

EFFECTOS DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN ESTRUCTURAS METÁLICAS UTILIZADAS PARA LAS TELECOMUNICACIONES

EFFECTS OF ATMOSPHERIC CORROSION IN METALIC STRUCTURES USED FOR TELECOMMUNICATIONS

Autores: Wilman Pereiro Fuentes¹

Nancy de la Caridad García Álvarez²

Norma F. Medina Martínez²

Institución: ¹Empresa de Telecomunicaciones, Ciego de Ávila, Cuba

²Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: wilman.pereiro@nauta.cu

ngarcia@unica.cu

nmedina@unica.cu

RESUMEN

Las estructuras metálicas a la intemperie se encuentran permanentemente sometidas al fenómeno de corrosión manifestada, en mayor o menor grado, según el tipo de atmósfera donde se ubiquen. Con este propósito fue estudiado el efecto del tipo de atmósfera (costera, rural y urbana) en la corrosión de diferentes modelos de estructuras pertenecientes a la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba en Ciego de Ávila. Para ello, se tomó una muestra intencional de 42 estructuras, correspondiente al 67 % de la población (63), asociada a los modelos que poseían tres o más de las mismas y que resultaron los siguientes: AT-29, Najasa, China, AT-60 y GNC-60, estos dos últimos son los de mayor presencia en el territorio. Se evaluó, mediante observación en cada modelo: pérdida de la capa de pintura, corrosión por picadura y nivel de corrosión en las categorías de alta, media, baja y ninguna, no apreciándose una influencia directa de la atmósfera en las manifestaciones de corrosión para los modelos AT-29, Najasa y China. Sin embargo, aunque no existieron diferencias significativas entre los indicadores evaluados para los modelos AT-60 y GNC-60, si se mostró en ambos una tendencia casi generalizada de que el tipo de atmósfera más agresivo fuese el costero mientras el menos ofensivo, coincidió con el rural, resultando el modelo AT-60 el más comprometido. Los resultados revelaron la necesidad de tener en cuenta la corrosión atmosférica en la gestión de los mantenimientos, aspecto no considerado actualmente.

Palabras clave: Corrosión, Corrosión atmosférica, Gestión del mantenimiento
Velocidad de corrosión.

ABSTRACT

Metallic structures, exposed constantly to atmospheric conditions, are submitted to corrosion in dependence of its grade of development according their location. With this purpose, effect of the type of atmosphere (coastal, rural an urban) in the corrosion in different models of structures belonged to ETECSA in Ciego de Avila were studied. An intentional sample of 42 structures (67 % of total in existence) of AT-29, Najasa, China, AT-60 and GNC-60 models, each with three or more structures were tested. AT-60 and GNC-60 models were the most representative in the province. Through observation, indicators as: losses in painting layer, splitting corrosion and corrosion level were evaluated with high, medium, low and none criteria. It was not appreciated a direct influence of atmosphere in the corrosion of AT-29, Najasa and China models, however, a greater tendency to increase the aggressivity of coastal atmosphere and a decrease in rural atmosphere were shown in AT-60 and GNC-60 models, but the most affected was GNC-60 The results justified the necessity to include the atmospheric corrosion in maintenance management, aspect didn't consider at present.

Keywords: Atmospheric corrosion, Corrosion, Corrosion speed, Maintenance management.

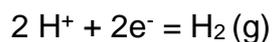
INTRODUCCIÓN

El proceso de corrosión es indicado por Lugo (2015) como un fenómeno natural donde los sistemas químicos expresan su tendencia hacia un estado de equilibrio estable y donde ocurre una destrucción o deterioro de un material a causa de su reacción química o electroquímica con el medio ambiente. Este autor aclaró a su vez, que en presencia de un medio acuoso la corrosión es generalmente de naturaleza electroquímica.

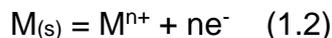
Para que se produzca la corrosión electroquímica tiene que estar presente una zona anódica, una zona catódica, un conductor iónico (electrolito) y la existencia de una diferencia de potencial. Suele contar de:

Un proceso catódico en el cual las reacciones que ocurren son las de reducción, siendo las más comunes la reducción del oxígeno y la formación de hidrógeno.





Un proceso anódico donde la reacción generalizada es de oxidación para la disolución del metal.



Las condiciones ambientales imperantes en Cuba, propician que la corrosión para el caso de las estructuras metálicas correspondientes a la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA), sea precisamente de esa naturaleza y tienda a ser mucho más rápida cuando los metales están expuestos a ambientes agresivos por la presencia de múltiples factores que favorecen la velocidad de las reacciones.

Al respecto un estudio de la velocidad de reacción de la corrosión, realizado por Vera *et al.* (2012) encontraron incrementos de esta al someter el metal durante un año a las condiciones atmosféricas de: tiempo de humidificación, cantidad de lluvia caída, velocidad y dirección de los vientos, radiación solar y contenido de contaminantes (cloruros, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono, entre otros).

Estudios similares de Lluveras *et al.*, (2018), con la aplicación de las nuevas tecnologías, permitieron evaluar el comportamiento de la velocidad de corrosión del acero, en los que se evidenció que dichos factores ambientales tuvieron un efecto estadísticamente significativo en la velocidad de corrosión, al nivel de confianza de 95,0 %. Este hecho se manifiesta en todo el país motivado, tanto por la configuración física de la isla ya que posee un territorio largo y estrecho, como por su ubicación geográfica en la zona del Caribe donde predominan altos valores de humedad relativa y temperatura entre otros factores ambientales. Esto obliga, en la totalidad de los casos, que todas las estructuras metálicas sometidas a la intemperie tengan que utilizar una protección anticorrosiva.

Al respecto Chico, De La Fuente y Morcillo (2000) comprobaron que también la presencia de medios líquidos circulando a través de las estructuras, fundamentalmente a temperaturas medias y con diversas composiciones químicas, resultarían altamente corrosivos en estas condiciones.

Entre los materiales constructivos para las estructuras metálicas utilizadas por ETECSA en Ciego de Ávila, un volumen importante lo ocupan las aleaciones base ferrosa caracterizadas por su bajo costo, alta resistencia mecánica y ductilidad, pero

con la desventaja de su baja resistencia a la corrosión en condiciones de intemperismo. lo que puede provocar una completa destrucción de las mismas.

Resultados de la destrucción provocada por la corrosión en el mundo fueron reportados por Monzón (2017) el cual estimó, como resultado de sus investigaciones, que en el año 2017 los costos por ese concepto alcanzaron alrededor del 6 % del Producto Interno Bruto (PIB) mundial.

Este fenómeno, incrementado en el tiempo, precisa de una constante actualización en la gestión de mantenimiento. Sin embargo, actualmente no se tiene en cuenta la corrosión atmosférica, al menos en el contexto de ETECSA-Ciego de Ávila, en la ubicación de los diferentes modelos de estructuras metálicas que soportan los componentes que posibilitan las comunicaciones. Por ello, el trabajo que se presenta centra su objetivo en estudiar el efecto de la corrosión atmosférica sobre las estructuras metálicas pertenecientes a ETECSA, en función del modelo de las mismas, en la provincia de Ciego de Ávila.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA correspondiente a la división Ciego de Ávila. La empresa contaba, en el momento de la realización del trabajo en el año 2019, con una población de 64 estructuras (63 metálicas y una de hormigón) de diferentes modelos y tipos, distribuidas en todo el territorio de la provincia (Tabla 1).

Para el trabajo de campo, de esas 63 estructuras metálicas se tomó una muestra intencional de 42, correspondiente al 67 % de la población asociada a los modelos que poseían tres o más y que resultaron ser: AT-29, AT-60, GNC-60, Najasa y China. No se tuvo en cuenta el modelo Tubo, a pesar de poseer seis estructuras, por constituir una solución.

Para cada estructura, independientemente del municipio de ubicación fue analizado, mediante observación, el efecto del tipo de atmósfera (rural, urbana y costera) en la corrosión, para lo que se utilizaron los indicadores relacionados a continuación, cada uno de ellos con sus respectivas categorías:

- Pérdida de la capa de pintura. (Alta > 70 %); Media (35 – 70 %); Baja (<35 %) y Ninguna)
- Corrosión por picadura. (Alta > 70 %); Media (35 – 70 %); Baja (<35 %) y Ninguna)

➤ Nivel de corrosión (Alto >50 %; Medio 25 – 50 %; Bajo <25 % y Ninguna).

Los modelos AT-29, China y Najasa (solo tres estructuras por cada modelo) fueron tratados mediante estadística descriptiva (análisis porcentual), mientras que para los dos restantes el AT-60 (20 estructuras) y el GNC-60 (12 estructuras) se utilizó el Análisis factorial simple y la Prueba de Tuckey para comparación de medias, imposibles de aplicar en los modelos anteriores por el número tan pequeño de datos.

Tabla 1. Distribución de estructuras metálicas por municipio, modelo y tipo de atmósfera.

Municipio	Modelo	Tipo de atmosfera			Total
		Rural	Urbana	Costera	
Ciego de Ávila	Najasa	0	1	0	14 (22 %)
	AT-60	2	3	0	
	GNC-60	0	7	0	
	TAS-42	1	0	0	
Venezuela	AT-29	1	0	0	6 (9 %)
	AT-45	1	0	0	
	AT-60	1	1	1	
	China	0	0	1	
Baraguá	AT-60	1	0	0	4 (6 %)
	China	1	0	0	
	Marc	1	0	0	
	Monopolo metálico	0	1	0	
Majagua	AT-60	1	0	0	3 (3 %)
	Moyano	0	1	0	
	Mástil	1	0	0	
Florencia	AT-60	2	0	0	3 (3 %)
	AT-29	1	0	0	
Chambas	AT-60	1	0	1	4 (6 %)
	Najasa	1	0	0	
	TAS-21	1	0	0	
Ciro Redondo	AT-60	0	1	0	2 (3 %)
	GNC-60	0	1	0	
Morón	AT-45	0	1	0	20 (31 %)
	AT-60	0	1	4	
	GNC-60	1	0	2	
	Tetramas	0	0	1	
	Najasa	0	0	1	
	TAS-42	0	0	1	
	TAS-21	0	0	1	
	Tubo	0	2	4	
China	0	0	1		
Bolivia	AT-29	1	0	0	4 (6 %)
	AT_60	1	0	0	
	Babiney	0	0	1	
	Americana	1	0	0	
Primero Enero	Americana	1	0	0	4 (6 %)
	GNC-60	1	0	0	
	AT-35	1	0	0	
	Mástil	1	0	0	

TOTAL		25 (39%)	20 (31%)	19 (30 %)	64
-------	--	----------	----------	-----------	----

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la División Territorial de ETECSA Ciego de Ávila existían en el momento de la investigación un total de 63 estructuras metálicas ubicadas en diferentes tipos de atmósfera (rural, urbana y costera) que por su condición de intemperismo se encontraban sometidas, en mayor o menor intensidad, al fenómeno de corrosión de forma permanente. Mediante observación fue identificada la afectación para cada modelo a través de indicadores tales como: el número de estructuras que perdió capa de pintura; el número de estructuras con signos de corrosión por picadura (por ser este tipo de corrosión la primera que aparece) y el número de estructuras que presentaban en su conjunto un determinado nivel de corrosión. Todos estos indicadores con sus respectivas categorías fueron representados tanto por el número de estructuras afectadas como por el porcentaje. Los resultados encontrados se muestran en las tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

AFECTACIONES CORROSIVAS POR PÉRDIDA DE LA CAPA DE PINTURA

La pérdida de la capa de pintura, es el fenómeno que en primer lugar se hace perceptible cuando inicia la corrosión, de ahí la importancia de tenerlo en cuenta para la toma de decisiones en cuanto a la labor de mantenimiento.

Tabla 2. Número de estructuras, por cada modelo, que perdieron la capa de pintura.

TIPO DE DE ATMÓSFERA	AT-29				China				Najasa			
	A	M	B	N	A	M	B	N	A	M	B	N
RURAL	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
URBANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
COSTERA	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
TOTAL	2	1	0	0	1	1	1	0	0	1	2	0

Categorías A: Alta M: Media B: Baja N: Ninguna

Tabla 3. Por ciento correspondiente al número de estructuras, por cada modelo, que perdieron la capa de pintura.

TIPO DE DE ATMÓSFERA	AT-29				China				Najasa			
	A	M	B	N	A	M	B	N	A	M	B	N
RURAL	67	33	0	0	0	0	33,3	0	0	33,3	0	0
URBANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33,3	0

COSTERA	0	0	0	0	33,3	33,3	0	0	0	0	33,3	0
TOTAL	67	33	0	0	33,3	33,3	33,3	0	0	33,3	67	0

Categorías A: Alta M: Media B: Baja N: Ninguna

Como se observa en las tablas 2 y 3, las estructuras que mejor se comportan ante la pérdida de la capa de pintura corresponden al modelo Najasa pues el 67 % de las mismas presentan índices bajos de afectación por este concepto, a pesar que una de ellas (33 % del total) se encuentra ubicada en una atmósfera costera. Al parecer, el ambiente no es un factor de mucha influencia para este modelo, aunque resulta muy difícil llegar a una conclusión exacta en este sentido ya que, de las tres estructuras posibles a evaluar, aparece una por cada tipo de atmósfera. Como dato interesante, se señala que este modelo de estructura fue sometida a un mantenimiento con periodicidad quinquenal en los años 2016 (rural) 2017 (urbana) y 2018 (costera), ese hecho pudo tener responsabilidad en el comportamiento mostrado.

Sin embargo, en los modelos AT-29 y China, pudo observarse una afectación considerada como alta en la capa de pintura, localizada en las AT-29 en atmósfera rural y en las China en atmósfera costera. Debe aclararse que no existe ninguna estructura del modelo AT-29 ubicada en atmósfera costera (Tabla 1).

AFECTACIONES CORROSIVAS POR PICADURA

La aparición de la corrosión por picadura indica a los gestores del mantenimiento que deben ser realizadas acciones inmediatas para preservar las estructuras, por lo que resulta muy importante tenerla en cuenta al realizar un estudio como el que se presenta. Se exponen en las tablas 4 y 5 las diferencias que muestran los modelos de estructuras evaluados con respecto a la misma. Nótese que los resultados se corresponden con los encontrados en las tablas 2 y 3, lo que indica que cuando se observa la pérdida en la capa de pintura es porque ya la corrosión por picadura está latente, aunque los orificios sean prácticamente imperceptibles.

Este tipo de corrosión, según Paredes et al (2007), ha sido atribuido a variaciones composicionales de la relación Mn/Fe presentes en las partículas intermetálicas, mientras que la fluctuación en los valores del promedio de la profundidad de las picaduras, con respecto al tiempo de exposición al rocío salino, corrobora el efecto de la distribución aleatoria de las micropilas galvánicas presentes en la superficie del material sobre la profundidad de las mismas.

Tabla 4. Número de estructuras por cada modelo que presentaron corrosión por picadura.

TIPO DE DE ATMÓSFERA	AT-29				China				Najasa			
	A	M	B	N	A	M	B	N	A	M	B	N
RURAL	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
URBANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
COSTERA	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
TOTAL	2	1	0	0	1	1	1	0	0	1	2	0

Categorías A: Alta M: Media B: Baja N: Ninguna

Tabla 5. Por ciento correspondiente al número de estructuras por cada modelo que presentaron corrosión por picadura.

TIPO DE DE ATMÓSFERA	AT-29				China				Najasa			
	A	M	B	N	A	M	B	N	A	M	B	N
RURAL	67	33,3	0	0	0	0	33,3	0	0	33,3	0	0
URBANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33,3	0
COSTERA	0	0	0	0	33,3	33,3	0	0	0	0	33,3	0
TOTAL	67	33,3	0	0	33,3	33,3	33,3	0	0	33,3	67	0

Categorías A: Alta M: Media B: Baja N: Ninguna

Por esa razón las evaluaciones de este tipo, que no se realizan actualmente, son imprescindibles para los que se desempeñan en el trabajo del mantenimiento de estructuras en condiciones de intemperismo. Debido a que una tardanza en las observaciones y posterior aplicación de los métodos correctivos adecuados, puede implicar el deterioro de las mismas y su ulterior pérdida total.

AFECTACIONES EN LOS NIVELES CORROSIVOS TOTALES

La identificación de los diferentes niveles de corrosión en las estructuras evaluadas se muestra en las tablas 6 y 7. Se detectó un alto nivel de corrosión solo en una estructura correspondiente al modelo China en atmósfera costera; mientras que el resto en igual ambiente presentó un nivel medio independientemente del modelo. Este hecho, pudo estar asociado a una composición metálica en dichos modelos que los hace mucho más resistentes a los ambientes con mayor agresividad, aunque Suárez et al (2014) encontraron en condiciones mexicanas, que muestras de acero galvanizado con y sin recubrimiento no presentaron afectaciones cuando fueron sometidas a humedad y temperatura con condensación constante.

El modelo AT-29, cuyas estructuras fueron todas localizadas en atmósfera rural, presentó un nivel de corrosión medio o bajo, lo que sugiere que una menor agresividad del ambiente pudo haber influenciado de alguna manera en estos resultados.

Tabla 6 Número de estructuras por cada modelo que presentaron diferentes niveles de corrosión.

TIPO DE ATMÓSFERA	AT-29				China				Najasa			
	A	M	B	N	A	M	B	N	A	M	B	N
RURAL	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
URBANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
COSTERA	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
TOTAL	0	2	1	0	1	1	1	0	0	1	2	0

Categorías A: Alta M: Media B: Baja N: Ninguna

Tabla 7. Por ciento correspondiente al número de estructuras por cada modelo que presentaron diferentes niveles de corrosión.

TIPO DE ATMÓSFERA	AT-29				China				Najasa			
	A	M	B	N	A	M	B	N	A	M	B	N
RURAL	0	67	33	0	0	0	33,3	0	0	0	33,3	0
URBANA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33,3	0
COSTERA	0	0	0	0	33,3	33,3	0	0	0	33	0	0
TOTAL	0	67	33	0	33,3	33,3	33,3	0	0	33	67	0

Categorías A: Alta M: Media B: Baja N: Ninguna

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS AFECTACIONES ENTRE LOS MODELOS AT-60 y GNC-60

Se enfatizó en los estudios de las afectaciones por corrosión de los modelos AT-60 y GNC-60 pues son los de mayor presencia en la provincia. Los resultados evidenciaron que, a pesar de no existir diferencias significativas en cuanto a la posible influencia del tipo de atmósfera en los indicadores evaluados para ninguno de los dos modelos, si se manifestó en ambos una tendencia casi generalizada de que el tipo de atmósfera con mayor afectación fuese el costero, mientras que el menor, prácticamente en todos los indicadores, coincidió con el rural. El modelo AT-60 resultó el más comprometido en cuanto a las manifestaciones de la corrosión.

Estos resultados se muestran claramente en los gráficos 1, 2 y 3

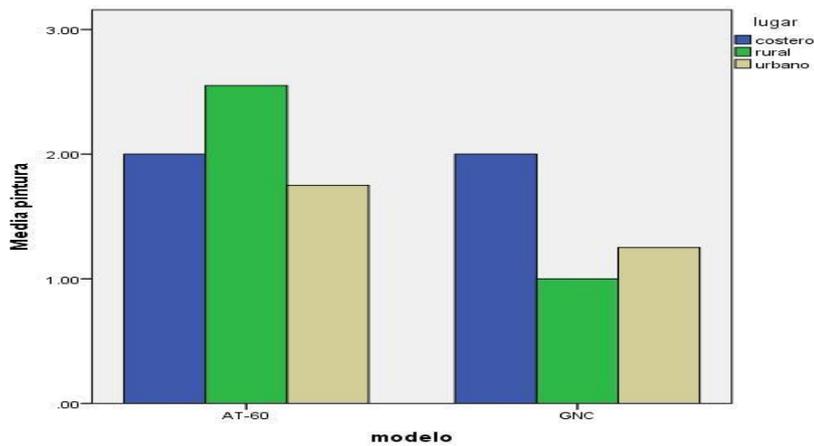


Gráfico 1. Número de estructuras por modelo y tipo de ambiente que se han visto afectadas por pérdida de la capa de pintura

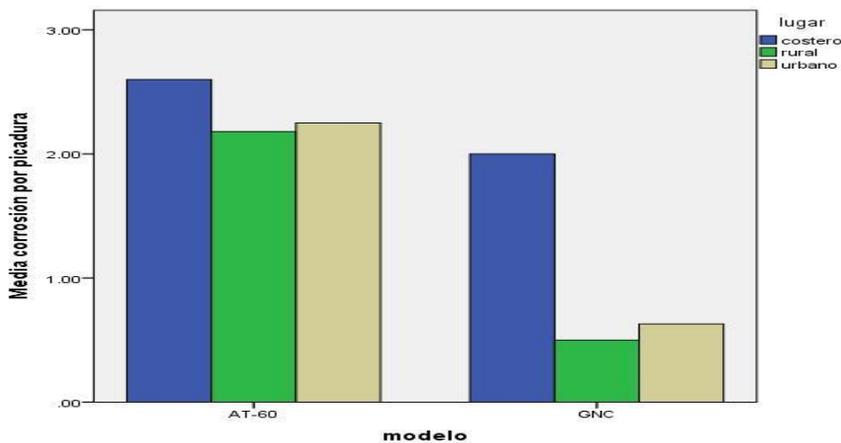


Gráfico 2. Número de estructuras por modelo y tipo de ambiente que se han visto afectadas por corrosión por picadura.

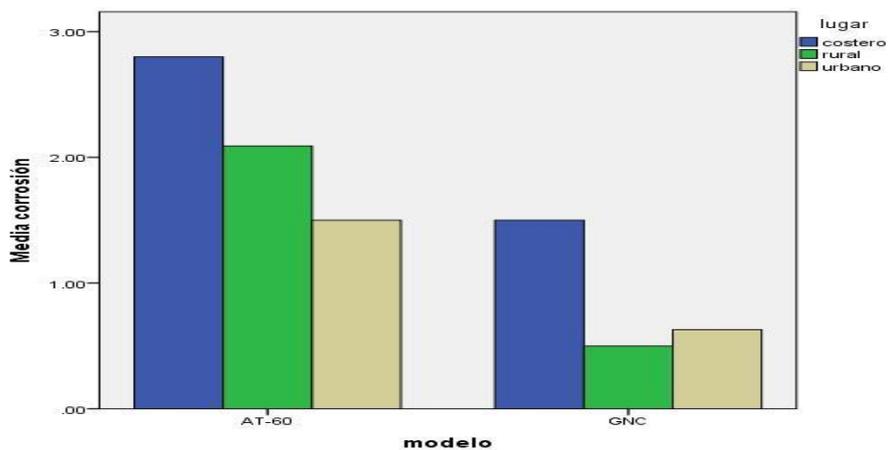


Gráfico 3. Número de estructuras por modelo y tipo de ambiente que se han visto afectadas por determinado nivel de corrosión

Las condiciones más agresivas de corrosión que se presentan en las áreas de intensa actividad marina, se asocian a la presencia de contaminantes como el NaCl combinado con la alta humedad del ambiente, cuyo valor supera en ocasiones el 80 %, según datos reportados, en el período 2014 – 2018 en la provincia de Ciego de Ávila, por el Centro de Meteorología del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la provincia. Esto confirma lo reportado por Rivero *et al.* (2007) y Romero *et al.* (2019) en investigaciones llevadas a cabo en ambientes similares. Estos autores, también encontraron que las altas temperaturas, la frecuencia de las lluvias y la velocidad de los vientos, entre otras, son también factores incidentes en la corrosión atmosférica. En el contexto de la provincia de Ciego de Ávila todas estas variables en su conjunto pudieron contribuir al reforzamiento del desarrollo del proceso corrosivo confirmando lo expuesto por Martín, *et al* (2007), sobre la influencia de diferentes factores ambientales en la corrosión de metales, en ese caso, asociados a la construcción de equipos electrónicos en Cuba.

Aunque en los mantenimientos actuales para las estructuras metálicas, al menos en ETECSA, no se potencian acciones relacionadas con la corrosión atmosférica, trabajos realizados por Ávila, Rodríguez y Lías (2005) y Rizo, Adames y Rivera (2013) en el contexto nacional y en lo internacional por Chico, De la Fuente y Morcillo (2000) y por Nava *et al.*(2015), indicaron este aspecto como de suma importancia para el mantenimiento mediante protección anticorrosiva, sobre todo en ambientes cercanos al mar. En el caso particular de Ciego de Ávila la ubicación de un buen número de estructuras en atmósfera costera (30 %), según muestra la tabla 1, revela la necesidad de tener en cuenta estas recomendaciones, aseveradas a su vez por Morcillo (1998) desde la década de los 90 en el siglo pasado, identificando al NaCl como un contaminante atmosférico de los más agresivos para que se produzca la corrosión, ya que esta sal se incorpora desde el mar siendo sus efectos muy acusados cerca de la orilla, donde el aire transporta grandes cantidades de la misma y se produce una continua pulverización de agua.

Este autor estimó, a su vez, mediante un profundo análisis de la corrosión atmosférica durante 20 años, el comportamiento de diferentes metales expuestos a atmósferas costeras, rurales e industriales. De modo que, encontró que las primeras ejercían un mayor efecto sobre las muestras y recomendó utilizar el conocimiento del dato de corrosión atmosférica a largo plazo. Dicha información sería de enorme

interés para los ingenieros de diseño y expertos en corrosión a la hora de realizar distintos cálculos de ingeniería de la estructura metálica y dictaminar las medidas más adecuadas de protección anticorrosiva.

CONCLUSIONES

1. Al comparar los modelos de estructuras metálicas Najasa, AT-29 y China se encontró lo siguiente:
 - Un mejor comportamiento ante la pérdida de la capa de pintura del modelo Najasa.
 - Una correspondencia entre los valores de afectación de la capa de pintura y los encontrados en la corrosión por picadura en todos los modelos, lo que indica la presencia latente de esta última cuando se observen daños en la pintura que recubre el metal.
 - Un nivel de corrosión no relevante en ninguno de los modelos, detectándose afectaciones altas solo en una estructura del modelo China ubicado en atmósfera costera.
2. Para los modelos AT-60 y el GNC-60 no existieron diferencias significativas entre los indicadores evaluados, aunque se manifestó en ambos una tendencia casi generalizada, de que el tipo de atmósfera más agresivo fuese el costero, mientras que el menos ofensivo, prácticamente para todos los indicadores, coincidió con el rural, resultando el modelo AT-60 el más comprometido.
3. Los resultados revelan la necesidad de tener en cuenta el estudio de la corrosión atmosférica como sustento de la propuesta de acciones de mantenimiento con carácter individual para cada modelo en función de su ubicación.
4. La evaluación de las manifestaciones externas de la corrosión debe constituir una práctica sistemática con el fin de realizar acciones oportunas en la gestión del mantenimiento de las estructuras, evitando así el consiguiente deterioro de las mismas y la posibilidad real de una ulterior pérdida total.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁVILA, V., RODRÍGUEZ, A.L. y LÍAS, Y. (2005). Influencia de los parámetros medioambientales en la corrosión de elementos estructurales metálicos. *Revista Ciencias Holguín*, Vol. XI, No. 4, p. 1-11. Cuba.

- CHICO, B., DE LA FUENTE, D. y MORCILLO, M. (2000). Corrosión atmosférica de metales en condiciones climáticas extremas. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio*, Vol. 39, No. 3, pp. 329-332. España.
- LLUVERAS, E.M....[et al.] (2018). Aplicación de software estadísticos y modelos matemáticos para la evaluación de la velocidad de corrosión en el acero. *Rev. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Vol. 21, No.1, pp.179-186. Colombia.
- LUGO, G. (2015). Electroquímica de recubrimientos anticorrosivos en condiciones de alta presión. Instituto de Ingeniería. Universidad Veracruzana. 114 h. Tesis en opción al título de Master en Ingeniería de Corrosión. Veracruz, México.
- MARTÍN, Y. ... [et al.] (2007). Influencia de diferentes factores ambientales en la corrosión de metales que se emplean en la construcción de equipos electrónicos en Cuba. *Rev. CENIC. Ciencias Químicas*, Vol. 38, No. 1. Cuba.
- MORCILLO, M. (1998). Predicción a corto y largo plazo de la corrosión atmosférica de metales. *Revista de Metalurgia. Madrid*, No.34. España.
- MONZÓN, P. (2017). Determinación de la Velocidad de Corrosión en Armaduras Mediante Técnicas Cuantitativas de Análisis Electroquímico. Escuela Técnica Superior Ingeniería en Edificación. Universidad Politécnica de Valencia. 120 h. Tesis en opción al título de Master en Edificación. Valencia, España.
- NAVA, D. ...[et al.]. (2015). Incidencia de la corrosividad atmosférica de la zona industrial del sur de Tamaulipas, México. En *Proceedings-©ECORFAN. (Ed) Ciencias Multidisciplinarias*, Valle de Santiago, Guanajuato, México.
- PAREDES-DUGARTE, S. ...[et al.] (2007). Estudio de la corrosión por picadura de la aleación comercial de aluminio AA3003 en medio ambiente salino. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. Vol. 30, No. (Especial). Maracaibo Venezuela.
- RIVERO, S. ...[et al.] (2007). Corrosión atmosférica del acero bajo en carbono en un ambiente marino polar. Estudio del efecto del régimen de vientos. *Revista de Metalurgia*, Vol. 43, No. 5 septiembre-octubre. Madrid. España.
- RIZO, I., ADAMES, Y. y RIVERA, Y. (2013). Estudio de la corrosión atmosférica del acero al carbono en zonas petrolíferas de la costa norte occidental de Cuba. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. Vol. 44, No. 1. Cuba.

- ROMERO, B. ...[et al.] (2019). Estudio del deterioro corrosivo de componentes de ensamblaje en torres de transmisión de alta tensión. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, Vol. 23, No. 90, pp.60-71. Ecuador.
- SUÁREZ-CORRALES, X.I. ...[et al.] (2014). Resistencia al clima tropical de aceros galvanizados con y sin recubrimiento. *Ing. Invest.y tecnol.* Vol.15, No. 1, México.
- VERA, R. ...[et al.]. (2012). Mapa de corrosión atmosférica de Chile: resultados después de un año de exposición. *Revista de la Construcción*. Vol. 11, No. 2. Chile.