



# Estudio sobre protección de materiales de construcción expuestos al clima tropical costero de Cuba

Rigoberto Marrero Águila <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3011-5701>

Abel Castañeda Valdés <sup>1,2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2531-9224>

Juan José Howland Albear <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2531-9224>

Cecilia Valdés Clemente <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6119-6076>

Francisco Corvo Pérez <sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7042-7382>

Lilia González Ortega <sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4632-388X>

Brenda McNeil Montañés <sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0475-3768>

Juan Carlos Guerra Mera <sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6597-0022>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). La Habana, Cuba

<sup>2</sup> Centro Nacional de investigaciones Científicas (CNIC). La Habana, Cuba

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones en Corrosión (CICORR). Universidad Autónoma de Campeche. San Francisco de Campeche, México

<sup>4</sup> Laboratorio de Ensayos de Tropicalización (LABET). Habana del Este, La Habana, Cuba

<sup>5</sup> Universidad Técnica de Manabí (UTM). Manabí, Ecuador

\*Autor para la correspondencia: [rigo@quimica.cujae.edu.cu](mailto:rigo@quimica.cujae.edu.cu)

#### Palabras clave

materiales; deterioro; corrosión; protección

#### RESUMEN

**Introducción.** Diversas ramas de la economía demandan estudios sobre protección de materiales en las condiciones especiales de Cuba. Muchas labores se han realizado sin considerar la agresividad corrosiva ambiental. **Objetivos:** resolver los problemas de deterioro permite aumentar la vida útil de estructuras, con importante ahorro económico, beneficios sociales y mínima afectación medioambiental. **Métodos.** Se estudió el comportamiento, los requerimientos tecnológicos y los métodos de protección de los materiales más empleados en la industria de la construcción. **Resultados.** Se establecieron los espesores necesarios para el lacado del aluminio y las mejoras en su proceso de obtención, con importantes ahorros y reducción del impacto medioambiental, así como el mecanismo de deterioro, los factores influyentes y los procedimientos para rehabilitar edificaciones patrimoniales. Se determinó la agresividad corrosiva de la atmósfera en zonas estratégicas de Cuba y su influencia en el deterioro de los materiales. Los resultados de las investigaciones reportadas sobre estos temas fueron obtenidos en las instituciones participantes y permiten la ejecución de diversos procesos, con criterios de durabilidad y vida útil, optimizando recursos, conservación y renovación de infraestructuras. Se concluye con resultados de alto nivel científico, pertinencia y actualidad, en concordancia con el desarrollo científico-técnico dentro y fuera de Cuba.



# Study on protection of construction materials exposed to Cuba's coastal tropical climate

## ABSTRACT

### Keywords

materials; deterioration; corrosion; protection

**Introduction.** Different branches of the economy demand studies on the protection of materials in the particular conditions of Cuba. Many tasks were done without considering the corrosive environmental aggressiveness. Objectives: solving the deterioration problems permits increasing the lifespan of structures, with significant economic savings, social benefits and minimal environmental impact. **Methods.** The behavior, technological requirements and protection methods of the most widely used materials in the construction industry were studied. **Results.** The necessary thicknesses for the lacquering of aluminum and the improvements in its obtaining process were established, with significant savings and reduction of the environmental impact, as well as the deterioration mechanism, influencing factors and procedures to rehabilitate heritage buildings. Corrosive aggressiveness of the atmospheres in strategic areas of Cuba and its influence on the deterioration of materials were determined. The results of the investigations reported on these topics were obtained in the institutions involved. They allow for the execution of various processes, with criteria of durability and lifespan, optimizing resources, conservation and renovation of infrastructures. The results were of a high scientific level, relevance and topicality, being in accordance with the scientific-technical development inside and outside Cuba.

## INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras de Cuba, en las que están enclavadas ciudades de elevado valor patrimonial, de importancia económica y para la vida social, presentan un elevado potencial constructivo, debido a la demanda creciente del turismo y de otras ramas de la economía. <sup>(1)</sup> Las grandes industrias y los puertos marítimos son emplazados en zonas costeras por las ventajas que se alcanzan. Estas condiciones, junto a la carencia del uso de criterios efectivos de durabilidad que garanticen plazos elevados de vida útil de las infraestructuras, generan la necesidad de estudios sobre el comportamiento y la protección de materiales de construcción expuestos al clima tropical costero de Cuba.

El objetivo general del estudio que se realizó fue contribuir al desarrollo socioeconómico del país aplicando los resultados de las investigaciones más destacadas, obtenidas en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, el Centro Nacional de Investigaciones Científicas y otras entidades participantes, en relación al comportamiento y protección de los materiales, expuestos al clima tropical costero de Cuba. Los resultados de este trabajo han permitido que los procesos de inversión, construcción, restauración, reparación y fabricación de estructuras en zonas estratégicas, con clima tropical costero, se ejecuten con criterios de durabilidad y vida útil, optimizando así el uso de recursos para la construcción, conservación y renovación de infraestructuras, satisfaciendo

necesidades y expectativas de constructores e inversionistas, en cuanto a calidad y durabilidad de los materiales con que se construye.

## MÉTODOS

Se abordó el estudio de los requerimientos tecnológicos para lograr la protección anticorrosiva de tres de los principales materiales más ampliamente utilizados en la industria de la construcción: aluminio, de alta demanda en la carpintería de puertas y ventanas y otros usos; piedra caliza, constituyente principal de edificaciones de alto valor patrimonial, y hormigón armado, de amplísimo uso en las construcciones de todo tipo. También se caracterizó la agresividad corrosiva de la atmósfera en dos zonas de desarrollo estratégico para el país para así determinar el comportamiento de los principales materiales metálicos utilizados en las construcciones (aceros al carbono, aluminio, cinc y cobre).

Los perfiles de aluminio lacado se producen en Cuba y también se importan, debiendo cumplir en todos los casos las normas de calidad, que están regidas por directrices europeas. Anteriormente, en la única planta lacadora de perfiles de aluminio existente país, se utilizaba un tratamiento químico superficial para la preparación de las superficies de los perfiles, previo al proceso de lacado, haciendo uso de disoluciones de iones crómicos, muy agresivas para el medioambiente. Se decidió cambiar la tecnología a una no crómica, respetuosa

con el medioambiente. El estudio demostró la necesidad de modificar los procesos, según las especificaciones para el nuevo tratamiento, con su respectivo control de calidad y el logro de las mejoras significativas en el orden medioambiental que se alcanzan.

Se evaluó el desempeño en el tiempo de los perfiles de aluminio lacado, con el objetivo de conocer si la normativa internacional se ajusta a las condiciones propias del clima tropical costero de Cuba.

Por otro lado, se estudió la influencia del ambiente sobre la piedra caliza, material pétreo predominante en el Convento de San Francisco de Asís, y la eficacia de productos protectores. Se caracterizó la interacción entre la piedra y el medioambiente, definiéndose cuáles son los contaminantes que más intervienen en el deterioro del material pétreo. <sup>(4, 5)</sup>

Haciendo uso de técnicas experimentales de avanzada y novedosas, se evaluó el impacto del ambiente agresivo costero en el litoral de La Habana sobre las estructuras de hormigón armado, provocado por el fenómeno de la corrosión atmosférica acelerada del acero de refuerzo, cuando está ubicado en zonas muy próximas al mar.

La revolución energética en Cuba ha conducido a la ejecución de numerosos proyectos destinados a la generación de energía a partir del viento. Debido las favorables condiciones naturales, los parques eólicos se construyen en zonas costeras, lo que da lugar a la necesidad de realizar procesos inversionistas, que deben realizarse con criterios de durabilidad y vida útil. En el presente estudio se determinó la agresividad corrosiva de la atmósfera en la zona de desarrollo eólico de Gibara, situado en la provincia de Holguín, con el objetivo de evaluar su influencia sobre los materiales más usados en la industria de la construcción.

Las zonas portuarias como la Zona Especial de Desarrollo Mariel (ZEDM) generan un elevado índice de contaminación atmosférica, por la cercanía de las industrias que están ubicadas en sitios, que facilitan la carga y descarga de productos. La cercanía del mar provoca además la presencia del aerosol marino, que es otra fuente de contaminantes atmosféricos muy influyente en el comportamiento de los principales materiales de construcción. El estudio realizado permitiría establecer una adecuada selección de materiales y de los métodos de protección durante la construcción y montaje de toda la infraestructura proyectada en la zona, considerando la agresividad corrosiva de la atmósfera.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del estudio realizado permitieron recomendar la modificación de la normativa aplicada para el caso de los perfiles de aluminio lacado, determinándose la nece-

sidad de garantizar su durabilidad, para lo cual se estableció que el espesor del lacado recomendado en las condiciones extremas de agresividad de las zonas costeras de Cuba, es de 70 a 90  $\mu\text{m}$ . (2,3) Valores por debajo de estos límites demostraron, en ensayos de laboratorio y de exposición natural, un deterioro acelerado de los perfiles de aluminio lacado, con reducción de al menos la mitad de su tiempo de vida útil. La recomendación del espesor de lacado necesario se estableció a partir de este importante resultado, lo que quedó recogido en un Reglamento Técnico del MICONS, que fue elaborado e introducido en Cuba, de obligatorio cumplimiento para productores e importadores de aluminio lacado. Los beneficios económicos quedaron evidenciados por el ahorro de 124 551,00 USD para una producción anual promedio de la planta de lacado de 2100 t de perfiles.

Al incrementarse el espesor necesario de la capa de lacado de los perfiles, se demostró que se duplica su vida útil y se producen ahorros del orden de 6 millones de euros al año, evitando el deterioro del perfil lacado en un tiempo inferior al previsto, lo que genera cuantiosas pérdidas para el país y negativo impacto social y medioambiental.

En el estudio sobre comportamiento, deterioro y protección de la piedra caliza, utilizada desde hace siglos en la construcción de edificaciones, que hoy son de alto valor patrimonial, se determinó que los contaminantes que ejercieron una mayor influencia en la degradación de la piedra del convento de San Francisco de Asís, fueron los óxidos y otros compuestos de azufre, provenientes de fuentes emisoras móviles y fijas. De los varios hidrofugantes que se evaluaron para la protección del material pétreo, el de base siloxano, presentó los mejores resultados. Esta solución para la conservación de edificaciones construidas con piedra caliza, está siendo extendida hacia otras edificaciones con similares características a las de Cuba y del Caribe. Se demostró un beneficio económico con este resultado, que permite alargar los ciclos de mantenimiento y la durabilidad del material pétreo. Los indicadores económicos favorables que se obtuvieron, indican que el proyecto que considera esta solución, es económicamente atractivo.

Quedó demostrado que los ensayos de resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónico, que se realizan al hormigón armado, no son suficientes para la evaluación de su calidad, antes de someterlo a condiciones de exposición en zonas de muy elevada corrosividad de la atmósfera, lo que evidencia la necesidad de efectuar ensayos especiales que quedaron definidos en este estudio.

El incremento de la corrosión del acero de refuerzo, bajo condiciones de muy elevada corrosividad de la atmósfera, permitió demostrar además, que el hormigón armado de re-

lación agua/cemento con valores 0,5 y 0,6, con espesores de recubrimiento de 20 y 40 mm, que son las condiciones de diseño más usadas en las elaboraciones del hormigón armado en Cuba, no garantizan una adecuada durabilidad y vida útil de proyecto en las estructuras, confirmado con la observación visual de las probetas ensayadas durante un año. <sup>(6,7)</sup>

Se estimó que para 500 edificios multifamiliares de 30 apartamentos, ubicados en zonas próximas al mar, si no se alcanzan los 50 años de vida útil debido a la intensidad del fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón armado, se generan gastos adicionales de alrededor de los 38 millones de dólares, por conceptos de reparación. Los criterios basados en la relación agua/cemento adecuada y espesor de recubrimiento, evitan este gasto innecesario. Hoy en día, una estructura de hormigón armado, expuesta a un ambiente muy agresivo y que fue elaborada con una tecnología que no tuvo en cuenta los criterios de durabilidad y vida útil, tiene una vida útil real inferior a los 20 años, lo que genera importantes pérdidas.

Las categorías de agresividad corrosiva de la atmósfera bajo condiciones exteriores donde se encuentra emplazado el parque eólico de Gibara fueron de: elevada (C4 para el acero galvanizado), muy elevada (C5 para el acero al carbono) llegando a ser extrema (CX para el cobre y sus aleaciones). En el interior de los equipos aerogeneradores, la categoría de agresividad corrosiva de la atmósfera fue muy elevada (IC5) para el acero al carbono y galvanizado. <sup>(8)</sup> Este resultado permitió a los especialistas tener en cuenta especificaciones de diseño y adecuada selección de los materiales metálicos, los métodos y sistemas de protección de recubrimientos que se pretenden utilizar en las construcciones en esta y otras zonas costeras del país para alargar la vida útil de los parques eólicos.

Se determinó que si se realiza una adecuada selección de los materiales de construcción y métodos de protección, es a partir de 25 años de explotación, que se necesitaría realizar trabajos de mantenimiento. El resultado del cociente entre el costo total de la inversión y el tiempo de exposición, expresa que en 25 años pudieran gastarse solo 280 029,56 USD, lo que significa solo el 4 % del costo de la obra, debido a que la misma fue construida con los criterios de durabilidad y vida útil. La extensión de estos trabajos costosos de mantenimiento y de reparación en el tiempo, trae como resultado un ahorro considerable. Se tiene que para ese tiempo de exposición, se lograría un importante ahorro por concepto de trabajos de mantenimiento y de reparación.

Los resultados obtenidos en los estudios en la ZDEM demostraron que existen elevados niveles de agresividad corrosiva de la atmósfera, que provocan pérdidas de masa y espesor de los materiales, lo que permitió establecer una serie de

requerimientos técnicos en cuanto a la correcta selección de los materiales metálicos a utilizar y de los métodos de protección contra el fenómeno de la corrosión atmosférica, para incrementar la durabilidad y el tiempo de vida útil de toda la infraestructura y tecnología que se construye e instala hoy en día y en el futuro en la ZDEM. En caso de la no ocurrencia del deterioro por corrosión, considerando solo una tonelada de cada material metálico, se estimó un ahorro importante, tomado este como beneficio y pudiéndose determinar una alta relación beneficio/costo, <sup>(9)</sup> por lo que resultó conveniente recomendar estudios encaminados a prevenir el indeseable fenómeno de la corrosión en la ZDEM y en otras zonas estratégicas del país de elevado potencial constructivo.

## Conclusiones

Se establecieron las mejoras y el control de la calidad en la obtención de perfiles de aluminio lacado y los requisitos de durabilidad y vida útil, para el clima tropical costero de Cuba, donde se asientan los principales polos turísticos y diversas construcciones, con amplio uso en la carpintería de aluminio. Se demostró un alto impacto económico y medioambiental con la nueva tecnología y los mayores espesores de lacado establecidos, como normativa de obligatorio cumplimiento.

Para La Habana Vieja y otras zonas costeras, con estructuras patrimoniales construidas con material pétreo y sometido a elevados niveles de corrosividad de la atmósfera, quedaron definidas las causas que provocan su acelerado deterioro y los procesos de restauración que permiten devolverles su vida útil de proyecto. Se demostró que el uso de adecuados productos de conservación es económicamente factible, con un importante y positivo impacto social, asociado a la conservación de edificaciones de incalculable valor patrimonial.

Los estudios de corrosión atmosférica en dos zonas estratégicas para el desarrollo del país, permitieron establecer los niveles de agresividad corrosiva en estas zonas y los factores influyentes en el proceso de deterioro de los materiales, y así determinar las condiciones necesarias para su selección y sus sistemas de protección, con factibilidad económica demostrada.

Se establecieron las especificaciones para lograr alta durabilidad en las estructuras de hormigón armado en condiciones de elevados niveles de agresividad corrosiva, lo cual garantiza una vida útil de proyecto superior a los 50 años, que permite un ahorro significativo de recursos e importantes y positivos impactos sociales, dada la prioridad que se da en Cuba al tema de la vivienda y a los impactos medioambientales que el deterioro de los materiales produce.

Los resultados obtenidos en este estudio en relación a los materiales de más amplio uso en la industria de la construcción, están permitiendo que la ejecución de los procesos de in-

versión, construcción, restauración, reparación de estructuras y fabricación de sistemas en zonas estratégicas para Cuba, con climas tropicales costeros, se estén ejecutando con criterios de durabilidad y vida útil, todo lo cual tiene una enorme importancia en el orden económico, social y medioambiental.

### Agradecimientos

Se agradece la contribución de profesionales de diferentes entidades: Dr. C. Jorge A. Domínguez Domínguez, Dr. C. Juan J. Camejo Giniebra, de la CUJAE; Ing. Dainerys Fernández Soto, del CNIC; MSc. Xenia Suárez Corrales, Ing. René Villar López, MSc. Candelaria González Prada, Ing. Jeyris Martínez Gutiérrez, de LABET; Ing. Luis Jerez Puig, de Lacalum; Dra. C. Diana Mondeja González, de la Universidad San Gerónimo; Dr. Joelis Rodríguez Hernández, del Departamento de Materiales de Avanzada, Centro de Investigaciones en Química Aplicada, Saltillo (Coahuila), México.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Castañeda A, Howland JJ, Corvo F, Marrero R. Estudio de la agresividad corrosiva de la atmósfera para el acero de refuerzo embebido en el hormigón armado en La Habana. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 2014;35(2):173-188.
2. González C, Marrero Águila R. Ensayo climático costero natural para diferentes estructuras de aluminio lacado y anodizado. *Revista CENIC Ciencias Químicas*. 2008;39(2).
3. González L, McNeil B, Marrero R. Durabilidad del perfil de aluminio lacado en las condiciones de clima tropical. *Revista Cubana de Ingeniería*. 2013;IV(3):41-46.
4. Mendoza A, Valdés C, Corvo F, Moreira L. Analysis of coralline limestone from San Francisco de Asís and Basilica Minor in the Old Havana using SXF and LIBS. *LASMAR, México 2009. Symposium on Archeological and Arts Issues in Materials Science, IMRC 2009. Selected Papers*.
5. Moreira L, Ponce L, Valdés C, Corvo F. Sistemas LIBS portable para determinación de elementos químicos presentes en el deterioro de construcciones de valor patrimonial. *Revista Cubana de Física*. 2011;28(2):42-52.
6. Castañeda A, Howland JJ, Corvo F, Marrero R. Concrete quality assessment before building structures submitting to environmental exposure conditions. *Revista de la Construcción de Chile*. 2017;16(3):374-387.
7. Castañeda A, Corvo F, Howland JJ, Marrero R, Fernández D. Reinforced Concrete: Design, Performance and Applications. Chapter 4: Atmospheric Corrosion of Steel Reinforced Concrete in a Coastal City Located in a Tropical Island. Series: Construction Materials and Engineering Binding: Softcover. Nova Science Publishers, Inc. USA, 2017. ISBN: 9781536107524.
8. Castañeda A, Corvo F, Fernández D, Valdés C. Outdoor-indoor atmospheric corrosion in coastal wind farm located in a tropical island. *Engineering Journal*. 2017;21(2):43. ISSN 0125-8281.
9. Castañeda A, Corvo F, Valdés C. Atmospheric corrosion study in a harbor located in a tropical island. *Revista Material and Corrosion*. 2018;69(10):1472-1744.

Recibido: 1 de mayo de 2020

Aprobado: 26 de junio de 2020

**Conflictos de interés.** No existen conflictos de intereses

### Contribución de autoría

1. Conceptualización: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés, Juan José Howland Albear, Cecilia Valdés Clemente
2. Curación de datos: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés, Juan José Howland Albear, Cecilia Valdés Clemente, Francisco Corvo Pérez, Lilia González Ortega, Brenda McNeil Montañés, Juan Carlos Guerra Mera
3. Análisis formal: Lilia González Ortega, Brenda McNeil Montañés, Juan Carlos Guerra Mera
4. Adquisición de fondos: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés
5. Investigación: Francisco Corvo Pérez, Lilia González Ortega, Brenda McNeil Montañés, Juan Carlos Guerra Mera
6. Metodología: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés
7. Administración del proyecto: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés
8. Recursos: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés, Juan José Howland Albear, Cecilia Valdés Clemente, Francisco Corvo Pérez, Lilia González Ortega, Brenda McNeil Montañés, Juan Carlos Guerra Mera
9. Software: -
10. Supervisión: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés
11. Validación: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés, Juan José Howland Albear, Cecilia Valdés Clemente
12. Visualización: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés
13. Redacción – borrador original: Rigoberto Marrero Águila
14. Redacción – revisión y edición: Rigoberto Marrero Águila, Abel Castañeda Valdés

**Financiación.** Las fuentes de financiamiento provienen básicamente del carácter presupuestario de la actividad de investigaciones de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, de contratos establecidos entre el CNIC y entidades nacionales interesadas en los resultados (MICONS, MINFAR, MINEM, Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana), de aportes de la parte extranjera (Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, Universidad de Campeche, México).

