

# INFLUENCIA DEL DISEÑO EN LA PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN CONDICIONES CLIMÁTICAS DE CUBA

Mayrén Echeverría Boán\*, Carlos A. Echeverría Lage\*, Carlos A. Echeverría Boán\*,  
Ornán Méndez González\*, Xiomara Cabrera Bermúdez\*\*, Olga Cortijo Jacomino\*\*

\*Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), Facultad de Ingenierías Química y Mecánica,  
Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, \*\*Facultad de Química Farmacia,  
Universidad Central de Las Villas “Marta Abreu”

*El crecimiento de sectores priorizados como el turismo, níquel, aviación civil, generación eléctrica y el petróleo, entre otros, ha incrementado las construcciones y equipos con estructura metálicas. Se vincula a este crecimiento también los equipos del transporte en explotación, localizándose la mayoría de las inversiones en zonas próximas a las costas, con alta agresividad corrosiva.*

*Como resultado de estudios de la corrosión atmosférica y la evaluación de recubrimientos de pinturas, se ha identificado al diseño anticorrosivo como uno de los factores de mayor incidencia en las pérdidas que se producen.*

*En el presente trabajo se aplican normas internacionales para el estudio e identificación de los problemas de diseño así como la técnica de defectoscopia ultrasónica y la fotografía digital aplicada a equipos e instalaciones.*

*Se concluye que el diseño anticorrosivo es de todos los factores, el que más influye en el deterioro por corrosión y su solución implica un perfeccionamiento de los sistemas de protección anticorrosiva, que incluye otros productos además de las pinturas.*

**Palabras clave:** *Diseño anticorrosivo, protección anticorrosiva, corrosión.*

*The growth of sectors prioritized like the tourism, nickel, civil aviation, electrical generation and petroleum, among others, have increased the metallic constructions and equipment. It is also related to this growth the equipment of the transport in operation, being located the majority of investments in zones next to the coasts, with high corrosive aggressiveness.*

*As a result of studies of the atmospheric corrosion and the evaluation of paintings, it has been identified the anticorrosive design like one of the factors of greater incidence in the losses that take place. In the present work international standards for the study and identification of the design problems are applied, as well as the ultrasonic technique and the digital photography applied to equipment and facilities.*

*It is concluded that the anticorrosive design is of all the factors, that influences more in the deterioration by corrosion and its solution implies an improvement of the systems of anticorrosive protection that includes other products besides paintings.*

**Key words:** *Anticorrosive design, anticorrosive protection, corrosion.*

## Introducción

Las principales zonas de desarrollo en Cuba se localizan en la costa norte y cayería norte, destacándose la industria turística, del níquel, la aeronáutica civil y el transporte, entre otras. En toda esta zona existe una gran influencia del aerosol marino, lo que contribuye a la contaminación de las superficies expuestas, a la adsorción y con-

densación de humedad, entre otros factores desencadenantes del deterioro por corrosión /1-3/.

En las condiciones antes expuestas el diseño anticorrosivo juega un papel fundamental, ya que contribuye a que las estructuras metálicas de equipos e instalaciones sean más vulnerables a los ataques corrosivos. De ahí que constituya un objetivo del presente trabajo identificar y propo-

---

ner soluciones para los principales problemas de diseño anticorrosivo que se presentan.

En el estudio, los autores exponen su experiencia en diferentes instalaciones de estructuras metálicas del turismo, aeropuertos internacionales y en equipos del transporte, ubicados en la costa y caería norte de Cuba. En ellos se constata la importancia del tratamiento a los problemas de diseño anticorrosivo y la necesidad del empleo de sistemas de protección anticorrosiva y conservación, donde no solamente estén presentes las pinturas anticorrosivas.

## Fundamentación teórica

El diseño apropiado constituye un elemento de gran importancia, que de conjunto con la selección de materiales, determinan que se prolongue o no la vida útil de las estructuras; puesto que puede evitar, demorar o minimizar la ocurrencia de muchas formas de corrosión /4/.

En diferentes investigaciones realizadas en Cuba y otros países, conjuntamente con trabajos de asesoría que se han desarrollado, se ha constatado, la importancia del diseño anticorrosivo en estructuras metálicas expuestas a la atmósfera. Al respecto, hay que consultar de forma obligada la norma de diseño anticorrosivo /5/, ya que en ella se establecen los criterios básicos de diseño que tienen que cumplirse para prevenir la corrosión /6/. De acuerdo a esos criterios, las superficies de las estructuras de acero expuestas a los agentes corrosivos deben ser pequeñas en extensión y tener el número más pequeño posible de irregularidades (superposiciones, esquinas, bordes). Además, las uniones deben ser realizadas preferiblemente mediante soldadura (preferentemente continua), en vez de atornilladas o ribeteadas, para conseguir la superficie lo más uniforme posible.

Esta normativa establece las precauciones para prevenir la retención de humedad, depósitos y agua; evitando configuraciones superficiales en las que el agua y suciedades puedan quedar retenidas, y de este modo, incrementar el poten-

cial de los agentes corrosivos /5/. Refiere que los orificios estrechos, hendiduras ciegas y uniones solapadas son lugares potenciales para ser atacados por la corrosión, producto de la retención de humedad y suciedad. Por tanto, este tipo de corrosión debe evitarse mediante el sellado /5/.

No se debe favorecer, las condiciones que promueven la corrosión intersticial o corrosión en resquicios que ocurre en los orificios y solapes; puesto que las modificaciones ambientales no son efectivas. Una solución sería aplicar técnicas de ensamblaje mojado creando una barrera efectiva contra el ingreso o entrada de humedad o fluidos en las uniones solapadas /7/.

Otro problema de diseño anticorrosivo son los "componentes huecos y áreas cerradas". La norma de diseño plantea que las áreas cerradas (interior accesible) y los componentes huecos (interior inaccesible) minimizan la superficie expuesta a la corrosión atmosférica y constituyen una sección especialmente bien adaptada a la protección frente a la corrosión. Siempre que las áreas cerradas y los componentes huecos expuestos a la humedad superficial estén provistos de aberturas de drenaje y estén protegidos de un modo efectivo contra la corrosión /5/.

Las partes cerradas selladas y los componentes huecos sellados deben ser impermeables al aire y la humedad. Con este fin sus bordes deben sellarse por medio de soldaduras continuas, y cualquier abertura debe estar provista de cubiertas selladas /5/.

De lo planteado anteriormente se observa la importancia de la protección interior de los componentes huecos por el tiempo de vida de la instalación. Esta acción prácticamente no se realiza en las condiciones climáticas de Cuba, donde se emplea por lo general acero estructural mucho más susceptible a los efectos de la corrosión, que se contamina con aerosol marino durante la etapa constructiva. A ello se suma la presencia de humedad en estos interiores no herméticos todo lo cual permite el desarrollo del proceso corrosivo.

---

Mientras la mayoría de los estándares austriacos reconocen la importancia de la salinidad en la degradación del ambiente construido, contienen definiciones muy simples de la “agresividad” costera /8/. Estos resultados tienen una aplicación práctica en establecer códigos para el diseño de edificaciones y selección de materiales. Esto está en plena concordancia con la problemática de Cuba, con ambientes de alta agresividad corrosiva, por la influencia determinante del aerosol marino y la humedad. Ello justifica una máxima atención al diseño anticorrosivo, sin embargo, no se han establecido normas que refuercen las medidas de protección en presencia de problemas de diseño anticorrosivo, limitándose por lo general a señalar el problema.

### ***Métodos utilizados y condiciones experimentales***

Se identifican los problemas de diseño anticorrosivo en las diferentes instalaciones y equipos objetos de estudio, en correspondencia con la norma ISO correspondiente /5/. En la misma se establecen los diseños adecuados y se proponen algunas soluciones a los variados problemas que se presentan en la práctica. Se emplea el análisis visual y la fotografía digital para la identificación de los problemas de diseños presentes. Se realizan mediciones de las pérdidas de espesor (pared) utilizando la defectoscopia ultrasónica. Se emplea para estas mediciones un medidor de espesor DMS (Canadá), con palpadores HT-400 de 5 MHz y ALPHA 2 DFR de 15 MHz. Se determina la corrosión localizada a partir de la medición ultrasónica y se transforma en velocidad de penetración de la corrosión aplicando el método de Kulis utilizado en investigaciones previas /9, 10/.

### ***Resultados y discusión***

En el presente trabajo, no es posible abordar todos los problemas de diseño anticorrosivo que se presentan, con las soluciones encontradas. Por ello se tratarán aquellos que se han considerado más importantes, por su incidencia en el deterioro prematuro de las instalaciones y equipos que han sido objeto de estudio.

Accesibilidad. Incumplimiento en cuanto a la accesibilidad a las herramientas que se emplean. Problemas y soluciones.

La separación entre partes o estructuras, no puede ser menor de 50 mm de ancho y mayores de 100 mm en profundidad /5/, siendo este aspecto de gran importancia y causa de la falla del recubrimiento de pintura aplicado, por insuficiente preparación superficial y aplicación del sistema de pintura.

En la figura 1 se observa un área inaccesible entre dos cartabones, en una escalera de una instalación turística. Observe el espacio reducido que no cumple las normas, por tanto no es posible ejecutar las labores de protección anticorrosiva con pintura, quedando esta área desprotegida y expuesta a la acción del ambiente.

Al respecto de la accesibilidad, la norma de diseño anticorrosivo /5/, referida previamente, plantea: “Los componentes que se encuentren en riesgo de sufrir corrosión y sean inaccesibles después del montaje deben, bien fabricarse a partir de materiales resistentes a la corrosión, o bien tener un sistema de pintura protector que sea efectivo a lo largo del tiempo en servicio de la estructura. Como alternativa debe considerarse una tolerancia a la corrosión (acero de mayor espesor)” /5/. En la práctica estas soluciones no resultan del todo efectivas en las condiciones de agresividad de Cuba y el deterioro por corrosión afecta a la instalación.

Una solución encontrada, es convertir el área inaccesible en un área cerrada o componente hueco, como se analizará posteriormente, con la aplicación de una protección anticorrosiva adicional interior, con grasas líquidas de conservación.

En la figura 2, se muestra el área inaccesible del interior del guardafango delantero de un automóvil, siendo una situación muy frecuente y por tanto es preferible aplicar una protección adicional interior, mediante la atomización de grasas líquidas de conservación, como se observa.

En la figura 3 se muestra una zona inaccesible entre vigas de una instalación turística, donde no

es posible la aplicación efectiva de los recubrimientos de pintura.

Cuando existan áreas inaccesibles en riesgo de sufrir corrosión se debe garantizar una protección efectiva a lo largo de toda la vida en servicio de la estructura; sobre todo en zonas agresivas. Tal es el caso de los componentes de acero que se encuentran en contacto, incrustados o incluidos

en otros materiales del edificio o aquellos componentes que se encuentren en riesgo de sufrir corrosión. Como protección efectiva se propone el uso de materiales resistentes a la corrosión, la aplicación de un sistema de pintura protector efectivo y aumentar el espesor del material /5/.

### ***Tratamiento de orificios. Problemas y soluciones***

		
<p>Fig. 1 Cartabones de refuerzo con área de difícil acceso en su interior. Observe la corrosión.</p>	<p>Fig. 2 Área inaccesible en el interior del guardafango de un automóvil. Observe la aplicación de grasa.</p>	<p>Fig. 3 Área inaccesible entre vigas de una instalación turística.</p>

La adopción de diseños que involucran el uso de uniones o juntas solapadas es cada vez más común, provocando corrosión en grietas (corrosión localizada) /11/. Frecuentemente los problemas de diseño son detectados cuando la estructura o equipo ya está en pleno funcionamiento y ello conlleva a que las posibles soluciones para eliminarlo o atenuarlo sean menores o a veces no existan posibilidades. Lo anterior es una causa de un mal proceder desde la etapa de planeación y diseño /12/.

En la figura 4, se observa la existencia de orificios en las uniones acero – hormigón y/o acero – mortero, producto de los cuales penetra en su interior los contaminantes, la humedad y origina la corrosión en resquicios. Ello ocasiona, por la presión del óxido formado en el interior, la rotura del hormigón o el mortero en contacto con el acero. Este problema de diseño puede ser evitado, si durante la ejecución de la obra, además

de pintar convenientemente las estructuras que serían recubiertas con el mortero o el hormigón, se le aplica un recubrimiento flexible del tipo mástique, que impide la formación de orificios y por tanto la corrosión.

En la figura 5, se muestra una unión solapada con perno sin sellado, lo que provoca la penetración del agua y contaminantes, que promueven en su conjunto el deterioro desde el interior de los resquicios de la estructura. La protección interior y el sellaje con algún producto anticorrosivo tipo mástique, puede ser una solución a este problema.

En la figura 6, se observa la aplicación del mástique asfáltico con goma en la prevención de la corrosión en resquicios en la carrocería de una automóvil durante el proceso de conservación.

En esta misma situación se encuentran las áreas cerradas y los componentes huecos, los



cuales, una vez que la estructura está en explotación, deben poseer una protección efectiva a lo largo de la vida de servicio /5/. Ello no se garantiza solo con la aplicación de pinturas y requiere de una protección adicional, señalada en la norma pero no precisada.

**Áreas cerradas y componentes huecos. Problemas y soluciones**

En general, este es el problema de diseño más frecuente en la instalación objeto de estudio y causa fundamental del deterioro por corrosión de la instalación. Ello está motivado por ser una construcción metálica, con vigas de secciones

cuadradas o rectangulares huecas, que no poseen una protección interior efectiva por el tiempo de vida de la instalación, según refiere la norma /5/.

Debe destacarse que la norma ISO de referencia, no precisa la necesidad de protección interior, ni el tipo de protección, cuando en la práctica se producen pérdidas de espesor desde el interior de consideración.

En un trabajo precedente /3, 13/, se realizaron determinaciones de espesor en vigas de sección rectangular huecas de la instalación y se observaron pérdidas por corrosión desde el interior, como se muestra en la tabla 1 siguiente:

Tabla 1. Espesor y pérdidas de espesor por diferencia con nominal (6 mm), en estructura hueca de un hotel. Pérdida de espesor promedio

Mediciones de espesor									Pérdida de espesor prom.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3,79	3,73	3,50	3,33	3,48	3,24	3,57	3,42	3,26	2,21
10	11	12	13	14	15	16	17	18	
3,28	3,22	3,68	3,46	3,33	3,37	5,48	5,44	5,66	

En la figura 7 se observa un componente hueco, con corrosión desde interior en una estructura de sección rectangular hueca de una de una instalación hotelera y en la figura 8 un componente hueco con corrosión interior en la torre de control de un aeropuerto.

En la figura 9 se observa la aplicación de grasa de conservación en el interior de un área cerrada de un automóvil.

Esto constituye una solución, como protección adicional y tiene relación con lo planteado en la figura 2. Al respecto es necesario aclarar que las áreas inaccesibles pueden y deben ser convertidas en áreas cerradas, para garantizar la durabilidad de la protección adicional. Tal y como ocurre cuando se ponen a los guardafangos y bóvedas de los automóviles, protectores plásticos.



Fig. 7 Componente hueco con corrosión desde el interior, no protegido.



Fig. 8 Componente hueco de la torre de control de un aeropuerto, sin protección.



Fig. 9 Aplicación de grasa en el interior de un área cerrada de un automóvil.

Entre las soluciones propuestas se destacan la aplicación de productos anticorrosivos, con o sin modificaciones del diseño existente, para los problemas que se detecten durante el servicio del equipo o estructura y no se puedan reparar antes /2, 3, 13/. Los productos que se proponen son recubrimientos anticorrosivos, diferentes a las pinturas, que confieren una protección adicional efectiva, y que permiten el uso de técnicas de ensamblaje mojado, para crear una barrera sellante efectiva que complementa al sistema de protección anticorrosiva con pintura.

En instalaciones con estas características, es muy frecuente encontrar que solo se aplican recubrimientos de pintura como método de protección, sin embargo, no se toman medidas por el interior de los componentes huecos, las áreas cerradas. Esta situación se presenta en el interior de perfiles rectangulares huecos, tubos, etc. que son inaccesibles después del montaje (componentes huecos); donde no pueden aplicarse sistemas

de pinturas protectores en su interior. Ello motiva que no exista en estas zonas una protección efectiva a lo largo del tiempo de vida físico de la instalación, situación muy frecuente en nuestras condiciones de agresividad.

Del análisis realizado del diseño anticorrosivo, se observan muy pocas referencias a soluciones propuestas, que incorporen técnicas y productos con enfoque de sistemas de protección, lo que resulta de interés para el desarrollo del presente trabajo.

### ***Precauciones para prevenir la retención de humedad, depósitos y agua. Problemas y soluciones***

En la figura 10, se observa un mal diseño anticorrosivo que provoca la acumulación de agua y suciedades. La solución a este problema es primeramente, favorecer el drenaje, o de lo contrario el sellado con la protección interior correspondiente. El sellado en la unión entre el cristal y

la viga canal, pudiera realizarse con un producto tipo mástique, que es flexible, poseen características anticorrosivos, sella los orificios por donde penetra el agua y los contaminantes y evita el desarrollo de la corrosión desde su interior.

En la figura 11, se muestra el depósito en una viga. Esto es producto de un mal diseño

anticorrosivo, lo que puede aliviarse practicando un orificio de drenaje para que el agua y los contaminantes no queden en su totalidad retenidos. En esta zona hay que reforzar la protección.

En la figura 12, se puede ver un zona de acumulación de agua en un pasillo telescópico de los aeropuertos.

		
<p>Fig. 10 Orificio sin sellado con zona de acumulación de depósitos y agua.</p>	<p>Fig. 11 Zona de acumulación de depósitos y agua sin orificio de drenaje.</p>	<p>Fig. 12 Zona de acumulación de agua en un pasillo telescópico de un aeropuerto en Cuba.</p>

Del análisis realizado, se observa la gran incidencia que tienen los problemas de diseño anticorrosivo en estructuras metálicas de equipos e instalaciones, que originan los principales problemas de corrosión que se presentan y que son causa fundamental de su deterioro.

Una revisión de la norma UNE-ISO 12 944 (1-8) /15/ "Protección de estructuras de acero mediante sistemas de pinturas protectores", que incluye la de diseño referida con anterioridad, permite observar que no se ofrecen soluciones a los problemas de diseño anticorrosivo que relaciona. Estos problemas encuentran solución a partir de modificaciones del diseño y la aplicación de otros recubrimientos anticorrosivos diferentes a las pinturas, tal y como se ha abordado en el presente trabajo a partir de la experiencia práctica. Esto constituye un perfeccionamiento del Sistema de protección anticorrosiva de estructuras de

acero mediante sistemas de pinturas, al cual debe incorporarse la conservación.

Conservación entendida como contribución al aumento de la vida en servicio de los metales y, en general, de los materiales, que debe convertirse en algo prioritario. A partir de que todos los recursos humanos involucrados tomen conciencia de este hecho como primer paso para la conservación. Todo en su conjunto constituye la base de los sistemas de protección anticorrosiva y conservación, que serán objeto de análisis en un trabajo en preparación.

## Conclusiones

Del análisis realizado se constata la influencia del diseño anticorrosivo en la protección anticorrosiva en condiciones climáticas de Cuba de alta, muy alta y extrema agresividad corrosiva, causante del deterioro prematuro por corrosión de estructuras metálicas de equipos e instalaciones.

---

Encuentran solución los problemas de diseño con modificaciones de los mismos y/o aplicación de otros productos anticorrosivos diferentes de las pinturas, que en su conjunto constituye un perfeccionamiento del “Sistema de protección de estructuras de acero mediante sistemas de pinturas protectores”.

## Bibliografía

1. Echeverría, C. A., *et al.*, *Diagnóstico del diseño anticorrosivo, corrosión, protección y conservación de los pasillos telescópicos en el aeropuerto de Varadero y la Terminal 3 de La Habana, Matanzas*, Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), Universidad de Matanzas, 1999.
2. Echeverría, C. A. *et al.*, *Estudio de los problemas de corrosión, diseño anticorrosivo y protección en el Complejo Paradiso Puntarenas*, Propuesta de soluciones. Informe Final del Servicio Científico Técnico elaborado por el CEAT. Matanzas, Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), Universidad de Matanzas, 2001.
3. Echeverría, C.A. *et al.*, *El deterioro por corrosión de instalaciones turísticas*, Retos Turísticos 3(2): 21-30, 2005.
4. Shifler, D., *Understanding material interactions in marine environments to promote extended structural life*. *Corrosion Science* 47(5): 2335-2352, 2005.
5. UNE-EN ISO 12 944-3., *Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores*, Parte 3: Consideraciones sobre el diseño, 1998.
6. Echeverría, M. *et al.*, Los Problemas de Diseño Anticorrosivo: Factores desencadenantes de la corrosión en condiciones climáticas de Cuba. *Revista Retos Turísticos* 7(1-2), 2008.
7. Roberge, P., *Handbook of Corrosion Engineering*. Quebec, McGraw-Hill Companies, 2000.
8. Cole, I.S. *et al.*, (b), *Holistic model for atmospheric corrosion Part 2 – Experimental measurement of deposition of marine salts in a number of long range studies*, *Corrosion Engineering, Science and Technology* 38(4): 259-266, 2003.
9. Mertell, J., *Peculiaridades de la corrosión atmosférica del acero de bajo contenido de carbono en Ciudad de La Habana y sus implicaciones técnico-económicas*, La Habana, Centro Universitario "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas, 1985.
10. Echeverría, C.A., *La corrosión atmosférica del acero y la protección temporal de los centrales azucareros en la provincia de Matanzas*, Departamento de Ingeniería Química, Villa Clara, Universidad Central de Las Villas, Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas: 98, 1991.
11. Chico, B. *et al.*, Lap-joint corrosion of precoated materials for building applications. *Surface & Coatings Technology* 190(4): 65– 74, 2005.
12. Cook, D.C., Spectroscopic identification of protective and non-protective corrosion coatings on steel structures in marine environment. *Corrosion Science* 47(6): 2550-2570, 2005.
13. Echeverría, C.A. *et al.* 2003 (a). El deterioro de instalaciones turísticas por problemas de diseño anticorrosivo, corrosión y protección. *Memorias del 2do Simposio Internacional de Turismo y Desarrollo (TURDES)*. Varadero. ISBN: 959-16-0229-4.
14. ISO 9223. 1992. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
15. UNE-EN ISO 12 944-(1-8). 1998. *Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores*.