

# ESTUDIO DEL AMBIENTE AGRESIVO COSTERO DE LA HABANA Y SU IMPACTO SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

## Autoría principal

Juan José Howland<sup>1</sup>, Abel Castañeda<sup>2</sup>, Francisco Corvo<sup>3</sup>, Ana Rosa Martín<sup>4</sup>

## Colaboradores

Dr. Ing. Rigoberto Marrero Águila, Dra. Ing. Cecilia Valdés Clemente, Ing. César Rivero Lage, Ing. Alberto Hernández Oroza, Ing. Alfredo Semanat Pérez, Ing. Juan Manuel Alonso Lavernia, Lic. Aníbal Fernández Delgado, Lic. Manuel Rodríguez Rodríguez, Ing. Dainerys Fernández Soto, Tec. Julia Pérez Acosta, Tec. Carmen Portilla Vergara.

## Entidades ejecutoras principales

<sup>1</sup>Departamento de Materiales y Tecnologías. Facultad de Ingeniería Civil. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.

<sup>2</sup>Departamento de Protección de Materiales. Dirección de Medioambiente. Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC).

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones de la Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche, México.

<sup>4</sup>Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción (CTDMC), Ministerio de la Construcción.

## Autor para correspondencia

Dr. Ing. Juan José Howland Albear. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Calle 114 No. 11901 entre 119 y 127 Marianao. La Habana. e-mail: jhalbear@civil.cujae.edu.cu

## Aporte científico de cada autor al resultado

- ✓ Dr. Ing. **Juan José Howland Albear** (40%): Tutor de la tesis doctoral del MSc. Ing. Abel Castañeda Valdés. Autor principal de un artículo publicado en una revista de alto factor de impacto. Autor de tres artículos publicados en revistas de alto factor de impacto. Autor de un trabajo publicado en una base de datos de alto prestigio internacional. Jefe de los Proyectos de Investigación: *Investigación de la velocidad de absorción del agua en hormigones con áridos calizos cubanos* y *Estudio del desempeño por durabilidad del hormigón a partir del ensayo de porosidad efectiva por el método de Göran Fagerlund*. Autor principal de la elaboración de las normas cubana (NC 345: 2011, NC 967: 2013) y modificación de la NC 120: 2014 que establecen los criterios de durabilidad y vida útil para las estructuras, derivados de los resultados del estudio. Elevada aplicabilidad de los resultados en varias obras estratégicas para el país, demostrado en los disímiles avales emitidos por las empresas beneficiadoras. Obtención de varias distinciones y premios debido alcance y aplicabilidad de los resultados.
- ✓ Dr. Ing. **Abel Castañeda Valdés** (40%): Defensa de la tesis doctoral *“Estudio de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado en La Habana”*. Autor principal de cinco artículos publicados en revistas de alto factor de impacto y autor de otro trabajo también publicado en una revista de elevado factor de impacto. Autor principal de nueve artículos en revistas de alto prestigio internacional. Defensa de la tesis de maestría *“Caracterización de la corrosión del acero de refuerzo en presencia de cloruros”*. Aplicabilidad de los resultados en dos obras estratégicas para el país, ubicadas en el litoral

norte dentro y fuera de La Habana. Obtención de dos distinciones debido a la aplicabilidad de los resultados.

- ✓ Dr. **Francisco Corvo Pérez** (15%): Jefe del proyecto de investigación: *“Estudio de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado en La Habana”*. Autor principal de dos artículos indexados en base de datos de alto factor de impacto. Autor de seis artículos en revistas de alto factor de impacto. Autor de seis artículos en revistas de elevado prestigio internacional. Tutor de la tesis doctoral del MSc. Ing. Abel Castañeda Valdés.
- ✓ Ing. **Ana Rosa Martín Acosta** (5%): Ejecución de los ensayos en los proyectos de investigación relacionados con la valoración de la durabilidad de los hormigones. Participación en la elaboración de las Normas Técnicas: NC 345:2011 y NC 967:2013. Autora de un artículo publicado en una revista de alto factor de impacto. Autora de un artículo publicado en una revista de elevado prestigio internacional. Obtención de varias distinciones y premios debido alcance y aplicabilidad de los resultados.

## Resumen

1. **Antecedentes:** La vida útil de proyecto de las estructuras de hormigón armado en zonas cercanas a la costa norte en La Habana es muy corta y no cumple con las especificaciones internacionales. En Cuba, se han ejecutado otros estudios del impacto del ambiente agresivo costero pero, para los materiales metálicos. Los resultados obtenidos, no tuvieron en cuenta el impacto de este ambiente agresivo sobre las estructuras hormigón armado en una ciudad costera como La Habana, principalmente en zonas no apantalladas muy próximas al mar abierto.
2. **Problema a resolver y objetivos del trabajo:** De ahí, la necesidad de disminuir el deterioro debido a la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado, garantizando una vida útil de proyecto de las estructuras de edificaciones superior a los 50 años. El objetivo principal se basó en establecer los niveles de corrosividad de la atmósfera para el acero de refuerzo embebido en el hormigón armado. Para esto fue necesario evaluar la corrosividad de la atmósfera en La Habana y establecer los requerimientos normativos de calidad (posibles de medir mediante ensayos) y otros requerimientos técnicos en los hormigones, para garantizar la vida útil de proyecto especificada.
3. **Resultados:** El 95% de las sales de iones cloruro de mayores pesos y tamaños en forma de solución salina, se depositan en las zonas de la ciudad más cercanas al mar sin el efecto del apantallamiento. De ahí, la existencia del elevado nivel de corrosividad de la atmósfera. Esto constituye un factor determinante en el deterioro anticipado de las estructuras de hormigón armado, principalmente en zonas no apantalladas de la ciudad muy próximas al mar abierto. Los ensayos de resistencia a la compresión, así como la velocidad de pulso ultrasónico, no son suficientes para la evaluación de la calidad del hormigón armado antes de someterlo al ambiente agresivo costero de La Habana. Es necesario la determinación de la porosidad efectiva y la velocidad de absorción capilar del agua, como un criterio más profundo en la evaluación de la calidad del hormigón para su desempeño por durabilidad. Estos resultados sirvieron para la elaboración de la Normas Cubanas NC 345:2011 y NC 967:2013, así como la modificación de la NC 120:2013. El hormigón armado de relación agua/cemento menor o igual a 0,4 que responde a una baja porosidad efectiva con un espesor mínimo de recubrimiento de 40 mm, garantiza una vida útil de las estructuras superior a los 50 años, bajo condiciones de muy elevada corrosividad

de la atmósfera en La Habana. Los resultados obtenidos están recogidos en ocho publicaciones en revistas de alto factor de impacto y 10 en revistas de alto prestigio internacional. La acreditación del resultado y su impacto se manifiestan en 12 avales firmados por las instituciones beneficiadoras, además de las defensas de una maestría y otra de doctorado.

4. **Conclusiones:** Se logra por primera vez en Cuba, el mapa de corrosividad de la atmósfera para el acero de refuerzo embebido en el hormigón armado, como una herramienta segura y eficaz que permite disminuir el deterioro anticipado en las estructuras sometidas al ambiente agresivo costero de La Habana. El impacto social se basa en la elevación de la vida útil de las estructuras sobre todo en las viviendas. Los resultados propician la disminución y alargamiento en el tiempo de los trabajos costosos de reparación en las estructuras, sometidas al impacto del ambiente agresivo costero. Esto representa un ahorro anual por más del 95% de los montos destinados a dichos trabajos.

## **Comunicación Corta**

### **Introducción**

El impacto del ambiente agresivo costero en el litoral norte de La Habana, ha provocado un deterioro intenso y anticipado sobre las estructuras de hormigón armado debido al fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo. La existencia de este deterioro en las estructuras constituye actualmente un problema social de la ciencia y la tecnología en Cuba. Este impacto es más connotado en las estructuras ubicadas en zonas muy próximas al mar sin la presencia del apantallamiento artificial originado por las propias estructuras y el natural producto a la vegetación de gran altura [1]. La existencia de dicha problemática en la capital se debe a la insuficiente ejecución de los preventivos e importantes estudios de diagnósticos a pie de obra, así como de los posteriores trabajos de mantenimiento derivados de estos estudios. En ambos casos, antes de que se produzca un marcado desarrollo del deterioro en el tiempo.

Las escasas investigaciones sobre el comportamiento del fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en Cuba han sido realizadas a partir de ensayos acelerados en cámaras salinas, así como en estudios de diagnóstico a pie de obra una vez que las estructura se encuentran muy deteriorada debido a la intensidad del fenómeno.

El objetivo general del estudio fue establecer los niveles de corrosividad de la atmósfera para el acero de refuerzo embebido en diferentes calidades de hormigón armado y espesores de recubrimiento en La Habana, para obtener una herramienta segura y eficaz que permita solucionar la problemática en la capital. Para esto, fue necesario evaluar el ambiente agresivo costero de la ciudad a los efectos de las estructuras de hormigón armado, así como demostrar el comportamiento del fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en el tiempo y a diferentes distancias desde el mar. Previamente resultó muy necesario conocer el desempeño por durabilidad del hormigón elaborado con áridos calizos cubanos.

Los resultados obtenidos en el estudio están en plena concordancia con los Lineamientos del 287 al 291 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución referidos a la construcción.

En Cuba está vigente la normativa que contiene los requisitos de durabilidad a cumplir para el diseño y construcción de obras civiles de hormigón estructural. Los resultados alcanzados en este estudio están contribuyendo a modificar en dicha normativa algunos de sus requerimientos, con el propósito de diseñar y construir las estructuras con mayores criterios de durabilidad y vida útil no solo en la Habana, sino también en otras zonas costeras del país de elevado potencial constructivo.

### Evaluación del ambiente agresivo costero en la ciudad.

El estudio de la corrosividad de la atmósfera permitió demostrar que en La Habana, ciudad costera caracterizada por el apantallamiento artificial; el 95% de las sales de iones cloruro de mayores pesos y tamaños en forma de solución salina, se depositan en las zonas de la ciudad más cercanas al mar si el efecto del apantallamiento (Figura.1). De ahí, la existencia del elevado nivel de corrosividad de la atmósfera, el cual es un factor determinante en el deterioro anticipado de las estructuras de hormigón armado principalmente en zonas no apantalladas de la ciudad muy próximas al mar abierto [2, 3, 4].

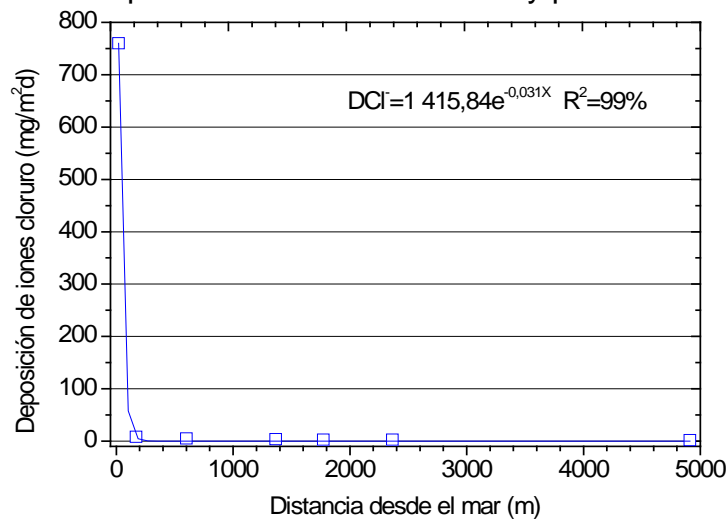


Figura.1. Comportamiento de la deposición de las sales de iones cloruro en función de la distancia desde el mar.

### El desempeño por durabilidad del hormigón armado elaborado con áridos calizos cubanos.

Primero que todo, resulta muy fundamental la evaluación de la calidad del hormigón armado cubano como un indicador en su desempeño por durabilidad, antes de someterlo al ambiente agresivo costero.

Los valores de porcentaje de porosidad capilar determinados por los métodos de la absorción capilar de agua e inmersión al vacío, permitieron demostrar que los poros capilares se encuentran interconectados y bien distribuidos de forma homogénea en la

pasta de cemento endurecida en el hormigón, en función de la relación agua/cemento. Esto garantiza una elevada penetración de los agentes agresivos, principalmente de las sales húmedas de iones cloruro hacia el interior del hormigón, originando un rápido inicio y desarrollo de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en el tiempo, sobre todo bajo condiciones de ambiente agresivo costero [5]. Las relaciones agua/cemento 0,5 y 0,6, así como 20 mm de espesor de recubrimiento de hormigón, se corresponden con las condiciones de diseños del hormigón más usadas en la construcción de las estructuras en Cuba.

Los valores de porcentaje de porosidad capilar determinados por ambos métodos para hormigones de relaciones agua/cemento entre 0,5 y 0,6 estuvieron entre 11 y 21%. Con relación a estos valores, se considera que el hormigón presenta una calidad inadecuada, a pesar de que el resultado de los ensayos físico-mecánico haya demostrado que el hormigón elaborado bajo estas condiciones presentó una calidad adecuada.

De forma general, se demostró que los ensayos de resistencia a la compresión tanto de las probetas normalizadas como de testigos extraídos de la estructura, así como la velocidad de pulso ultrasónico, no son suficientes para la estimación o evaluación de la calidad del hormigón armado antes de someterlo a condiciones reales de exposición, principalmente en un ambiente agresivo costero como el de La Habana [6]. Estos resultados sirvieron para la elaboración de la Normas Cubanas NC 345:2011 y NC 967:2013, así como la modificación de la NC 120:2013. De esta forma, las empresas de la construcción disponen de criterios más contundentes en cuanto al desempeño por durabilidad del hormigón armado cubano antes de someterlo al impacto del ambiente agresivo costero en La Habana y en otras zonas costeras del país, ubicadas en el litoral norte.

### Comportamiento de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en el tiempo

El incremento del fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en el tiempo a partir de su cinética, permitió establecer la vida útil de proyecto para las estructuras que se pretenden construir en función del espesor de recubrimiento (20 y 40 mm) y la calidad del hormigón, bajo condiciones de corrosividad de la atmósfera de muy elevadas en zonas costeras no apantalladas de la ciudad (Tabla.1). Esta vida útil fue estimada a partir de la suma de los tiempos de iniciación y propagación del fenómeno [7].

Tabla.1. Tiempos de iniciación y propagación de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo, así como de vida útil bajo condiciones de muy elevada corrosividad de la atmósfera.

Relación agua/cemento	Espesor 20 mm			Espesor 40 mm		
	$t_i$ (años)	$t_p$ (años)	$V_u$ (años)	$t_i$ (años)	$t_p$ (años)	$V_u$ (años)
0,4	3	20	23	50	-	-
0,5	1	3	4	2	3	5
0,6	1	2	3	1	2	3

Leyenda.  $t_i$ : tiempo de iniciación (años),  $t_p$ : tiempo de propagación (años),  $V_u$ : Vida útil de proyecto (años).

Es de notar como para un hormigón armado de relación agua/cemento 0,4 con un espesor de recubrimiento de 40 mm, la corrosión atmosférica se inicia a los 50 años. Por lo que las estructuras de hormigón armado que se pretenden construir bajo dichas condiciones de diseño expuestas a un nivel de agresividad corrosiva de muy elevado, pudieran presentar una vida útil de proyecto muy superior entre 80 y 100 años. De esta forma, se le da solución a la problemática basada en la prevención del deterioro anticipado en las estructuras no solo en el litoral norte de La Habana, sino también en otras zonas costeras muy estratégicas para el país de elevado potencial constructivo ubicadas en la costa norte. Esto traería como resultado una gran extensión en el tiempo de los trabajos costosos de reparación [7].

La aparición de las grietas en las probetas, permite confirmar que una estructura construida con un hormigón armado de relación agua/cemento entre 0,5 y 0,6 para espesores de recubrimiento de 20 y 40 mm, no sobrepasa los cinco años de vida útil de proyecto bajo condiciones de muy elevada corrosividad de la atmósfera (Figura.2).

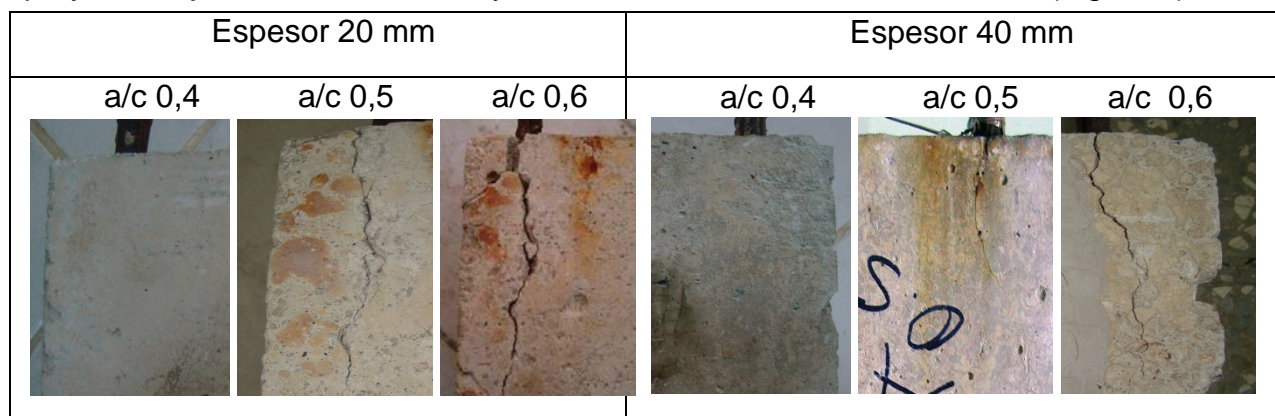


Figura.1. Observación visual de las probetas de hormigón armado.

### Niveles de corrosividad de la atmósfera para las estructuras de hormigón armado.

La corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido a diferentes calidades de hormigón armado presentó un comportamiento muy similar a la deposición de las sales de iones cloruro en función de la distancias desde el mar, con la excepción del hormigón armado de relación agua/cemento 0,4 a un espesor de recubrimiento de 40 mm. Para este último la velocidad de corrosión permaneció casi constante a valores muy bajos con el incremento de la distancia desde el mar. Lo anterior permitió demostrar que el efecto del apantallamiento artificial y natural en una ciudad costera como La Habana, influye de manera positiva en cuanto a la disminución del nivel de corrosividad de la atmósfera. De esta forma, se reduce la extensión territorial del nivel de corrosividad de la atmósfera de muy elevado para las estructuras de hormigón armado, así como también para los principales materiales metálicos más usados en la industria de la construcción [7].

Todo lo visto anteriormente sirvió para demostrar que en las zonas no apantalladas de la ciudad, existe un nivel de corrosividad de la atmósfera de muy elevado para las estructuras de hormigón armado (C5). No siendo así bajo condiciones de pantallamiento

donde el nivel de corrosividad resultó muy bajo (C2). Esto permitió elaborar el Mapa de Agresividad Corrosiva o Corrosividad de la Atmósfera para el acero de refuerzo embebido en el hormigón armado, como una herramienta segura y eficaz que permitirá construir la estructuras con mayores criterios de durabilidad y vida útil y la disminución del deterioro anticipado de las estructuras, principalmente las que se pretenden construir en las zonas más cercanas al mar sin el efecto del apantallamiento (Figura.2 adjunta).

### **Análisis de la factibilidad económica del estudio**

Los costos de los trabajos de reparación en ambas monedas ejecutados durante el año 2012 en ocho estructuras deterioradas por el fenómeno, obtenidos del Grupo de Diagnóstico de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) perteneciente al MICONS, son demostrados (Tabla.3). Estas estructuras localizadas en La Habana, bajo el impacto del ambiente agresivo costero, así como en otras zonas costeras del país de elevado potencial constructivo, se encuentran ubicadas a una corta distancia desde el mar sin el efecto del apantallamiento.

Antes de analizar la factibilidad económica del estudio propuesto; es de notar como en todas las estructuras los aceros de refuerzo fueron colocados entre 20 y 30 mm de espesor de recubrimiento de hormigón (Tabla.3 adjunta). La relación agua/cemento del hormigón estuvo entre 0,5 y 0,6.

Los costos mostrados son basados generalmente en la ejecución de los trabajos de reparación parcial y no total. La reparación parcial solo permite devolverle a la estructura parte de su vida útil de proyecto. El costo de reparación total de una estructura resulta muy elevado en la actualidad, sobre todo cuando existe un deterioro muy acelerado en el tiempo.

El Puente de Bacunayagua fue la única estructura sometida a una reparación total. Se destaca que no existió un elevado nivel de deterioro producto de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo, durante la ejecución del estudio de diagnóstico.

Los costos de reparación en las dos monedas (CR) fueron superiores en comparación con los costos totales de las siete estructuras reparadas parcialmente (CTR<sub>p</sub>) (Tabla.4).

Tabla.4. Costos totales de los trabajos de reparación y de investigación.

CTR <sub>p</sub> (MMP)			CR (MMP)			CTE (MMP)		
CUP	CUC	<b>Total</b>	CUP	CUC	<b>Total</b>	CUP	CUC	<b>Total</b>
656,70	397,39	<b>1 060,94</b>	723,63	889,33	<b>1 612,86</b>	265,0	3,35	<b>267,38</b>

Leyenda. CTR<sub>p</sub>: Costos totales de reparación parcial, CR: Costos de reparación total, CTE: Costos totales del estudio, MMP: Miles de pesos

De manera general se demuestra que los costos totales del estudio (CTE), resultaron muy inferiores en comparación con los costos totales de las siete estructuras que

fueron reparadas parcialmente ( $CTR_P$ ) y con los costos de la estructura que fue reparada totalmente (CR) (Tabla.5). En este caso para ambas monedas, basados en la ejecución de los ensayos realizados correspondiente a las etapas de los tres proyectos.

Este primer aspecto permite demostrar que el estudio del ambiente agresivo costero en La Habana con el propósito de prevenir el deterioro en las estructuras de hormigón armado, resultó menos costoso que combatir el fenómeno a pie de obra.

### Conclusiones

1. El establecimiento de los niveles de corrosividad de la atmósfera para el acero de refuerzo embebido en diferentes calidades de hormigón armado y espesores de recubrimiento, permitió demostrar que es posible disminuir el deterioro anticipado en las estructuras, principalmente las que se pretenden construir en las zonas más cercanas al mar sin el efecto del apantallamiento artificial y natural existente en la ciudad.
2. Los ensayos de resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónico, no son suficientes para la evaluación de la calidad del hormigón armado antes de someterlo a condiciones reales de exposición en zonas costeras bajo condiciones de muy elevada corrosividad de la atmósfera.
3. El incremento de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en el tiempo, bajo condiciones de muy elevada corrosividad de la atmósfera, permitió demostrar que el hormigón armado de relación agua/cemento 0,5 y 0,6; no garantiza una adecuada durabilidad y vida útil de proyecto en las estructuras para ambos espesores de recubrimiento, confirmado con la observación visual de las probetas.

### Referencias

- [1] Castañeda A, Corvo F, Rivero C. Evaluación de sistemas de protección contra la corrosión en la rehabilitación de estructuras construidas en sitios de elevada agresividad corrosiva en Cuba. Revista de la Construcción de Chile. Vol 11. No. 3. 2012.
- [2] Castañeda A, Howland J J, Corvo F. Pérez, T. Corrosion of steel reinforced concrete in tropical coastal atmosphere of Havana City. Revista Quimica Nova Brasil. Vol 36, No. 2, 2012.
- [3] Castañeda A, Howland J J, Corvo F. Pérez, T. Atmospheric Corrosion of reinforced concrete steel in tropical coastal regions. Revista Engineering Journals. Tailandia. Vol 17, No. 2. 2012.
- [4] Castañeda A, Howland J J, Corvo F. Pérez, T. Atmospheric corrosion of concrete reinforced bars in coastal regions. Publicada en GetInfo. Alemania. Base de Dato de Alto Prestigio Internacional. BL CP. Año 2011.
- [5] Howland J J, Martí A R. Estudio de la absorción capilar y la sorptividad de hormigones con áridos calizos cubanos. Revista Materiales de Construcción. España. Vol 63. No. 312. 2013.



[6] Carvajal A M, Vera R, Corvo F, Castañeda A. Diagnosis and rehabilitation of real reinforced concrete structures in coastal areas. Revista Corrosion Engineering Science and Technology. U.K. Vol 47. No. 1 2011.

[7] Castañeda A, Corvo F, Howland J J, Marrero R. Study of Atmospheric Corrosion of Reinforcement Steel in Havana, Cuba. Revista de la Construcción de Chile. Vol 3. No. 1. 2014.

## Publicaciones

### ✓ Publicaciones en revistas de alto factor de impacto:

1. F. Corvo, T. Pérez, Y. Martín, J. Reyes, L.R. Dzib, J. González and A. Castañeda. Corrosion research frontiers. Atmospheric corrosion in tropical climate. On the concept of time of wetness and its interaction with contaminants deposition. In: **Electroanalytical Chemistry, Chapter 2 pp 62-91. New Research ISBN: 978-1-60456-347-4. 2008 Nova Science Publishers, Inc.**
2. F. Corvo, T. Pérez, J. Reyes, L. Dzib, J. González-Sánchez and A. Castañeda Atmospheric corrosion in tropical humid climates.. Environmental degradation of infrastructure and cultural heritage in coastal tropical climate, 2009: **000-000 ISBN: 978-81-7895-426-4. Transworld Research Network 37/661 (2), Fort P.O., Trivandrum-695 023, Kerala, India.**
3. A. M. Carvajal, R.Vera, F. Corvo and A. Castañeda. Diagnosis and rehabilitation of real reinforced concrete structures in coastal areas. **REVISTA CORROSION ENGINEERING, SCIENCE AND TECHNOLOGY. UK. Vol. 47. No.1. 2011.**
4. A. Castañeda, C. Rivero, F. Corvo. Evaluación de sistemas de protección contra la corrosión en la rehabilitación de estructuras construidas en sitios de elevada agresividad corrosiva en Cuba. **REVISTA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CHILE. Vol. 11. No 3. 2012.**
5. A. Castañeda, F. Corvo, J.J. Howland, T. Pérez. Corrosion of steel reinforced concrete in tropical coastal atmosphere of Havana City. **REVISTA QUÍMICA NOVA, BRASIL. Vol. 36, No. 2. 2012.**
6. A. Castañeda, F. Corvo, J.J. Howland, T. Pérez. Atmospheric corrosion of reinforced concrete steel in tropical coastal regions. **REVISTA ENGINEERING JOURNALS. TAILANDIA. Vol. 17, No.2. 2012.**
7. J.J. Howland, Ana R. Martín Acosta. Estudio de la absorción capilar y la sorptividad de hormigones con áridos calizos cubanos. **REVISTA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. España, Vol 63 No. 312. 2013.**
8. A Castañeda, Francisco Corvo, J J Howland, R Marrero. Study of Atmospheric Corrosion of Reinforcement Steel in Havana, Cuba. **REVISTA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CHILE. Vol. 3. No 1. 2014.**

### ✓ Publicaciones en revistas de elevado prestigio internacional:

1. Abel Castañeda, Francisco Corvo, Juan Meitín. Determinación de la Velocidad de Corrosión de la Barra de Refuerzo del Hormigón Armado mediante Técnicas Electroquímicas de Corriente Directa. **REVISTA CENIC. CIENCIAS QUÍMICAS CIUDAD DE LA HABANA CUBA. Vol. 35. No 3. 2004.**
2. Abel Castañeda, Nelson Días, Eva González, Francisco Corvo. Influencia de la penetración de iones cloruros en el hormigón armado a diferentes relaciones agua/cemento y condiciones de exposición. **REVISTA CENIC. CIENCIAS QUÍMICAS CIUDAD DE LA HABANA CUBA. Vol. 36. No. ESPECIAL. 2005.**
3. Abel Castañeda. Caracterización de la Corrosión en el Acero de Refuerzo del Hormigón Armado en presencia de iones cloruro. Reseña de la Tesis de Maestría. **REVISTA**

- CENIC. CIENCIAS QUÍMICAS CIUDAD DE LA HABANA CUBA. Vol. 3. No.1. 2008.
4. A. Castañeda, F. Corvo. Caracterización y comparación de los valores de velocidad de corrosión en el acero de refuerzo entre ruido electroquímico y diferencia de espesor bajo la influencia de cloruros. REVISTA CENIC. CIENCIAS QUÍMICAS CIUDAD DE LA HABANA CUBA. Vol. 39. No.2. 2008.
  5. Abel Castañeda, Francisco Corvo, Jesús González. Estudio comparativo de la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón armado a partir de técnicas electroquímicas y convencionales. REVISTA CENIC. CIENCIAS QUÍMICAS CIUDAD DE LA HABANA CUBA. Vol. 41. No. ESPECIAL. 2010.
  6. Abel Castañeda, Cecilia Valdés, Francisco Corvo. Uso de la técnica de armónicos de corriente alterna en el estudio y comparación de la corrosión en el acero de refuerzo. REVISTA CENIC. CIENCIAS QUÍMICAS CIUDAD DE LA HABANA CUBA. Vol. 41. No. 2. 2010.
  7. Castañeda, A. Corvo, F. Howland, J.J. Perez, T. Atmospheric corrosion of concrete reinforced bars in coastal regions. Publicada en GetInfo. Alemania. Base de Dato de Alto Prestigio Internacional. BL CP. Año 2011.
  8. J.J. Howland, Ana R. Martín Acosta. Investigación de la absorción capilar de hormigones con áridos calizos cubanos. REVISTA CUBANA DE INGENIERÍA 2(III), 2012 (DOAJ Grupo 3).
  9. Abel Castañeda. Estudio de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado en La Habana. Reseña de la Tesis de Doctorado. REVISTA CENIC, CIENCIAS QUÍMICAS, Vol. ---, No. --, pp. LA HABANA, CUBA, 2013. In press. Se cuenta con la carta de aceptación.
  10. Abel Castañeda, Manuel Rodríguez. Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado. Resultados preliminares. REVISTA CENIC, CIENCIAS QUÍMICAS, Vol. ---, No. - -, pp. LA HABANA, CUBA, 2014. In press. Se cuenta con la carta de aceptación.