectados por la corrosión atmosférica en condiciones interiores son el acero y el cobre y le siguen el estaño y el níquel.

La estación de ensayos en que mayores pérdidas por corrosión se presentan es la estación Cojímar, lo que se corrobora con la influencia de una gran deposición de contaminantes.

Los factores que más influyen en el deterioro por corrosión de los metales ensayados en condiciones interiores son los tiempos físico y de humectación, así como el material particulado, por lo que se proponen como modelos finales, $K = a t^b MP^c$ y $K = a \tau^b MP^c$.

No se reportan diferencias significativas entre los tiempos físico y

de humectación, excepto en el caso del acero.

BIBLIOGRAFÍA

- Rocha J. Productos electro electrónicos en ambientes tropicales Capítulo Introductorio, 20-23, CYTED, Campinas, Brasil, 2003.
- Cole I.S., Neufeld A.K., Kao P., Ganther W.D., Chotimongkol L., Bharmornsut C., Hue N.V. and Bernardo S., Corrosion mechanisms and performance tests for tropical environments, 14th Congress of the ICC, Cape Town, South Africa, 1999.
- Mariaca L.M., Almeida E., de Bósquez A., Cabezas A., Álvarez J.F., Joseph G., Marrocos M., Morcillo M., Peña J., Prato M.R., Rivero S., Rosales B., Salas G., Uruchurtu J. and Valencia A., Marine Atmospheric Corrosion of Reference Metals in Tropical Climates of Latin America, Marine Corrosion in Tropical Environments, ASTM STP 1399,
- Cole I.S. and Hue N.V., Corrosion rates in tropical conditions: a comparison of Australia and Vietnamese experience, 10th Asian/Pacific Corrosion Control Conf., Bali, Indonesia, 27-31, October, 1997.
- ISO-9223. Corrosion of metal and alloys. Clasification of aggressivity of the atmosphere, 1992.
- ISO TC 156/WG 4-N382 e ISO-9225 Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Measurement of pollution.
- ISO TC 156/WG 4-N382 Measurement of environmental parameters affecting indoor corrosivity ISO/CD 15965 (Draft ISO 11844-3, 5th Revised Version of -2000).
- Calderón J.A., Echevarría A., Echeverría F., Arroyave C.E., Gil H. Efecto del medio ambiente tropical en la corrosión de materiales electro-electrónicos. International Workshop on Atmospheric Corrosion and Weathering Steels. Cartagena de Indias, Colombia, Septiembre del 2004.
- ISO/TC 156/WG 4-N 358 Classification of Corrosivity of Indoor Atmospheres – Determination of Corrosion Attack in Indoor Atmospheres (revision of N 352), ISO Draft.
- ISO TC 156/WG 4-N378. ISO TC 156/WG 4-N382 Corrosion of metals and Alloys – Classification of Corrosivity of Indoor Atmospheres Determination and Estimation of Indoor Corrosivity, 2000.
- Corvo, F., Betancourt N., González E., Pérez J., González C. Lezcano H., García Y. Primeros resultados del Proyecto TROPICORR en Cuba. International Workshop on Atmospheric Corrosion and Weathering Steels. Cartagena de Indias, Colombia, Septiembre de 2004.
- Corvo F., Minotas J., Delgado J., Arroyave C. Changes in atmospheric corrosion rate caused by chloride ions depending on rain regime, **Corrosion Science**, 47, 883-892, 2005.