

# Factores ambientales y su influencia en la agresividad corrosiva de la estación de ensayos de Cojímar. Comparación con otras estaciones

**Candelaria González Prada y Rigoberto Marrero Águila.\***

Laboratorio de Ensayos de Tropicalización, Carretera del Morro km 2½, Cojímar, Habana del Este, Ciudad de La Habana.

\*Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Avenida 114 No. 11901 entre 119 y 127, Marianao, Ciudad de La Habana, Código Postal 19390, Cuba.

Recibido: 16 de junio de 2003. Aceptado: 2 de noviembre de 2004.

Palabras clave: ensayos naturales, corrosión atmosférica, agresividad corrosiva, recubrimientos metálicos.

Key words: natural assays, atmospheric corrosion, corrosive aggressiveness, metallic coatings.

**RESUMEN.** Los resultados de numerosos ensayos realizados en condiciones naturales han demostrado que la velocidad de corrosión en determinadas atmósferas, muestran magnitudes que tienen diferencias apreciables en unos lugares respecto a otros, lo que justifica el interés por conocer las variables ambientales que influyen decisivamente en la corrosión atmosférica y que originan una gran dispersión de los resultados. Para evaluar y fundamentar la agresividad corrosiva de algunas estaciones de ensayos naturales, se ha acudido a la caracterización de sus factores medioambientales. Es por estas razones que la exposición y análisis de algunos resultados de ensayos de corrosión naturales y acelerados, constituye el objetivo central de este trabajo, con lo cual, se intenta fundamentar la superior agresividad corrosiva de la estación de ensayos naturales de Cojímar, ubicada en la Ciudad de La Habana. Se exponen datos medioambientales correspondientes a tres estaciones de ensayos naturales en diferentes países, incluyendo la de Cojímar, en Cuba. En dos de ellas, se destaca la influencia de los contaminantes atmosféricos más importantes, que pueden definir y justificar su grado de agresividad corrosiva. Se hace además uso de resultados anteriormente obtenidos en el estudio comparativo del comportamiento de determinados sistemas de recubrimientos metálicos, usualmente empleados para la protección del acero frente la corrosión en condiciones atmosféricas, que fueron sometidos a definidas condiciones de ensayos, tanto en régimen de exposición natural como en régimen de ensayos acelerados. Los resultados han facilitado el análisis comparativo de la influencia de las características ambientales en la agresividad corrosiva de la estación de Cojímar.

**ABSTRACT.** The results of the numerous assays carried out under natural conditions have demonstrated that the corrosion velocities in certain atmospheres show magnitudes having appreciable differences in some places with regard to other, what justifies the interest to know the environmental variables that influence decisively in the atmospheric corrosion and originate a great dispersion of the results. For the evaluation and justification of the corrosive aggressiveness of some stations of natural assays, climatological characterization through environmental data has been used. For that reasons the exposition and analysis of some results of natural and accelerated corrosion assays, is the central objective of this paper, with the intention of explaining the higher corrosive aggressiveness of the natural corrosion assays station of Cojímar, placed in Havana City. Environmental data, corresponding of three different stations of natural assays in different countries, including Cojímar station in Cuba, are showed. For two of the stations, the influence of atmospheric pollutants is used in the definition of their corrosive aggressiveness degree. Some results, which were obtained before, consisting of the comparative study of the behaviour of certain metallic coating systems, usually used for the protection of steel in front of atmospheric corrosion in natural and accelerated assays, have been explained in this paper. All such studies have facilitated the comparative analysis of the influence of the environmental characteristics in the corrosive aggressiveness of the station of Cojímar.

## INTRODUCCION

La lucha contra la corrosión o degradación atmosférica reclama la mayor atención, debido a la variedad de materiales y estructuras metálicas utilizadas en las construcciones, que expuestas a la atmósfera, experimentan a través del tiempo serias afectaciones.<sup>1</sup>

Cuando se trata de atmósferas con insignificante contaminación, las velocidades de corrosión de los principales metales de construcción, no suelen ser alarmantes. Sin embargo, en el caso de aquellas atmósferas contaminadas con gases no habituales en ellas y con el aerosol proveniente del agua de mar, la contaminación puede alcanzar cotas que hagan peligrar, en tiempos relativamente cortos, la integridad de la estructura o de sus componentes metálicos.<sup>2</sup>

A pesar de que la acción de la atmósfera sobre los materiales ha sido objeto de numerosas investigaciones, quedan todavía cuestiones por aclarar sobre los mecanismos, variables y la cinética de la corrosión atmosférica.

La corrosión y degradación atmosféricas en la condiciones del ambiente natural del clima tropical-húmedo de Cuba, se presenta en múltiples aspectos, por lo que su estudio se encuentra muy lejos de agotar las posibilidades de investigación, no solo desde el punto de vista teórico y de los procedimientos, sino por el hecho de que el país

se encuentra en los comienzos de la investigación de las peculiaridades y de la medición del alcance de este fenómeno, que tantas pérdidas ha venido ocasionando a la economía nacional.<sup>3</sup>

El Laboratorio de Ensayos de Tropicalización de Cuba (LABET), dispone de una estación costera de ensayos naturales, que permite a través de la experiencia práctica alcanzada y, mediante la labor de los servicios y de la investigación conjunta con otros centros del país, evaluar la corrosividad atmosférica de la costa norte de la Ciudad de La Habana, siendo posible estudiar comparativamente su magnitud con relación a la de otras regiones costeras de América.

El presente trabajo muestra datos medioambientales de tres estaciones de ensayos naturales de corrosión, ubicadas, una al sur de la Florida, en los Estados Unidos de América, otra en Cojimar, Cuba y por último, otra en la base aérea de Maracaibo, Venezuela.

Además, para las dos últimas estaciones anteriores, se destaca la influencia de los contaminantes atmosféricos más importantes, lo cual se expone en el estudio comparativo del comportamiento de determinados sistemas de recubrimientos metálicos, frente a definidas condiciones de ensayo, en regímenes de exposición natural y acelerada, realizados y evaluados en el laboratorio, en apoyo a algunas investigaciones de interés científico.<sup>4,6</sup> Es por estas razones que la exposición y análisis de algunos resultados de ensayos de corrosión naturales y acelerados, apoyados en estos estudios anteriores, constituyeron el objetivo central de este trabajo, con lo cual, se intenta fundamentar la superior agresividad corrosiva de la estación costera de ensayos de Cojimar, en Cuba, así como analizar comparativamente la influencia de sus características ambientales.

## MATERIALES Y METODOS

### Estaciones de exposición natural

La situación geográfica y los rasgos que distinguen a las tres estaciones de ensayos seleccionadas para el estudio se describen a continuación:

#### Estación costera de Cojimar (Cuba)

La estación costera de Cojimar (Cuba) está situada a 6 km al este del centro de la Ciudad de La Habana, a unos 150 m de la costa norte con arrecifes y mar abierto, muy cerca-

na al poblado de Cojimar. Se encuentra a poca distancia de la Refinería Petrolera "Nico López", de la instalación portuaria, así como de los astilleros de Casa Blanca, todos en esa ciudad.<sup>4,6</sup>

#### Estación de ensayos del sur de Florida (Estados Unidos de América)

La estación de ensayos del sur de la Florida (Estados Unidos de América) está localizada aproximadamente a 33 km al noroeste del centro de Miami, en una región rural libre de contaminación, con clima subtropical. Esta región ha mantenido por mucho tiempo un banco de localización para ensayos ambientales, dadas las condiciones típicas de gran humedad y elevadas radiación ultravioleta y temperatura, que garantizan un ambiente subtropical muy específico para ensayos de exposición al exterior. Unos 1 685 mm de precipitación anual dan lugar a períodos extensos de humedad que caracterizan la agresividad típica de esta región.<sup>7</sup>

#### Estación de ensayos de la Base Aérea de Maracaibo (Venezuela)

La estación de ensayos de la base aérea de Maracaibo (Venezuela) está localizada en una zona urbana próxima al mar, cuya atmósfera está bajo la influencia de la contaminación originada por el tránsito de vehículos y aviones, con la notable influencia natural del aerosol marino.

Para caracterizar las tres estaciones de ensayos naturales, desde el punto de vista climatológico, se dispone de la información que brindan las estaciones meteorológicas ubicadas en las propias regiones de ensayos o en sus cercanías, basado en que las mediciones realizadas en ellas pueden ser consideradas como variables climáticas de dichas regiones, si ha sido previsto un estudio comparativo (mediciones comparativas entre ambos sitios durante un período suficiente de tiempo), lo que permite aceptar los datos de la estación meteorológica más cercana, como representativos de la región de ensayos.<sup>4</sup>

A continuación (Tabla 1), se exponen los datos meteorológicos generales y de contaminación, que caracterizan la climatología de las tres estaciones de ensayos naturales, seleccionadas para el estudio.<sup>4,7</sup>

#### Agresividad atmosférica

La clasificación de la corrosividad atmosférica, según la norma correspondiente,<sup>8</sup> establece cinco categorías de corrosividad para cada uno de los cuatro metales tí-

picos: acero al carbono, cinc, cobre y aluminio.

Como se revela en la tabla 2, es posible estimar la categoría de corrosividad de una atmósfera para cada uno de los cuatro metales señalados a partir de las velocidades de corrosión y de la información medioambiental de la propia atmósfera dada por variables tales como el tiempo de humectación (TDH) y la concentración de dióxido de azufre e iones cloruro.<sup>8</sup>

#### Particularidades del ensayo acelerado considerado en el estudio

Resulta de gran interés considerar en este estudio, los resultados alcanzados en una Tesis de Doctorado,<sup>4</sup> en relación con los sistemas de recubrimientos electrolíticos multicapas de níquel (Níquel Dúplex), expuestos a las condiciones agresivas del ensayo CASS (ensayo de resistencia a la niebla salina cuproacética) y a exposición natural.

Las probetas utilizadas en los ensayos naturales y acelerados fueron láminas de acero recubiertas con diferentes sistemas de recubrimientos multicapa, los cuales fueron obtenidos con diferentes tecnologías de niquelado (Tabla 3).<sup>9-11</sup>

El ensayo acelerado se llevó a cabo en una cámara de pulverización, modelo DYCOMETAL. Este ensayo consiste en disolver una cantidad de cloruro de cobre (II) dihidratado ( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en una disolución de  $\text{NaCl}$  de concentración ( $50 \pm 5$ ) g/L y densidad entre 1,025 5 y 1,040 0 g/mL a 25 °C, con pH ajustado con ácido acético entre 3,0 y 3,1, según lo que establecen las normas.<sup>12-14</sup>

El ensayo CASS se planificó para un período de exposición de hasta 96 h, con observaciones evaluativas cada 24 h. En este ensayo se considera un comportamiento satisfactorio si la probeta pasa la prueba del tiempo señalado sin mostrar afectación.

#### Ensayos naturales

Los ensayos naturales consistieron en la exposición en condiciones naturales de probetas idénticas a las empleadas en el ensayo CASS, a la atmósfera de las estaciones de Maracaibo y Cojimar por períodos de 12 y 8 meses respectivamente.

#### Evaluación

La evaluación del deterioro del recubrimiento y del metal base, tanto en ensayos acelerados como naturales, utiliza los criterios basados en la inspección de la apariencia del

**Tabla 1.** Características meteorológicas generales y contaminantes presentes en tres estaciones de ensayo de exposición natural seleccionadas para el estudio.

Características meteorológicas generales y contaminantes presentes	Estación			
	Cojimar, Cuba	Maracaibo, Venezuela	Sur de la Florida, Estados Unidos de América.	
Período de evaluación	2001 - 2002	2001 - 2002	1999	
Temperatura <sup>a</sup> (°C)			Verano	Invierno
Media anual:	28,6	27,8	—	—
Máxima:	32,2	—	34,0	16,0
Mínima:	23,3	—	23,0	13,0
Humedad relativa <sup>a</sup> (%)	83,5	78	78	
Precipitación anual <sup>a</sup> (mm)	1 591 (pH 5 a 7)	—	1 685	
Radiación Solar <sup>a</sup>				
Total: (MJ · m <sup>-2</sup> )	—	—	6 500	
UV: (MJ · m <sup>-2</sup> )	—	—	280	
Insolación diaria <sup>a</sup> (h)	6,8	—	—	
Índice diario de SO <sub>2</sub> depositado <sup>a</sup> (mg · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> )	24,67	4,69	—	
Índice medio diario de Cl <sup>-</sup> depositado <sup>a</sup> (mg · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> )	192,78	14,30	—	
Corrosividad anual <sup>a</sup> (g · m <sup>-2</sup> · año <sup>-1</sup> )	1 152,8	—	—	

— No se dispone de información. <sup>a</sup> Se reportan valores promedio. La corrosividad anual está referida al acero.

**Tabla 2.** Categorías de corrosividad atmosférica en cuanto al tiempo de humectación y contaminación por dióxido de azufre e iones cloruro, según ISO 9223:91.

Categoría de corrosividad	Agresividad	Tiempo de humectación (h · año <sup>-1</sup> )	Contenido	
			SO <sub>2</sub>	Cl <sup>-</sup>
			(mg · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> )	
C1	Muy baja	< 10	≤ 10	≤ 3
C2	Baja	10 - 250	10 - 35	3 - 60
C3	Media	250 - 2 500	35 - 80	60 - 300
C4	Elevada	2 500 - 5 500	80 - 200	300 - 1 500
C5	Muy elevada	> 5 500	> 200	> 1 500

**Tabla 3.** Variantes de niquelado multicapa utilizadas en el estudio.

Sistema	Capa		
	Níquel semibrillante	Níquel brillante	Cromo
	Espesor		
	22 μm	8 μm	0,25 μm
I	Corriente continua	Corriente continua	Baño de Cr (VI)
II	Corriente de pulso	Corriente continua	Baño de Cr (VI)
III	Corriente de pulso	Corriente continua	Baño de Cr (III)
IV	Corriente reversa	Corriente continua	Baño de Cr (VI)

dad corrosiva de la estación de Cojimar de Cuba con respecto a las otras estaciones estudiadas.

Sobre la base del reporte del índice medio diario de cloruro de la estación de Cojimar, sería posible establecer tan sólo una agresividad media. Sin embargo, de acuerdo con los datos de corrosividad, respecto al acero, la agresividad corrosiva de la atmósfera costera de Cojimar clasifica en la escala superior C5, de agresividad muy elevada.

Como es conocido, todos los materiales se degradan por la influencia de las condiciones atmosféricas, la presencia del oxígeno, la humedad, la radiación global del sol y los contaminantes atmosféricos, lo que constituye un sistema al que se denomina, microclima de una zona determinada.<sup>16</sup>

recubrimiento (AR) y la protección que brinda al metal base (PR), para lo cual, se asignan valores numéricos desde 0 hasta 10, que establece la escala numérica de la norma correspondiente.<sup>15</sup>

## RESULTADOS Y DISCUSION

Luego de examinar las categorías de corrosividad atmosférica, establecidas por la norma ISO 9223:91 y analizar los reportes de los datos meteorológicos (Tabla 1), se evidencia la superior agresivi-

De acuerdo con los datos medioambientales y rasgos característicos de las tres estaciones estudiadas, el microclima correspondiente a dichas regiones, influye de manera importante en el mecanismo de degradación atmosférica de los materiales que son expuestos en ellas.

La magnitud de la corrosión atmosférica, depende fundamentalmente del tiempo durante el cual, la superficie permanece húmeda, conocido como TDH.

Se ha encontrado una buena correlación entre el TDH y el tiempo en que la humedad relativa supera un determinado valor, por lo general, 80 %.<sup>16</sup>

Con relación a las tres estaciones de ensayo, las condiciones de humedad son favorables para que se produzca una película apreciable de electrolito sobre el metal. Por lo tanto, en las tres regiones de ensayo, resulta importante el fenómeno de corrosión.

No obstante, aun cuando la humedad relativa exceda el 80 %, para que la velocidad de corrosión sea realmente importante, la atmósfera debe estar además, contaminada.<sup>16,17</sup>

Los cloruros, en especial, el de sodio y además, el dióxido de azufre, son los principales contaminantes y a la vez, los agentes corrosivos más comunes en la atmósfera. Estas dos sustancias químicas, estimulan grandemente la corrosión de las superficies metálicas humedecidas, ya que aumentan la actividad de la película acuosa y activan la superficie del metal.

Los cloruros, especialmente el de sodio, se incorporan a la atmósfera desde el mar, siendo sus efectos más severos, en la medida que exista una mayor cercanía a la costa. Esto explica la superior velocidad de deposición de cloruro, reportada en la estación costera de Cojimar, ubicada tan solo a 150 m del mar,

con relación a la estación de Maracaibo.

Por las razones anteriores, es de esperar, que en la estación del Sur de la Florida, la concentración de iones cloruro, no supere la correspondiente a la estación de Cojimar.

La influencia del ambiente costero formado por arrecifes, contribuye también a la superior agresividad de la estación costera de Cojimar. Ha sido demostrado que el efecto de los rompientes en la costa, manifestado como fuertes embates de las olas sobre la costa, dan lugar, de forma considerable, a la formación de abundante aerosol marino, lo que unido al marcado efecto transportador de los vientos que provienen del sector norte, cuando tiene lugar la entrada de los frentes fríos y de los vientos alisios del Nordeste al Este, son una suma de factores influyentes en la corrosión de los metales y en la degradación de los materiales en general en este lugar.<sup>17</sup>

En el caso particular de Cuba, durante el invierno, hay un incremento de la salinidad en la atmósfera, debido a la entrada de los frentes fríos, los cuales vienen acompañados de lluvias y marejadas, ocurriendo en ocasiones penetraciones del mar. Por tal motivo, los estudios de corrosión atmosférica en la región costera de Cojimar, han reportado velocidades de corrosión superiores en el período invernal, con respecto al verano.<sup>6</sup>

La situación geográfica descrita para las estaciones de Cojimar y Maracaibo, revelan el relativo nivel de contaminación de dichas regiones con SO<sub>2</sub>, y por lo tanto, la marcada diferencia de concentración de este y de los iones cloruro, entre ambas regiones.

A partir de los índices de SO<sub>2</sub> y cloruro (salinidad), se atribuye a las atmósferas, una determinada clasificación de manera normalizada<sup>8</sup> (Tabla 4).

Los indicadores anteriores denotan aún más, la superior agresividad corrosiva de la atmósfera correspondiente a la estación de ensayos naturales de Cojimar. Este hecho ha sido corroborado en estudios recientes<sup>4</sup> con resultados comparativos, entre ensayos de exposición natural en las estaciones de Cojimar y Maracaibo y el acelerado salino cupro-acético CASS, planificados para sistemas típicos de recubrimientos multicapa biníquel sobre acero.

Según el referido estudio,<sup>4</sup> todas las variantes de sistemas de recubrimiento expuestas por igual a las condiciones naturales en Cojimar y Maracaibo, mostraron una mejor capacidad de resistencia, en las condiciones de la estación de Maracaibo, lo cual es el resultado de una agresividad atmosférica menor en esa región tropical.

Un resultado<sup>4</sup> que corrobora la extrema agresividad corrosiva en la estación de ensayos naturales de Cojimar, es el hecho de haberse obtenido aquí velocidades de corrosión superiores a las del ensayo CASS en solo 8 meses de exposición natural.

Analizando comparativamente el comportamiento de los sistemas, frente a las condiciones del ensayo acelerado CASS y a las condiciones naturales de las estaciones de Cojimar y Maracaibo (Tabla 5), quedó establecido,<sup>4</sup> que con tan solo 24 h de exposición en el primero, es posible obtener una idea aceptable del comportamiento frente al clima tropical-húmedo, con poca influencia salina como el de Maracaibo, mientras que se requieren tiempos de exposición de al menos 96 h, para que este sea representativo de la zona costera norte occidental del archipiélago de Cuba, en correspondencia con lo establecido en estudios previos.<sup>17</sup>

La Tabla 5 muestra los resultados correspondientes a ensayos na-

**Tabla 4.** Clasificación de las atmósferas de las estaciones de ensayo Cojimar y Maracaibo, de acuerdo con los reportes de contaminación dados en la Tabla 1.

Estación de ensayo	Contaminantes reportados según tabla 1 (mg · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> )		Niveles S y P ISO 9223: 91 (mg · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> )		Categoría S <sub>x</sub> P <sub>y</sub> ISO 9223: 91	Tipo de atmósfera
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>2</sub>	Salinidad (S)	Contenido de SO <sub>2</sub> (P)		
Cojimar	192,78	24,67	60 < S ≤ 300	10 < P ≤ 35	S <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	Mixta Marino-Industrial Contaminada (Cl <sup>-</sup> y SO <sub>2</sub> )
Maracaibo	14,30	4,69	3 < S ≤ 60	P ≤ 10	S <sub>1</sub> P <sub>0</sub>	Marina No contaminada (SO <sub>2</sub> )

turales y acelerados, evaluados según la norma correspondiente y utilizando los indicadores PR y AR.

Algunos investigadores de países templados, tienden a obviar el ensayo CASS por considerarlo excesivamente agresivo.<sup>18</sup> No obstante, en el caso de atmósferas tropicales más corrosivas, dicho ensayo puede ser una buena práctica cuando se desee evaluar la resistencia y la capacidad protectora de determinados recubrimientos.

## CONCLUSIONES

El estudio y análisis de la agresividad corrosiva de la estación de ensayos naturales de Cojimar, demuestran el importante efecto de los contaminantes como promotores de la corrosión atmosférica, quedando evidenciado una vez más que la agresividad corrosiva de la atmósfera de una zona dada, no está definida completamente por los valores medios anuales o mensuales de las variables medioambientales, sino que depende también, de cómo estos parámetros varían relativamente con respecto al tiempo.

La evidencia de la elevada agresividad corrosiva de algunas zonas costeras cubanas con características similares a la de Cojimar debe tener correspondencia con la necesidad de adquirir y producir materiales y materias primas de adecuada calidad e idoneidad técnica, capaces de garantizar adecuados tiempos de vida de las instalaciones, así como garantizar a la industria nacional una producción confiable y de calidad.

Los resultados reafirman que a pesar de los numerosos esfuerzos e investigaciones realizadas alrededor de la corrosión atmosférica, se considera que aún no es suficiente la información existente sobre ciertos aspectos básicos del fenómeno, para disponer de un mejor conocimiento del papel que desempeñan los contaminantes en los procesos

de corrosión atmosférica, ya que la variada multiplicidad de las propiedades promotoras de la corrosión en este medio, no sólo depende del clima, sino de los efectos de la civilización, que contribuyen a elevar la carga contaminante de la atmósfera, y por lo tanto, los diferentes grados de agresividad sobre los metales, resultando cada vez más difícil el diseño y la planificación de los métodos de ensayo.

Como ha sido evidenciado, un ensayo acelerado suficientemente agresivo, como el correspondiente al método CASS, puede dar una idea muy acertada de la agresividad de algunas de las atmósferas tropicales.

## BIBLIOGRAFIA

- González J.A. Teoría y Práctica de la Lucha contra la Corrosión. Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid, España, 1984.
- Morcillo M., *et al* Corrosión y protección de metales en atmósferas de Iberoamérica. Programa CYTED, Madrid, España, 1999.
- Corvo F. *et al*. Segunda variante del mapa de agresividad corrosiva de la atmósfera de Cuba, en Corrosión Metálica. Ed. L. Maldonado, P. Castro y L. Díaz. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Mérida, Yucatán, México, 1991.
- Hernández O.J. Estudio del Niquelado Dúplex obtenido por modulación de corriente en el desarrollo de recubrimientos protectores para clima tropical húmedo. Tesis en opción del grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Ingeniería Química, CUJAE, Ciudad de La Habana, Cuba, 2002.
- González C. Estudio comparativo de diferentes recubrimientos electrolíticos de carácter protector decorativo en cuanto a sus propiedades e impacto ambiental. Tesis en opción del grado de Maestro en Ciencias Técnicas. Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de La Habana, Cuba, enero, 2003.
- Gómez J.L. Estudio corrosivo sobre cuatro metales en estaciones cubanas del proyecto MICAT. Tesis en opción del grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Centro de Investigaciones del Petróleo, Ministerio de la Industria Básica. Ciudad de La Habana, 2000.
- Bernard R. Manual Científico. Servicios de ensayo natural. Grupo Atlas. Servicios a la intemperie (AWSG), incluyendo los servicios de ensayos del Sur de la Florida (SFTS) y (DSET), red de trabajo global de ensayos de materiales y evaluación de laboratorios. Q-Panel Lab Products/News about weathering and corrosion testing. www.atlas.wsg.com. USA, 1999. (Consultado 5 mayo de 2003).
- ISO 9223: 91. Corrosion of metals and alloys. Classification of corrosivity of atmospheres.
- Di Bari. Nickel electroplating application of trends. **Plating and Surface Finishing**, 83,10, 1976.
- Krishnan R. Influence of periodically reversed current on chrome deposits. **Metal Finishing**, 91, 10, 1993.
- Rasmussen J. Implementation of pulse plating on an industrial level. Annual Meeting Conference AESF SUR/FIN 2001. Pulse Plating Session. Nashville, Tennessee, USA, June, 2001.
- Biestek T. Comparative corrosion testing of eight system of electrodeposited protective-decorative Ni/Cr and Cu/Ni/Cr coating on steel. **Surface Finishing**, 21, 110, 1984.
- ISO 9227:90. Corrosion Test in Artificial Atmospheres Salt Spray Test.
- UNE 112-017:92. Recubrimientos metálicos. Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina.
- ISO 10289: 00. Methods for corrosion testing of metallic and other inorganic coating on metallic substrates rating of test specimens and manufactured articles subjected to corrosion test.
- Corvo F. *et al*. Outdoor and Indoor Atmospheric Corrosion of Carbon Steel. **Corrosion Science**, 41, 2, 1999.
- Programa CYTED. Corrosión y protección de metales en las atmósferas de Iberoamérica. Parte 1. Mapas de Iberoamérica de Corrosividad Atmosférica. Proyecto MICAT. XV. CYTED, 1998.
- Snyder D. Fifteen years of outdoor corrosion of trivalent and hexavalent chromium electrodeposits. **Metal Finishing**, 90, 4, 1992.

**Tabla 5.** Clasificación de los resultados en función de los indicadores PR y AR.

Sistema	Ensayos de corrosión				
	Acelerado (ensayo CASS)			Naturales	
	24 h	48 h	96 h	12 meses (Maracaibo)	8 meses (Cojimar)
	PR/AR				
I	9/9	7/7	7/6	10/10	6/9
II	10/10	10/9,5	10/9,5	10/10	9/7
III	10/8	10/7	10/5	10/9	8/6
IV	10/9	10/9	10/9	10/10	8/7